



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Raumentwicklung ARE
Office fédéral du développement territorial ARE
Ufficio federale dello sviluppo territoriale ARE
Uffizi federal da svilup dal territori ARE

b a s e s

**Nationales Güterverkehrsmodell
des UVEK**

Basismodell 2005:
Modellbeschreibung und Validierung

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)
Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation (UVEK)

Auftraggeber

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)
Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Bundesamt für Verkehr (BAV)

Auftragnehmer

Rapp Trans, CH-8045 Zürich
PTV Planung Transport Verkehr AG, D-76131 Karlsruhe

Bearbeitung

Norbert Schick (PTV, Leitung Modellentwicklung)
Markus Dietermann (Rapp Trans, Projektleitung)
Thomas Schmid (Rapp Trans)
Martin Ruesch (Rapp Trans)
Udo Heidl (PTV AG)
Dr. Tobias Wieczorek (PTV AG)
Thomas Haupt (PTV AG)

Beratung

Michael Arendt (Arendt Consulting)
Kurt Infanger (ARE)

Begleitgruppe

Dr. Helmut Honermann (ARE, Vorsitz)
Walter Züst (BAV) bis 31.12.2010
Christoph Schreyer (BAV) ab 1.1.2011
Philippe Marti (BFS)
Nadine Wirnitzer (SBB)

Kommunikation

Stabstelle Information ARE

Zitierweise

Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2011), Nationales Güterverkehrsmodell
des UVEK, Basismodell 2005: Modellbeschreibung und Validierung

Bezugsquelle

www.are.admin.ch

Dezember 2011 Version 1.0

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	II.1
Résumé	II.6
1 Ausgangslage und Zielsetzung	1
1.1 Ausgangslage	1
1.2 Zielsetzung	1
1.3 Vorgehen	1
1.4 Begleitung	2
1.5 Modellstrukturen des VM-UVEK	2
1.6 Verwendete Grundlagen	3
1.7 Aufbau des Berichts	4
2 Modellaufbau	5
2.1 Modellphilosophie	5
2.2 Detaillierung und Modal Split-Berechnung	7
2.3 Modellkomponenten	9
2.3.1 Vereinfachter Überblick	9
2.3.2 Ablauf der Güterverkehrsmodellierung	11
2.4 Klassische Güterverkehrsmodelle	12
2.5 Gründe der Vorgehensweise im Unterschied zu klassischen Güterverkehrsmodellen	14
2.6 Die gewählte Güterverkehrsmodellierung im Vergleich mit der klassischen Personenverkehrsmodellierung	14
3 Aufkommens- und Verteilungsmodell	17
3.1 Güteraufkommen	17
3.1.1 Abbildung von Produktionsprozessen	17
3.1.2 Bestimmung von Aufkommen und Verbrauch	18
3.1.3 Verteilungsrechnung	18
3.2 Verteilungsmodell	20
3.3 Leerfahrten	21
3.4 Beurteilung der Datengrundlagen und Methoden	22
4 Verkehrs- und Logistikangebot	23
4.1 Überblick	23
4.2 Logistische Systeme	23
4.3 Aufteilung der Gutarten auf die logistischen Systeme	25
4.4 Netzmodelle	26
4.4.1 Primäres Netzmodell („5-Ebenen-Modell“)	26
4.4.2 Sekundäres Netzmodell	28
4.5 Modellgebiet, Zoneneinteilung	29
4.6 Fahrzeuge und Verkehrsmittel	29
4.7 Beurteilung der Datengrundlagen und Methoden	29
5 Kosten- und Umlegungsmodell	30
5.1 Umlegung der Nachfrage im 5-Ebenen-Modell	35
5.2 Berechnung des Modal Split	36
5.3 Umrechnung in Fahrzeuge	36
5.4 Leerfahrten	36
5.5 Umlegung der Fahrzeugfahrten im sekundären Netzmodell	37
5.6 Beurteilung der Datengrundlagen und Methoden	37

6	Validierungsgrundlagen zur Beurteilung der Modellergebnisse	38
6.1	Vorbemerkungen	38
6.2	Grundlagendaten Strassengüterverkehr	38
6.2.1	Gütertransportstatistik GTS 2003 (GTE/GQGV)	38
6.2.2	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (2003/2005)	40
6.2.3	Zählraten des Bundesamtes für Strassen (ASTRA)	40
6.3	Grundlagendaten Schienengüterverkehr	41
6.3.1	SBB Cargo/Rhätische Bahn 2003	41
6.3.2	SBB Infrastruktur 2006	42
6.4	Grundlagendaten Kombiniertes Güterverkehr	43
6.4.1	Schienehauptlauf	43
6.4.2	Strassenvor- und -nachlauf	43
6.4.3	Terminalumschlagmengen	44
6.4.4	Verkehrsleistungen Güterarten	44
6.5	Weitere Daten für die Validierung	44
6.5.1	Aussenhandelsstatistik 2006/Logistikmarktstudie 2009	44
6.5.2	Kostengrundlagen	44
6.6	Beurteilung der Validierungsgrundlagen	45
6.7	Zusammenstellung der Validierungsgrundlagen	47
6.7.1	Übersicht über die verwendeten Validierungsgrundlagen	47
6.7.2	Güteraufkommen	47
6.7.3	Import und Export zu den Nachbarländern	48
6.7.4	Verkehrsleistungen (Binnenverkehr, Import, Export, Transit) gesamte Schweiz	49
6.7.5	Verkehrsleistungen (B,I,E) Warengruppen	50
6.7.6	Fahrtlängenverteilungen	51
6.7.7	Modal Split Verkehrsleistungen Warengruppen	53
6.7.8	Fahrleistungen Strasse (LSVA)	53
6.7.9	Leerfahrten Strasse	54
7	Kalibrationsergebnisse	55
7.1	Eingriffsmöglichkeiten im Güterverkehrsmodell	55
7.2	Strategie der Validierung	56
7.3	Modellvalidierung	57
7.3.1	Güteraufkommen differenziert nach Warengruppen	57
7.3.2	Aufkommen im Eisenbahnverkehr (SBB-Daten)	61
7.3.3	Import- und Exportstatistik	63
7.3.4	Mittlere Transportdistanzen Straße	67
7.3.5	Verkehrsleistung differenziert nach Warengruppen	68
7.3.6	Straßenverkehrszählungen	70
7.4	Verkehrsbelastungen auf der Strasse	72
8	Sensitivitätsbetrachtung	75
8.1	Definition der Varianten	75
8.2	Ergebnisse der Variantenberechnung	76
8.2.1	Tabellarischer Vergleich	79
8.2.2	Belastungsdarstellungen Straße	80
8.2.3	Belastungsdarstellungen Schiene	86
8.2.4	Bewertung der Sensitivitätsberechnungen	91
8.2.5	Folgerungen für die eventuelle Weiterentwicklung	91

9	Gesamtbeurteilung und Empfehlungen	92
9.1	Ausgangslage und Aufgabenstellung	92
9.2	Das Basismodell NGVM	92
9.3	Validierungsgrundlagen	94
9.4	Kalibrierungsergebnisse	94
9.5	Sensitivitätsberechnungen	95
9.6	Würdigung Gesamtmodell	95
9.7	Einsatzmöglichkeiten und -grenzen	97
9.8	Empfehlungen der Auftragnehmer	99
Glossar		100
Literatur- und Quellverzeichnis		102

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1:	Liste der Gutarten	20
Tabelle 7-1:	Statistische Kennwerte GTS 2003 für die Validierung	39
Tabelle 7-2:	Statistische Kennwerte LSVA 2003/2005 für die Validierung	40
Tabelle 7-3:	Statistische Kennwerte ASTRA für die Validierung	41
Tabelle 7-4:	Statistische Kennwerte SBB Cargo und RhB für die Validierung	42
Tabelle 7-5:	Statistische Kennwerte SBB Infrastruktur 2006 für die Validierung	42
Tabelle 7-6:	Ranking Tonnage nach Warengruppen	48
Tabelle 7-7:	Import Nachbarländer: Vergleich Modelldaten – empirische Daten	48
Tabelle 7-8:	Export Nachbarländer: Vergleich Modelldaten – empirische Daten	48
Tabelle 7-9:	Verkehrsleistung in tkm 2003 in der Schweiz	49
Tabelle 7-10:	Schienerverkehrsanteil am bimodalen Split 2003	49
Tabelle 7-11:	Verkehrsleistungen 2003 nach Warengruppen	50
Tabelle 7-12:	Distanzverteilung Strasse (GTE/GQGV 2003) alle Warengruppen	52
Tabelle 7-13:	Distanzverteilung Schiene (2003) alle Warengruppen	52
Tabelle 7-14:	Distanzverteilung Strasse (2003) alle Warengruppen	52
Tabelle 7-15:	Schienerverkehrsanteil am bimodalen Split (Basis tkm 2003)	53
Tabelle 7-16:	Fahrleistungen schwere Güterfahrzeuge 2003	54
Tabelle 8-1:	Güteraufkommen der Warengruppen in Tonnen	58
Tabelle 8-2:	Güteraufkommen der Warengruppen (NSTR 2007) in Tonnen	60
Tabelle 8-3:	Kennzahlen des Güterverkehrsaufkommens auf der Schiene	61
Tabelle 8-4:	Bahnhofsauftkommen wichtiger Bahnhöfe nach SBB-Statistik	62
Tabelle 8-5:	Aufkommen im Bahnverkehr der Verkehrsbezirke des Güterverkehrsmodells	63
Tabelle 8-6:	Vergleich der Importe zwischen Zollstatistik und Verkehrsmodell	64
Tabelle 8-7:	Vergleich der Exporte zwischen Zollstatistik und Verkehrsmodell	66
Tabelle 8-8:	Transportentfernung der Warengruppen in km	67
Tabelle 8-9:	Zählergebnisse und Umlegungsergebnisse auf der Gotthard-Achse	72
Tabelle 8-10:	Verkehrsleistung in 1000 tkm nach Warengruppen	68
Tabelle 9-1:	Güteraufkommen im Binnenverkehr, Import und Export	79
Tabelle 9-2:	Güteraufkommen im Binnenverkehr	79
Tabelle 9-3:	Verkehrsleistung im Binnenverkehr und dem Inlandsanteil des Quell- und Zielverkehrs	80
Tabelle 10-1:	Einsatzbereiche des Güterverkehrsmodells	98

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Vorgehen und Arbeitspakete	2
Abbildung 1-2:	Modelstruktur der Verkehrsmodellierung im UVEK	3
Abbildung 2-1:	Zusammenhänge Logistik und Transporte (Quelle: Rapp Trans AG / IAS ZHAW 2009)	5
Abbildung 2-2:	Prinzipskizze: relationsbezogener Modal Split (oben) und teilwegbezogener Modal Split (unten) zwischen zwei Bezirken, Aufteilung jeweils auf 3 Verkehrsmittel im Verhältnis 30:40:30	7
Abbildung 2-3:	Vereinfachter Überblick: Drei Hauptmodule	9
Abbildung 2-4:	Input- und Outputdaten des Güterverkehrsmodells	10
Abbildung 2-5:	Ablaufschema des Güterverkehrsmodells	11
Abbildung 3-1:	Schematische Darstellung einer räumlichen Verteilung mit starker Entfernungsabhängigkeit	20
Abbildung 3-2:	Schematische Darstellung einer räumlichen Verteilung ohne Entfernungsabhängigkeit	20
Abbildung 3-3:	Schematische Darstellung einer realistischen räumlichen Verteilung mit mittlerer Entfernungsabhängigkeit	21
Abbildung 4-1:	Schematische Darstellung der Funktionsweise des 5-Ebenen-Modells.	27
Abbildung 4-2:	Netzbelastung im primären Netzmodell	28
Abbildung 5-1:	Überblick Kostenarten	30
Abbildung 5-2:	Wirkungsweise des Kostenmodells (1)	33
Abbildung 5-3:	Wirkungsweise des Kostenmodells (2)	34
Abbildung 5-4:	Wirkungsweise des Kostenmodells (3)	34
Abbildung 5-5:	Wirkungsweise des Kostenmodells (4)	35
Abbildung 6-1:	Modal Split Strasse/Schiene/KV nach Transportleistung und Transportmenge	50
Abbildung 7-1:	Vergleich der berechneten Belastungen mit Zählergebnissen 2005 (ohne Kalibration auf die Zähl Daten)	70
Abbildung 7-2:	Differenzbelastung im schweren Güterverkehr (Lkw, Lasten- und Sattelzüge) zwischen Verkehrsmodell und Zähl Daten (2005)	71
Abbildung 7-3:	Vergleich der Streckenbelastungen aus Modell (nach Zähl Datenkalibration) und Zählung, Lastwagen (2005)	73
Abbildung 7-4:	Netzbelastungen Lastwagen (DWV 2005): Vergleich Modell/Zählung	73
Abbildung 7-5:	Vergleich der Streckenbelastungen aus Modell (nach Zähl Datenkalibration) und Zählung, Last-/Sattelzüge (2005)	74
Abbildung 7-6:	Netzbelastungen Last-/Sattelzüge (DWV 2005): Vergleich Modell/Zählung	74
Abbildung 8-1:	Belastungen durch Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ) im Bezugsfall (Nachfrageberechnung 2005)	80

Abbildung 8-2:	Belastungen durch Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ) in Variante 1	81
Abbildung 8-3:	Differenzbelastung im Schwerverkehr (Lkw, LZ und SZ): Variante 1 – Bezugsfall. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt.	81
Abbildung 8-4:	Belastungen durch Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ) in Variante 2	82
Abbildung 8-5:	Differenzbelastung im Schwerverkehr (Lkw, LZ und SZ): Variante 2 – Bezugsfall. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt.	82
Abbildung 8-6:	Belastungen durch Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ) in Variante 3	83
Abbildung 8-7:	Differenzbelastung im Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ): Variante 3 – Bezugsfall. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt.	83
Abbildung 8-8:	Belastungen durch Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ) in Variante 4	84
Abbildung 8-9:	Differenzbelastung im Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ): Variante 4 – Bezugsfall. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt.	84
Abbildung 8-10:	Belastungen durch Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ) in Variante 5	85
Abbildung 8-11:	Differenzbelastung im Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ): Variante 5 – Bezugsfall. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt.	85
Abbildung 8-12:	Belastungen Schienennetz (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr) im Bezugsfall (Nachfrageberechnung 2005), Maximale Streckenbelastung 6.280.000 t/Jahr	86
Abbildung 8-13:	Belastungen Schienennetz (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr) in Variante 2, Maximale Streckenbelastung 7.560.000 t/Jahr	87
Abbildung 8-14:	Differenzbel. im Schienenverkehr (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr): Variante 2 – Bezugsfall. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt. Maximale Differenzbelastung 1.760.000 t/Jahr	87
Abbildung 8-15:	Belastungen Schienennetz (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr) in Variante 3, Maximale Streckenbelastung 7.720.000 t/Jahr	88
Abbildung 8-16:	Differenzbel. im Schienenverkehr (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr): Variante 3 – Bezugsfall. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt. Maximale Differenzbelastung 1.440.000 t/Jahr.	88
Abbildung 8-17:	Belastungen Schienennetz (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr) in Variante 4, Maximale Streckenbelastung 6.310.000 t/Jahr	89
Abbildung 8-18:	Differenzbel. im Schienenverkehr (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr): Variante 4 – Bezugsfall. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden stark vergrößert dargestellt. Maximale Differenzbelastung 45.000 t/Jahr	89

Abbildung 8-19:	Belastungen Schienennetz (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr) in Variante 5, Maximale Streckenbelastung 6.580.000 t/Jahr	90
Abbildung 8-20:	Differenzbel. im Schienenverkehr (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr): Variante 5 – Bezugsfall. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt. Maximale Differenzbelastung 433.000 t/Jahr	90

Zusammenfassung

Die Schweiz verfügt erstmals über ein nationales Güterverkehrsmodell (NGVM), welches das nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) ergänzt. Mit dem NGVM wird auf der Basis von Strukturdaten, Angeboten (Netzen) und empirisch ermittelten Parametern (des Verhaltens, des Verbrauchs usw.) die Gesamtheit des schweren Güterverkehrs aller Verkehrsträger im Bezugsgebiet Schweiz berechnet und für verschiedene Darstellungen und Anwendungen bereitgestellt. Es wird ein neues methodisches Konzept zur Berechnung von Güterverkehrsströmen zur Diskussion und Quell-/Zielmatrizen für die praktische Arbeit zur Verfügung gestellt.

Zusammen mit dem Personenverkehrsmodell sollen mit dem nationalen Güterverkehrsmodell (NGVM) die Entscheidungsgrundlagen für verkehrspolitische Massnahmen verbessert werden. Das NGVM bezieht sich auf das Basisjahr 2005. Mit dem Projekt „Validierung des NGVM“ wird die Entwicklungsphase des Güterverkehrsmodells abgeschlossen und eine erste Bilanz gezogen.

Das Modell wurde in einem ersten umfassenden Schritt von PTV entwickelt und implementiert und im vorliegenden zweiten Schritt in einem erweiterten Konsortium (PTV und RappTrans) überarbeitet, kalibriert und validiert.

Ziel des Validierungsprojekts war es, die Modellqualität zu verbessern und einen besseren Überblick zu den Modellreaktionen und Einsatzmöglichkeiten zu erhalten. Dazu wurden Inputdaten geprüft, Outputdaten validiert sowie den Basiszustand 2005 des Modells neu kalibriert.

Mit Hilfe von Sensitivitätsberechnungen wurden die Modellstrukturen überprüft und die Reaktionen des Modells bei Variation einzelner Einflussfaktoren ermittelt. Die grundlegenden Modellansätze und die Validierungsergebnisse werden in diesem Bericht dokumentiert.

Mit diesem Projektbericht steht das Modell nunmehr als Basismodell für verschiedene Modell-anwendungen zur Verfügung.

Validierungsgrundlagen

Bei der Validierung wurden Netz- und Nachfragedaten sowie die Übereinstimmung der Modell-ergebnisse mit der Realität überprüft. Zu diesem Zweck wurden Daten zum Güterverkehr aus verschiedenen Statistiken eingesetzt. Dabei zeigten sich die Stärken, aber auch die Schwächen der verfügbaren Datengrundlagen.

Die verfügbaren Daten unterscheiden sich in Erhebungsmethodik, Erhebungshäufigkeit und Qualität voneinander. Als Validierungsgrundlagen fanden folgende Angaben Verwendung: Güteraufkommen, Import und Export zu den Nachbarländern, Verkehrsleistungen in der gesamten Schweiz, Verkehrsleistungen nach Warengruppen, Verkehrsleistungen nach Gutarten, Fahrtlängenverteilungen, Modal Split, Fahrleistungen Strasse, Leerfahrten Strasse, Kombiverkehr und Netzbelastungen auf Strasse und Schiene.

Kalibrierungsergebnisse

Ziel der Kalibrierung ist es, eine möglichst gute Übereinstimmung der Modellergebnisse mit gezählten oder auf andere Weise empirisch erhobenen Größen zu erreichen.

Es wurde eine Vielzahl an Kalibrationsschritten vorgenommen. Dabei wurden vorrangig Massen-gutströme betrachtet. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag bei den Schienentransportleistungen und Strassennetzbelastungen. Eine Vielzahl von Verkehrsbeziehungen konnte so geeicht und

plausibilisiert werden. Allerdings konnten nicht alle Abweichungen zwischen Modellergebnis und empirischen Messdaten korrigiert werden. So verblieben bei einigen Warengruppen deutliche Abweichungen bei Strasse bzw. Schiene zwischen den Modellwerten und den empirischen Daten.

Ein Teil dieser Abweichungen erklärt sich daraus, dass eine definitorische Übereinstimmung von Modellgrößen und empirischen Daten nicht gegeben ist. So fehlen für Zwischenstufen der Modellierung, wie dem Sendungsaufkommen, geeignete empirische Eckdaten. Zwar erfolgt die Nachfrageerzeugung am Beginn der Berechnungen auf der Basis von überprüfbareren Daten (Einwohner, Arbeitsplätze, landwirtschaftliche Produktion, Produktionsziffern von großen Einzelbetrieben), aber erst nach den Zwischenschritten der Verteilungsrechnung, der Sendungsgrößenermittlung und der Aufteilung auf die Transportwege ergeben sich wieder Ergebnisse (z.B. Verkehrsbelastungen), die überprüfbar sind. Für die Zwischenschritte der Güterverkehrsmodellierung sind praktisch keine Kontrollmöglichkeiten vorhanden.

Für die Qualität der mit dem Güterverkehrsmodell berechneten Quell-/Zielmatrizen ist es wichtig, dass die räumliche Struktur der Güterströme realitätsgenau abgebildet wird. Für die praktische Anwendung, z. B. als Grundbelastung im Personenverkehrsmodell, werden diese berechneten Quell-/Zielmatrizen in einem weiteren Arbeitsschritt mit einem Wunschlinienkorrekturverfahren an die realen Zähl- und Modellwerte angepasst, so dass eine gute Übereinstimmung zwischen Zähl- und Modellwerten besteht. Dabei sollte die Struktur der Quell-/Zielmatrizen weitestgehend unverändert bleiben.

Sensitivitätsberechnungen

Mit Hilfe von Sensitivitätsbetrachtungen wurde untersucht, ob und wie das Modell bei der Veränderung wesentlicher Eingangsgrößen reagiert. Die hierfür definierten Sensitivitätsberechnungen bilden deshalb keine planerischen Vorhaben ab, sondern werden als Test der verschiedenen Schritte des Modellablaufs und unterschiedliche Eingangsgrößen konstruiert. Die Ausprägungen der Veränderungen der Inputdaten sind in den meisten Berechnungen bewusst übertrieben, um eine erkennbare Veränderung bei Variation weniger Eingangsgrößen testen zu können.

Als Ergebnisse der Berechnungen lässt sich feststellen, dass alle Wirkungseffekte in die richtige Richtung gehen. Allerdings werden in der aktuellen Implementierung des Modells keine Engpässe an Umschlageneinrichtungen modelliert. Auch Rückkopplungen aus Kapazitätsengpässen im Straßennetz auf die Logistik sind nicht implizit eingebaut, sondern müssten für entsprechende Untersuchungen explizit in den Modellablauf durch Iterationen eingeführt werden.

Eine wichtige Konsequenz zeigt sich bei der Änderung der Entfernungsklassen für die logistischen Systeme. Dort wird die starke Wirkung der Aufteilung von Warenströmen auf logistische Systeme deutlich, dass die Sendungsgröße und die unterschiedlichen Möglichkeiten des Transports (z.B. Multimodalität) einen erheblichen Einfluss auf das Transportgeschehen haben. Faktisch wird mit dieser Zuordnung von Gutarten und Entfernungsklassen zu logistischen Systemen der Modal-Split in einem engen Korridor bereits vorbestimmt.

Würdigung Gesamtmodell

Das Güterverkehrsmodell liefert einen logisch geschlossenen Ansatz zur Berechnung quasi sämtlicher im Zusammenhang mit dem Güterverkehr relevanter Nachfrage- und Verkehrsbelastungsdaten für den Bezugsraum Schweiz. Mit dem Modell wird primär der Binnengüterverkehr in der Schweiz sowie der Import und Export modelliert und berechnet. Der

Transitverkehr wird aus den alpen- und grenzquerenden Erhebungen übernommen. Dies bedeutet, dass Nachfragedaten für den Binnenverkehr der Schweiz in räumlich sehr feiner Auflösung (gemeindescharf, über 3000 Verkehrszonen) sowohl für Gutarten, Sendungseinheiten, Fahrzeugen und Tonnage in Verkehrsmitteln berechnet werden können. Die feinträumige Aufteilung wurde gewählt, um eine Kompatibilität zwischen dem nationalen Personenverkehrsmodell und dem nationalen Güterverkehrsmodell (also der UVEK-Verkehrsmodelle) herstellen zu können (Nachfragematrizen für den Strassenverkehr dienen mit ihrer Verflechtungsstruktur als Input für das NPVM).

Vorteile eines hier gewählten feinträumigen Aggregationsniveaus gegenüber einer Nachfrageschätzung auf der Grundlage empirisch erhobener Verkehrsdaten ist die Nachvollziehbarkeit aller Transportvorgänge bis auf die Ebene von Strukturdaten und die Abbildung aller Ströme von der Quelle bis zum Ziel einschliesslich der Umschlagvorgänge und der indirekt ausgelösten Leerfahrten. Die Prognosefähigkeit ist abhängig von einem schlüssigen Ansatz zur Prognose der Inputdaten, insbesondere der Strukturdaten, der Verbrauchs- und Produktionsraten für die verschiedenen Gutarten und der Außenhandelsverflechtungen. Dies wurde im vorliegenden Basismodell noch nicht implementiert.

Für ein hochindustrialisiertes Land wie die Schweiz mit hochdifferenzierten ökonomischen internen und externen Verflechtungen stösst der gewählte feinträumig differenzierte Modellansatz des NGVM an Grenzen: Es gibt unzählige Güterströme, die im Hinblick auf die Abgrenzung der Gutart, der erklärenden Strukturgrößen, der Versandart oder der Art des Umschlags auch anders abgebildet werden könnten als dies im Verkehrsmodell in der vorliegenden Fassung geschieht.

Der Schwerpunkt und auch die Besonderheit dieses Modells besteht in der verhaltensorientierten Abbildung der Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen im Güterverkehr. Wesentlich ist hierbei die mehrstufige Modellierung von Tonnenströmen, Sendungen und Fahrzeugfahrten.

An den Übergängen von Strukturdaten zu Tonnenströmen, Tonnenströmen zu Sendungen und Sendungen zu Fahrzeugfahrten sind die Wirkungszusammenhänge für die hier wesentlichen Parameter der Zielwahl und Entfernungsverteilung, der Wahl der Sendungsart, die Verkehrsmittelwahl (Modal-Split) und die Beladung bzw. Auslastung der Fahrzeuge nicht durch Formeln abgebildet, die die jeweilige Entscheidungssituation volks- und verkehrswirtschaftlich darstellen, sondern größtenteils als einfache Aufteilungen oder manuell einzustellende Parameter. Bei der Codierung von Varianten muss im Einzelfall überprüft werden, ob diese Parameter konstant bleiben dürfen oder in welchem Ausmass sie sich allenfalls verändern.

Bei der Anwendung des Modells für Prognose- oder Szenarienberechnungen ergibt sich daraus in bestimmten Fällen die Möglichkeit bzw. die Notwendigkeit, Parameter nachzuführen und damit neue logistische Strukturen abzubilden oder auf diese Effekte zu verzichten und damit anzunehmen, dass die unterstellten Grundlagen weiterhin gelten.

Einsatzmöglichkeiten und -grenzen

Das Güterverkehrsmodell ermöglicht erstmals die Erstellung von hochaufgelösten Nachfragematrizen für den gesamten Güterverkehr der Schweiz.

Zu den **Einsatzmöglichkeiten** des Modells zählt, dass an Zählstellen kalibrierte Nachfragematrizen für den Schwerverkehr (Strasse) für das Personenverkehrsmodell erzeugt und dort als Grundbelastung übernommen werden können. Nach Gütergruppen und Logistiksystemen differenzierte Nachfragematrizen können auf das zugehörige Netz (Strasse, Schiene) umgelegt und dargestellt werden.

Es zeichnen sich folgende **Einsatzgrenzen** des Modells ab:

Die Handhabung des Modells ist durch den hohen Detaillierungsgrad u.U. sehr aufwändig. Je nach Anwendungsfall müssen z.T. mehrere Verhaltensparameter des Modells neu eingestellt werden. Bei komplexen Anwendungen ist die Beteiligung der Modellautoren notwendig.

Eine weitere Einschränkung ergibt sich aus dem Verzicht auf die Modellierung von Kapazitäten bei Umschlagseinrichtungen. Die Ermittlung und Darstellung der Umschlagsmengen ist möglich. Da aber keine Kapazitäten der Umschlagseinrichtungen im Modell enthalten sind, konnten hier keine Auslastungen ermittelt und bei der Wahl der Umschlagspunkte über Rückkoppelungen im Modell berücksichtigt werden. Die Anwendungen des Modelltyps in anderen Weltregionen zeigten jedoch, dass die hierfür notwendigen Ergänzungen - nämlich der Einbau einer Rückkopplungsschleife und die Ergänzung um Kapazitäten und CR-Funktionen - sehr gut machbar sind. Für das vorliegende Güterverkehrsmodell müssten diese jedoch aus Gründen der Rechenzeit auf einzelne Gütergruppen oder Logistiksysteme beschränkt bleiben.

Der „Kombinierte Verkehr“ ist nicht direkt als Ergebnis aus dem NGVM ablesbar. Durch entsprechende „Filtereinstellungen“ über die Teilmatrizen der Modellzwischenstufen ist es jedoch möglich, eine zum bestehenden Verständnis des „Kombinierten Verkehrs“ passende Mengen zu ermitteln. In der Realität existierende Angebote wie „Rollende Landstraße“ wurden im Basismodell nicht implementiert. Sie beziehen sich primär auf den Transitverkehr.

Empfehlungen der Auftragnehmer

Aus heutiger Sicht und gemäss der Einschätzung zum aktuellen Stand des Basismodells ergeben sich einerseits verschiedene offene Fragen, die im Rahmen des Projekts nicht abschliessend geklärt werden konnten. Andererseits könnten einzelne Modellkomponenten des Basismodells erweitert oder angepasst werden.

Aufgrund der bisherigen Validierungs- und Sensitivitätsberechnungsergebnisse können folgende Empfehlungen abgegeben werden:

- **Verbesserungen in der Empirie:** Es sollten Möglichkeiten geprüft werden, ob und wie die statistischen Datengrundlagen zur Nachfrage im Güterverkehr weniger stark in Abhängigkeit vom gewählten Transportmittel erhoben werden können (Einbezug Verladeperspektive), um die Grundlagen zur Modelletablierung zu verbessern.
- **Modellierung der Transit- und Aussenverkehre:** Die fehlende Modellierung des Transitverkehrs sowie die grobe Modellierung des Quell- und Zielverkehrs auf der ausländischen Seite schränken die Modellanwendung ein. Vorgeschlagen wird ein vorgelagertes, erheblich gröberes Modell aber prinzipiell mit gleicher Struktur, das die wesentlichen alpenquerenden Güterströme Mitteleuropas, d.h. auch die Verkehre über transalpine Alternativrouten (z.B. Brenner, Mont Blanc) enthält.
- **Parameterschätzungen:** Zahlreiche Wirkungszusammenhänge zwischen Transportvorgängen im Güterverkehr und den Einflussfaktoren bzw. den Motiven der Entscheidungsträger aus der Logistik und der verladenden Wirtschaft konnten bisher nur abgeschätzt werden. Sie sollten weiter untersucht und empirisch fundiert werden.
- **Rückkopplungen zu Netz- und Hubkapazitäten:** Bei der Betrachtung von Auslastungen bzw. Kapazitätsengpässen von Umschlagseinrichtungen wären Rückkopplungen wünschenswert. Im derzeitigen Verfahrensablauf würden diese Rückkopplungen jedoch die Rechenzeiten unzumutbar verlängern.

- **Widerstandsmatrix:** In der Verteilungsrechnung zu Beginn des Verfahrensablaufs sollte sich die Verteilung an den Transportkosten der jeweiligen Gutart und nicht an der Lkw-Fahrzeit orientieren. Das derzeitige Vorgehen ist aus Vereinfachungsgründen (Geringere Rechenzeit und Speicherbedarf) so implementiert.

Ausblick

Mit dem NGVM besteht ein methodischer Rahmen zur strukturierten Weiterentwicklung des nationalen Güterverkehrsmodells. Die Zielsetzung dabei sollte sein, den hohen Detaillierungsgrad des bestehenden Modells weiter zu generalisieren, ohne dabei die güterspezifischen Anforderungen (Logistik und Unterteilung der Waren nach homogenen Gütergruppen) nicht mehr gerecht werden zu können.

Modèle de base 2005 : Description du modèle et validation

Résumé

Pour la première fois, la Suisse dispose désormais d'un modèle national de transport de marchandises (MNTM). Il complète le modèle national de trafic voyageurs (MNTV). Le MNTM permet de calculer l'ensemble du trafic lourd de marchandises de tous les moyens de transports en Suisse (territoire de référence), en recourant à des données structurelles, à l'offre existante (réseaux) et à des paramètres déterminés par des méthodes empiriques (comportement, consommation, etc.) ; les résultats pourront être utilisés pour différentes représentations et applications. Une discussion est ouverte sur une nouvelle méthode de calcul des flux de trafic marchandises et des représentations matricielles du trafic d'origine et de destination sont mises à disposition pour la pratique.

Conjointement, le modèle de trafic voyageurs et le modèle de transport de marchandises permettent d'améliorer les bases de décision pour les mesures de politique des transports. Le MNTM se réfère à l'année de base 2005. Le projet « Validation du MNTM » met un terme à la phase de développement du modèle de transport de marchandises et établit un premier bilan.

Une première version du modèle a été développée et mise au point par PTV. Dans une deuxième étape, décrite dans la présente étude, le modèle a été révisé, calibré et validé par une communauté de travail élargie (PTV et RappTrans).

Le projet de validation avait pour objectif d'améliorer qualitativement le modèle et d'obtenir une meilleure vue d'ensemble des réactions du modèle et de ses domaines d'application. Il s'agissait donc de vérifier certaines données d'entrée, de valider les données de sortie et de recalibrer l'état de référence 2005 du modèle.

Le contrôle des structures du modèle a été effectué à l'aide de calculs de sensibilité ; par ailleurs, les réactions du modèle en fonction de la variation de facteurs d'influence isolés ont été mises à jour. Le présent rapport documente les approches fondamentales qui sont à la base du modèle ainsi que les résultats du processus de validation.

Avec la parution du présent rapport de projet, le modèle est désormais disponible pour servir de base pour différentes applications.

Les données de base pour la validation

La procédure de validation consistait à contrôler les données relatives aux réseaux et à la demande, ainsi que la cohérence entre les résultats établis à l'aide du modèle et les chiffres réels. Les données de diverses statistiques concernant le transport de marchandises ont été utilisées à cet effet. Ces calculs ont révélé les forces et les faiblesses de la base de données existante.

Les données disponibles se distinguent par les méthodes et la fréquence de saisie et par leur qualité. Les informations suivantes ont été utilisées comme base de validation : volume de marchandises, importations et exportations de et vers les pays voisins, prestations de transport fournies en Suisse, prestations de transport selon les catégories de marchandises, prestations de transport selon les types de biens marchands, répartition de la longueur des parcours, répartition modale, kilométrages route, courses à vide route, trafic combiné, charge du réseau routier et charge du réseau ferroviaire.

Les résultats du calibrage

Le calibrage a pour objectif d'arriver à une concordance optimale entre les résultats obtenus à l'aide du modèle et ceux qui ont été obtenus par comptage ou par toute autre méthode empirique.

Le calibrage a été effectué au moyen de nombreuses étapes. On a considéré en priorité les flux des transports de marchandises. Il s'agissait avant tout de connaître les prestations de transport du rail et les charges des réseaux routiers, ce qui a permis d'étalonner et de plausibiliser un grand nombre de relations de transports. Il n'a toutefois pas été possible de corriger toutes les différences qui subsistent entre certains résultats obtenus à l'aide du modèle et ceux résultant de mesures effectuées sur une base empirique. Dans le cas de certains groupes de marchandises (rail et route), des écarts significatifs subsistent entre les valeurs calculées à l'aide du modèle et les données empiriques.

Une partie de ces écarts s'explique par l'absence de concordance entre les définitions des données utilisées en application du modèle et celles obtenues de manière empirique. Font notamment défaut pour les étapes intermédiaires du modèle des données de base adéquates, tel que le volume des envois. Bien que la demande soit générée au début des calculs sur la base de données vérifiables (nombre d'habitant-e-s, nombre d'emplois, production agricole, résultats de production de grandes entreprises), ce n'est qu'après les étapes intermédiaires du calcul de la répartition, de l'estimation du volume des envois et de la répartition des voies de transport que l'on obtient finalement des résultats vérifiables (p. ex. charge de trafic). Au niveau des étapes intermédiaires de la modélisation du transport de marchandises, les possibilités de contrôle sont pratiquement inexistantes.

Il importe, pour la qualité des données matricielles d'origine et de destination calculées avec le modèle de transport de marchandises, que la structure spatiale des flux de marchandises soit représentée fidèlement à la réalité. Pour l'application pratique, par exemple comme charge de base du trafic dans le modèle de trafic voyageurs, ces données matricielles d'origine et de destination calculées sont, dans une étape ultérieure du travail, adaptées aux données de comptage réelles selon une procédure de correction des lignes souhaitées de sorte à atteindre une bonne cohérence entre les valeurs de comptage et les valeurs modélisées. Il faudrait que la structure des matrices d'origine et de destination reste alors le plus largement possible inchangée.

Calculs de sensibilité

Des calculs de sensibilité ont été effectués pour vérifier si le modèle réagissait notamment à la modification des paramètres d'entrée et si oui, quelles étaient ces réactions. Ces calculs ne se réfèrent pas à des projets concrets; ils sont mis en place pour tester les différentes étapes prévues par le modèle ainsi que pour tester les différents paramètres d'entrée. La variation des paramètres d'entrée est volontairement exagérée dans la plupart des calculs, de pouvoir tester toute modification sensible en cas de variation d'un petit nombre de données d'entrée.

Ces calculs montrent que tous les effets vont dans le sens escompté. La forme actuelle du modèle ne permet toutefois pas de modéliser les effets des limites de capacité dans les installations de transbordement, pas plus que les rétroactions induites par les limites de capacité du réseau routier sur la logistique ; un tel effet n'a pas été prévu explicitement dans le modèle ; pour effectuer ce type d'analyse, il s'agirait d'intégrer de telles rétroactions dans le fonctionnement du modèle à l'aide de processus itératifs.

Les calculs mettent en évidence un effet important sur les systèmes logistiques qui se manifeste lors de la modification des classes de distances. Ces calculs montrent l'effet prépondérant de la répartition des flux de marchandises sur les systèmes logistiques, ainsi que l'impact considérable du volume des envois et des différents moyens de transport (p. ex. transport multimodal) sur les processus de transports. Dans les faits, l'attribution de types de biens et de classes de distances aux systèmes logistiques confine la répartition modale dans un corridor étroit.

Appréciation générale du modèle

Le modèle de transport de marchandises fournit une approche logique cohérente pour calculer pratiquement la totalité des données relatives à la charge de trafic de marchandises en termes d'offre et de demande pour l'espace de référence suisse. Le modèle est utilisé avant tout pour modéliser et calculer le transport marchandises intérieur de la Suisse et celui de l'importation et de l'exportation. Le trafic de transit est repris des relevés des trajets transalpins et transfrontaliers, ce qui signifie que les chiffres relatifs à la demande pour le trafic intérieur suisse peuvent être calculés et modélisés avec un degré très élevé de résolution spatiale (niveau communal ; plus de 3000 zones de transport), pour les paramètres suivants : types de marchandises, unités envoyées, véhicules, tonnage par moyen de transport. Ce maillage fin a été choisi pour assurer la compatibilité entre les modèles nationaux (voyageurs et marchandises) du DETEC. Les données matricielles de la demande de trafic de marchandises routier servent de données d'entrée pour le modèle de trafic voyageurs.

L'avantage du niveau d'agrégation très fin, tel qu'il a été choisi dans la présente étude, par rapport à une évaluation de la demande se basant sur des données saisies de manière empirique, réside dans la reproductibilité de tous les processus de transport, jusqu'au niveau des données structurelles, et à la représentation de tous les courants de transport, de la source à la destination, y compris les processus de transbordement et les courses à vides générées indirectement. La possibilité de générer des prévisions sur cette base dépend de la pertinence de l'approche sur laquelle se fondent les données d'entrée, notamment les données structurelles, les taux de consommation et de production des diverses catégories de biens et les interactions avec le commerce extérieur. Ces aspects ne sont pas encore pris en compte dans le présent modèle de base.

Dans un pays aussi industrialisé que la Suisse, qui connaît par ailleurs des interactions économiques fortement différenciées à l'intérieur et à l'extérieur du pays, l'approche du maillage aussi fin que celui qui est utilisé par le modèle MNTM atteint ses limites : un nombre incalculable de courants de marchandises pourrait être représenté d'une manière différente de celle qui a été choisie dans le modèle, en fonction de la définition du type de biens marchands, des paramètres structurels déterminants, des modalités d'envoi ou du type de transbordement.

Le point fort et la particularité du présent modèle résident dans la représentation axée sur la modélisation des liens de causalité dans le transport de marchandises. Les facteurs déterminants à cet effet sont les flux de tonnages, les envois et les courses de véhicules, avec plusieurs niveaux de modélisation.

Aux interfaces entre données structurelles et flux de tonnages, flux de tonnages et envois, envois et courses de véhicules, les liens de causalité entre les paramètres déterminants pour le choix de la destination et la répartition selon la distance, le choix du type d'envoi, la sélection du moyen de transport (répartition modale), le chargement/la charge des véhicules, ne sont pas représentés par des formules qui illustrent la situation de décision du point de vue économique et des transports, mais par de simples répartitions ou des paramètres à entrer manuellement. Au moment de coder les variantes, il s'agit de déterminer dans chaque cas si les

paramètres peuvent rester constants ou s'ils sont appelés à se modifier, et si oui, dans quelle mesure.

Lors de l'utilisation du modèle pour le calcul de prévisions ou de scénarios, il est parfois possible, voire nécessaire, de compléter certains paramètres permettant de représenter de nouvelles structures logistiques ou alors de renoncer à certains effets et d'admettre que les bases existantes continuent de s'appliquer.

Applications possibles et limites

Le modèle de transport de marchandises permet pour la première de représenter la demande de l'ensemble des transports de marchandises en Suisse sous la forme d'une matrice à haute résolution.

L'une des **applications du modèle** consiste dans le fait que des représentations matricielles de la demande de transports de marchandises (route), calibrées à l'aide de données de comptage, puissent être générées pour le modèle de trafic voyageurs et servir de données pour la charge de base du trafic. Des représentations matricielles de la demande différenciées selon les catégories de marchandises et les systèmes logistiques peuvent être transposées et représentées sur le réseau correspondant (route, rail).

Les **limites du modèle** sont les suivantes:

Le maniement du modèle peut se révéler compliqué du fait de son degré de détail élevé. Dans certaines applications, plusieurs paramètres relatifs aux réactions devront être redéfinis. Les applications complexes nécessitent la participation des auteurs du modèle.

Une autre restriction réside dans le fait qu'on a renoncé à une modélisation des capacités des installations de transbordement. La détermination et la représentation des quantités transbordées est possible, mais faute de données relatives aux capacités des installations de transbordement dans le modèle, aucun chiffre relatif à la charge n'a pu être déterminé et pris en compte dans le modèle lors du choix du lieu de transbordement par rétroaction. Les applications de ce type de modèle dans d'autres régions du monde montrent toutefois que les données complémentaires requises, à savoir l'introduction d'une boucle de rétroaction et les données de capacité et des fonctions CR (restriction de capacité), sont réalisables sans difficulté. Pour le modèle de transport de marchandises, celles-ci doivent être limitées à certains groupes de marchandises ou systèmes logistiques pour ne pas allonger la durée de traitement des données.

Le „trafic combiné“ n'apparaît pas explicitement comme résultat du modèle MNTM. En appliquant les filtres correspondants (matrices sectorielles) aux étapes intermédiaires, il est toutefois possible d'obtenir des chiffres représentatifs du « trafic combiné » tel qu'il est défini actuellement. Les offres existantes telles que les chaussées roulantes n'ont pas été implémentées dans le modèle de base. Ces flux relèvent avant tout du trafic de transit, qui n'est pas modélisé dans le modèle.

Recommandations du prestataire mandaté

A l'heure actuelle, et conformément aux évaluations concernant l'état actuel du modèle de base, il subsiste des questions qui n'ont pas trouvé de réponse définitive au terme du projet. Inversement, certains composants du modèle de base révèlent des possibilités d'extension ou d'adaptation.

Les recommandations suivantes découlent des résultats disponibles au terme de la validation et des calculs de sensibilité:

- **Amélioration de la démarche empirique:** il s'agit d'examiner les possibilités de pouvoir saisir les données statistiques relatives à la demande de transports de marchandises dans une moindre dépendance du moyen de transport choisi (intégrer la perspective du commanditaire du transport) afin d'améliorer la qualité des données de base de la modélisation, et si oui, par quelle méthode.
- **Modélisation des trafics de transit et du trafic en provenance de l'extérieur:** l'absence de modèle pour le trafic de transit et la modélisation à faible résolution du trafic d'origine et de destination avec l'étranger restreignent les possibilités d'application du modèle. Les auteurs proposent l'élaboration d'un modèle à l'échelle supérieure, nettement moins détaillé, mais à la structure identique, qui contient les principaux courants de marchandises transalpins, y compris les transports qui empruntent les itinéraires transalpins alternatifs (Brenner, Mont Blanc, etc.).
- **Estimations sur la base de paramètres:** une bonne partie des relations de causalité entre les transports de marchandises effectifs et les facteurs d'influence, respectivement les motivations des organes de décision logistiques et des milieux économiques commanditaires de transport, sont basés jusqu'à aujourd'hui exclusivement sur des estimations. Ces relations causales devraient être approfondies, puis fondées selon une approche empirique.
- **Rétroactions concernant les capacités de chargement:** en considérant les taux d'utilisation ou les limites de capacités dans les installations de transbordement, il serait souhaitable d'intégrer des effets de rétroaction. Compte tenu des processus actuels, de telles boucles impliqueraient des temps de traitement des données beaucoup trop longs.
- **Matrice de résistance:** lors du calcul de répartition, au début du processus, la répartition devrait se faire en fonction du coût du transport de la catégorie de marchandise considérée et non en fonction de la durée de transport par camion. Actuellement, la procédure est prévue ainsi pour des raisons de simplicité (temps de traitement des données plus court, moins de capacité de mémoire requise).

Perspectives

Le MNTM fournit un cadre méthodique au développement structuré du modèle national de transport de marchandises. En la matière, les objectifs devraient être de continuer à généraliser le haut niveau de précision du modèle existant sans perdre la capacité de répondre aux exigences propres au transport de marchandises (logistique et répartition des marchandises en groupes homogènes).

1 Ausgangslage und Zielsetzung

1.1 Ausgangslage

Das Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) hat in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Verkehr (BAV) und dem Bundesamt für Strassen (ASTRA) ein bimodales Verkehrsmodell für den nationalen Güterverkehr des UVEK (NGVM-UVEK) auf Strasse und Schiene durch die PTV erarbeiten lassen. Mit dem Güterverkehrsmodell sollen die Entscheidungsgrundlagen für verkehrspolitische Massnahmen verbessert werden.

Das Güterverkehrsmodell berechnet die Güterverkehrsnachfrage und arbeitet dafür mit verschiedenen Softwareprogrammen (Excel, MUULI und VISUM), für die jeweils aufbereitete Eingangsgrössen (Strukturdatentabellen, Parameterdateien, Netze usw.) zur Verfügung gestellt werden. Die Modellstrukturen des Güterverkehrsmodells ermöglichen Modellberechnungen für einzelne Gütergruppen wie auch zur Logistik.

Für den Zustand 2005 lagen im Sommer 2009 Nachfragematrizen und die dazugehörigen Netzbelastungen vor. Die Nachfrageberechnungen wurden für den Binnen- und Ziel-/Quellverkehr durchgeführt. Der Transitverkehr wurde auf der Grundlage der Grenzverkehrserhebungen übernommen.

1.2 Zielsetzung

Um die Modellqualität weiter zu verbessern und einen besseren Überblick zu den Modellreaktionen und Einsatzmöglichkeiten zu erhalten, waren folgende Ziele Bestandteil dieser Untersuchung:

- Prüfung der Inputdaten,
- Validierung der Outputdaten
- Modellneukalibration für den Ist-Zustand 2005, um die Modellqualität zu verbessern.
- Überprüfung der Modellstrukturen mit Hilfe von Sensitivitätsberechnungen, um die Reaktionen des Modells bei Variation einzelner Einflussfaktoren zu kennen.
- Dokumentation der Ergebnisse, damit für Aussenstehende der Nutzen und die Anwendungsmöglichkeiten des Güterverkehrsmodells transparenter sind.

Nach Projektabschluss soll das Modell für verschiedene Modellanwendungen zur Verfügung stehen.

1.3 Vorgehen

Die Bearbeitung erfolgte zwischen September 2009 und März 2011 im Rahmen von 5 Arbeitspaketen gemäss Abbildung auf der folgenden Seite.

- Das Arbeitspaket 1 umfasste das Projektmanagement und die Sitzungen.
- Im Arbeitspaket 2 wurden die Netz- und Nachfragedaten sowie die Übereinstimmung der Modellergebnisse mit der Realität überprüft.
- Im Arbeitspaket 3 wurden aufgrund der Validierungsergebnisse Modellanpassungen vorgenommen und das Modell für den Zustand 2005 neu kalibriert. Die Bearbeitung der

Arbeitspakete 2 und 3 verlief teilweise parallel, da nach durchgeführten Modellanpassungen auch die Validierung wieder aktualisiert werden musste.

- Im Arbeitspaket 4 wurden auf der Basis des neu kalibrierten Güterverkehrsmodells Sensitivitätsberechnungen durchgeführt.
- Das Arbeitspaket 5 umfasst die Dokumentation der Ergebnisse sowie die Aktualisierung des Handbuchs.

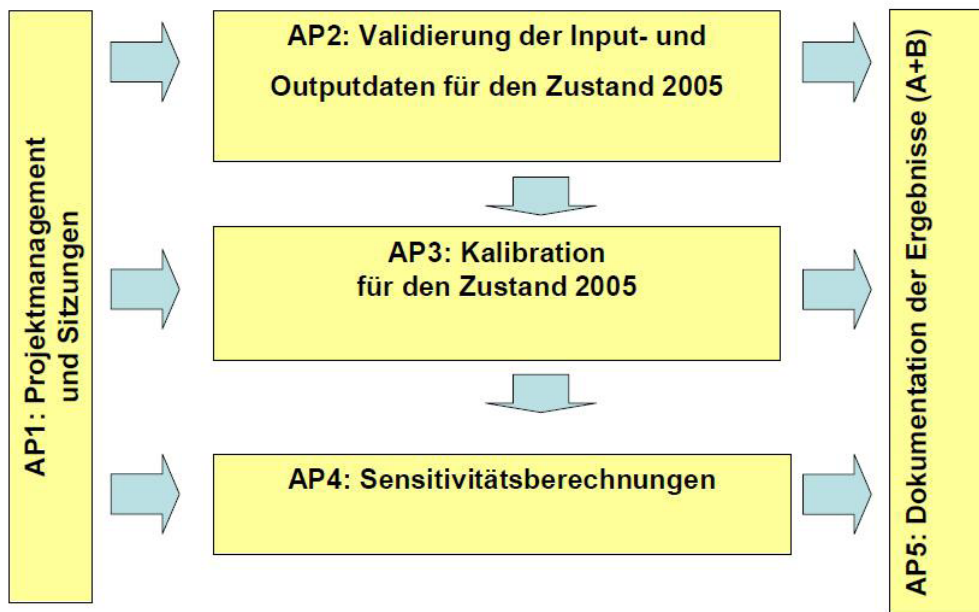


Abbildung 1-1: Vorgehen und Arbeitspakete

1.4 Begleitung

Das Validierungsprojekt wurde von verschiedenen Bundesstellen und der SBB Infrastruktur begleitet. Die Begleitgruppe umfasste folgende Mitglieder:

- Dr. Helmut Honermann, Bundesamt für Raumentwicklung, Sektion Grundlagen (Vorsitz)
- Philippe Marti, Bundesamt für Statistik, Sektion Mobilität
- Walter Züst, Bundesamt für Verkehr, Sektion Güterverkehr (bis 31.12.2010)
- Christoph Schreyer, Bundesamt für Verkehr, Sektion Güterverkehr (ab 1.1.2011)
- Nadine Wirnitzer, SBB Infrastruktur, Fahrplan & Netzdesign

Der Auftragnehmer wurde unterstützt durch Michael Arendt (Arendt Consulting), welcher an den Begleitgruppensitzungen ebenfalls teilnahm. Die Begleitgruppe traf sich im Rahmen von 4 Arbeitssitzungen, diskutierte Zwischenergebnisse und legte das weitere Vorgehen fest.

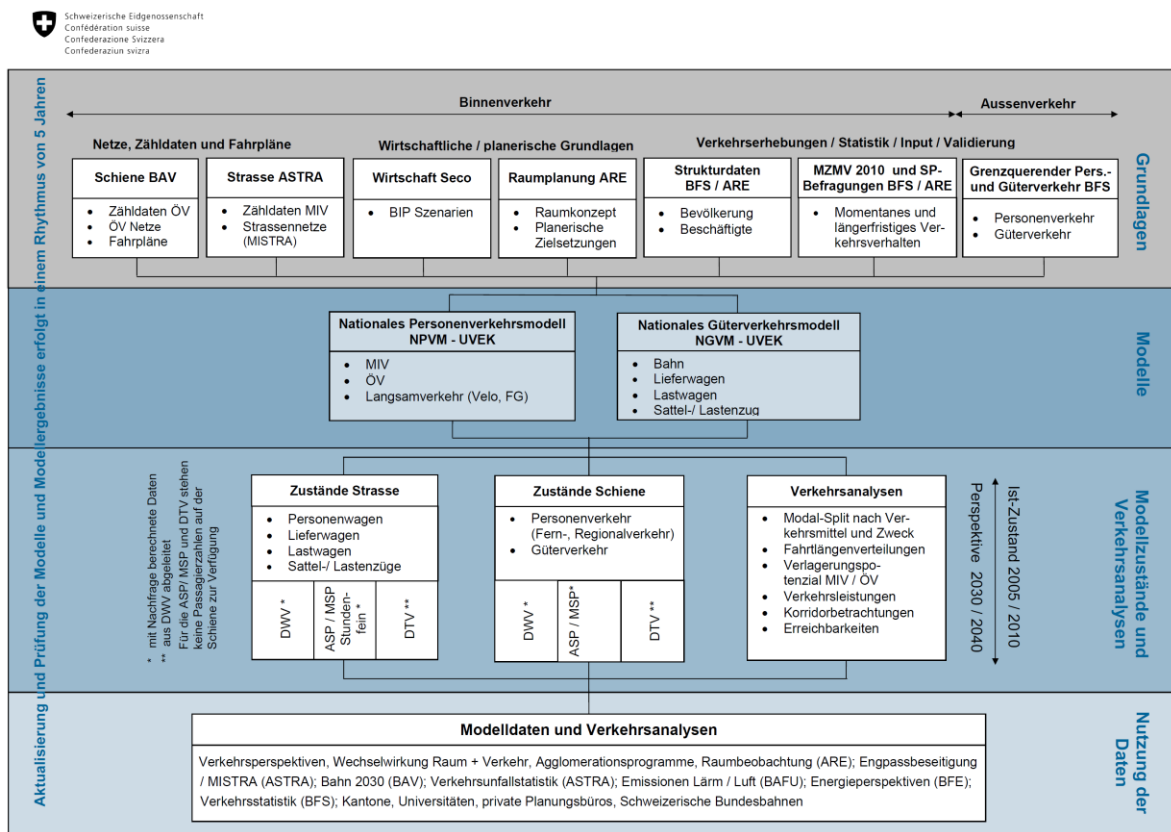
1.5 Modellstrukturen des VM-UVEK

Das Güterverkehrsmodell fügt sich in die Verkehrsmodelle des VM-UVEK ein, mit denen die Gesamtheit des Verkehrs aller Verkehrsträger im Bezugsgebiet Schweiz auf der Basis von Strukturdaten, Angeboten (Netzen) und empirisch ermittelten Parametern (des Verhaltens, des Verbrauchs usw.) berechnet und für verschiedene Darstellungen und Anwendungen bereitgestellt wird.

Das Gegenstück des Güterverkehrsmodells ist das Personenverkehrsmodell, das als bimodales Verkehrsmodell für den nationalen Personenverkehr (NPVM) erstellt wurde.

Beide Modelle basieren teilweise auf gleichen Grundlagen, dies gilt insbesondere für die Verkehrszelleneinteilung, das Straßennetz und einige Strukturdaten (Einwohner). Damit ist eine gegenseitige Übernahme von Ergebnissen beziehungsweise die Übernahmen von Ergebnissen aus beiden Modellen für aufbauende Untersuchungen und Darstellungen möglich. Vorgesehener Zweck ist es, Belastungen graphisch darzustellen und die Grundlagen für Leistungsbetrachtungen und die Berechnung von Lärm- und Luftschadstoffemissionen bereitzustellen.

Die nachfolgende **Abbildung 1–2** gibt einen Überblick über die Modellstrukturen der Verkehrsmodellierung im UVEK.



ARE, VM-UVEK, 5.5.2010

Abbildung 1–2: Modelstruktur der Verkehrsmodellierung im UVEK

1.6 Verwendete Grundlagen

Die verwendeten Grundlagen und Quellen gehen aus dem Literatur- und Quellenverzeichnis hervor. Die verwendeten Daten werden in den entsprechenden Berichtskapiteln näher erläutert.

1.7 Aufbau des Berichts

Der vorliegende Bericht ist wie folgt aufgebaut:

1. Ausgangslage und Zielsetzung (M. Ruesch)
2. Modellaufbau (N. Schick)
3. Aufkommens- und Verteilungsmodell (N. Schick)
4. Verkehrs- und Logistikangebot (N. Schick)
5. Modal Split und Kostenmodell (N. Schick)
6. Validierungsgrundlagen (M. Dietermann/M. Ruesch)
7. Kalibrierungsergebnisse (N. Schick)
8. Sensitivitätsberechnungen (N. Schick/M. Arendt)
9. Gesamtbeurteilung und Empfehlung (M. Dietermann/M. Ruesch/T.Schmid/N. Schick/Thomas Haupt)
10. Anhang mit Datentabellen und Validierungsergebnissen

In den Kapiteln 2 bis 5 werden der Modellaufbau und die Modellkomponenten beschrieben. Im Kapitel 6 werden die Validierungsgrundlagen erläutert, zusammengestellt und beurteilt. Im Kapitel 7 werden die Kalibrierungsgrundlagen den Modellergebnissen gegenübergestellt. Das Kapitel 8 beschreibt die Untersuchungsfälle und die Ergebnisse der Sensitivitätsberechnungen. Im Kapitel 9 erfolgt eine Gesamtbeurteilung mit Vorschlägen für die Weiterentwicklung sowie einer Darstellung der heutigen Einsatzmöglichkeiten und -grenzen.

Ergänzend gibt es ein Glossar sowie ein Literatur- und Quellenverzeichnis.

Zusätzlich zum vorliegenden Bericht gibt es ein Handbuch zum Güterverkehrsmodell, welches dem Modellanwender die notwendige Unterstützung liefert.

2 Modellaufbau

2.1 Modellphilosophie

Grundlage des Güterverkehrsmodells ist die realwirtschaftliche Abbildung der Ökonomie eines Landes. Güterverkehr entsteht durch das Auseinanderfallen der Orte, an denen Waren erzeugt, verarbeitet und verbraucht werden. Die Erzeugung und der Verbrauch von Waren sind überwiegend natürlichen Gegebenheiten geschuldet (z.B. Rohstoffe) oder sie entstehen durch den Konsum von Menschen an ihrem Wohnort (z.B. Lebensmittel und Konsumgüter). Eine Vielzahl von Prozessen, von denen einige mit einem Transportvorgang verbunden sind, liegen zwischen Rohstoffgewinnung, Konsum und der abschließenden Deponierung von Aschen und Schlacken. In vielen Fällen sind von den komplexen Wertschöpfungsketten nur wenige Glieder im betrachteten Raum existent. Dies gilt auch für größere Raumeinheiten wie die Schweiz, die beispielsweise Rohstoffe, Futtermittel, Energieträger und Vorprodukte importieren und verschiedenste Halbfertig- und Fertigprodukte exportieren.

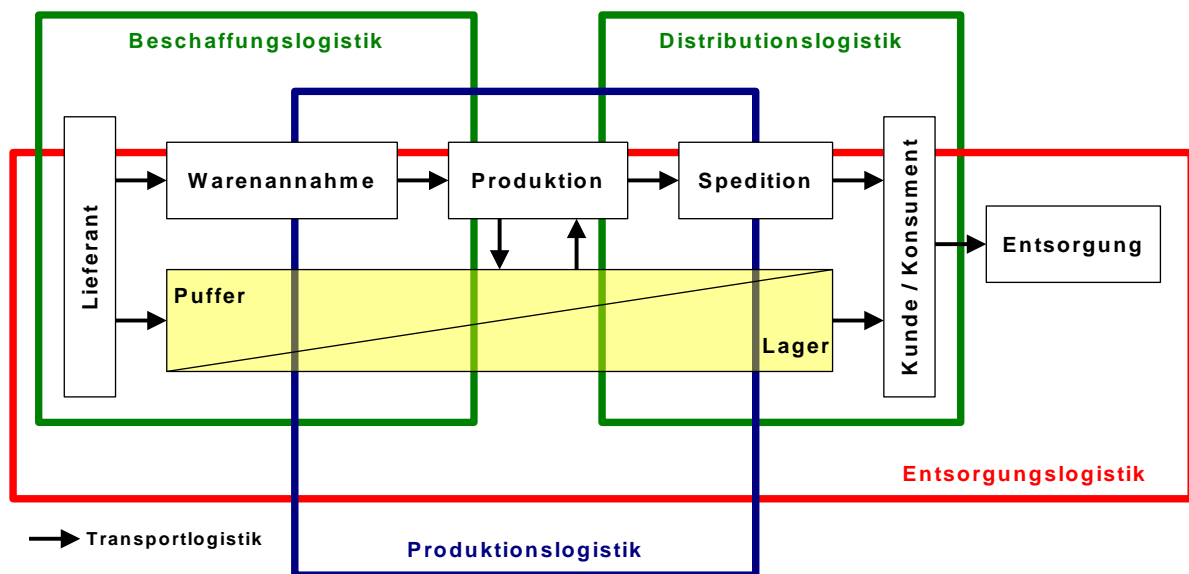


Abbildung 2-1: Zusammenhänge Logistik und Transporte (Quelle: Rapp Trans AG / IAS ZHAW 2009)

Die Existenz von Prozessen, bei denen Stoffe erzeugt, umgeformt oder vernichtet werden, kann über Strukturdaten abgeschätzt werden. Nutzbare Strukturdaten sind z.B. Beschäftigungsdaten, die nach Branchen differenziert sind oder Angaben über die Flächennutzung in Kommunen. In vielen Prozessen besteht eine ausgeglichene Massenbilanz (Summe Input = Summe Output). Ausnahmen davon sind überwiegend Verbrennungsprozesse oder Prozesse bei denen Wasser hinzugefügt wird (Wasser und Abgase werden im Güterverkehrsmodell nicht betrachtet). Grundsätzlich gilt daher, dass Waren, die an einer Stelle verbraucht werden, an einer anderen Stelle erzeugt werden müssen. Vereinfachend wird angenommen, dass in dem betrachteten Zeitraum eines Jahres Lager weder auf- noch abgebaut werden. Es gilt daher für alle Waren, dass die Summe aller erzeugten Waren gleich dem Verbrauch aller erzeugten Waren ist. Auftretende Differenzen im betrachteten Bezugsgebiet werden durch Import und Export über die Grenzen des Bezugsgebiets ausgeglichen.

Ohne Berücksichtigung des Transportmittels wird zunächst eine Verteilungsrechnung durchgeführt, die die Massenbilanzen für alle Waren für alle Zonen ausgleicht. Aus der Perspektive einer einzelnen Zone werden Waren, die in der Zone erzeugt aber nicht verbraucht werden, an

andere Zonen exportiert. Analog werden Waren, die verbraucht, aber nicht erzeugt werden, importiert.

In vielen Fällen erfolgt die Bedienung eines Warenstromes zwischen zwei Zonen nicht als direkte Lieferung. Vielmehr werden Waren über logistische Netzwerke gebündelt transportiert. Diese Bündelung erfolgt sowohl warenübergreifend als auch bei der Bedienung von Relationen (z.B. von benachbarten Zonen). Ziel der logistischen Bündelung ist die Minimierung von Logistikkosten unter Nebenbedingungen, die überwiegend durch die Art der Ware definiert werden (Haltbarkeit, Aggregatzustand, Warenwert, Möglichkeit des gemeinsamen Transports mit anderen Waren usw.).

Die Unterschiede der Waren in Bezug auf ihren Aggregatzustand, ihr spezifisches Gewicht, ihre Verwendung (Food, Non-Food, Rohstoff, Halbzeug, Fertigprodukt, Abfall), ihre Haltbarkeit, ihren Wert und ihre besonderen Transportansprüche (z.B. Kühlbedarf) machen eine Unterscheidung in eine größere Anzahl von Gutarten erforderlich. Übliche Einteilungen in Warengruppen (z.B. der Zollstatistik) können hier nicht direkt übernommen werden, wenn einerseits logistische relevante Merkmale unterschieden werden sollen und andererseits die betrachtete Zahl der Gutarten in einer modelltechnisch handhabbaren Größenordnung bleiben soll. Weitere Kriterien für die Definition von Gutarten sind die Verfügbarkeit von zuordenbaren Strukturdaten und die absolute Menge im Untersuchungsgebiet.

Für die Bedienung der Transportbedürfnisse für unterschiedliche Waren haben sich unterschiedliche „logistische Systeme“ herausgebildet. Das primäre Unterscheidungsmerkmal der logistischen Systeme ist die Frachtart, d.h. die Art und Weise wie der Transport und Umschlag der Waren z.B. unter Verwendung von Transportgefäßen (Palette, Container, Tank) durchgeführt wird. Lebensmittel und Nicht-Lebensmittel werden ebenfalls – auch bei großer Ähnlichkeit der physischen Eigenschaften der Ware – in unterschiedlichen logistischen Netzen transportiert. Es wird unterstellt, dass Waren, die mit einem logistischen System transportiert werden, auf dem gesamten Transportweg in diesem System bleiben. Es gibt jedoch Waren, die in Abhängigkeit von der Größe des Warenstroms, der Transportentfernung oder formaler Kriterien (z.B. Grenzübertritt mit Verzollung) mehrere logistische Systeme nutzen. Jedes logistische System hat seine spezifischen logistischen Elemente wie Umschlagpunkte, Logistikterminals usw.. Die meisten logistischen Systeme sind multimodal. Sämtliche Transportkosten werden ebenfalls für logistische Systeme definiert.

Innerhalb eines logistischen Systems sucht sich ein Warenstrom (umgerechnet in Sendungen der jeweiligen Transportgefäße) zwischen Start und Ziel einen kostenminimalen Weg. Neben den Logistikkosten spielen hier auch noch die Versenderkosten eine Rolle. Die Versenderkosten sind die Kosten, die beispielsweise durch den Warenwertverlust bei begrenzter Haltbarkeit oder die Zinskosten, die bei hochwertigen Waren durch die Dauer der des Transportes entstehen. Umschlagvorgänge an Bahnhöfen oder Logistikzentren können Bestandteil eines kostenminimalen multimodalen Weges sein. In der Praxis existieren neben Kosten weitere Kriterien für die Wahl eines Weges, die jedoch schwer quantifizierbar und in einem Modell abzubilden sind. Die im Modell enthaltene Erweiterung der Kostenbetrachtung um Versenderkosten ist bereits eine signifikante Erweiterung gegenüber einer ausschließlichen Betrachtung von Logistikkosten. Die Wirkung der Berücksichtigung von Versenderkosten (bessere Bewertung schnellerer und umschlagfreier Wege, meist mit dem Lkw) hat größtenteils die gleiche Richtung wie sie eine Bewertung von Zuverlässigkeit, Flexibilität, Frequenz, Freundlichkeit und Kompetenz des Personals (meist zu Lasten der Bahn) hätte.

Anschließend wird der Weg jeder Warensendung analysiert. An Stellen, an denen ein Umschlag stattfindet, wird der Weg zerlegt. Die erzeugten Teilwege sind modal homogen. Die so bestimmten Teilwege werden in Fahrten unterschiedlicher Fahrzeuge umgerechnet. Aus einer Warensendung von A nach D wird so beispielsweise eine Menge von Lkw-Fahrten von A nach B,

eine andere Menge Eisenbahn-Waggon-Fahrten von B nach C und eine dritte Menge Lkw-Fahrten von C nach D, wenn die Warensendung an den Umschlagpunkten B und C vom Lkw auf die Bahn bzw. umgekehrt umgeschlagen wird. Die unterschiedlichen Mengen von Fahrzeug-fahrten sind der Tatsache geschuldet, dass die beteiligten Fahrzeuge auf Grund unterschiedlicher Kapazitäten unterschiedliche Ladungsmengen transportieren.

Die Fahrten der Fahrzeuge werden im Verkehrsnetz umgelegt und erzeugen so Belastungen der einzelnen Netzelemente (Straßen, Eisenbahnstrecken). Zuvor werden noch Leerfahrten erzeugt. In vielen Fällen erfolgt dies durch Spiegelung der Relationen der vollen Fahrzeuge. In einigen logistischen Netzen können Leerfahrten durch Ladung in die Gegenrichtung vermieden werden. In diesen Fällen wird ein Leerfahrtenausgleich berechnet.

2.2 Detaillierung und Modal Split-Berechnung

Zentrale Aufgabe jeden Verkehrsmodells ist die Berechnung des Modal Splits als Aufteilung der Verkehrsleistung auf die unterschiedlichen Verkehrsträger und Fahrzeuge. Die Vorgehensweise der Modal Split-Berechnung ist wesentlich vom Grad der räumlichen und nachfragebezogenen Detaillierung des Verkehrsmodells abhängig.

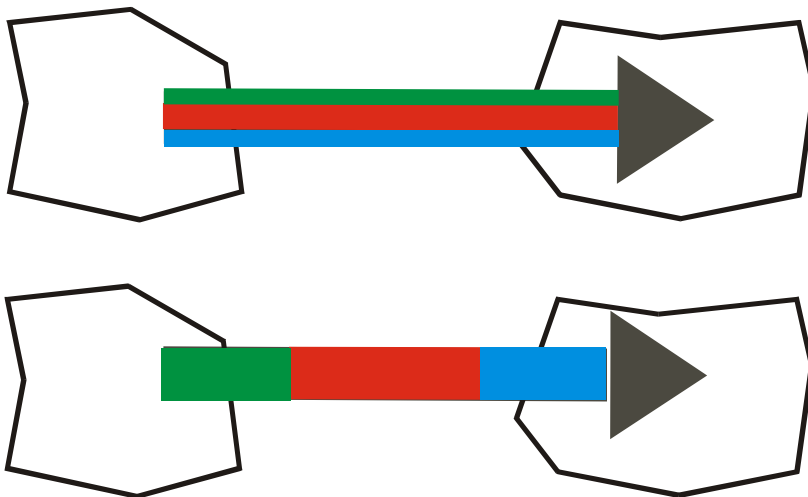


Abbildung 2-2: Prinzipskizze: relationsbezogener Modal Split (oben) und teilwegbezogener Modal Split (unten) zwischen zwei Bezirken, Aufteilung jeweils auf 3 Verkehrsmittel im Verhältnis 30:40:30

Das Güterverkehrsmodell verfolgt mit der räumlichen Einteilung der Verkehrsbezirke (2945 in der Schweiz und 156 im benachbarten Ausland), der Gruppierung der Waren in 118 Gutarten und der Definition von 19 logistischen Systemen und dem Verzicht auf Rundungen bei Zwischenergebnissen einen sehr detaillierten Ansatz.

Bei kleinen Verkehrsbezirken und einer starken Aufspaltung der Nachfrage in Nachfragesegmente kann sich eine Aufteilung der Nachfrage auf verschiedene Verkehrsträger auch durch eine Mischung der Routen benachbarter Bezirke und mehrerer Nachfragesegmente einstellen. Im aktuellen Ausbauzustand verzichtet das Verkehrsmodell auf eine modale Aufteilung der Routen für eine Relation zwischen zwei Verkehrsbezirken mit einem logistischen System und für eine Gutart (siehe oberer Teil der obigen Grafik). Statt einer Aufteilung der Nachfrage wird stets die gesamte Nachfrage einer Gutart und eines logistischen Systems auf einer Relation vollständig auf den Weg mit dem minimalem Widerstand (= minimale Kosten) umgelegt. In vielen Fällen mit Umschlag der Waren entsteht so ein teilwegbezogener Modal Split (unterer Teil der obigen Grafik). Da ein großer Teil der Gutarten über mehrere logistische Systeme umgelegt wird, viele Gutarten betrachtet werden und die Bezirkseinteilung relativ fein ist,

ergibt sich die modale Aufteilung indirekt durch die hohe Detaillierung als eine Kombination von relationsbezogenem und teilwegbezogenem Modal Split.

Die Wirkung der Detaillierung auf die Modal Split-Berechnung lässt sich am besten durch vergleichende Beispiele erläutern:

1. Die feine räumliche Auflösung ermöglicht es, dass der Aspekt der Erschließung von Industriebetrieben durch die Bahn (z.B. durch Anschlussgleise) relativ genau abgebildet werden kann. Die Verfügbarkeit der Bahn durch einen Gleisanschluss oder einen nahe-
liegenden Bahnhof mit Güterverlademöglichkeit ist ein zentrales Kriterium für die Verkehrsmittelwahl (bei Personenverkehrsmodellen kommt der Pkw-Verfügbarkeit oder dem Führerscheinbesitz eine ähnliche Rolle zu). Bei einer gröberen Einteilung der Verkehrsbezirke (z.B. bei ca. 300 Bezirken in der Schweiz) entfällt die Möglichkeit, die Erschließung durch die Bahn abzubilden, da dann, von wenigen Ausnahmen abgesehen, alle Verkehrsbezirke über einen Bahnanschluss verfügen würden. Die Modal Split-Berechnung müsste dann auf dieses Kriterium mit dieser klaren Ausprägung (vorhanden/nicht vorhanden) verzichten. Bei theoretisch möglichen 9 Mio. Beziehungen je Gutart ermöglicht eine 0/1-Entscheidung (in Abhängigkeit der Verfügbarkeit eines Bahnanschlusses) eine bessere Modal Split-Bestimmung wie eine alternative, komplexere Entscheidungsfunktion, die eine modale Aufteilung der Nachfrage bei signifikant weniger Verkehrsbezirken vornimmt. Bei Personenverkehrsmodellen erhöht analog die Differenzierung der Bevölkerung in Gruppen mit und ohne PW-Verfügbarkeit die Genauigkeit der Modal Split-Berechnung. Die modalen Entscheidungen jeder Bevölkerungsgruppe sind wesentlich homogener (unter Umständen ebenfalls 0/1) und die räumliche Konzentration von Bevölkerungsgruppen führt zu lokal unterschiedlichem Modal Split.
2. Die Differenzierung der Gutarten auch nach logistischen Kriterien ist ebenfalls für die Modal-Split Berechnung hilfreich. Angewendet wird dies bei den mengenmäßig sehr bedeutenden Mineralölprodukten. Das Güterverkehrsmodell unterscheidet hier vier Gutarten: Treibstoffe, Heizöl, Kerosin und Industriebrennstoffe (einschließlich Grundstoffen der chemischen Industrie). Treibstoffe und Benzin werden üblicherweise auf der „letzten Meile“ per Lkw an Tankstellen und Haushalte geliefert. Die Existenz von Anschlussgleisen und Güterbahnhöfen ist hierfür ohne Bedeutung. Im Gegensatz dazu werden Kerosin und Industriebrennstoffe meist in größeren Chargen, sofern vorhanden, über Anschlussgleise den jeweiligen Abnehmern zugestellt. Eine naheliegende Zusammenfassung der vier Gutarten zu einer Gutart „Mineralölprodukte“ könnte diese Unterschiede nicht abbilden.

2.3 Modellkomponenten

2.3.1 Vereinfachter Überblick

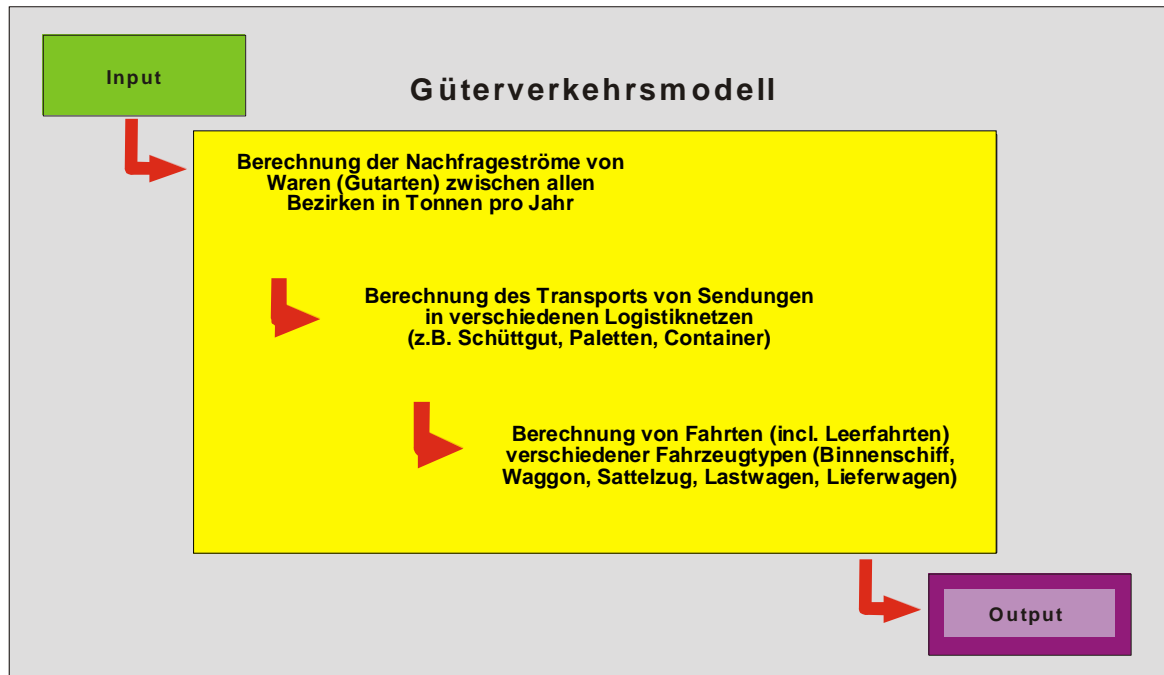


Abbildung 2-3: Vereinfachter Überblick: Drei Hauptmodule

Das Güterverkehrsmodell kann in drei Hauptmodule, die aufeinander aufbauen und jeweils bereits Ergebnisse in Matrizenform erzeugen, aufgeteilt werden (siehe Abbildung 2-3). Diese sind:

1. Berechnung der Nachfrageströme von Waren (Gutarten) zwischen allen Bezirken
2. Berechnung des Transports von Sendungen in verschiedenen Logistiknetzen
3. Berechnung von Fahrten (incl. Leerfahrten) verschiedener Fahrzeugtypen

Die Einheiten der Nachfrageergebnisse sind jeweils unterschiedlich und eine direkte Umrechnung ist in der Regel nicht möglich. Diese Dreistufigkeit ist der fundamentale Unterschied zu Personenverkehrsmodellen.

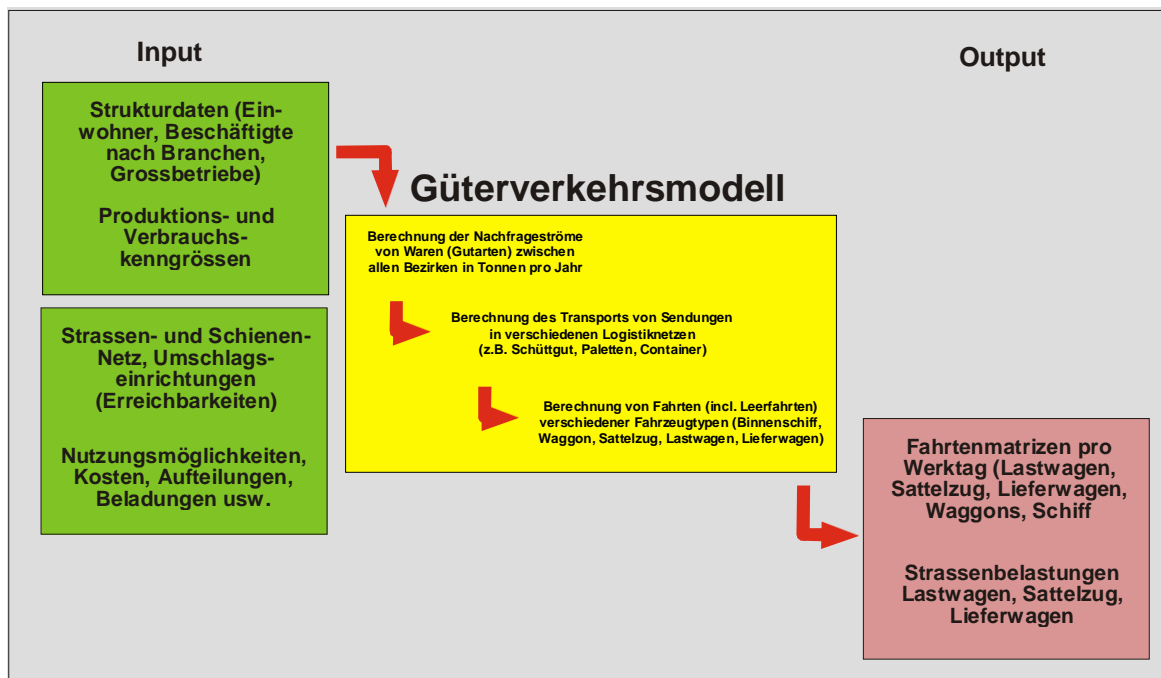


Abbildung 2-4: Input- und Outputdaten des Güterverkehrsmodells

Der erforderliche Input des Güterverkehrsmodells lässt sich in zwei Bereiche aufteilen, die jeweils in harte und weiche Eingangsgrößen aufzuteilen sind. Die harten Eingangsgrößen sind konkrete Daten mit Ortsbezug, die vor Ort nachprüfbar sind und selbstverständlich mit einer notwendigen Vereinfachung Eingang finden. Die weichen Eingangsgrößen sind häufig nicht konkret messbare und überprüfbare Annahmen über Gesetzmäßigkeiten, Abläufe oder funktionale Zusammenhänge zu denen Parameter angenommen werden müssen. Diese sind häufig trivial („Kühe geben Milch“), manchmal sind sinnvolle Annahmen oder die Übertragung eines Falles auf die Gesamtheit möglich (Beispiel: Brennstoffzusammensetzung bei der Zementproduktion). In einigen Fällen ist es nur möglich, diese Parameter aufgrund der Plausibilität des Ergebnisses zu bestimmen (z.B. Beladungsgrade von Lkw).

Der Output sind, wie bei jedem Verkehrsmodell, Nachfragematrizen die – umgelegt auf das Netz – Netzbelastungen generieren.

2.3.2 Ablauf der Güterverkehrsmodellierung

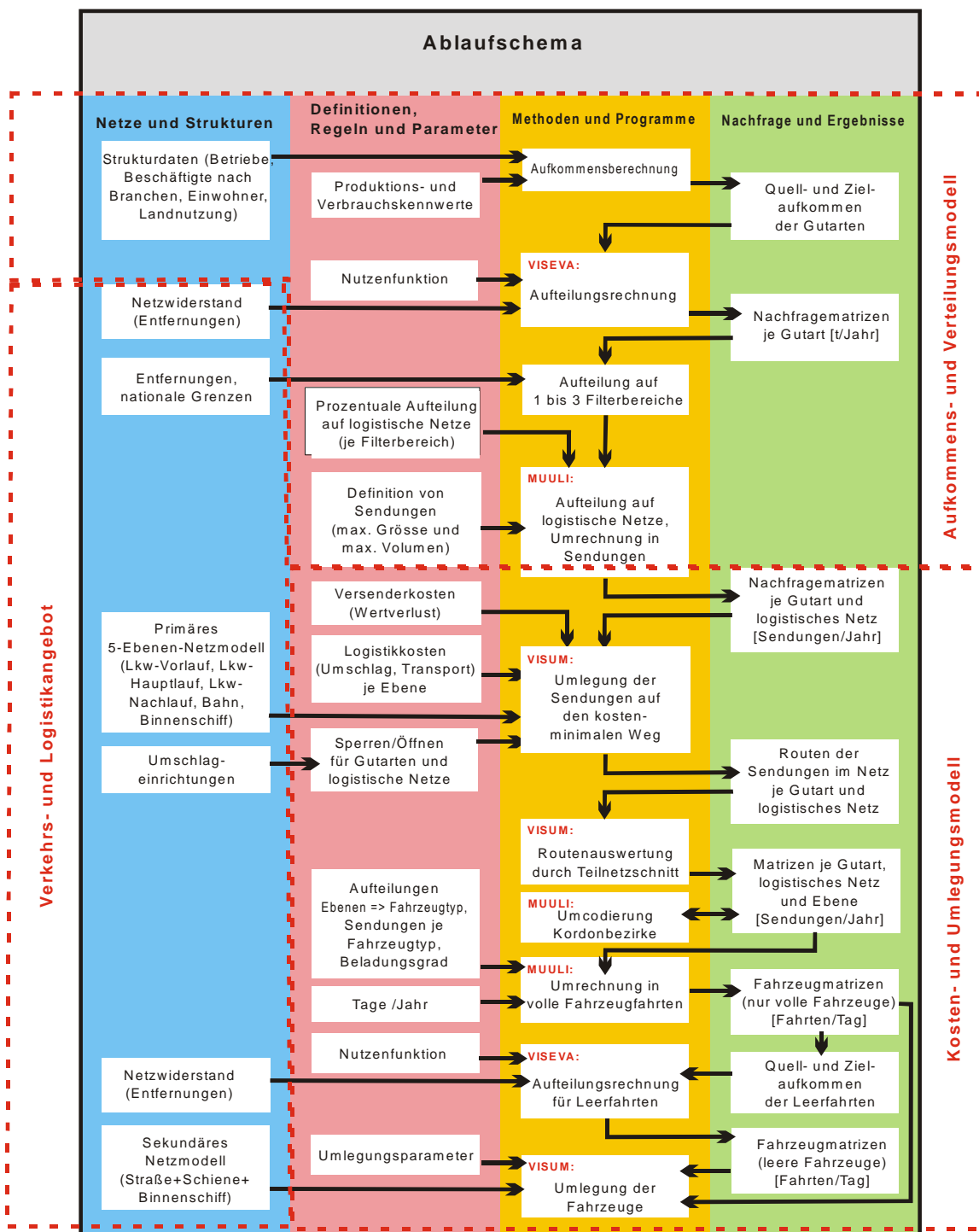


Abbildung 2-5: Ablaufschema des Güterverkehrsmodells

Die obige Grafik gibt einen Überblick über die einzelnen Inputdaten durch Netze und Strukturdaten (blau), die vom Anwender zu definierenden Parameter (rot), den Ablauf der Berechnung mit den verwendeten Softwareprogrammen (gelb) und die Ergebnisse und Zwischenergebnisse (grün). Durch gestrichelte rote Linien sind die Elemente in diesen vier Säulen den typischen Modellteilen eines Verkehrsmodells zugeordnet: Das Aufkommens- und Verteilungsmodell, das Verkehrs- und Logistikangebot in der Form von Netzen und das Kosten- und Umlegungsmodell. Die Pfeile stellen den Informations- und Datenfluss dar. Die Grafik lässt sich beispielhaft wie

folgt lesen: Die Strukturdaten (oben links in der blauen Säule) und die Produktions- und Verbrauchskennwerte (rechts daneben in der roten Säule) bilden die wesentlichen Eingangsgrößen für die Aufkommensberechnung (oben in der gelben Säule). Das Ergebnis dieses Berechnungsschrittes ist das Quell- und Zielaufkommen der Gutarten (oben in der grünen Säule). Dieses Zwischenergebnis ist der Input in die Aufteilungsrechnung mit Hilfe von VISEVA.

Kapitel 3 beschreibt die Komponenten des Aufkommens- und Verteilungsmodells zu Beginn des Ablaufs sowie die methodisch ähnliche Berechnung der Leerfahrten am Ende des Ablaufs.

Kapitel 4 beschreibt die Komponenten des Verkehrs- und Logistikangebots, darunter die „virtuellen Netze“ (logistische Netze) als auch die Modellabbildung der realen Netze.

Kapitel 5 beschreibt die Komponenten des Kosten- und Umlegungsmodells aus dem sich die modale Aufteilung der Nachfrage auf unterschiedliche Verkehrsträger ergibt.

2.4 Klassische Güterverkehrsmodelle

Im Vergleich mit Personenverkehrsmodellen wurde bis heute weit weniger in die Forschung und Entwicklung von Güterverkehrsmodellen investiert. Die Modellierung gestaltet sich weit schwieriger, da im Güterverkehr sehr spezifische Akteurguppen (z.B. Verlager, Speditionen, Logistikdienstleister, Strassentransportunternehmen, Eisenbahnverkehrsunternehmen, etc.) mit teilweise sehr dominanter Marktposition das Güterverkehrsgeschehen massgebend beeinflussen. Hinzukommen starke Wechselwirkungen der Logistik mit der Güterproduktion und die Einbindung in die komplexen volkswirtschaftlichen Zusammenhänge des Welthandels, der regionalen und internationalen Arbeitsteilung und die starke Abhängigkeit von gesetzlichen Regelungen, beispielsweise der Abfallwirtschaft.

Die Fragen, die mit Hilfe von Güterverkehrsmodellen beantwortet werden sollen, reichen von der Infrastrukturplanung von Straßen und Schienen über die Standortplanung von Umschlageneinrichtungen, die Optimierung von logistischen Prozessen bis hin zur politischen Steuerung der Verkehrsmittelwahl. Zur Minimierung des Dateninputs und der Komplexität verfolgen Güterverkehrsmodelle bisher folgende Ansätze:

- Die Modelle sind räumlich und/oder in der Nachfragedifferenzierung stark aggregiert.
- Die Modelle konzentrieren sich auf einen eingegrenzten Teilmarkt, z.B. den Containerverkehr.
- Die Modelle nutzen empirische Daten (Frachtbriefe, Zählungen und Befragungen) nicht nur zur Kalibration sondern als Dateninput. Darauf wird ein indexbasiertes Modell aufgebaut.

Trotz der Schwierigkeiten wurden auch für den Güterverkehr Teilmodelle analog zu den klassischen Vier-Schritt-Personenverkehrsmodellen entwickelt. Die klassischen Güterverkehrsmodelle bestehen (zumindest gedanklich) aus fünf Teilmodellen:

- Potenzialmodell (Produktion und Attraktion von Gütern je Modellzone)
- Verteilungsmodell (Verteilung der Güter auf Quell-Zielzonenbeziehungen)
- Modal Split Modell (Aufteilung der Güter auf die Verkehrsträger)

- Umrechnungsmodell (Umrechnung der Tonnenmatrizen in beladene und leere Fahrzeugmatrizen)
- Umlegungsmodell (Ermittlung der Routen und Querschnittsbelastungen)

Zwischen dem Modal Split Modell und dem Umlegungsmodell ist also ein zusätzliches Teilmodell, das Umrechnungsmodell erforderlich. Die Umrechnung der Tonnen in beladene Fahrzeuge erfolgt je Verkehrsträger und Warengruppe. Die Ermittlung der leeren Fahrzeuge je Beziehung ist eine sehr anspruchsvolle Teilaufgabe dieses Modellteils.

Die meisten bisher entwickelten Güterverkehrsmodelle sind aggregierte Modelle. Disaggregierte Modelle und discrete choice Modelle wurden nur für das Teilmodell Modal Split entwickelt.

Unter der Voraussetzung einer idealen Datenlage kann der Stand der klassischen Güterverkehrsmodellierung¹ wie folgt charakterisiert werden:

- Für **Potenzialmodelle** stehen heute Input/Output-Modelle im Vordergrund. Wesentliche Vorteile liegen im Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Entwicklung, in der möglichen Interaktion mit siedlungsstrukturellen Entwicklungen und der Politik-Sensitivität. Wichtige Grundlagen für Input/Outputmodelle sind multiregionale Handelsströme im Binnenverkehr und Import/Exportverkehr (evtl. aufgeteilt aufgrund von sozio-ökonomischen Faktoren) sowie Wertedichten nach Warengruppen. Input/Outputmodelle sind aber nur zweckmässig wenn einerseits verlässliche und aktuelle Input/Output-Tabellen sowie Wertedichten für die Umrechnung von Geld- in Güterflüsse verfügbar sind. Ist kein Input/Outputmodell möglich bietet sich ein Potenzialmodell auf der Basis von Regressionsansätzen an. Diese stellen den Zusammenhang her zwischen der Flächennutzung (Siedlungs- und Wirtschaftsstruktur) und den versandten bzw. empfangenen Gütermengen je Zone.
- Als **Verteilmodelle** stehen ebenfalls Input/Output-Modelle im Vordergrund, insbesondere wenn für das Potenzialmodell auch ein Input/Outputmodelle vorgesehen ist. Sind keine Input-Output-Tabellen verfügbar, steht ein Entscheidungsmodellansatz oder ein Gravitationsansatz im Vordergrund. Bisher war im Güterverkehr vor allem der Gravitationsansatz verbreitet. Entscheidungsmodelle werden heute vorwiegend im Personenverkehr und für die Modellierung des städtischen Sammel- und Verteilverkehrs eingesetzt.
- Als **Modal-Split-Modelle** stehen heute disaggregierte Ansätze im Vordergrund, bei welchen die Bedeutung der Entscheidungsfaktoren für die Verkehrsmittelwahl bzw. die Nutzenfunktionen auf der Basis von Stated Preference Untersuchungen geschätzt werden.
- Für die Ermittlung von Querschnittsbelastungen nach Verkehrsträger und Kapazitätsanalysen sind **Umrechnungsmodelle** erforderlich, welche aus Mengenströmen Fahrzeug- oder Bahnwagenströme ermitteln. Aufgrund der relativ hohen Leerfahrtenanteile (oft unpaarige Güterströme) ist es wichtig, auch die Leerfahrten mit einzu-beziehen.
- Als **Umlegungsmodelle** stehen heute separate Umlegungsmodelle und simultane Verkehrsmittel- und Routenwahlmodelle im Vordergrund. Der Hauptvorteil der separaten Umlegungsmodelle liegt in der Interaktion mit dem Personenverkehr (gleichzeitige

¹ Beispiele von klassischen Güterverkehrs- oder Teilmodellen: TAMM – Transalpine Multimodal Model, NEA (NL) 2009, NEAC Models (NL), Transtools, GB Freight model (GB)

Umlegung Personen- und Güterverkehr), der Hauptnachteil in der schwierigen Abbildung von Transportketten. Der Hauptvorteil der simultanen Verkehrsmittel- und Routenwahlmodelle liegt in der Abbildung von multimodalen Transportketten, wobei nicht immer plausible Resultate für die Verkehrs- und Routenkombinationen erzielt werden.

2.5 Gründe der Vorgehensweise im Unterschied zu klassischen Güterverkehrsmodellen

Eine räumlich detaillierte Betrachtung des Güterverkehrs entsprechend der Vorgabe einer mit dem Personenverkehrsmodell identischen Verkehrszelleneinteilung führt dazu, dass die kleinräumigen Strukturen des Güterverkehrs eine höhere Relevanz erhalten:

- Im Quell- und Zielverkehr einer relativ kleinen Verkehrszelle dominieren häufig einzelne oder wenige Fabriken, die eine sehr spezifische Charakteristik aufweisen.
- Analog spielen Umschlageneinrichtungen eine wichtige Rolle.
- Die Existenz von Gleisanschlüssen ist maßgeblich für die Verkehrsmittelwahl.
- Regionale Wirtschaftskreisläufe, die zum Teil nur kurze Wege beinhalten, müssen abgebildet werden.
- Im regionalen Wirtschaftsgeschehen haben Warenströme mit geringem oder gar negativem Wert einen relativ hohen Anteil (Bauwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft, Abfallwirtschaft). Eine Ableitung der Warenströme aus Finanzströmen ist daher nicht möglich.
- Eine Proportionalität der Warenströme zu aggregierten Strukturdaten (Summe Einwohner, Summe Arbeitsplätze) ist bei kleinteiliger Betrachtung nicht gegeben. Ein „Herunterbrechen“ von Nachfrageströmen aus einem aggregierten Modell auf die gegebene Verkehrszelleneinteilung würde zu erheblichen Differenzen führen.

Die gewählte Vorgehensweise bietet darüber hinaus eine Vielzahl von Vorteilen und Möglichkeiten:

- Die Vorteile einer synthetischen Nachfragemodellierung werden konsequent genutzt. Diese Vorteile sind in erster Linie, dass Quelle-Ziel-Informationen im Zusammenhang mit Umschlagvorgängen nicht verloren gehen und sämtliche Umrechnungsschritte nachvollziehbar sind.
- Disaggregierte Gutarten werden mit ihren wesentlichen logistischen Eigenschaften parametrisiert. Grobe Aggregate von Warengruppen sind dagegen bei kürzeren und mittleren Distanzen extrem riskant in Bezug auf ihre Vergleichbarkeit bei der Verkehrsmittelwahl. Die Anwendung gleicher Parameter einer Nutzenfunktion auf ein sehr inhomogenes Aggregat (Baustoffe: Zement <> Transportbeton) täuscht eine falsche Genauigkeit vor und kann zu falschen Schlussfolgerungen führen.

2.6 Die gewählte Güterverkehrsmodellierung im Vergleich mit der klassischen Personenverkehrsmodellierung

Das Güterverkehrsmodell hat gegenüber klassischen Personenverkehrsmodellen einen deutlich unterschiedlichen Ansatz. Drei Unterschiede sind hervorzuheben:

1. Bei Personenverkehrsmodellen wird unterstellt, dass zwei oder mehr grundsätzliche Alternativen bestehen, um von einem Ort zu einem anderen zu gelangen: Der motorisierte

Individualverkehr und der - in der Regel fahrplangebundene - öffentliche Personenverkehr mit Bus und Bahn. Je nach Modell kommen Fußgängerverkehr, Radverkehr oder Kfz-Mitfahrer als weitere Möglichkeiten hinzu. Für diese Möglichkeiten können die Entscheidungsparameter der Verkehrsmittelwahl erforderliche Reisezeit, Kosten oder Komfortaspekte wie Umsteigehäufigkeiten, Schienenstreckenanteil, Bedienungshäufigkeiten oder Zugangszeiten bestimmt werden. Die Reaktion der Reisenden auf Veränderungen des Angebotes sind aus Befragungen und Umfragen bekannt. Entsprechend können die Wahrscheinlichkeiten für die Wahl einer der angebotenen Möglichkeiten bestimmt werden. Da sich die Verkehrsmittel in den üblichen Einsatzbereichen der Verkehrsmodelle in einer Wettbewerbssituation befinden, gilt überwiegend, dass die Wahrscheinlichkeit der Wahl einer Alternative kleiner Eins ist, d.h. dass fast immer ein anderes Verkehrsmittel eine tatsächliche Alternative darstellt. Die tatsächliche Existenz von Alternativen ergibt sich unter anderem dadurch, weil die Verkehrsmittelwahl eine freie Entscheidung von Menschen mit unterschiedlichen Vorlieben und Wertungen darstellt, wobei die Entscheidung für jede Reise in der Regel wieder neu getroffen wird.

Der Betrachtung des Verkehrsmittelwechsels auf Teilrouten bzw. Routen mit einem Verkehrsmittelwechsel (abgesehen von Verkehrsmittelwechseln innerhalb des ÖV-Systems) wie Park & Ride, die Benutzung von Kfz-Fähren, Zubringerfahrten zu Bahnhöfen oder Flughäfen mit Taxen usw. spielen bei Personenverkehrsmodelle eine untergeordnete Rolle und werden häufig nicht oder nur rudimentär abgebildet.

Der Güterverkehr ist hier grundsätzlich anders strukturiert: Bei einem vorhandenen, funktionsfähigen Angebot existiert kein zwingender Grund, eine Alternative zu entwickeln. Es ist vielmehr wesentlich effektiver, das vorhandene Angebot zu optimieren. Dies führt dazu, dass die einmal getroffene Entscheidung der Verkehrsmittelwahl "durch den Bau von Laderampen, Anschlussgleisen usw. verfestigt wird und deshalb dem Wechsel des Verkehrsmittels eine relativ hohe Hürde entgegensteht.

Die Entscheidung über die Verkehrsmittelwahl hat nur unwesentliche subjektive oder einer individuell unterschiedlichen Bewertung folgende Entscheidungsparameter. Neben den Kosten spielt jedoch die Einhaltung von diversen Nebenbedingungen (Eigenschaften der Ware, die bestimmte Versandformen erfordern) eine Rolle.

2. Bei Personenverkehrsmodellen genügt es, den Zusammenhang zwischen dem Fahrzeug und seinem Inhalt zu vereinfachen. Dies geschieht in der Regel über einen einheitlichen Besetzungsgrad. Die Matrix der Personennachfrage geteilt durch diesen Besetzungsgrad ergibt die Matrix der Pkw-Fahrtenbeziehungen. Im Güterverkehr ist dieser Zusammenhang erheblich komplexer und bedarf deshalb eines eigenständigen Rechenschrittes. Folgende Aspekte sind hier zu berücksichtigen:
 - die Ladung (gemessen in Tonnen) eines Fahrzeuges ist von der Art der Ware, speziell dem spezifischen Gewicht der Ware abhängig. Es gibt Transportvorgänge, bei denen die maximale Ladung über das Gewicht bestimmt wird und andere Transportvorgänge, bei denen die maximale Ladung über das Volumen oder sogar über die Flächen bestimmt wird. Davon abhängig variiert die Zahl der erforderlichen Fahrten je Zeiteinheit.
 - Im Verlauf einer Route von A nach B kann sich die Ladungsmenge je Fahrzeug verändern, wenn eine Ware umgeschlagen wird.
 - Die Wahl des Fahrzeuges (mit unterschiedlicher maximaler Ladungsmenge) ist abhängig vom Warenaufkommen und der Transportentfernung.
3. Im Personenverkehr gibt es keine Leerfahrten. Sonderfälle wie Fahrten von Taxen ohne Passagiere oder Bring- und Holfahrten werden meist ignoriert oder vereinfacht abgebildet. Im Güterverkehr sind Leerfahrten aufgrund der oft unpaarigen Güterströme jedoch

allgegenwärtig und können mengenmäßig nicht ignoriert werden. Auch hier ist ein separater, komplexer Rechenschritt erforderlich, denn die einfache Möglichkeit, die Fahrtenmatrizen zu spiegeln und somit jeder vollen Fahrt eine leere Rückfahrt zuzuordnen entspricht in weiten Bereichen nicht der Praxis, insbesondere der Systemlogistik über größere Entfernungen. Eine Matrixspiegelung würde in diesem Falle den Leerfahrtenanteil signifikant überschätzen.

3 Aufkommens- und Verteilungsmodell

3.1 Güteraufkommen

Zur Abbildung der nahezu unbegrenzten Vielfalt von Waren werden Gutarten definiert (siehe **Tabelle 3-1**: Liste der Gutarten). Eine separate Definition einer Gutart erfolgt nach verschiedenen Relevanzkriterien. Diese sind neben der physischen Unterschiedlichkeit und den absoluten Mengen auch die Nachbildung von mehrstufigen Produktionsprozessen oder eine unterschiedliche logistische Handhabung. Die Nicht-Verfügbarkeit von Daten zwingt in einigen Fällen zur Zusammenfassung von Gutarten, obwohl sachlich eine Differenzierung geboten wäre. Für jede Gutart wird für jede Zone Aufkommen und Verbrauch (Quelle und Senke) bestimmt. Diese Daten werden in einer separaten Datei („Landnutzung.xls“) verwaltet.

3.1.1 Abbildung von Produktionsprozessen

Der Gütertransport ist eng mit Produktionsprozessen verknüpft. Industrielle Produktionsprozesse sind in der Regel mehrstufig organisiert, wobei häufig ein räumlicher Zusammenhang besteht, das heißt die Fertigungsstufen sind z.B. innerhalb eines Werksgeländes organisiert. Es sind jedoch auch einzelne Produktionsprozesse, insbesondere Fertigungsverfahren, räumlich ausgelagert. Dabei gibt es kein einheitliches Schema. Beispielsweise kann in der Möbelproduktion die Herstellung von Spanplatten, deren Zuschnitt, die Herstellung von Beschlägen, Lackiererei, Polsterei jeweils entweder im Werk integriert sein oder es werden entsprechende Vorprodukte bezogen. Auch mit einer weit höheren Detaillierung der Abbildung, das heißt auch mit einer erheblichen Ausweitung der Zahl der Gutarten, bleibt das grundsätzliche Dilemma bestehen, dass sich die tatsächliche Komplexität mehrstufiger Produktionsprozesse mit Modellen nur schwer abbilden lässt. Es ist deshalb erforderlich, die Abbildung auf mengenmäßig relevante Produktionsprozesse zu beschränken.

Zwischen den Stufen mehrstufiger Produktionsprozesse entstehen Gütertransporte. Der größte Teil dieser Gütertransporte findet innerhalb von geschlossenen Werksgeländen durch Förderanlagen, Rohrleitungen oder Gabelstapler statt. Diese Gütertransporte sollten nicht in das Güterverkehrsmodell integriert sein. Es gibt jedoch daneben Produktionsprozessstufen, bei denen – meist kurze – Fahrten auf der Straße oder der Bahn vorkommen. Im Ruhrgebiet findet beispielsweise der Transport flüssigen Eisens per Spezialwaggons zwischen Hochöfen und Gießereien statt, der sich nur aus der historischen Entwicklung erklären lässt. Bei der Metallverarbeitung ist es beispielsweise häufig vorkommend, dass Prozesse der Oberflächenbearbeitung (Galvanisieren, Lackieren) ausgelagert sind und entsprechende Transporte verursachen. Dies wird auch entsprechend im Güterverkehrsmodell berücksichtigt.

Bei den meisten Produktionsketten (z.B. Holz => Papier => Zeitungen) können die Ausgangs- oder Rohstoffe und der Letztverbrauch relativ gut sowohl im Hinblick auf die Quantitäten als auch auf die räumliche Verteilung bestimmt werden. Dagegen sind bei den Zwischenschritten (Druckereien und Grossisten) häufig die räumlichen und quantitative Unsicherheiten wesentlich größer. Die vorhandenen Strukturdaten (Arbeitsplätze) liefern hier nur unzureichende Anhaltspunkte. Beispielsweise schwanken die Umschlagmengen je Beschäftigten im Großhandel innerhalb einer Branche relativ stark.

Generell erfolgt bei der Modellabbildung eine Verkürzung der Produktionsschritte. Für die Verkehre über weitere Distanzen ist es entscheidend, dass die Warenströme in Richtung und Quantität richtig abgebildet werden (z.B. Milch aus dem „Milchüberschussgebiet“ Graubünden in das „Milchmangelgebiet“ des Großraums Zürich). Zusätzliche Transporte durch nicht abgebildete Prozessschritte, die meist entweder in der Nähe der Erzeugung (bei Milch durch

Sammelfahrten) oder in der Nähe des Verbrauchs (z.B. durch Aufsplittungen der Produktion von Molkereiprodukten durch jeweilige Spezialisierung) stattfinden, sind dagegen weniger wichtig. Dies hat zwangsläufig zur Folge, dass das zu transportierende Güteraufkommen unterschätzt und die durchschnittlichen Transportweiten überschätzt werden.

3.1.2 Bestimmung von Aufkommen und Verbrauch

Grundlage der Bestimmung von Aufkommen und Verbrauch je Zone sind unterschiedliche Strukturdaten, Verbrauchskennwerte und auf übergeordneter Ebene (z.B. Schweiz-weit) vorhandenen Statistiken mit Globalzahlen. Die so bestimmten Vektoren für Aufkommen und Verbrauch jeder Gutart haben den gleichen Summenwert. Praktisch ergeben sich bei einer unabhängigen Berechnung geringe Differenzen. Diese werden mit einem Normierungsvorgang so ausgeglichen, dass beide Vektoren exakt die gleiche Summe haben.

Bei mehrstufigen Prozessen sind Aufkommen und Verbrauch nur am Anfang und am Ende einer Kette von Umwandlungsschritten oder Produktionsprozessen bekannt. Die Mengen von Zwischenprodukten, Abfällen usw. wird über den Grundsatz der Massenhaltung auf der Verkehrszellenebene

3.1.3 Verteilungsrechnung

Die Vektoren für Aufkommen und Senken bilden die Randvektoren eines Matrixausgleichsverfahrens („Multi-Verfahren“ von Lohse, siehe Literatur- und Quellenverzeichnis). Dabei werden die Werte der einzelnen Matrixfelder geschätzt. Grundlage der Schätzung ist eine Widerstandsmatrix. Als Widerstandsmatrix wird die Reizeitmatrix für den Lkw im unbelasteten Netz verwendet. Diese Verteilungsberechnungen erfolgen mit Hilfe des Programms „VISEVA“, in dem die beschriebenen Verfahren implementiert sind. Ergebnisse der Verteilungsrechnungen sind Nachfragematrizen für jede Gutart.

Eine erste Plausibilisierung der Nachfragematrizen ist durch eine Analyse der Entfernungsverteilungen möglich.

1	Getreide	41	Ölsaaten	81	Kunststoffe/Chemiefasern
2	Obst	42	Ölprodukte, pflanzliche Fette	82	Kunststoffverpackungen
3	Kartoffeln	43	Ölhaltige Futtermittel	83	Kunststoffrecyclat
4	Gemüse	44	Kohle	84	Farben und Lacke
5	Blumen	45	Brennholz/Altholz	85	Medikamente
6	Tabak	46	Flugbenzin	86	Sonstige Chemikalien
7	Zuckerrüben	47	Industriebrennstoffe	87	Altpapier
8	Aufzuchttiere	48	Heizöl	88	Zellstoff
9	Schlachttiere	49	Treibstoffe	89	Neufahrzeuge
10	Stammholz	50	Bitumen, Teere	90	Altautos
11	Schwachholz, Holzschnitzel, Rinden	51	Schrott, (Eisenerz)	91	Maschinen
12	Rohholz	52	Buntmetall-Schrott	92	Fahrzeuge ohne Kfz
13	Verpackungen aus Holz	53	Roheisen/Rohstahl	93	Ersatz- und Zubehörteile für Fahrzeuge
14	Altkleider	54	Walzstahl	94	Büromaschinen
15	Spinnstoffe	55	Baustahl	95	Werkzeuge
16	Stroh	56	NE-Metalle	96	Elektrotechnische Anlagen
17	Futtermittel auf Getreidebasis	57	Eisenhalbwaren (Bleche, Draht)	97	Messgeräte, medizinische Geräte
18	Mehl	58	Eisenbahnschienen	98	Bauteile für Maschinen, Werkzeuge und Geräte
19	Bier	59	Halbwaren aus NE-Metall	99	Haushaltgeräte
20	Wein	60	Behälter, Formstücke	100	Altglas
21	Mineralwasser, Erfrischungsgetränke	61	Rohre, Profile	101	Behälterglas
22	Saft	62	Gussteile	102	Flachglas
23	Getränke (Einzelhandelsware)	63	Stanzteile	103	Rohpapier
24	Zucker	64	Oberflächenveredelung Hin	104	Papierwaren
25	Konserven	65	Oberflächenveredelung Rück	105	Druckerzeugnisse
26	Zigaretten	66	Zement	106	Hygienepapier
27	Rauhfutter	67	Kalk	107	Schnittholz
28	Rohfleisch	68	Gips	108	Holzfaserverzeugnisse
29	Fleisch, Wurstwaren	69	Ziegel, Dachziegel	109	Möbel
30	Schlachtabfälle	70	Frischbeton	110	Textilien

31	Rohmilch	71	Betonwaren	111	Haushaltswaren
32	Trinkmilch	72	Sonstige mineral. oder bit. Baustoffe	112	Umzüge, Haushaltsaufl.
33	Milchprodukte	73	Sonstige Mineralien	113	Briefpost
34	Molkereiabfälle	74	Bau-Fertigteile	114	Paketpost/Bekleidung
35	Eier	75	Salz	115	Altreifen
36	Importlebensmittel, Genussmittel	76	Kies + Sand	116	Altöl + Lösungsmittel
37	Produkte der Lebensmittelindustrie	77	Aushub	117	Tiermehl
38	Lebensmittel des Grosshandels	78	Mineraldünger	118	Kehricht
39	Landhandelswaren	79	Kompost		
40	Leergut	80	Chemische Grundstoffe		

Tabelle 3-1: Liste der Gutarten

3.2 Verteilungsmodell

Die Zielsetzung des Verteilungsmodells kann man durch die Betrachtung zweier Extremfälle darstellen:

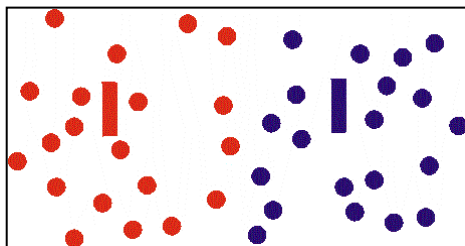


Abbildung 3-1: Schematische Darstellung einer räumlichen Verteilung mit starker Entfernungsabhängigkeit

Angenommen seien jeweils zwei gleich große Quellen (roter und blauer Balken in der Abbildung) und 40 gleich große Senken (rote und blaue Punkte) einer beliebigen Gutart. Die Nebenbedingung, die Summe der Quellen und die Summe der Senken seien gleich, ist eingehalten. Leicht vorstellbar ist dies durch zwei Brauereien und 40 Biergärten in einer Region. Im zunächst betrachteten Fall besteht eine eindeutige Grenzziehung des Marktraumes der beiden Quellen. Die Summe des Verkehrsaufwandes in der gegebenen Struktur ist minimal, da durch einen beliebigen Tausch der Lieferanten-Abnehmerbeziehung in jedem Falle ein höherer Verkehrsaufwand entstünde. Im Verteilungsmodell wird dies mit einer Nutzenfunktion erreicht, bei der der Nutzen mit steigender Distanz stark und kontinuierlich abfällt.

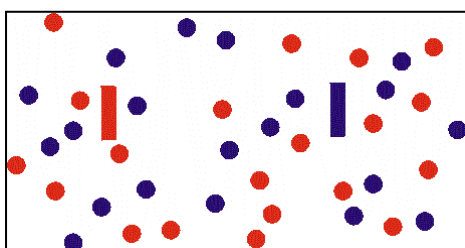


Abbildung 3-2: Schematische Darstellung einer räumlichen Verteilung ohne Entfernungsabhängigkeit

Im zweiten Fall existieren wieder 2 Quellen und 40 Senken. Im Unterscheid zum ersten Fall sind rote und blaue Punkte zufällig gemischt. Im Verteilungsmodell wird dies durch eine Nutzenfunktion erreicht, die bei den hier betrachteten Distanzen keine Nutzenabnahme bei größerer Distanz errechnet. Der Verkehrsaufwand ist hier wesentlich höher und im Sinne des Verteilungsmodells „maximal“ (der maximale Verkehrsaufwand wäre gegeben, wenn weite Ziele gegenüber nahen Zielen bevorzugt würden)

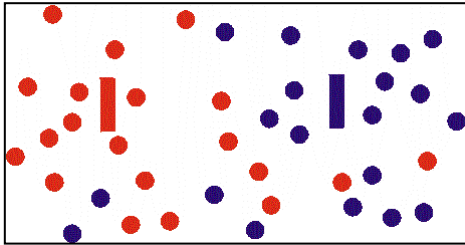


Abbildung 3–3: Schematische Darstellung einer realistischen räumlichen Verteilung mit mittlerer Entfernungabhängigkeit

In der Praxis stellt sich meist eine unscharfe Grenze der Einzugsgebiete ein. In dieser Situation werden die meisten Senken von der ihnen näherliegenden Quelle beliefert, es existieren jedoch mehrere Fälle, in denen die Belieferung nicht durch die nächste, sondern eine weiter entfernte Quelle erfolgt.

Die räumlichen Beziehungen weichen bei unterschiedlichen Waren stark von einander ab. Dabei gibt es innerhalb von typischen Warengruppen keine Gemeinsamkeiten. Auch dies erklärt die Notwendigkeit der vorgenommenen Differenzierung in Gutarten. Ein auffälliges Beispiel ist der Vergleich von Zement und Transportbeton, die beide einer Warengruppe „Baustoffe“ zuzuordnen sind. Zwar existiert in beiden Fällen eine Entfernungabhängigkeit; jedoch mit völlig unterschiedlichen Maßstäben.

Statistiken über durchschnittliche Transportentfernungen existieren jedoch nicht für einzelne Waren sondern nur für Warengruppen.

Mathematisch funktioniert die Verteilungsrechnung nach dem sogenannten „Multi-Verfahren“ nach Lohse, das im Programm „VISEVA“ implementiert ist. Mit Hilfe einer Nutzenfunktion und einer Aufwandsmatrix (hier: Reisezeitmatrix Lkw) werden zunächst alle Relationen bewertet. In einem iterativen Vorgang werden dann die Verkehrsströme auf die Relationen so verteilt, dass die Randsummen als Nebenbedingungen eingehalten werden.

3.3 Leerfahrten

Die Generierung von Leerfahrten erfolgt als einer der letzten Schritte des Güterverkehrsmodells. Die Vorgehensweise ist methodisch die gleiche wie bei der Generierung von Warenströmen. Die hier beschriebene Vorgehensweise betrifft nur die Leerfahrten, die nicht durch Spiegelung der Nachfragematrix voller Fahrzeuge erzeugt wird.

Für jede Verkehrszelle werden für jeden Fahrzeugtyp die Zahl der dort beginnenden und endenden vollen Fahrten ermittelt. Diese Vektoren bilden die Randsummen der Verkehrserzeugung der Leerfahrten.

Auf diese Weise wird sichergestellt, dass in jeder Verkehrszelle gleich viele Fahrten jeden Fahrzeugtyps (Lkw und Bahnwaggons) beginnen und enden. Die so erzeugten Leerfahrten sind jedoch kürzer als die zugehörigen vollen Fahrten.

3.4 Beurteilung der Datengrundlagen und Methoden

Dank sehr detaillierter Strukturdaten bei der Branchenzuordnung und Lokalisierung der Arbeitsplätze in der Schweiz ist der gewählte Ansatz erfolgversprechend. In anderen europäischen Ländern, in denen Daten in dieser Aktualität, Detaillierung und Genauigkeit nicht zur Verfügung stehen, ist der gewählte Ansatz nur mit erheblichen Abstrichen bei der Qualität der Ergebnisse oder zusätzlichem Rechercheaufwand denkbar.

Dennoch sind auch für das vorliegende Modell die Strukturdaten in einigen Branchen und Prozessen als kritisch zu betrachten. Ein hohes Fehlerpotential ergibt sich bei allen Prozessen, in denen wenige Beschäftigte sehr mengenintensive Prozesse verantworten. Diese Prozesse gibt es beispielsweise in der Nahrungsmittelindustrie (Getränkeherstellung), der Baustoffindustrie und in den primären Prozessen der Metallverarbeitung (Hochöfen, Walzwerke, Gießereien). Eine individuelle Überprüfung der Produktionskennziffern – und nicht deren Ableitung aus „pro Kopf-Werten“ – ist nur bei sehr großen Produktionsstätten leistbar (Zementwerke, Zuckerfabriken, Stahlwerke, Müllverbrennungsanlagen).

Die Transparenz von Stoff(-kreis-)läufen ist in den Branchen sehr unterschiedlich einzuschätzen. Bei der Land- und forstwirtschaftlichen Produktion, den Konsum- und Abfallgewohnheiten der Bevölkerung, den Stoffströmen der Energiewirtschaft und weitgehend auch der Baustoffindustrie sind die Stoffströme und Prozesse gut dokumentiert und transparent. Den errechneten Aufkommenswerten kann hier gut vertraut werden.

Im Bereich der Metall- und Elektroindustrie und der Holz/Papierindustrie sind die primären Prozesse, die in den Transportleistungen dominieren, noch relativ gut dokumentiert und können über Massenbilanzen nachvollzogen werden. Die Streuung der Produktionsmengen je Beschäftigtem in der gleichen Branche streuen jedoch bereits stark.

Unbefriedigend sind die Datengrundlagen im Bereich der chemischen Industrie und der Kunststoffverarbeitung und in sämtlichen Prozessen, in denen eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Materialien verarbeitet wird (Holz, Metalle, Kunststoffe,...). Die sehr hohe Streuung der Produktionsmengen je Beschäftigten, die Vielzahl sehr spezieller Prozesse mit unterschiedlichen Stoffen stellt hier ein nur schwer zu überwindendes Hindernis dar. Auf das Gesamtergebnis schlägt diese Einschränkung nur in geringem Maße durch, weil die chemische Industrie im Raum Basel ein Cluster bildet.

Das Verteilungsmodell ist nicht in der Lage typische Konzernstrukturen nachzubilden. In der Realität überlagern die Verflechtungen von Betrieben innerhalb einer Konzernstruktur teilweise natürliche Verflechtungen, die sich auf der Basis von räumlicher Nähe einstellen. Analog sind Personenverkehrsmodelle in der Regel auch nicht in der Lage, Besucherverkehr auf der Basis konkreter Verwandtschaftsbeziehungen nachzubilden sondern bilden hier zufällige Beziehungen.

4 Verkehrs- und Logistikangebot

4.1 Überblick

Das Verkehrs- und Logistikangebot wird in einem Netzmodell abgebildet. Dieses enthält die Straßen, Eisenbahnstrecken und Schifffahrtsstrecken (Rhein von Basel bis Rotterdam). Der Luftverkehr (Luftfracht) ist im Verkehrsmodell nicht enthalten.

Eine Besonderheit des Güterverkehrs im Vergleich zum Personenverkehr besteht darin, dass Güter in vielen Fällen nicht auf dem kürzesten Weg (in bezug auf Zeit oder Entfernung) befördert werden, sondern erhebliche Umwege in Kauf genommen werden. Die Umwege führen über Umschlagpunkte, an denen Waren zwischen verschiedenen Fahrzeugen und Verkehrsträgern umgeschlagen werden. In einigen Fällen werden Waren an diesen Umschlagpunkten auch mit anderen Waren gemischt. Hintergrund dieser logistischen Strukturen sind Kostenminimierungsstrategien der Verlagerer und Logistikdienstleister, die im Laufe der Zeit zum Bau von physischen Infrastrukturen (Häfen, Bahnhöfen, Umschlagterminals, Logistikzentren) geführt haben. Die Zuordnungen, welche Waren über welche Infrastrukturen abgewickelt werden sind weder völlig frei noch eindeutig fixiert. Die Abbildung des Verkehrsangebotes bildet deshalb die logistischen Strukturen mit ihren Merkmalen (z.B. Möglichkeit bestimmte Waren umzuschlagen, Kosten) ab.

Die grundlegende Annahme des aktuell implementierten Güterverkehrsmodells ist die Annahme, dass Warensendungen ausschließlich auf dem kostenminimalen Weg transportiert werden (siehe Abschnitt „Kosten und Umlegungsmodell“). Der Weg besteht dabei nicht nur aus den Streckenelementen des Straßen- und Eisenbahnnetzes sondern auch aus der Erstbeladung am Ausgangspunkt, der Entladung am Ziel sowie den Umschlagvorgängen, die möglicherweise entlang des Weges stattfinden. Nachgebildet wird die Strategie der Verlagerer: Obwohl Umschläge zusätzliche Kosten verursachen, ermöglichen Sie einen gebündelten, kostengünstigen Transport mehrerer kleiner Sendungen über einen möglichst großen Teilweg. Über Umschläge an Bahnhöfen oder Logistikzentren mit Bahnanschluss können somit auch Warensendungen auf einem Großteil ihres Weges per Bahn befördert werden, wenn entweder am Ausgangspunkt oder am Ziel (oder beides) kein Bahnanschluss verfügbar ist.

Im primären Netzmodell werden alle Strecken unabhängig davon, ob sie eine Straße, Eisenbahnstrecke, Wasserstraße oder einen Umschlag abbilden, formal gleich behandelt. Unterschiede bestehen in der Kostenparametrisierung. In diesem Sinne kennt das Verkehrsmodell keinen modalen Split. Der modale Split ergibt sich, in dem die Umlegungen der Warensendungen im primären Netz ausgewertet werden und die gefundenen Wege an den Stellen getrennt werden, an denen ein Wechsel beispielsweise von einer Straßenstrecke auf eine Eisenbahnstrecke stattfindet.

4.2 Logistische Systeme

Logistische Systeme beschreiben einen Teilmarkt des Güterverkehrs. Innerhalb dieses Teilmarktes gelten eigene Gesetzmäßigkeiten und Preise und die logistischen Netze haben je eigene Netzelemente wie Umschlageinrichtungen. Zu den hier definierten Gesetzmäßigkeiten gehört auch die Art der Leerfahrtenberechnung. Das Transportbehältnis ist das wichtigste Unterscheidungsmerkmal. Eine Sendung im Sinne des Güterverkehrsmodells besteht aus einer durchschnittlichen/meistverwendeten Füllung dieses Transportbehältnisses. In der Realität sind diese logistischen Systeme ebenfalls erkennbar, die Trennschärfe zwischen den logistischen Systemen ist jedoch unterschiedlich. Einige Unterscheidungen im Güterverkehrsmodell sind nicht aus inhaltlichen Überlegungen entstanden sondern, um handhabbare Dateigrößen bei

Zwischenergebnissen zu erzielen. Folgende logistischen Netze existieren (mit spezifischen Eigenschaften/Gesetzmäßigkeiten):

Tank- und Silotransporte für Heizöl und Treibstoffe. Anstelle einer echten Sendungseinheit wird in Kubikmetern gerechnet. Ein Umschlag ist nur an wenigen, speziell für dieses logistische Netz zugelassenen Umschlageneinrichtungen möglich. Die „letzte Meile“ ist nur auf der Straße möglich, da unterstellt wird, dass Heizölverbraucher und Tankstellen keinen Gleisanschluss haben. Die Anbindungen der Verkehrsbezirke an das Schienennetz sind deshalb durch die Verwendung eines sehr hohen Kostensatzes faktisch gesperrt. Die Leerfahrten werden gutartenübergreifend innerhalb des logistischen Netzes ausgeglichen.

Tank- und Silotransporte für Chemie und flüssige industrielle Brennstoffe. Im Unterschied zum vorgenannten logistischen System sind hier die Anbindungen der Verkehrsbezirke an das Schienennetz offen. Es wird unterstellt, dass die Versender und Abnehmer Großbetriebe (Chemiefabriken, Flughäfen (Kerosin), Kraftwerke,...) sind, die über einen Gleisanschluss verfügen. Hat der Verkehrsbezirk keine Anbindung an einen Bahnhof, an dem Güterverkehr abgewickelt wird, bleibt der Straßentransport als Alternative. Ein Umschlag an Güterbahnhöfen ist überwiegend erlaubt.

Tank- und Silotransporte für Lebensmittel. Die Gesetzmäßigkeiten sind analog dem vorgenannten logistischen System, jedoch werden die Leerfahrten für jede Gutart durch Matrixspiegelung bestimmt. Dies unterstellt, dass Milch, Pflanzenöl und Getränke faktisch nicht durch die gleichen Fahrzeuge transportiert werden.

Massengut ohne Behälter. Anstelle einer echten Sendungseinheit wird in Tonnen gerechnet. Ein Umschlag an Güterbahnhöfen ist überwiegend erlaubt. Logistikzentren spielen abgesehen von den Häfen – keine Rolle. Da häufig auch große Mengen auf den ersten und letzten Metern zum Erzeuger bzw. Verbraucher transportiert werden, werden im 5-Ebenen-Modell alle Anbindungen an alle Ebenen zugelassen. Die 2. Ebene des 5-Ebenen-Modells (siehe unten) fungiert hier nicht nur als Ebene zwischen Umschlagzentren sondern auch im Direktverkehr mit größeren Fahrzeugen. Für die Leerfahrten wird unterstellt, dass kein gutartspezifischer Fahrzeugeinsatz existiert.

Massengut – ACTS. Diesem logistischen Netz sind überwiegend Abfallstoffe auf kurzen Distanzen zugeordnet die überwiegend in offenen Containern transportiert werden. Als Sendungseinheit fungiert ein durchschnittlicher Container mit einem Fassungsvermögen von 15 Kubikmetern. Sowohl Straßen- als auch Bahntransport ist möglich.

Stammholz/Kfz. Sowohl der Holz- als auch der Kfz-Transport ist eine Sonderform des offenen Transportes. Anstelle einer echten Sendungseinheit wird in Tonnen gerechnet. Der Umschlag erfordert jeweils keine besonders aufwändige Ausstattung. Sowohl auf der Straße als auch bei der Bahn erfolgt der Transport jeweils in speziellen Fahrzeugen. Bei den Leerfahrten wird jede Gutart separat behandelt (Matrixspiegelung).

Schwergut. Anstelle einer echten Sendungseinheit wird in Tonnen gerechnet. Mengenmäßig spielt dieses logistische Netz eine untergeordnete Rolle.

Komplettladungen Lkw food / Lkw non-food / Lkw Bau / Lkw Holz+Stroh+Tiere. Die Komplettladungen Lkw sind auf 3 logistische Netze aufgeteilt, die sich inhaltlich nicht unterscheiden. Bei den Komplettladungen Lkw ist der Bahntransport gesperrt. Umschlag ist ausgeschlossen. Die Sendungseinheit ist eine Lkw-Ladung.

Komplettladungen Container. Die Sendungseinheit ist ein Container (TEU). Umschlag ist nur an Containerterminals möglich. Dieses logistische System umfasst auch Wechselbehälter. Auf die

separate Abbildung spezieller Containertypen wurde verzichtet, da deren Aufkommen im Gesamtnetz nur einen geringen Anteil hat. Im Eisenbahnverkehr wird für dieses logistische System häufig der Begriff „kombinierter Verkehr“ verwendet. Dies setzt voraus, dass ein Teilweg (i.d.R. der Hauptweg) tatsächlich mit der Eisenbahn erfolgt.

Stückgut-Palette. Hier handelt es sich um das komplexeste (und eines der wichtigsten) logistische System. Die Akteure auf diesem Teilmarkt sind Speditionen und Handelsunternehmen. Die Sendungseinheit ist eine Palette. Ein Umschlag ist in Logistikzentren möglich. Die Erlaubnis des Umschlags ist für die einzelnen Logistikzentren auf Gutartebene differenziert. Für die Leerfahrten wird unterstellt, dass kein Gutart-spezifischer Fahrzeugeinsatz erfolgt.

Stückgut-Palette Kühl+Frische. Dieses logistische Netz hat die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie das vorgenannte. Die beiden logistischen Netze dienen der Unterscheidung nach food und non-food.

Stückgut-Einzelverkehr. Im Gegensatz zu den beiden vorgenannten logistischen Netzen handelt es sich hier vorwiegend um Werksverkehre und Einzelfahrten ohne Standardisierung des Transportbehältnisses. Als rechnerische Sendungseinheit wird dennoch die Palette angenommen. Bei den Leerfahrten wird jede Gutart separat behandelt (Matrixspiegelung).

Pakete und Briefe. Dieses drei logistischen Systeme umfassen die Kurier-, Express- und Paketdienste einschließlich der Transportleistung der Post. Sendungseinheiten sind ein 30 kg-Paket, ein 5 kg-Paket und 1000 Briefe.

Die Umrechnung der Warenströme in Sendungsströme erfolgt unter Berücksichtigung der Definition der Sendungseinheiten, die jeweils in Gewicht und Volumen limitiert sind. Eine Palette beispielsweise wird hier mit einem Maximalgewicht von 1,5 Tonnen und einem Maximalvolumen von 1,0 m³ definiert. Bei vielen Gutarten mit einem leichten spezifischen Gewicht wird deshalb das Volumen zur maßgeblichen Größe bei der Umrechnung in Sendungseinheiten.

4.3 Aufteilung der Gutarten auf die logistischen Systeme

In einigen Fällen ist die Zuteilung eines logistischen Netzes zu einer Gutart eindeutig. Bei vielen Gutarten ist jedoch ein Split mit einer Aufteilung der Nachfrage einer Gutart auf mehrere logistische Netze sinnvoll. Da bei einigen logistischen Systemen die möglichen Verkehrsmittel bereits eingeschränkt sind (z.B. nur Lkw bei allen „Komplettladungen“) hat diese Aufteilung bereits einen hohen Einfluss auf den Modal Split. Bei der Aufspaltung können wahlweise verschiedene Möglichkeiten gewählt werden:

- a) Bei der einfachen prozentualen Aufteilung („ohne Filter“) wird die Nachfrage auf alle Relationen einer Matrix im gleichen Verhältnis auf eines oder mehrere logistische Systeme aufgeteilt.
- b) Die Relationen einer Matrix werden unterschiedlich behandelt. Dafür wird ein Filter definiert, über den die Unterscheidung definiert wird. Das Unterscheidungskriterium ist die Größe des Matrixwertes (Jahrestonnen einer Relation). Für jeden Bereich können unterschiedliche prozentuale Aufteilungen gewählt werden. Dieser Filter erlaubt es, Relationen mit einem starken Aufkommen anders zu behandeln als solche mit einem kleinen. Die Filtergrenze ist jeweils anzugeben. Diese Aufteilungsmöglichkeit wird aktuell nicht verwendet.

- c) wie b) jedoch mit drei Bereichen. Diese Aufteilungsmöglichkeit wird für Obst und Gemüse verwendet. Die großen Matrixwerte kommen erzeugerseitig dort vor, wo die Erzeugung dieser Produkte exklusiv (z.B. Obstbau-Plantagen) erfolgt. Der erzeugerseitige Versand erfolgt hier mit entsprechend leistungsfähigen logistischen Netzen.
- d) Wie b), jedoch wird als Unterscheidungskriterium der Matrixwert mit der Entfernung multipliziert. Mengenstarke kurze Relationen werden so mit mengerschwächeren längeren Relationen gleichbehandelt. In der Praxis können hierdurch überregionale Warenströme mit einer starken Konzentration auf wenige Erzeuger/Verbraucher von dispersen, regionalen Warenströmen bei denen auf der Verbraucher- und/oder Erzeugerseite kleine Einheiten und Spezialisten stehen, unterschieden werden.
- e) Wie d) jedoch mit drei Bereichen. Diese Aufteilungsmöglichkeit wird überwiegend verwendet.
- f) Wie b), jedoch dient eine formale Aufteilung nach Binnenverkehr, Import und Export als Unterscheidungskriterium.

Die Aufteilung erfolgt nicht für jede Gutart unmittelbar sondern über eine Zuordnung einer Aufteilungsregel. Für ähnliche Gutarten (z.B. Getreide und Futtermittel) kann dann eine gemeinsame Aufteilungsregel definiert werden. Theoretisch ist es möglich für jede Gutart eine eigene Aufteilungsregel zu definieren. Die Aufteilungen ergeben sich für viele Gutarten aus einer trivialen Logik (z.B. Frischbeton mit dem logistischen System „Komplettladung Lkw Bau“). In vielen Fällen sind die Aufteilungen jedoch geschätzt und Ergebnis der Kalibrierung.

4.4 Netzmodelle

4.4.1 Primäres Netzmodell („5-Ebenen-Modell“)

Die Abbildung der Logistik mit Umschlägen erfolgt innerhalb des Netzmodells. Mit VISUM wird eine Routensuche für jede Relation für alle Waren (teilweise aufgegliedert in mehrere logistische Netze) durchgeführt. Die Routensuche ermittelt die Route mit dem geringsten Widerstand. Für jede Strecke sind drei Kostenparameter als benutzerdefinierte Attribute des VISUM-Netzmodells definiert: Die entfernungsabhängigen Kosten „Kosten pro km“, die zeitabhängigen Kosten „Kosten pro Stunde“ und die fixen Umschlagkosten „Umschlag“. Die Einheit der Kosten sind Schweizer Franken. Die umlegungsrelevanten Widerstände bestimmen sich als Summe von:

- Länge einer Strecke multipliziert mit dem Parameter „Kosten pro km“,
- Zeitbedarf einer Strecke (ohne Belastung) multipliziert mit dem Parameter „Kosten pro h“ und dem
- Parameter „Umschlag“ (i.d.R. gleich Null, ausgenommen Umschlagstrecken an Logistikterminals und Bahnhöfen mit Güterumschlag.)

In der konkreten Umsetzung erfolgt die Widerstandsbestimmung in Rappen, Metern und Sekunden, weil VISUM hier mit Integerwerten operiert. Bei einer Berechnung in Franken, Kilometern und Stunden, wäre der Widerstand kürzerer Strecken rundungsbedingt gleich Null.

Ausgehend von einer Straßen-Basisebene ist ein Wechsel auf eine andere Ebene mit niedrigeren Transportkosten nur über spezielle Umschlagstrecken möglich. Über diese

Umschlagstecken werden die Kosten des Umschlags abgebildet. Die anderen Ebenen mit niedrigeren Transportkosten sind entweder das Eisenbahnnetz, die Schifffahrtsstrecken oder zwei weitere Straßennetzebenen. Die Kosten-Parameter der Strecken unterscheiden sich nach Ebene, logistischem Netz und Gutart. Die umlegungsrelevanten Widerstände einer Strecke ermitteln sich aus der Multiplikation der Streckenlänge mit den entfernungsabhängigen Kostenparametern.

Das 5-Ebenen-Netz enthält das Straßennetz drei Mal in identischer Form, zusätzlich das Eisenbahnnetz und die Schifffahrtsstrecke Rhein. Die Ebenen haben nur über 2 spezielle Streckentypen für Umschlagseinrichtungen untereinander Verbindung.

Die Bezirke haben Anbindungen an alle 5 Ebenen, wobei Anbindungen an die Ebenen von Bahn und Schiff nur dort vorkommen, wo sich ein Bahnhof oder Hafen im Bezirk befindet.

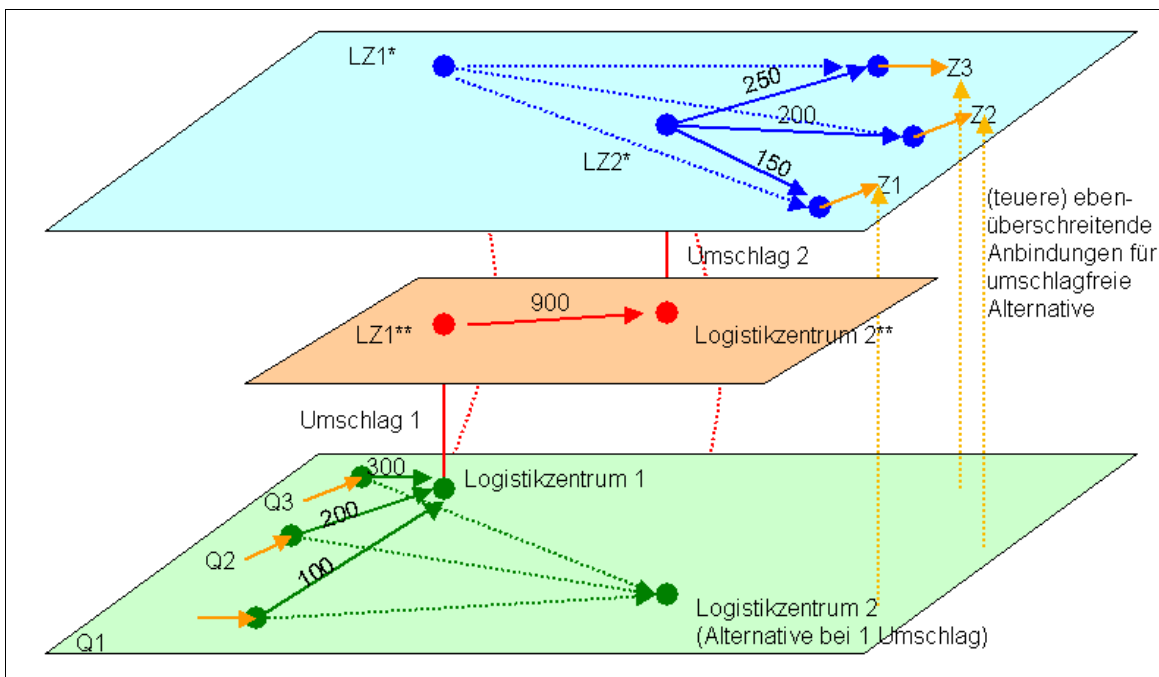


Abbildung 4–1: Schematische Darstellung der Funktionsweise des 5-Ebenen-Modells.

Abbildung 4–1 dient zur Erläuterung des Prinzips. Dargestellt sind nur die drei Ebenen des Lkw-Verkehrs. Die untere, 1. Ebene bildet das erzeugerseitige Netz. Von den Quellen Q1, Q2 und Q3 erfolgt der Transport zum Logistikzentrum 1 auf dieser Ebene. Im Logistikzentrum 1 erfolgt der Wechsel auf Ebene 2. Auf diesem kostengünstigen Netz (durch die Bündelungseffekte) erfolgt der Transport zum Logistikzentrum 2. Dort erfolgt der Wechsel auf die obere, empfängerseitige 3. Ebene. Dort erfolgt die Zustellung vom Logistikzentrum 2 zu dem Empfängern Z1, Z2 und Z3. Grundsätzliche Alternativen sind andere Logistikzentren und - im Nahbereich – der Direkttransport auf Ebene 1.

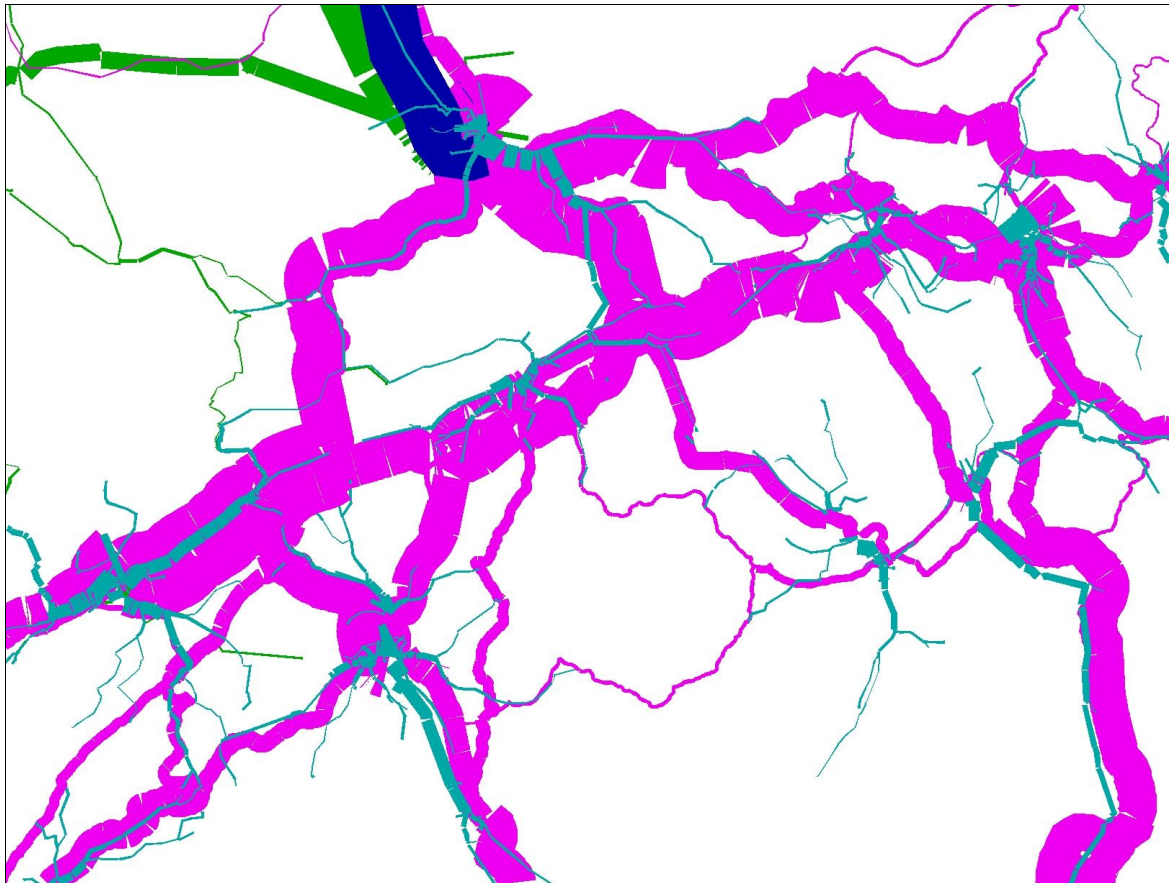


Abbildung 4–2: Netzbelastung im primären Netzmodell

Abbildung 4–2 zeigt die Umlegung des logistischen Systems „Tank- und Silotransporte (Treibstoffe und Heizöl)“ mit den dominierenden Warengruppen Treibstoffe und Heizöl. Deutlich erkennbar ist in der oberen Bildhälfte der Umschlag in Basel vom Schiff (dunkelblau). Die überwiegende Transportleistung erfolgt mit der Bahn (violett). Der LW (hellblau) hat überwiegend die Funktion der lokalen Verteilung. Grün dargestellt sind Transporte mit dem Lkw auf einer schnelleren Netzebene, über die Treibstoffe aus Raffinerien in Frankreich nach Basel transportiert werden. Dargestellt sind nur die Warenströme (Tonnen pro Jahr) ohne Grundnetz.

4.4.2 Sekundäres Netzmodell

Das sekundäre Netzmodell dient der Umlegung von Fahrten und ist im Wesentlichen identisch mit dem Netzmodell für den Personenverkehr. Aus praktischen Gründen wurden die reinen ÖV-Strecken (Bus) und die entsprechende ÖV-Angebotsabbildung eliminiert. Grenzübergänge sind in dem Netzmodell separat modelliert, auf diese Modellierung wird bei den Berechnungen jedoch nicht (mehr) zurückgegriffen. Statt eines LW-Typs im ursprünglichen Personenverkehrsmodell enthält das Netzmodell Lieferwagen, LW und Lastzug/Sattelzug als separate Verkehrssysteme mit jeweils eigenen streckentypbezogenen Höchstgeschwindigkeiten.

Im sekundären Netzmodell sind alle Verkehrsbezirke an das Straßen- und Eisenbahnnetz angebunden.

4.5 Modellgebiet, Zoneneinteilung

Das Modellgebiet umfasst die Schweiz und – in deutlich größerer Zoneneinteilung - das europäische Ausland. Die Zoneneinteilung in der Schweiz entspricht den Gemeinden (Gebietsstand 2002). Die größeren Städte Winterthur, Zürich, Bern, Biel, Thun, Luzern, Basel, St. Gallen, Lausanne, Freiburg und Genf sind weiter unterteilt. Insgesamt enthält das Modell 3109 Verkehrsbezirke, davon 2944 in der Schweiz und 165 im angrenzenden Ausland.

4.6 Fahrzeuge und Verkehrsmittel

Das primäre Netzmodell arbeitet nur mit einem fiktiven Verkehrsmittel „Sendungseinheit“, dem Geschwindigkeiten, Kosten und Widerstände zugerechnet werden. Kapazitätsgrenzen wirken hier nicht.

Im sekundären Netzmodell sind die Verkehrsmittel Lieferwagen, Lkw, Lastzug/Sattelzug, Bahnwaggon und Binnenschiff definiert. Bahnwaggon und Binnenschiff nutzen ihre Strecken exklusiv.

4.7 Beurteilung der Datengrundlagen und Methoden

Die verwendeten Netzmodelle haben eine sehr hohe Übereinstimmung mit der gebauten Wirklichkeit. Die Zoneneinteilung ist sehr fein und ermöglicht deshalb eine sehr detaillierte Abbildung der Nachfrage. Der hohe Detaillierungsgrad ist die Folge der Anforderung einer Kompatibilität mit dem Personenverkehrsmodell.

Völlig anders zu beurteilen ist die Einteilung der logistischen Netze, die Definition deren Kosten und Gesetzmäßigkeiten sowie Aufteilung der Nachfrage auf die logistischen Netze. Die vorgenommenen Definitionen, Aufteilungen und Regelungen sind weitgehend logisch, jedoch in den gewählten Ausprägungen keineswegs zwingend. Aufgrund fehlender empirischer Grundlagen müssen zahlreiche Annahmen getroffen werden. Die logistischen Systeme sind als Versuch zu werten, eine weitaus komplexere Wirklichkeit abzubilden.

Bei den Umschlageneinrichtungen muss festgehalten werden, dass diese ebenfalls sehr heterogen sind und notwendige Informationen, z.B. über die umgeschlagenen Gutarten, nur teilweise vorliegen.

Die gewählte Vorgehensweise macht den Modal Split in hohem Maße von der Infrastruktur – und damit von der Interpretation ihrer Nutzbarkeit – abhängig. Dies entspricht im Großen und Ganzen der Realität, kann aber im Einzelfall (Anbindung einer Verkehrszelle mit einem nennenswerten Verkehrserzeuger an einen Bahnhof) zu Abweichungen führen. Für die Anwendbarkeit des Modells für Szenarien und Planfälle müssten diese Infrastrukturinformationen jeweils fortgeschrieben werden, um konsistente Modelle zu erhalten.

5 Kosten- und Umlegungsmodell

Als Widerstände der Routenwahl – und damit auch der Verkehrsmittelwahl - dienen generalisierte Kosten. Kosten treten beim Transport einer Ware an verschiedenen Stellen und in verschiedener Weise auf. Nicht alle Widerstände – insbesondere die von nicht realisierten Alternativen – sind monetär bezifferbar, z.B. Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit.

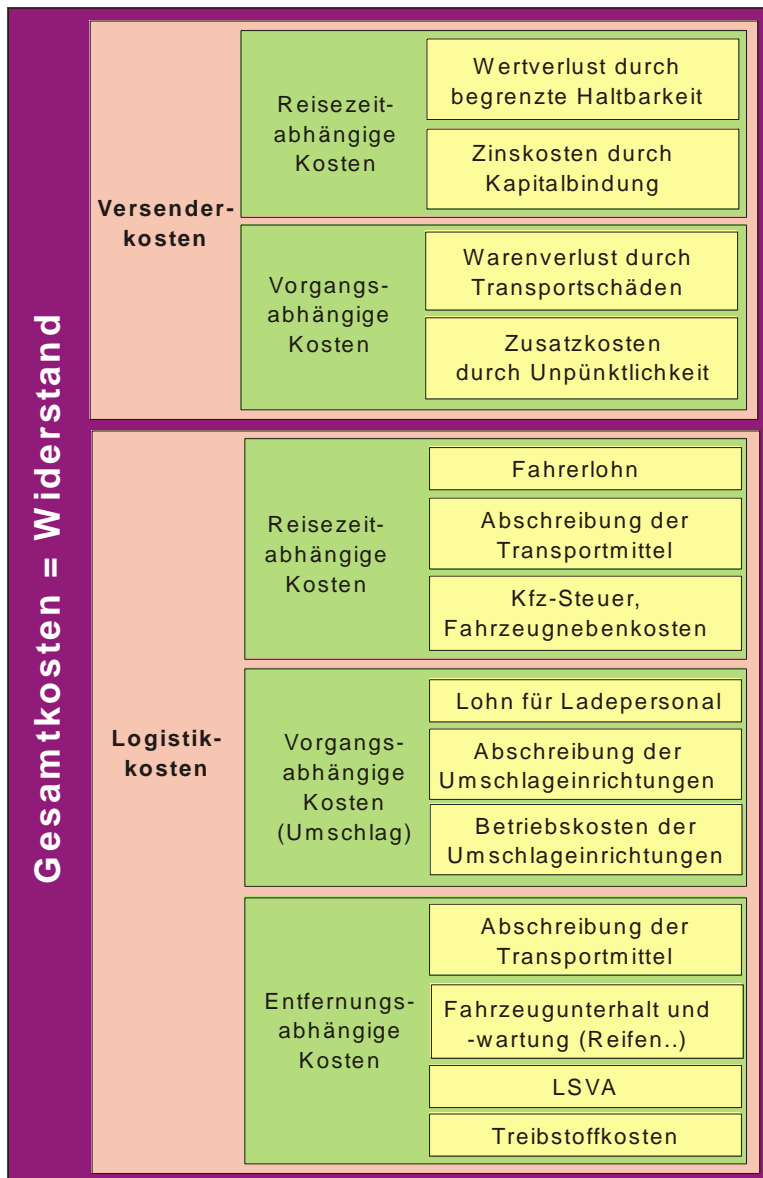


Abbildung 5–1: Überblick Kostenarten

Die **Abbildung 5–1** gibt einen Überblick über die im Modell berücksichtigten Kostenarten unabhängig von den eingesetzten Verkehrsmitteln, d.h. sowohl für Lkw als auch für die Eisenbahn. Die Kalkulation auf der untersten Ebene (gelbe Felder) ist nur für Lkw im Rahmen des Modells nachvollziehbar. Die erste Differenzierung ist die Unterscheidung in Versenderkosten und Logistikkosten. Im Weiteren ist eine Unterscheidung in reisezeitabhängige Kosten, vorgangsabhängige Kosten und entfernungsabhängige Kosten möglich. Als Vorgänge bei vorgangsabhängigen Kosten werden nur Umschlagvorgänge berücksichtigt. Praktisch ist eine Unterscheidung in entfernungs- und zeitabhängige Kosten nur schwer möglich, da beide sehr eng gekoppelt sind. Methodisch ist diese Unterscheidung jedoch zwingend, um in der Routen- und Verkehrsmittelwahl zwei alternative Routen die sich in der Streckenlänge und der

Reisezeit unterscheiden korrekt bewerten zu können. Die kostengünstige Alternative ist im einen Fall die zeitkürzere (z.B. bei verderblichen Waren oder keinen Fahrzeugen mit proportional hohen Fahrerkosten) oder die weglängerkürzere (z.B. bei einem hohen Anteil der Treibstoffkosten an den Gesamtkosten bei Waren geringen Wertes).

Für den Eisenbahn- und Schiffsverkehrs sind die detaillierten Kosten (Fahrerlohn, Abschreibungen, Betriebskosten,...) nicht separat ermittelt und im Modell enthalten. Im Eisenbahnverkehr sind auch keine Produktionsprozesse (z: Zugbildung, Rangierleistung, Zustellung) abgebildet, weshalb auch auf eine Abbildung prozessorientierter Kosten verzichtet wird.

In der Praxis häufig auftretende Sprungkosten (z.B. durch die Notwendigkeit eines weiteren Fahrzeugs/Fahrers) oder die Effekte von Pausenzeiten werden ebenfalls nicht speziell berücksichtigt. Statt dessen wird hier von einem linearen Kostenverlauf ausgegangen. Dieser enthält auch die verschiedenen Steuern, Abgaben und Subventionen.

Der kostenminimale Weg einer Warensendung wird nicht nur durch die Logistikkosten bestimmt, sondern auch durch zusätzliche Versenderkosten. Das wichtigste Kriterium der Versenderkosten ist der Zeitbedarf für den Transport. Versucht wird auch, weitere qualitative Aspekte wie die Sicherheit und Pünktlichkeit des Transports vereinfacht abzubilden. Zwei Eigenschaften jeder Ware spielen bei den Versenderkosten eine zentrale Rolle: Die Haltbarkeit und der Wert. Bei Waren mit einer begrenzten Haltbarkeit spielt die Transportdauer naturgemäß eine große Rolle. Für alle Waren wird eine Zeitspanne definiert, in der sie ihren Wert vollständig verlieren. Bei Waren hohen Wertes wird über die Transportdauer Kapital gebunden, für das ein Zins zu kalkulieren ist. Es wird angenommen, dass die Wahrscheinlichkeit der Schädigung der Ware und die Zuverlässigkeit des Transportweges mit der Zahl und Art der Umschlagvorgänge gekoppelt sind. Dafür wird ein kalkulatorischer Warenwertverlust je Umschlagvorgang angenommen. Waren mit begrenzter Haltbarkeit und wertvolle Waren bevorzugen somit Transportwege, die schneller und sicherer sind, selbst wenn die reinen Logistikkosten möglicherweise höher sind. Der kostenminimale Weg ist deshalb der Weg, bei dem die Summe aus Logistikkosten und Versenderkosten minimal ist.

Beispiel Versenderkosten:

Für die Gutart „Kartoffel“ wird ein Wert von 200 Schweizer Franken pro Tonne angenommen. Die Haltbarkeit bis zum vollständigen Verlust des Warenwertes beträgt 100 Tage. Der kalkulatorische Zinssatz beträgt 8,6%. Bei einer Transportdauer von 12 Stunden ergeben sich somit Versenderkosten durch den Warenwertverlust von 1,0 Franken/Tonne und durch die Zinskosten (Kapitalbindung) von 0,024 Franken/Tonne. Bei einem Lkw-Transport entsteht durch Beschädigung der Ware, Unpünktlichkeit und ähnlichen Einflüssen ein weiterer Verlust von 0,05% des Warenwertes je Umschlagvorgang (Be- und Entladen), somit also 0,20 Franken/Tonne. Die Summe der Versenderkosten beträgt 1,224 Franken/Tonne. Der praktische Einfluss der Versenderkosten auf die Wahl der Route im Sinne einer besseren Bewertung einer schnelleren Verbindung ist bei dieser Gutart somit sehr gering.

Im Falle der Gutart „Neufahrzeuge“ ergibt sich ein anderes Bild. Der angenommene Warenwert beträgt hier 24.000 Franken/Tonne. Der vollständige Wertverlust erfolgt in 2 Jahren. Bei einem Zinssatz von 8,6% und einer Transportdauer von 12 Stunden ergeben sich 2,83 Franken/t Zinskosten. Der Wertverlust über die Transportzeit beträgt 16,44 Franken/t. Der Verlust bei einem Lkw-Transport durch Beschädigung, Unpünktlichkeit etc. beträgt 24,00 Franken/Tonne. Bei einem Bahntransport wird eine dreifach höhere Schadensquote angenommen (in diesem Fall 72 Franken/Tonne). Die Summe der Versenderkosten bei Lkw-Transport beträgt somit 43,27 Franken/Tonne. In diesem Fall liegen die Versenderkosten in einer Größenordnung, bei

der schnellere Routen mit leicht höheren Logistikkosten gegenüber langsameren Routen mit niedrigeren Logistikkosten bevorzugt werden.

Sämtliche im Modell verwendeten Werte, Kosten und Eigenschaften der Warengruppen sind Schätzungen. Im Einzelfall wurden Werte recherchiert (z.B. Großhandelspreise). Die Annahme dreifach höherer Schadensquoten beim Eisenbahnumschlag wird generell für alle Warengruppen getroffen.

Das hier verwendete Kostenmodell darf nicht mit einer betriebswirtschaftlichen Kostenkalkulation verwechselt werden. Ziel ist es, die verschiedenen Gesetzmäßigkeiten der Transportwirtschaft nachzubilden:

- Weite Transporte sind teuer als kurze. Die Kosten entwickeln sich degressiv.
- Der Transport in größeren Fahrzeugen ist pro Wareneinheit kostengünstiger. Die Be- und Entladung größerer Fahrzeuge verursacht aber höhere Kosten.
- Der Transport verderblicher Ware erfolgt schneller.
- Der Transport wertvoller Ware erfolgt ebenfalls schneller, kritische Umschlagvorgänge werden gemieden.

Einige Waren werden mit kleinen Fahrzeugen gesammelt, gebündelt über die Hauptstrecke transportiert und anschließend wieder mit kleinen Fahrzeugen verteilt. Für die Waren entstehen dabei zum Teil erhebliche Umwege.

Ein Bahntransport von „Haus zu Haus“ ist nicht immer möglich. Zur Nutzung der Bahn sind zusätzliche Umschlagvorgänge zwischen Straße und Schiene erforderlich.

Kombinierter Verkehr „kombiniert“ den kostengünstigen Eisenbahntransport auf langen Strecken mit der optimalen Erreichbarkeit über das Straßennetz mit Straßenvor- und nachlauf.

Die genannten Gesetzmäßigkeiten unterscheiden sich deutlich von den Gesetzmäßigkeiten des Personenverkehrs. Dies erklärt auch die andere Herangehensweise.

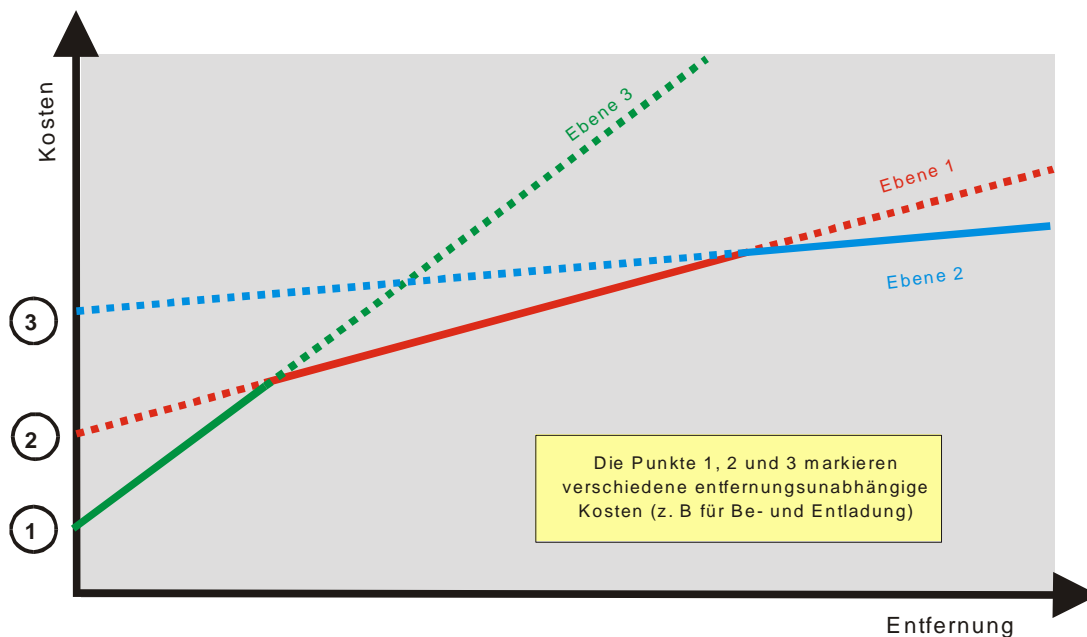


Abbildung 5–2: Wirkungsweise des Kostenmodells (1)

Die **Abbildung 5–2** zeigt die grundsätzliche Wirkungsweise des Kostenmodells. Dargestellt sind drei Verkehrsmittelalternativen, die im Netzmodell auf drei unterschiedlichen Ebenen abgebildet werden. Ebene 3 hat niedrige Fixkosten, dafür hohe entfernungsabhängige (bzw. reisezeitabhängige) Kosten. Ebene 1 hat höhere Fixkosten als Ebene 3, dafür niedrigere entfernungsabhängige Kosten. Ab einer bestimmten Entfernung (Schnittpunkt von grüner mit roter Linie) ist deshalb der Transport über Ebene 1 kostengünstiger. Ebene 2 hat noch höhere Fixkosten, dafür noch niedrigere entfernungsabhängige Kosten. Ab dem Schnittpunkt von roter und blauer Linie ist daher der Transport über Ebene 2 kostengünstiger. Die Nummerierung der Ebenen folgt hier ihrer tatsächlichen Verwendung im Modell. Fixkosten sind überwiegend die Kosten für die Be- und Entladung, aber auch schwer bezifferbare kalkulatorische Kosten für die aufwändigere Infrastruktur an den Be- und Entladepunkten (Hebezeuge, Rampen, usw.). In der Kombination der 3 Ebenen entsteht ein degressiver Verlauf der Kostenfunktion. Die dargestellten Kosten beziehen sich auf eine zu transportierende Einheit. Die Ebenen sind als Netze für unterschiedlich große Fahrzeuge vorstellbar (Tatsächlich wird eine unterschiedliche Mischung von Fahrzeugen angenommen).

Die Notwendigkeit dieser Vorgehensweise ergibt sich aus der Routenberechnung: Einer einzelnen Strecke kann nur ein Widerstand zugeordnet werden. Die Länge der Route, die über eine Strecke geführt wird, ist für die Strecke selbst ohne Relevanz. Die Berechnung der Routenwahl erfolgt aber für viele, sehr unterschiedlich lange Routen in einem Schritt. Die Vorgehensweise erlaubt es, die Routensuche über klassische Kurzwegsuch-Algorithmen durchzuführen.

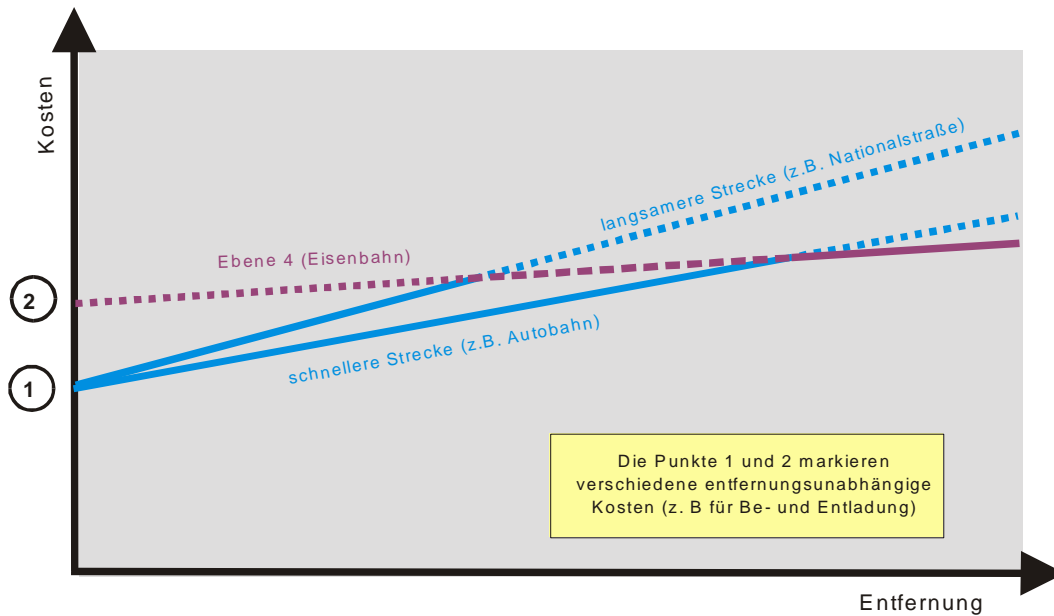


Abbildung 5-3: Wirkungsweise des Kostenmodells (2)

Die Schnittpunkte, an denen eine Ebene kostengünstiger als eine andere ist, sind nicht fix, sondern von der Netzkonstellation abhängig. Wie die Gegenüberstellung von Straße und Eisenbahn in **Abbildung 5-3** zeigt, liegt der Schnittpunkt, ab dem die Eisenbahn mit zunehmender Entfernung kostengünstiger ist, bei einer größeren Entfernung, wenn das Straßennetz in der konkreten Relation schnelle Netzelemente wie Autobahnen aufweist. Dieser Effekt kann nur abgebildet werden, weil neben entfernungsabhängigen Kostenkomponenten auch zeitabhängige Kostenkomponenten berücksichtigt werden.

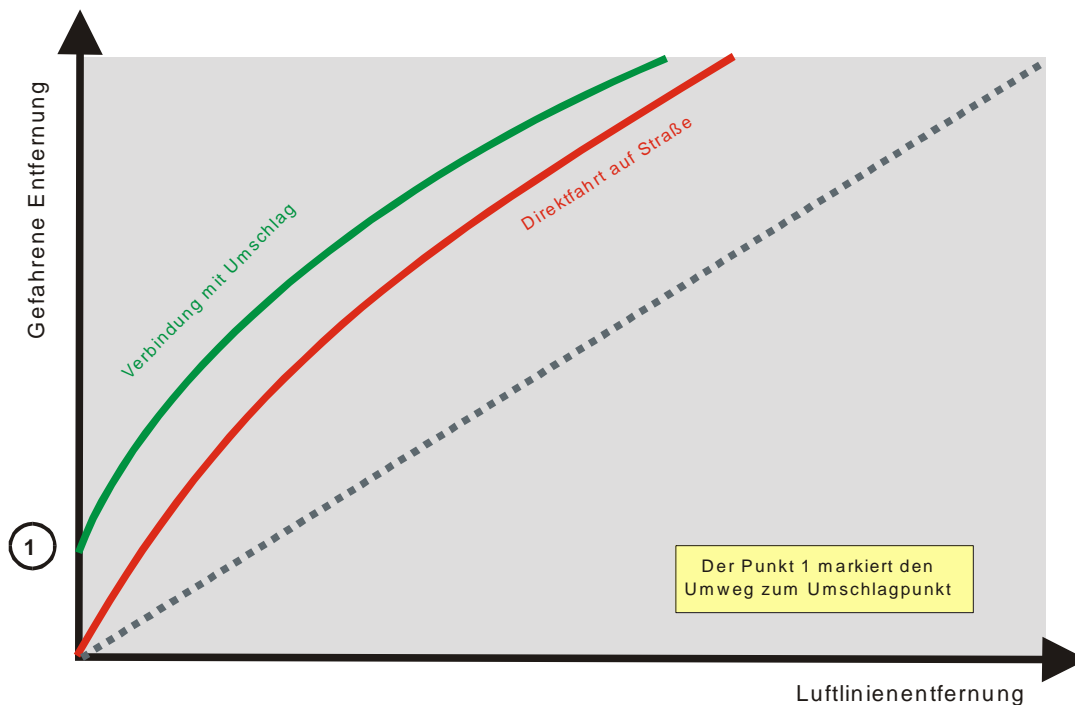


Abbildung 5-4: Wirkungsweise des Kostenmodells (3)

Abbildung 5–4 stellt dar, dass die entfernungs- und zeitabhängigen Kosten nicht entlang der Luftlinie entstehen, sondern entlang einer Route im Verkehrsnetz. Diese ist durch Umwege grundsätzlich länger als die Luftlinienentfernung. Der Umwegfaktor nimmt dabei mit größerer Entfernung leicht ab. Sobald Umschlagvorgänge vorkommen (z.B. weil ein Verkehrsbezirk nicht an die Eisenbahn angebunden ist) entstehen zusätzliche Umwege. Dies führt dazu, dass die Entfernungen, die auf den unterschiedlichen Ebenen für die Distanz zwischen Start- und Zielpunkt benötigt werden, von einander abweichen können. Diese gegebenenfalls erforderlichen Umwege können den Schnittpunkt verschieben, ab dem ein Fahrzeug mit niedrigen variablen Kosten, aber räumlich begrenzter Verfügbarkeit (nur ausgewählte Bahnhöfe oder Logistikzentren) gewählt wird. In peripheren Lagen erfolgt deshalb der Gütertransport tendenziell mit kleineren Fahrzeugen mit mehr Direktfahrten statt Sammeltransporten über Verteil- und Logistikzentren.

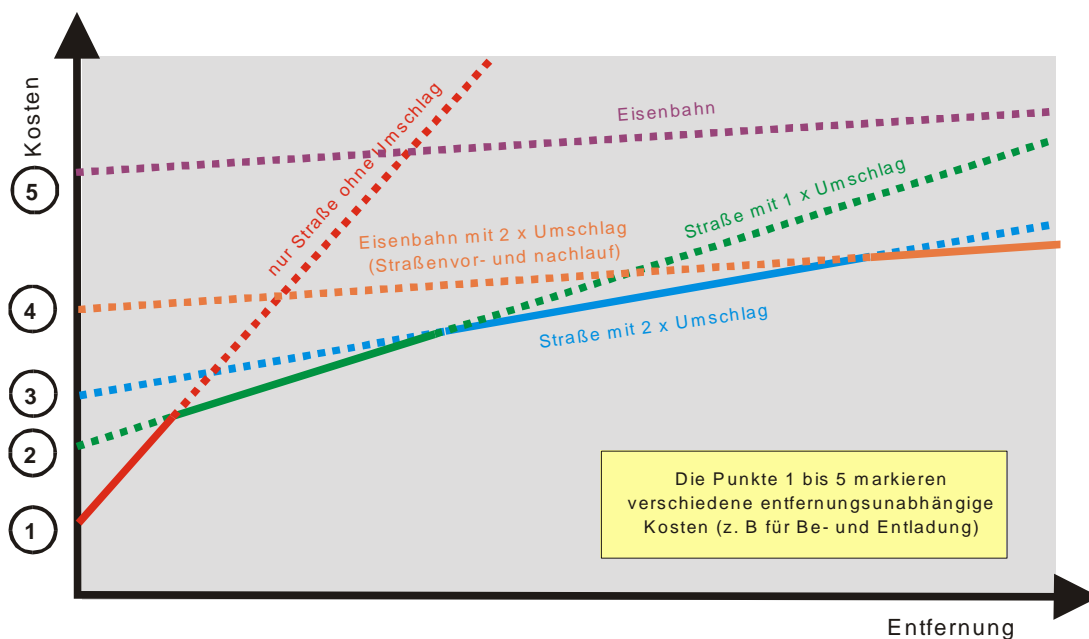


Abbildung 5–5: Wirkungsweise des Kostenmodells (4)

Die Betrachtung von Umschlagvorgängen, die mit einem Wechsel der Ebenen einhergehen, hat eine ähnliche Wirkung in Bezug auf die Kostendegression über die Entfernung wie die Alternative mehrere Ebenen mit unterschiedlichen Kostenstrukturen. Beide Verfahren werden deshalb angewendet. **Abbildung 5–5** zeigt diese Überlagerung. Mit jedem Umschlag erhöhen sich die entfernungsunabhängigen Fixkosten. Jedoch ist der Zugang zu einem Fahrzeug mit einem flacheren Verlauf der Kosten über die Entfernung nur über einen oder zwei Umschläge möglich. Um dies im Netzmodell abzubilden, werden die Anbindungen an die entsprechenden Ebenen gesperrt oder mit hohen Kosten versehen. In der **Abbildung 5–5** ist die Eisenbahn im Direktverkehr durch die „Einstiegshürde“ so teuer, dass sie nicht gewählt würde, auch nicht bei beliebig großen Entfernungen. In Kombination mit Vor- und Nachlauf ist sie jedoch ab einer bestimmten Entfernung die kostengünstigste Alternative.

5.1 Umlegung der Nachfrage im 5-Ebenen-Modell

Im 5-Ebenen-Modell werden die Sendungseinheiten auf dem kostengünstigsten Weg umgelegt. Die Kostensätze für Entfernungs- und Zeitkosten je Strecke und jede Anbindung, die sich für jedes logistische Netz, jede Warengruppe und auf jeder Ebene unterscheiden werden dem

Netzmodell über ein Skript zugewiesen. Für jedes einzelne Netzelement erfolgt durch Multiplikation mit der Streckenlänge und der Streckenfahrzeit (Kehrwert der Geschwindigkeit) die Berechnung des Streckenwiderstandes. Wegen der unterschiedlichen Kosten muss die Umlegung für jede Gutart in jedem logistischen Netz (nicht alle Kombinationen existieren) eigenständig berechnet werden. Es findet weder ein Routensplitt noch ein Rückkopplung über die Berechnung einer Auslastung statt. Da bei unterschiedlichen Kostensätzen eine synchrone Umlegung aller Gutarten im Netz ohnehin nicht möglich ist, wird durch diesen Ansatz auch eine Reihenfolgeproblematik umgangen: Bei Umlegungen mehrerer Gutarten nacheinander und einer Berücksichtigung der Streckenbelastung zuvor berechneter Gutart-Umlegungen würden die Reihenfolge der Umlegung der Gutarten das Ergebnis beeinflussen.

5.2 Berechnung des Modal Split

Die Anteile der Verkehrsleistung auf den unterschiedlichen Ebenen sind als Modal Split zu interpretieren. Die Auswertung der Umlegung erfolgt durch einen Schnitt des Modells entlang seiner Ebenen. Die drei Straßennetz-Ebenen, die Eisenbahn- und die Schiffsebene werden voneinander getrennt und es entstehen 5 Teilnetze. Schnittstellen entstehen lediglich an Umschlagpunkten, an denen die Nachfrage einen Ebenenwechsel vollziehen kann. An diesen Schnittstellen entstehen neue Kordonbezirke. Diese Kordonbezirke können durch ihre Lage eindeutig „normalen“ Verkehrsbezirken zugeordnet werden. Die Information über die genaue Lage eines Logistikzentrums innerhalb eines Verkehrsbezirks geht hierbei verloren. Da die Bezirkseinteilung innerhalb der Schweiz sehr fein ist und außerhalb diese Fragestellung ohne Relevanz ist, kann dieser Informationsverlust hingenommen werden. Die Einspeisung der Nachfrage im Teilnetz erfolgt somit über die Anbindungen der „normalen“ Bezirke.

Der so bestimmte Modal Split bezieht sich auf Sendungen. Durch eine Rückrechnung mit dem Gewicht der Sendung (vom spezifischen Gewicht der Gutart abhängig) und einer Multiplikation mit der Transportweite lässt sich dann der Modal Split auf Tonnenkilometerbasis bestimmen.

5.3 Umrechnung in Fahrzeuge

Für jedes logistische Netz und jede Ebene existiert eine separate Umrechnungsvorschrift in Fahrzeuge. Für die Ebenen der Eisenbahn und des Binnenschiffes wird die gesamte Nachfrage in Waggons und Schiffe umgerechnet. Bei den 3 Lkw-Ebenen werden unterschiedliche Aufteilungen auf die drei Fahrzeugtypen Lieferwagen, Lkw und Lastzug/Sattelzug vorgenommen. Bei der Umrechnung werden jeweils die maximale Ladung des Fahrzeuges mit den jeweiligen Sendungseinheiten (z.B. Anzahl Paletten) und der durchschnittliche Auslastungsgrad des vollen Fahrzeuges berücksichtigt. Gleichzeitig wird von der bisher betrachteten Zeitspanne „Jahr“ auf „Tag“ umgerechnet.

Als Zwischenergebnis besteht an dieser Stelle für jede Gutart in jedem logistischen Netz für jede Ebene und für jedes Fahrzeug je eine Matrix, die anschließend aufaddiert werden.

5.4 Leerfahrten

Für die Berechnung der Leerfahrten werden zwei unterschiedliche Verfahren verwendet. Das komplexere Verfahren ist in Abschnitt 3.3 beschrieben. Im einfacheren Fall werden die Fahrzeugmatrizen transponiert (Tausch von Quelle und Ziel, „gespiegelt“). Welches Verfahren zum Einsatz kommt ist nach logistischen Netzen unterschiedlich definiert.

5.5 Umlegung der Fahrzeugfahrten im sekundären Netzmodell

Volle und leere Fahrzeugfahrten werden im sekundären Netzmodell gemeinsam umgelegt. Eine gemeinsame Umlegung der Lkw mit dem Pkw-Verkehr des Personenverkehrsmodells ist möglich. Die Umlegung erfolgt mit den üblichen – aus Personenverkehrsmodellen bekannten – Umlegungsverfahren.

Im Schienenverkehr erfolgt eine Umlegung der Waggons ohne Fahrplanbezug über das Eisenbahnnetz, das hilfsweise als Straßennetz attribuiert ist. Ein Hinweis auf tatsächliche Zugbelastungen ist durch diese Vorgehensweise nur eingeschränkt möglich. Um hierzu Aussagen zu machen, müssten die betrieblichen Prozesse der Eisenbahnunternehmen wie das Einsammeln und Verteilen der Waggons im Einzelwagenverkehr, die Zugbildungsprozesse und die Verladestrategien der Verloader und Empfänger (insbesondere deren Lagerhaltung und Warenpufferung) abgebildet werden.

5.6 Beurteilung der Datengrundlagen und Methoden

Für die Reaktionen im Netz sind nicht die absoluten Kosten, sondern die Kostenverhältnisse verschiedener Alternativen entscheidend. Die sehr differenzierte Kostenabbildung ermöglicht es, reale Kostenstrukturen nachzubilden. Hierfür ist es notwendig, Kosten in allen Verkehrsmitteln nach der gleichen Struktur abzubilden.

6 Validierungsgrundlagen zur Beurteilung der Modellergebnisse

6.1 Vorbemerkungen

Bei der Validierung werden Netz- und Nachfragedaten sowie die Übereinstimmung der Modellergebnisse mit der Realität überprüft. Zu diesem Zweck werden Daten zum Güterverkehr aus verschiedenen Statistiken benötigt. Es ist zu beachten, dass die heute erhobenen Kennziffern zum Güterverkehr selbst auch Ungenauigkeiten aufweisen. Vor einem Vergleich mit Modellergebnissen ist auch immer deren Verwendbarkeit und mögliche Ungenauigkeiten zu klären.

Für den Modellzustand 2005 wurden Validierungsgrundlagen zusammengestellt, die direkt das Jahr 2005 abdecken oder einen möglichst geringen Zeitabstand zu diesem Jahr aufweisen. Aufgrund der methodisch bedingten Schwankungsbreiten von Erhebungsdaten wurde darauf verzichtet, bei abweichenden Erhebungsjahren eine Umrechnung auf das Jahr 2005 vorzunehmen.

Grundsätzlich werden nur Validierungsgrundlagen für Kenngrößen zusammengestellt, welche für die Kalibration des Modells erforderlich sind. Weitere Ergänzungen dienen der besseren Nachvollziehbarkeit. Beispiel: Da im Nationalen Güterverkehrsmodell der Kombinierte Verkehr kein spezifischer Modelloutput ist, erübrigt sich grundsätzlich eine Zusammenstellung von entsprechenden Grundlagenwerten. Modelltechnisch ist es möglich, diesen separat auszuweisen. Dennoch sind in diesem Kapitel einige Daten zur Erläuterung enthalten.

Auf den Anpassungsbedarf der heutigen Güterverkehrsstatistik aus der Sicht der Güterverkehrsmodellierung bzw. des Schweizerischen Güterverkehrsmodells wird hier nicht weiter eingegangen. Dies ist Gegenstand des laufenden Forschungsprojektes „Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten“. Der 1. Zwischenbericht zu diesem Projekt vom März 2010 enthält auch detaillierte Beschreibungen der wichtigsten Erhebungen zum Güterverkehr in der Schweiz.

Nachfolgend werden die Grundlagendaten strukturiert nach Erhebungen beschrieben.

6.2 Grundlagendaten Strassengüterverkehr

6.2.1 Gütertransportstatistik GTS 2003 (GTE/GQGV)

Zur Auswertung des Strassengüterverkehrs wurden vom BFS für das Jahr 2003 die Detaildaten der GTS (GTE und GQGV) geliefert. Bis 2008 wurde die GTE 5-jährlich durchgeführt; seither kontinuierlich. Damit muss für die Validierung auf die Werte für das Jahr 2003 zurückgegriffen werden. In der GTE werden die in der Schweiz immatrikulierten schweren Güterfahrzeuge > 3.5 t Gesamtgewicht (keine Lieferwagen) erhoben, in der GQGV die ausländischen schweren Güterfahrzeuge. Sowohl GTE (Gütertransporterhebung) wie auch GQGV (Erhebung des Grenzquerenden Güterverkehrs) sind Stichprobenerhebungen.

In beiden Erhebungen sind sowohl Angaben über Transportbeziehungen wie Angaben zu den verwendeten Fahrzeugen enthalten (Nutzlast, Gesamtgewicht etc.). Für Quellen bzw. Ziele der Transporte wird in der Schweiz als unterste Ebene die Gemeinde verwendet, im Ausland die NUTS-Einteilung (für an die Schweiz angrenzende Länder) bzw. nur noch das Land (für weiter entfernte Länder). Ebenfalls sind die in der Schweiz zurückgelegten Distanzen enthalten. Zusätzlich zu den Mengen sind die Warengruppen nach NSTR bzw. Eurostat erfasst.

Für die Validierung können folgende statistischen Kennwerte für den Vergleich mit Modellergebnissen herangezogen werden:

Kennwerte aus der Statistik	Differenzierung	Beim Vergleich mit Modellergebnissen zu berücksichtigen
Transportmengen in Tonnen	<ul style="list-style-type: none"> • NSTR Warengruppen • Verkehrsart (Binnenverkehr, Import, Export, Transit) • Warenströme 	<ul style="list-style-type: none"> • Mit zunehmendem räumlichen Detaillierungsgrad sinkt aufgrund der beschränkten Stichprobe die Aussagekraft der Kenngrößen. Ein Vergleich ist möglich auf der Ebene der Grossregionen sowie der MS-Regionen. • Doppelzählungen sind nicht vermeidbar, da Güter zwischengelagert werden. Der Binnenverkehr wird damit eher überschätzt. • Da nur die Hauptwarengruppe erfasst wird, ergeben sich Unsicherheiten bei den Gütermengen nach Warengruppen. • Die Erhebung des grenzquerenden Güterverkehrs erfolgt nicht an allen Grenzübergängen. Der Import/Export wird deshalb leicht unterschätzt. • Es können auch Mengen nach Distanzklassen ausgewertet werden.
Transportleistungen in Tonnenkilometern	<ul style="list-style-type: none"> • NSTR Warengruppen • Verkehrsart (B, I, E, T) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vgl. oben
Fahrleistungen in Fahrzeugkilometern	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsart (B, I, E, T) • Fahrzeugtyp (Lastwagen, Lastenzug, Sattelzug) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aus Vergleichen der LSVA Daten mit GTS Daten ist bekannt, dass in der GTS die Fahrleistungen überschätzt werden. • Für den Vergleich mit Modelldaten sollten nur LSVA-Daten verwendet werden (vgl. später).
Anzahl Fahrten und Leerfahrten	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeugtyp (Lastwagen, Lastenzug, Sattelzug) • Verkehrsart (B, I, E, T) • Direktfahrten/Sammel- und Verteilfahrten • Fahrtenströme 	<ul style="list-style-type: none"> • Bez. Fahrten und Fahrtenströme gelten die gleichen Einschränkungen wie bei den Warenströmen. • Die Zuordnung der Fahrten zu Direktfahrten und Sammel-/Verteilfahrten erfolgen durch den Befragten. Diese Werte sind mit grösseren Unsicherheiten behaftet. • Die Leerfahrten werden direkt erfasst und dürften relativ zuverlässig sein.

Tabelle 6-1: Statistische Kennwerte GTS 2003 für die Validierung

Aus der Erhebung des alpenquerenden Güterverkehrs 2004 liegen weitere Grundlagen vor, welche grundsätzlich für die Validierung herangezogen werden könnten. Da der Transitverkehr im Güterverkehrsmodell aus den grenzquerenden Erhebungen übernommen wird, erübrigt sich seine Validierung.

6.2.2 Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (2003/2005)

Seit dem 1.1.2001 gibt es in der Schweiz die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe. Am 1.1.2005 wurden die Gebührensätze sowie die zulässige Gewichtslimite von 34 t auf 40 t erhöht. Eine weitere Erhöhung wurde 2008 vorgenommen. Es werden alle Daten erfasst, welche für die LSVA Abrechnung benötigt werden wie Fahrleistung, Emissionsklasse, Fahrzeuggesamtgewicht.

Wesentlich für die Validierung ist die Erfassung der Fahrleistungen nach Verkehrsart und Fahrzeugtyp. Die Beladung und die Warengruppen werden für die LSVA nicht erfasst. Die LSVA-Daten sind eine Vollerhebung und bieten daher eine vergleichsweise hohe Datenqualität. Es liegen die Daten für die Jahre 2003 bzw. 2005 vor.

Für die Validierung können folgende statistischen Kennwerte für den Vergleich mit Modellergebnissen herangezogen werden:

Kennwerte aus der Statistik	Differenzierung	Beim Vergleich mit Modellergebnissen zu berücksichtigen
Fahrleistung (Fz-km) pro Monat bzw. Jahr	<ul style="list-style-type: none"> Fahrzeugtypen (verschiedene Kategorien) Verkehrsart (Binnenverkehr, Import, Export, Transit, Zwischenauslandsverkehr) Inländische / ausl. Fahrzeuge Emissionsklassen (unterschiedliche Gebührensätze) 	<ul style="list-style-type: none"> LSVA liefert verlässliche Vergleichswerte für die Fahrleistung nach Fahrzeugtyp und Verkehrsart. Es kann eine Jahresganglinie gebildet werden. Unterscheidung nach In- und Ausland im Güterverkehrsmodell nicht relevant.

Tabelle 6-2: Statistische Kennwerte LSVA 2003/2005 für die Validierung

6.2.3 Zähldaten des Bundesamtes für Strassen (ASTRA)

Die Zähldaten des ASTRA umfassen Daten aus der Schweizerische Strassenverkehrszählung (SSVZ) und der Automatischen Verkehrszählung (AVZ). Erhebungsgegenstand sind Strassenfahrzeuge nach Fahrzeugkategorien (Personenwagen, Cars/Busse, Lieferwagen, Lastwagen, Lasten- und Sattelzüge, Motorräder) und Fahrtrichtung (SWISS 10).

Durch den Auftraggeber wurden Zähldaten des ASTRA übergeben, die als benutzerdefinierte Attribute im Verkehrsmodell Schweiz_GV37.ver enthalten sind. Dabei handelt es sich um 119 Zählstellen an Autobahnen oder anderen (intern-)nationalen Strassen zum Stichtag 3. Januar 2005 mit entsprechenden Einzelwerten (i.d.R. pro Fahrtrichtung separat ausgewiesenen).

Für die Validierung können folgende statistischen Kennwerte für den Vergleich mit Modellergebnissen herangezogen werden:

Kennwerte aus der Statistik	Differenzierung	Beim Vergleich mit Modellergebnissen zu berücksichtigen
Fahrzeuge	<ul style="list-style-type: none"> • Lastwagen, Lasten- und Sattelzüge • Fahrtrichtung • Stunden, Tage, Jahr 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Anzahl Fahrzeuge (Personenwagen/ Gütertransportfahrzeuge) im Querschnitt nach Fahrtrichtung weisen eine hohe Qualität auf. • Die Unterscheidung nach Fahrzeugtypen bei den Sachtransportfahrzeugen ist mit Unsicherheiten behaftet (Zuordnung geschieht auf Basis Längenklassen oder WIM). • Es kann eine Jahresganglinie gebildet werden.

Tabelle 6–3: Statistische Kennwerte ASTRA für die Validierung

6.3 Grundlagendaten Schienengüterverkehr

6.3.1 SBB Cargo/Rhätische Bahn 2003

Zur Auswertung des Schienengüterverkehrs konnte bei SBB Cargo und der RhB auf Detaildaten für das Jahr 2003 zurückgegriffen werden. Beide Datenlieferungen sind Vollerhebungen und lagen bereits weitgehend ausgewertet vor.

Sowohl in den Daten der SBB Cargo wie in den Daten der RhB sind Beziehungen von Bahnhof zu Bahnhof enthalten, auch für Quellen bzw. Ziele im Ausland. Mittels einer Zuordnungstabelle können die Bahnhöfe den Gemeinden zugeordnet werden, wobei mehrere Bahnhöfe zu einer Gemeinde gehören können. Die Warengruppen für die transportierten Güter wurden weder bei der SBB Cargo noch bei der RhB nach NSTR bzw. Eurostat erfasst. Die Warengruppen der SBB Cargo können mittels einer Zuordnungstabelle an die Einteilung NSTR bzw. Eurostat angepasst werden, wobei jedoch für den Kombiverkehr meist keine Warengruppe zugeordnet werden kann und damit die Warengruppe „sonstige Waren“ verwendet wird. Die Warengruppeneinteilung der RhB enthält nur vier Warengruppen, die sinngemäss an die NSTR- bzw. Eurostat-Einteilung angepasst werden muss.

In den Datensätzen der SBB Cargo sind nur die Tarifkilometer erfasst, die effektiv gefahrenen Distanzen sind nicht enthalten und müssen über eine zusätzliche Distanzmatrix abgeschätzt werden. In den RhB-Datensätzen sind die Tonnenkilometer bereits enthalten.

Für die Validierung können folgende statistischen Kennwerte für den Vergleich mit Modellergebnissen herangezogen werden:

Kennwerte aus der Statistik	Differenzierung	Beim Vergleich mit Modellergebnissen zu berücksichtigen
Transportmengen in Tonnen	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsart (BIET) • Warengruppen • Güterströme • KV/Schiene (möglich) 	<ul style="list-style-type: none"> • Neben SBB und RhB führen auch andere EVU Schienengütertransporte durch, insbesondere im Transit und Import/ Exportverkehr. Damit ergibt sich kein vollständiges Bild. • Die Zuordnung zur Verkehrsart ist mit Unsicherheiten behaftet. Import-/Exportverkehr wird in der Statistik teilweise als Binnenverkehr erfasst.

Kennwerte aus der Statistik	Differenzierung	Beim Vergleich mit Modellergebnissen zu berücksichtigen
		<ul style="list-style-type: none"> • Es können auch Mengen nach Distanzklassen ausgewertet werden. • Vergleiche der Relationen auf Ebene Bahnhof-Bahnhof sind möglich.
Transportleistungen in Tonnenkilometern	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsart (BIET) • Warengruppen 	Vgl. Oben
Kombinierter Verkehr	Ladeeinheitentypen (möglich)	Die Zuordnung zu Ladeeinheitentypen ist zuverlässig.
Anzahl Bahnwagen	Verkehrsart (möglich)	Die Anzahl der Bahnwagen ist zuverlässig.
Anzahl Züge	Verkehrsart (möglich)	Das NGVM ermittelt im heutigen Zustand keine Züge.

Tabelle 6-4: Statistische Kennwerte SBB Cargo und RhB für die Validierung

Aus der Erhebung des alpenquerenden Güterverkehrs 2004 liegen weitere Grundlagen vor, welche grundsätzlich für die Validierung herangezogen werden könnten.

6.3.2 SBB Infrastruktur 2006

Die SBB Infrastruktur stellte Transportmengen (t) und Transportleistungen (tkm) bezogen auf Bahnhofsrelationen im Jahr 2006 zur Verfügung. Die Daten waren in streckenbezogene und zugbezogene Daten gegliedert. Die Erhebung schliesst alle auf dem Normalspurnetz verkehrenden Eisenbahnverkehrsunternehmen mit ein und ist damit vollständig.

Die Daten lassen sich nicht nach Gutarten oder Warengruppen differenzieren. Dies unterscheidet die SBB Infrastrukturdaten von den Daten von SBB Cargo und Rhätischer Bahn.

Für die Validierung können folgende statistischen Kennwerte für den Vergleich mit Modellergebnissen herangezogen werden:

Kennwerte aus der Statistik	Differenzierung	Beim Vergleich mit Modellergebnissen zu berücksichtigen
Tonnenkilometer zwischen Bahnhöfen	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsart (BIET) • KV / Schiene 	Bezogen auf die tkm liegt eine hohe Datenqualität vor.
KV	<ul style="list-style-type: none"> • Ladeeinheitentypen 	Auswertung grundsätzlich möglich. Jedoch nicht verwendet.
Anzahl Bahnwagen	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsart (BIET) 	Auswertung grundsätzlich möglich. Jedoch nicht verwendet.
Anzahl Züge	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsart (BIET) 	Das NGVM ermittelt im heutigen Zustand keine Züge.

Tabelle 6-5: Statistische Kennwerte SBB Infrastruktur 2006 für die Validierung

Bei den Tonnenangaben ist die Verwendung für die Validierung nicht sinnvoll, da der Umfang von Doppelzählungen nicht bestimmt werden kann.

6.4 Grundlagendaten Kombierter Güterverkehr

Der Fokus liegt hier auf dem Kombinierten Verkehr Schiene/Strasse. Die Transportketten Schiff/Strasse und Schiff/Bahn spielen im Zusammenhang mit den Rheinhäfen eine Rolle.

Im Nationalen Güterverkehrsmodell wird der Kombinierte Verkehr grundsätzlich berechnet ist im Moment jedoch kein spezifischer Modelloutput. Aus Gründen der Vollständigkeit wird das Kapitel ergänzend dargestellt.

6.4.1 Schienenhauptlauf

Daten zum Schienenhauptlauf sind in der Schienengüterverkehrsstatistik der Bahnen enthalten (vgl. oben). Eine Differenzierung ist möglich nach Verkehrsart, nach Relation (Ziel- und Quellbahnhof) und nach Behältertypen (Container, Wechselbehälter, ACTS, Cargo Domino etc.) Damit lassen sich auch die Anzahl Ladeeinheiten im Empfang/Versand nach Regionen (MS-Regionen, andere) ermitteln.

Die Angaben zum Verkehrsmittel der Vor- und Nachtransporte (Strasse, Schiff) sind unzuverlässig und nicht verwendbar. Ein Teil der Mengen im Kombinierten Verkehr werden auf Anschlussgleise zugestellt und haben weder einen Strassenvorlauf noch einen Strassennachlauf.

Im Rahmen des SVI Projektes 1999/329 „Vor- und Nachlauf im kombinierten Ladungsverkehr“ (Rapp Trans AG, 2005) wurden verschiedene Daten aus dem Jahr 2002 aufbereitet und können grundsätzlich zu Vergleichszwecken herangezogen werden.

Für die Jahre 2004 bis 2009 wurde der Schienengüterverkehr von SBB Cargo im Rahmen des Projektes „Erstellung Mengengerüst für den Kombinierten Ladungsverkehr im Binnenverkehr der Schweiz“ (Rapp Trans AG, März 2010) aufbereitet. Dabei wurden die Mengen im Binnenverkehr nach Distanzklassen, Warengruppen, Behältertypen und Relationen ausgewertet und dargestellt. Da auch der Strassengüterverkehr 2008 ausgewertet wurde, konnten auch die Marktanteile bzw. der Modal Split nach Distanzklassen und Warengruppen abgeschätzt werden.

Für den alpenquerenden Güterverkehr liegen aus der AQGV 2004 umfassende Grundlagen zum Schienenhauptlauf des Kombinierten Verkehrs vor.

6.4.2 Strassenvor- und -nachlauf

Die Strassenvor- und Nachläufe werden im Rahmen der GTS erfasst (vgl. oben). Dabei wird auch die Frachtart „Grosscontainer und andere grosse Behälter“ erfasst. Diese Frachtart beinhaltet aber nicht nur kombinierte Verkehre. Eine Abgrenzung der Strassentransporte im KV-Vor- und Nachlauf ist damit nicht möglich.

Im Rahmen des SVI Projektes 1999/329 „Vor- und Nachlauf im kombinierten Ladungsverkehr“ (Rapp Trans AG, 2005) wurden verschiedene Daten aus dem Jahr 2002 aufbereitet und können grundsätzlich zu Vergleichszwecken herangezogen werden.

6.4.3 Terminalumschlagmengen

Die Umschlagmengen werden heute in der Schweiz nicht systematisch erfasst. Im Rahmen folgender Projekte wurden die Terminalmengen in der Schweiz erfasst:

- Ausgestaltung von Terminals für den (unbegleiteten) kombinierten Ladungsverkehr (VSS Projekt 1998/189, 1999, Rapp Trans AG/ETH IVT)
- Terminallandschaft Schweiz, SBB Infrastruktur (Rapp Trans AG, 2008)

Die durch die Terminalbetreiber gelieferten Angaben waren jedoch nicht immer vollständig und auch nicht immer direkt vergleichbar.

6.4.4 Verkehrsleistungen Gutarten

Die Datengrundlagen enthalten weder strassenseitig noch schienenseitig eine Ausdifferenzierung in einzelne Gutarten. Als Validierungsgrundlagen sind daher die Daten auf Ebene der Warengruppen heranzuziehen, die bereits oben beschrieben sind.

6.5 Weitere Daten für die Validierung

6.5.1 Aussenhandelsstatistik 2006/Logistikmarktstudie 2009

In der Logistikmarktstudie Schweiz, die 2009 zum zweiten Mal aufgelegt wurde, wird der Logistikmarkt Schweiz als Gesamtmarkt und in seinen Teilmärkten dargestellt. Für die Validierung des Güterverkehrsmodells fanden nur ausgewählte Daten Verwendung, die für die Bearbeitung relevant waren.

Dabei handelt es sich um Angaben zu Import und Export und die vier Nachbarländer Deutschland, Frankreich, Italien und Österreich und zwar nach

- Tonnen Import 2006 (D, F, I, A)
- Tonnen Export 2006 (D, F, I, A)
- Modal Split Import 2006 (D, F, I, A)
- Modal Split Export 2006 (D, F, I, A).

Diese Angaben umfassen *nicht* Verkehre in weitere Länder (also bspw. Beneluxverkehre durch Deutschland oder Spanienverkehre durch Frankreich). Daneben sind wertmässige Angaben verfügbar, die jedoch für die Validierung nicht verwendet werden können. Basis dieser Daten ist die Aussenhandelsstatistik der Schweiz (EZV, 2006), diese Daten wurden jedoch bereinigt (u.a. Luftfracht/Kerosin). Für die methodischen Änderungen sei auf das Kap. 3.5 der Logistikmarktstudie verwiesen.

6.5.2 Kostengrundlagen

Kosten zum Güterverkehr stellen die monetäre Bewertung der Leistungserstellung oder Produktion von Transportleistungen dar. Sie sind, da unternehmensspezifisch und Bestandteil der Wettbewerbsposition unter den Mitbewerbern im Güterverkehr, grundsätzlich nicht frei zugänglich und öffentlich. Zudem stehen in der aktuellen Regulierungspraxis in der schweizerischen Verkehrspolitik die Leistungserstellungs- und Produktionskosten im Zentrum

von Förder- und Lenkungsmaßnahmen, womit die Produktionskosten weiter beeinflusst werden.

Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten, wie man sich den Kosten im Güterverkehr annähern kann. Entweder man versucht, die Kostenstrukturen mit Hilfe von Kalkulations- und Kostenmodellen abzubilden, oder man nähert sich den Kosten über öffentlich zugängliche Tarife.

Folgende Grundlagen wurden für die Validierung der Kosten im NGVM verwendet:

- Selbstkosten für Nutzfahrzeuge im Strassentransport, ASTAG, 11. Auflage 2004
- Kostenkalkulationen aus dem Projekt SPINALP für Schiene, KV und Strasse
- Dieselpreisentwicklung ASTAG/IRU
- Gewicht-Distanz-Tarif SBB Cargo (Basistarif 800 resp. 800.15 für Containertransporte)
- Logistikmarktstudie 2009
- Kostengrundlagen aus dem Bericht Modal-Split Funktionen im Güterverkehr (Rapp Trans AG, IVT/ETHZ (2008))

6.6 Beurteilung der Validierungsgrundlagen

Als Erhebungsdaten wurden eine Reihe durch Bundesbehörden erfasster Daten verwendet. Hierzu zählen die GTE, die GQGV und die LSVA mit dem jeweils verfügbaren passenden Zeithorizont. Ergänzt wurde die Datensammlung um Angaben von Verkehrsunternehmen. Verfügbar waren Daten der SBB (Cargo und Infrastruktur) sowie der Rhätischen Bahn, während von der BLS keine Angaben zur Verfügung standen. Andere Bahnen wurden nicht angefragt, da sie im innerschweizer Güterverkehr keine wichtige Rolle spielen. Ein projektbegleitender Arbeitskreis mit Beteiligung der wichtigsten Institutionen erleichterte die Datenbeschaffung.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass es nicht für alle gewünschten Grössen auch empirische Daten gibt. Die verfügbaren Daten unterscheiden sich in Erhebungsmethodik, Erhebungshäufigkeit und Qualität voneinander. Generell gibt es die verlässlichsten Daten für Strassenbelastungen bzw. in geringerem Umfang für die Schiene (also für bei der Modellrechnung am Schluss stehende Schritte), teilweise bei der Aufkommensebene (Tonnage Import/Export), aber kaum empirische Daten für dazwischen liegende Modellberechnungsschritte. Im Folgenden werden einige wichtige Punkte dazu thematisiert:

Definition der Warengruppen in der Statistik

Für die Tonnage, die in der Gütertransporterhebung GTE sowie der GQGV erhoben wurde, ist festzustellen, dass es sich um Stichprobenwerte handelt, die hochgerechnet werden, und damit Abweichungen möglich sind. Es wurde auch nicht an allen Grenzübergängen erhoben. In der GQGV wurde bei gemischten Sendungen nur eine Hauptwarengruppe erfasst. Durch Zwischenlagerungen oder Umschläge sind Doppelzählungen unvermeidlich. Bei der Einteilung der Warengruppe nach NSTR 0 stehen grundstoff- bzw. landwirtschaftsbezogene Güter im Vordergrund. Wichtige heterogene Waren wie Fahrzeuge, Fertiggüter, Halbfertigwaren, Maschinen, Containerlieferungen sind in der Warengruppe 9 aggregiert und damit nicht für einzelne Gütermengen nachvollziehbar.

Netto-Netto-Problematik (SBB-Daten)

Die Bahnunternehmen weisen in ihren Statistiken Netto-Tonnen bzw. Netto-Tonnen-Kilometer aus. Als Tara-Gewichte sind hier die Gewichte des Rollmaterials (Wagen und Lokomotiven) berücksichtigt. Weitere „Verpackungen“ der eigentlichen Ware wie Container, Wechselbrücken, Paletten, Kisten usw. sind mit ihren Gewichten jedoch in den Netto-Tonnen enthalten. Im Fall des begleiteten kombinierten Verkehrs („rollende Landstraße“ bzw. „rollende Autobahn“) sind in den Netto Gewichten auch die Lkw enthalten.

Teilzugsdatei vs. Bahnstufendatei der SBB

Für die Bearbeitung standen zwei weitere Datensequenzen der SBB zur Verfügung, mit Daten zu Empfangs- und Abgangsgüterstationen und -mengen und Teilzügen bezogen auf Strecken. Die daraus berechneten Tonnenkilometer sind eine brauchbare Grundlage, die Betrachtung auf der Ebene von Tonnen ist schwieriger nachzuvollziehen.

Tonnen vs. Tonnenkilometer

In verschiedenen statistischen Quellen wird Bezug auf Tonnen bzw. Tonnenkilometer genommen. Bei den Tonnen besteht grundsätzlich die Problematik der Doppelzählung bei einem oder mehreren Umschlägen. Diese Problematik taucht bei den Tonnenkilometern nicht auf, so dass diese Angaben eine höhere Verlässlichkeit aufweisen als die Angaben zur reinen Tonnage.

Daten Schiene/Strasse

Während der Güterverkehr auf der Strasse in der Regel den schnellsten Routen folgt und daher über Querschnittserhebungen noch gut abzubilden ist, sind die realen Verhältnisse bei der Schiene komplizierter. Vielfältige betriebliche Abläufe können für völlig andere Laufwege gegenüber dem streckenmässig kürzesten Weg sorgen. Dadurch können Güter auf demselben Streckenabschnitt auch mehrfach transportiert werden. Da im Modell bei den Tonnenkilometern keine betrieblichen Abläufe dargestellt werden, können die tatsächlichen Tonnenkilometer der Schiene höher ausfallen. In welchem Umfang liegt an den betrieblichen Gegebenheiten und muss selbst bei gleichen Relationen nicht immer nach der gleichen Methode ablaufen.

Kosten

Die verfügbaren Angaben zu den Kosten beinhalten keine „harten“ Kosten für die in der Modellierung verwendeten Inputgrößen; sie sind vielmehr in Form von „Stützwerten“ zu verwenden.

Weitere Hinweise

Viele Daten sind hinsichtlich der Erstellungsmethodik nicht oder nicht ausreichend dokumentiert, daher nicht immer nachvollziehbar; dies kann zu Abweichungen führen. Dies kann auch dazu führen, dass für die gleichen Eckwerte durch unterschiedliche Datenquellen verschiedene Größenordnungen geliefert werden.

Nicht geprüft wurden Angaben zu Fahrten an Grenzübergängen (da bereits bei der Modellierung direkt eingespeist) oder Daten, die in der „Landnutzungsdatei“ gesammelt bzw. hochgerechnet wurden.

6.7 Zusammenstellung der Validierungsgrundlagen

6.7.1 Übersicht über die verwendeten Validierungsgrundlagen

Folgende Kenngrössen aus den Validierungsgrundlagen wurden aufbereitet:

- Güteraufkommen (t)
- Import und Export zu den Nachbarländern (Mio.t)
- Verkehrsleistungen (B,I,E,T) gesamte Schweiz (tkm)
- Verkehrsleistungen (B,I,E) Warengruppen (tkm)
- Verkehrsleistungen Gutarten (tkm)
- Fahrtlängenverteilungen (t pro Distanzklasse km)
- Modal Split (tkm,%)
- Transit (t, tkm)
- Fahrleistungen Strasse (Mio. Fzkm)
- Leerfahrten Strasse (Fzkm)
- Umschlagmengen KLV (t, Behälter, tkm)
- Kombiverkehr (t, tkm)
- Netzbelastungen Strasse, Schiene (Mio. t/Jahr)

Sie werden im Folgenden einzeln erläutert.

6.7.2 Güteraufkommen

Die Tonnage wurde gegliedert nach 10 Warengruppen (NSTR10) sowie als Gesamtsumme aus den empirischen Daten (GTE und Tonnage SBB Cargo + Rhätische Bahn, jeweils Stand 2003) dargestellt. Die Werte sind in Binnenverkehr (Schweiz->Schweiz), Export (Schweiz->Ausland), Import (Ausland->Schweiz) sowie Transitverkehr (Ausland->Ausland) aufgeteilt. Da die Modelldaten den Transitverkehr nicht enthalten, werden zum besseren Vergleich bei den Erhebungsdaten der Transitanteil in der Summe herausgerechnet.

Da bei der Schiene nicht für alle Transportunternehmen Tonnagedaten verfügbar sind, muss tendenziell von einer höheren Tonnage ausgegangen werden. Die einzelnen Warengruppen sind sehr unterschiedlich vom Aufkommen und reichen von den schwachen Warengruppen 2 (feste mineralische Brennstoffe) bzw. 7 (Düngemittel) bis zu den aufkommensstarken Warengruppen 6 (Steine und Erden) bzw. 9 (Fahrzeuge, Maschinen, sonstige Halb- und Fertigwaren). Letztere Gruppe umfasst auch sonstige Güter und Container und ist daher statistisch schwer greifbar.

Die Tonnagen im Überblick sind in Tabelle 6-6 zusammengestellt. Die Sortierung erfolgte in absteigender Reihenfolge nach dem Aufkommen (mit und ohne Transitanteil):

Summe Erhebungsdaten (Strasse+Schiene) 2003		Summe Tonnage	Summe Tonnage	Anteil WG
[tonnen/Jahr]		mit Transit	ohne Transit	ohne Transit
WG6	Steine und Erden einschliessl. Baustoffe	159'793'636	159'342'473	50%
WG9	Fahrzeuge, Maschinen, Halb-/Fertigwaren	82'987'219	64'005'972	20%
WG1	Andere Nahrungs- und Futtermittel	37'058'343	36'174'438	11%
WG0	Land- und forstwirtschaftl. Erzeugn., Tiere	17'682'664	16'114'596	5%
WG3	Erdöl, Mineralölerzeugnisse	19'793'392	19'713'986	6%
WG8	Chemische Erzeugnisse	13'686'396	12'221'467	4%
WG5	Eisen, Stahl und Nicht-Eisen-Metalle	10'039'834	7'647'030	2%
WG4	Erze und Metallabfälle	3'859'864	3'383'730	1%
WG7	Düngemittel	853'639	844'255	0%
WG2	Feste mineralische Brennstoffe	380'954	319'609	0%
Summe alle Warengruppen		346'135'941	319'767'554	100%

Tabelle 6-6: Ranking Tonnage nach Warengruppen

6.7.3 Import und Export zu den Nachbarländern

Ergänzend wurden die Gütermengen zu den vier Nachbarländern Deutschland, Frankreich, Österreich und Italien geprüft. Basis ist die Aussenhandelsstatistik der Schweiz (Bezugsjahr 2006), deren Kennwerte aus der Logistikmarktstudie 2009 entnommen wurde (mit den dort vorgenommenen Korrekturen).

Import	EZV AHS* 2006
Land	Logistikmarktstudie
Deutschland	17.960 Mio. t
Frankreich	7.613 Mio. t
Österreich	2.675 Mio. t
Italien	5.178 Mio. t

Tabelle 6-7: Import Nachbarländer: Vergleich Modelldaten – empirische Daten Tonnage

Export	EZV AHS* 2006
Land	Logistikmarktstudie
Deutschland	5.085 Mio. t
Frankreich	2.411 Mio. t
Österreich	1.465 Mio. t
Italien	2.883 Mio. t

*Aussenhandelsstatistik der Schweiz, mit Bereinigungen

Tabelle 6-8: Export Nachbarländer: Vergleich Modelldaten – empirische Daten Tonnage

Der mit Abstand wichtigste Handelspartner ist Deutschland, gefolgt von Frankreich. Die Importe aus beiden Ländern sind weitaus grösser als die Exporte dorthin. Die Exporte nach Italien liegen höher als die nach Frankreich. Der Handelsaustausch mit Österreich folgt an vierter Stelle der Nachbarländer. Die Importe und Exporte von und nach Deutschland erfolgen strassen- und schienenseitig zu einem grossen Teil über Basel.

6.7.4 Verkehrsleistungen (Binnenverkehr, Import, Export, Transit) gesamte Schweiz

Die **Verkehrsleistung** der Schweiz beläuft sich beim Binnenverkehr Strasse und Schiene auf insgesamt knapp 11 Mrd tkm. Einschließlich Import (knapp 3.0 Mrd. tkm) und Export (1.6 Mrd. tkm) beträgt der Wert 15.6 Mrd tkm. Nimmt man den Transitverkehr hinzu, der bei der Validierung jedoch nicht berücksichtigt wird, liegt die Gesamtsumme bei 21.7 Mrd tkm.

BFS-Daten (GTE/GQGV) Strasse 2003				
[1000 tkm/J.]	Schweiz	Ausland	Summe	ohne Transit
Schweiz	8'886'278	1'167'639	10'053'917	
Ausland	1'948'577	2'165'954	4'114'531	
Summe	10'834'855	3'333'593	14'168'448	12'002'494
<i>Q: BFS, Schweizerische Verkehrsstatistik GTS03 - A08</i>				
SBB Cargo/RhB (Schiene) 2003				
[1000 tkm/J.]	Schweiz	Ausland	Summe	
Schweiz	2'107'040	477'666	2'584'705	
Ausland	1'029'963	3'907'618	4'937'581	
Summe	3'137'003	4'385'284	7'522'287	3'614'669
<i>Q: Unternehmensangaben 2003, Auswertung Rapp Trans</i>				
Summe Erhebungsdaten 2003				
[1000 tkm/J.]	Schweiz	Ausland	Summe	
Schweiz	10'993'318	1'645'305	12'638'622	
Ausland	2'978'540	6'073'572	9'052'112	
Summe	13'971'858	7'718'877	21'690'735	15'617'163
<i>nur Leistungsdaten auf Schweizer Territorium</i>				

Tabelle 6-9: Verkehrsleistung in tkm 2003 in der Schweiz

Der Anteil der Schiene an der gesamten Verkehrsleistung liegt im schweizerischen Binnenverkehr bei 19 %, im Import bei 35 %, im Export bei 29 % und in der Summe (inkl. Transit) bei 35 %.

Schieneanteil am bimodalen Split (Erhebungsdaten 2003)				
[in %, Basis tkm]	in die Schweiz	ins Ausland	Total	
			mit Transit	ohne Transit
Von der Schweiz	19%	29%	20%	
Vom Ausland	35%	64%	55%	
Total	22%	57%	35%	23%

Tabelle 6-10: Schienenverkehrsanteil am bimodalen Split 2003

Eine Einzeldarstellung des Importes und Exportes auf **Länderebene** in Tonnenkilometern ist grundsätzlich strassenseitig möglich. Schienenseitig sind die Importleistungen der Schweiz jedoch aufgrund der verfügbaren Datenstruktur nicht den einzelnen Handelsländern (Deutschland, Frankreich, Niederlande im Norden bzw. Italien, Griechenland, etc. im Süden) zuordnungsbar.

Da schienenseitig nicht alle Eisenbahnverkehrsunternehmen enthalten sind wird der Modal Split unterschätzt. Dies gilt insbesondere für den Transitverkehr und den Import/Exportverkehr.

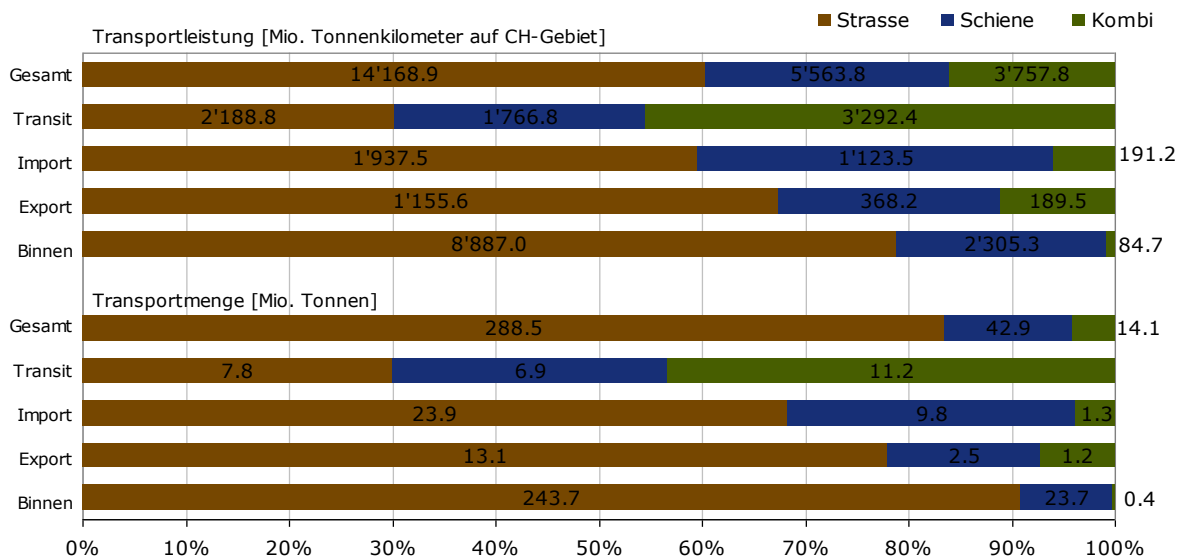


Abbildung 6-1: Modal Split Strasse/Schiene/KV nach Transportleistung und Transportmenge

6.7.5 Verkehrsleistungen (B,I,E) Warengruppen

Im Folgenden wurden die Verkehrsleistungen gem. NSTR-Einteilung in 10 Warengruppen differenziert. Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind die Verkehrsleistungen bei den einzelnen Warengruppen absteigend sortiert dargestellt, und zwar jeweils mit und ohne Transitanteil sowie anteilig.

Summe Erhebungsdaten (Strasse+Schiene) 2003		Summe	Summe	Anteil WG
[1000 tkm/J.]		mit Transit	ohne Transit	ohne Transit
WG9	Fahrzeuge, Maschinen, Halb-/Fertigwaren	9'484'640	4'870'896	31%
WG6	Steine und Erden einschliessl. Baustoffe	3'602'233	3'530'402	23%
WG1	Andere Nahrungs- und Futtermittel	2'941'687	2'726'152	17%
WG3	Erdöl, Mineralölerzeugnisse	1'284'823	1'265'629	8%
WG0	Land- und forstwirtsch. Erzeugn., Tiere	1'552'052	1'257'917	8%
WG8	Chemische Erzeugnisse	1'218'647	962'452	6%
WG5	Eisen, Stahl und Nicht-Eisen-Metalle	1'214'065	674'621	4%
WG4	Erze und Metallabfälle	280'684	226'125	1%
WG7	Düngemittel	80'466	78'420	1%
WG2	Feste mineralische Brennstoffe	31'437	24'549	0%
Summe		21'690'734	15'617'163	100%

Tabelle 6-11: Verkehrsleistungen 2003 nach Warengruppen (absteigend sortiert nach 1000 tkm/J.)

Die **Verkehrsleistung (in 1000 tkm/J.)** der einzelnen Warengruppen ist sehr unterschiedlich. Den grössten Anteil haben die Warengruppen 9, 6 und 1, nur eine sehr geringe Verkehrsleistung zeigen die Warengruppen 7 und 2. Die Warengruppe 9 hat einen Anteil von 31%, was auch der statistischen Einteilung geschuldet ist.

6.7.6 Fahrlängenverteilungen

Pro Warengruppe und für alle Warengruppen insgesamt wurden auch die Fahrlängenverteilungen dokumentiert. Sie sind ebenfalls differenziert nach Strasse und Schiene. Auch die aggregierte Darstellung in der Kombination aus Strasse und Schiene wurde aufgenommen. Bei den Distanzverteilungen sind die Transitverkehre nicht berücksichtigt.

Im Folgenden wird aus Übersichtlichkeitsgründen nur die Fahrlängenverteilungen für die Summe aller Gutarten dargestellt.

Über alle Warengruppen betrachtet zeigt sich, dass die Fahrlängenverteilungen auf der Strasse auf kurzen Distanzen sehr stark auftreten und dann mit zunehmenden Entfernungen stark abnehmen. Anders verhält es sich bei der Schiene. Hier sind die Werte diskreter. Einen Schwerpunkt gibt es in den Entfernungsbereichen von 40 bis 90 km. Ein weiterer Schwerpunkt, wenngleich auf niedrigerem Niveau, ist um 200 km. Kurze Distanzen treten nicht so stark in Erscheinung, sind jedoch auch nicht völlig fehlend. Zu beachten ist, dass die auf der x-Achse verzeichnete Tonnage bei Strasse und Schiene einen anderen Massstab aufweisen.

Betrachtet man die einzelnen Warengruppen, so fällt auf, dass beispielsweise Nahrungs- und Futtermittel (WG1) mit zunehmender Distanz relativ gleichmässig an Gewicht verlieren, während bei den festen mineralischen Rohstoffen (WG2) oder Erdölen und Mineralölerzeugnissen (WG3) mehr diskrete Werte auftreten.

7. Distanzverteilung alle Warengruppen (ohne Transit)

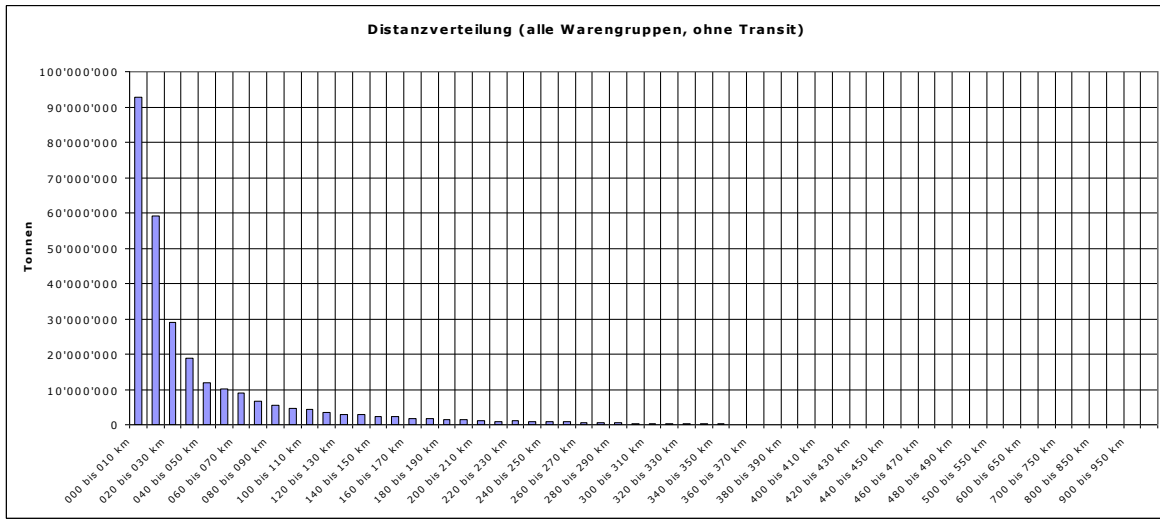


Tabelle 6-12: Distanzverteilung Strasse (GTE/QGV 2003) alle Warengruppen

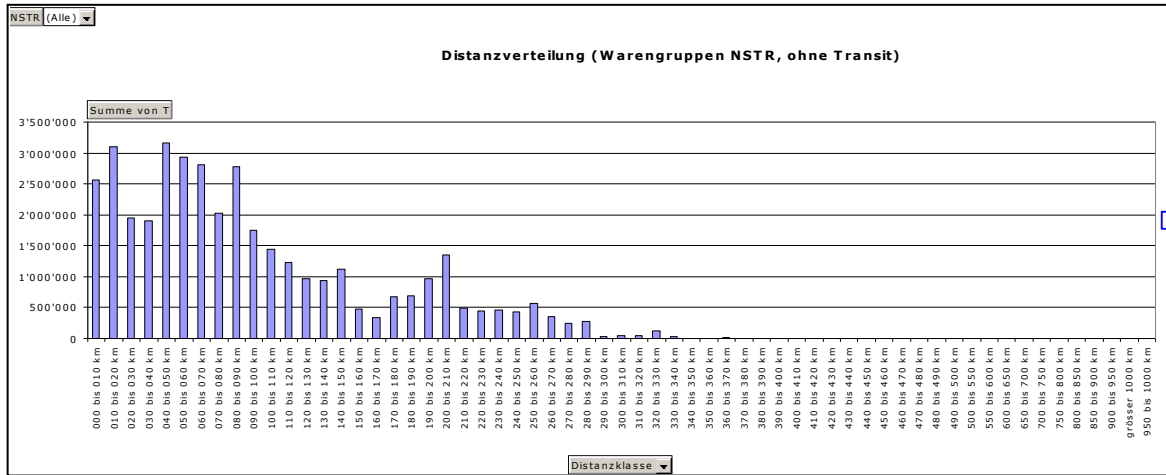


Tabelle 6-13: Distanzverteilung Schiene (2003) alle Warengruppen

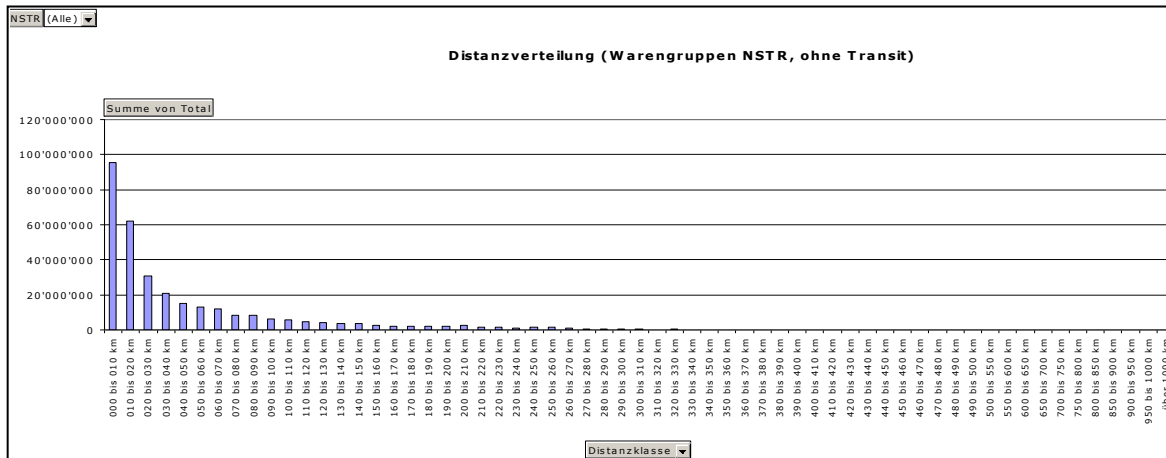


Tabelle 6-14: Distanzverteilung Strasse (2003) alle Warengruppen

6.7.7 Modal Split Verkehrsleistungen Warengruppen

Je nach Warengruppe kann der Modal Split (Strasse, Schiene) erheblich variieren. Ausgewiesen sind die Modal-Split-Anteile Schiene für den Binnenverkehr, den Import, den Export sowie den Gesamtverkehr ohne Transit.

Anteil Schiene am bimodaler Split tkm 2003		Binnen- verkehr	Import	Export	Summe ohne Transit
WG0	Land- und forstwirtschaft. Erzeugn., Tiere	18%	17%	37%	22%
WG1	Andere Nahrungs- und Futtermittel	9%	22%	4%	10%
WG2	Feste mineralische Brennstoffe	39%	72%	0%	67%
WG3	Erdöl, Mineralölerzeugnisse	37%	90%	82%	52%
WG4	Erze und Metallabfälle	47%	54%	61%	51%
WG5	Eisen, Stahl und Nicht-Eisen-Metalle	13%	49%	35%	30%
WG6	Steine und Erden einschliessl. Baustoffe	18%	20%	23%	18%
WG7	Düngemittel	11%	28%	65%	17%
WG8	Chemische Erzeugnisse	25%	38%	26%	30%
WG9	Fahrzeuge, Maschinen, Halb-/Fertigwaren	22%	24%	26%	23%
Durchschnitt über alle Warengruppen		19%	35%	29%	23%

Tabelle 6-15: Schienenverkehrsanteil am bimodalen Split (Basis tkm 2003)

Die importierten bzw. exportierten Waren weisen in der Regel einen höheren Schienenverkehrsanteil auf. Dies lässt sich durch die längeren Gesamtdistanzen begründen (z.B. zu einem Überseehafen). Spitzenwerte erreicht der Import und Export bei den Erdölen/Mineralölen mit 90% bzw. 80%. Im Binnenverkehr liegt der Schienenverkehrsanteil bei den Nahrungs- und Futtermitteln vergleichsweise niedrig (9%), andererseits bei den Erzen und Metallabfällen mit 47% recht hoch. Im Durchschnitt wird im Binnenverkehr nur knapp jede fünfte Tonne mit der Bahn bewegt.

6.7.8 Fahrleistungen Strasse (LSVA)

Seit der Einführung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe für Lastkraftwagen im Jahre 2001 existiert eine fortlaufende monatliche Datenbasis für Fahrleistungen in der Schweiz. Die Angaben sind u.a. nach unterschiedlichen Fahrzeugtypen sowie Fahrzeugarten differenziert. Die Fahrzeugarten umfassen den

- Binnenverkehr
- Einstrahlenden Verkehr
- Ausstrahlenden Verkehr
- Transitverkehr sowie den
- Zwischenauslandsverkehr.

Die letztgenannte Kategorie passt nicht zu den üblichen vier Kategorien und wurde daher in Absprache mit der die Daten bereitstellenden Stelle jeweils hälftig dem ein- und dem ausstrahlenden Verkehr zugeordnet.

Betrachtet wurden die relevanten Kategorien für den schweren Güterverkehr. Dieser umfasst die Fahrzeugklassen 34, 35 und 38.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurden die Daten für das Jahr 2003 verwandt. Ein Vergleich mit der Datenreihe für 2005 zeigt, dass es nur geringfügige Unterschiede zu 2003 gibt und die Zugrundelegung der 2003er Daten zu keinen Problemen führt.

Fahrzeug-Kilometer auf Schweizer Gebiet					
LSVA 2003 (schwere Güterfahrz.) 26.09.2009 (exkl. Fz.typen 36+37)	1 binnen	2 ein +50% zav	3 aus +50% zav	4 transit	Gesamt
34 Lastzug (gerechnet)	378'630'506	47'321'634	46'532'940	58'519'392	531'004'472
35 Lastwagen	973'251'795	28'785'710	29'950'755	12'828'235	1'044'816'495
38 Sattelschlepper	360'874'294	93'359'295	95'119'605	146'039'256	695'392'450
Summe (ohne 36+37)	1'712'756'595	169'466'639	171'603'300	217'386'883	2'271'213'417

Tabelle 6-16: Fahrleistungen schwere Güterfahrzeuge 2003 (LSVA, Zahlen für 2005 vergleichbar)

Mengenmässig den grössten Teil macht der Binnenverkehr aus (rd. 1.7 Mrd. Fzkm), der ein- bzw. ausstrahlende Verkehr liegt in gleicher Grössenordnung jeweils um die 170 Mio. Fzkm. Etwas höher liegt der Transitverkehr mit 217 Mio. Fzkm.

Die Eckwerte sind gut geeignet, um die Modelldaten zu eichen.

6.7.9 Leerfahrten Strasse

Das BFS verzeichnete für das Erhebungsjahr 2003 einen Leerkilometeranteil von 524 Mio. Fzkm an der Gesamtfahrleistung von 2.1 Mrd. Fzkm. Dies bedeutet, dass ein viertel der gefahrenen Kilometer leer zurückgelegt wurde.

Betrachtet man die Leerkilometer in Abhängigkeit von den Gewichtsklassen, ergibt sich folgendes Bild:

- Bis 7.5 t 28.2%
- Bis 18 t 23.9 %
- Bis 26 t 30.1 %
- Über 26 t 24.0 %

Damit liegen die Fahrzeuge der 18 t und über 26 t Kategorie unter dem Durchschnitt, während die Fahrzeuge bis 7.5 t und bis 26 t einen höheren Anteil an Leerkilometer ausweisen.

7 Kalibrationsergebnisse

Ziel der Kalibrierung ist es, eine möglichst gute Übereinstimmung der Modellergebnisse mit gezählten oder auf andere Weise empirisch erhobene Größen zu erreichen. Voraussetzung dafür ist, dass eine weitgehende definitorische Übereinstimmung von Modellgrößen und empirischen Daten gegeben ist. Die Aufbereitung der Validierungsgrundlagen hat gezeigt, dass dies nicht immer gegeben ist.

7.1 Eingriffsmöglichkeiten im Güterverkehrsmodell

Der mehrstufige Aufbau des Güterverkehrsmodells erschwert die Kalibrierung. Die Nachfrageerzeugung am Beginn der Berechnungen beruht weitgehend auf Daten, die überprüfbar sind (Einwohner, Arbeitsplätze, landwirtschaftliche Produktion, Produktionsziffern von großen Einzelbetrieben). Erst am Ende der Berechnungen ergeben sich wieder Ergebnisse (z.B. Verkehrsbelastungen), die überprüfbar sind. Für die Zwischenschritte der Güterverkehrsmodellierung sind praktisch keine Kontrollmöglichkeiten vorhanden.

Für eine Differenz bei den Belastungen einer Straße zwischen gezähltem Wert und berechnetem Wert sind daher eine Reihe von Ursachen denkbar:

Die berechnete Routenwahl ist falsch. Die Lkw-Verkehrsströme sind der richtigen Größe (Quelle-Ziel-Beziehungen der Matrix) vorhanden, sie befahren jedoch eine „falsche“ Route. Routenalternativen sind überwiegend dort vorhanden, wo Autobahnen und (leistungsfähige) untergeordnete Straßen parallel verlaufen und/oder die untergeordneten Straßen gegenüber der Autobahn eine Abkürzung darstellen. Ursachen für eine fehlerhafte Routenwahl können auch in der Abbildung des Netzmodells liegen, das ursprünglich für den Personenverkehr erstellt wurde (fehler- oder mangelhafte Abbildung von Lkw-spezifischen Restriktionen).

Die Abweichungen ergeben sich durch die Leerfahrtenberechnung. Die Annahme, dass LW für bestimmte Waren auf dem Rückweg (keine) entsprechende Rückladung mitnehmen, ist im Einzelfall (Kooperation der Betriebe) oder generell falsch. Der mögliche Fehler ist auf die Waren eingrenzbar, bei denen die Option der Rückladung besteht.

Die Abweichungen ergeben sich durch eine falsche Annahme über die Beladung und Auslastung der Fahrzeuge oder die Zuordnung zu verschiedenen Lkw-Typen (Lieferwagen, Lastzug/Sattelzug, Lkw). Abweichungen sind sowohl generell als auch im Einzelfall, abhängig von den Logistikkonzepten der Betriebe, möglich. Da die Gutarten im Verkehrsmodell in einigen Bereichen (z.B. Chemie, Kunststoffverarbeitung, Maschinenbau) die tatsächliche Vielfalt und Unterschiedlichkeit – insbesondere im Hinblick auf das spezifische Gewicht der Sendungen – nur grob abbilden, sind hier größere Differenzen möglich, die praktisch nicht erkannt werden können.

Die Abweichungen können sich durch eine fehlerhafte Abbildung der Logistik entweder gutartbezogen für das gesamte Modell (Häufigkeit von Umschlagvorgängen) oder regional durch fehlende, überschätzte oder in anderer Weise „funktionierende“ Umschlageinrichtungen ergeben. Die lokalen/regionalen Abweichungen der Verkehrsbelastungen können durch eine fehlerhafte Abbildung der Umschlageinrichtungen hoch sein.

Die Abweichungen können sich durch einen Fehler in der Verkehrsmittelwahl ergeben. Ursächlich dafür können nicht nur die angenommenen Kosten für die unterschiedlichen Verkehrsmittel sein, sondern lokal/regional auch Annahmen über die Anbindungen von Bezirken an Bahnhöfe.

Die Abweichungen können ihre Ursache in der Aufteilung der Warenströme auf logistische Systeme haben. Wird eine Ware mit einem anderen logistischen System transportiert (z.B. Palette statt Container) ergeben sich andere Gesetzmäßigkeiten und Örtlichkeiten des Umschlags, der Verkehrsmittelwahl, der Fahrzeugbeladung. Die Zuordnungen sind nur als geschätzte Wahrscheinlichkeiten im Modell enthalten. Sie können – bei ansonsten gleichen Rahmenbedingungen – von Betrieb zu Betrieb unterschiedlich sein. Die Wirkungen erfassen immer das gesamte Verkehrsmodell, können sich jedoch – durch die Existenz von Branchenclustern – auch nur regional auswirken.

Abweichungen können ihre Ursache in falschen Quelle-Ziel-Beziehungen haben. Dies gilt auch für Import und Export. Die grundsätzliche Annahme, dass die Wahrscheinlichkeit des Austausch von Waren einer Gutart zwischen zwei näher beieinander liegenden Verkehrsbezirken größer ist als zwischen zwei weiter entfernten, ist im Einzelfall nicht richtig. Auch innerhalb einer Gutart existieren beispielsweise kleine Produzenten von Spezialprodukten neben Massenproduzenten. Günstiger Weise bestimmen in den meisten Gutarten die Massenproduzenten das Verkehrsaufkommen. Die Weitenverteilung der Warenströme und – indirekt – der Fahrzeuge ergibt sich aus den Quelle-Ziel-Beziehungen.

Abweichungen können sich durch eine falsche Berechnung des Aufkommens einer Gutart auf der Versand- oder Produktionsseite ergeben. Für diesen Fehler sind vor allem die Branchen anfällig, bei denen die Produktivität im Sinne des Tonnage-Umschlags pro Beschäftigten generell hoch sind. Fehler in der Nachfrageberechnung ergeben sich, wenn Verwaltungsmitarbeiter oder Mitarbeiter anderer – weniger tonnage-produktiver – Unternehmensteile in einigen Fällen in den Beschäftigtenzahlen enthalten sind, in anderen Fällen nicht.

Auf jeder der genannten möglichen Ursachen ist es möglich, im Rahmen der Validierung einzugreifen, um die Modellqualität zu verbessern.

7.2 Strategie der Validierung

Vorrangige Betrachtung eindeutiger Massengutströme.

Abweichungen bei Warenströmen mit einem großen Aufkommen, wenigen großen Quellen oder Senken haben einen starken Einfluss auf das Geschehen. Abweichung in diesen Fällen gehen nicht in einem statistischem Rauschen unter. Die Massengüter dominieren darüber hinaus das Aufkommen auf der Bahn.

Vermeiden unwahrscheinlicher Werte von Aufteilungen, Parametern und Kostensätzen.

Wird eine Abweichung identifiziert und eine Möglichkeit gefunden, die berechneten Ergebnisse des Verkehrsmodells in die richtige Richtung zu „verbessern“, besteht die Gefahr die „Schrauben zu überdrehen“. Dabei wird eine andere, möglicherweise wichtigere Ursache der Abweichung übersehen und überdeckt. Anzustreben ist es deshalb Änderungen vorzugsweise dort vorzunehmen, wo eine relativ große Unkenntnis existiert.

Im Zuge der Kalibrierung wird an vielen Stellen des Modells eingegriffen:

- Eingegriffen wurde in die Strukturdaten. Dies erfolgte überwiegend dann, wenn einzelne, sehr groß erscheinende Werte im Quell- und Zielaufkommen eines Bezirks entdeckt wurden. In diesen Fällen wurden meist die betroffenen Firmen „gegoogelt“ oder Luftbilder analysiert.

- Verändert wurden Aufteilungen der Gutarten auf logistische Systeme. Dies erfolgte vorwiegend in Fällen, wenn für einzelne Gutarten die Anteile der logistischen Systeme oder Verkehrsmittel unplausibel erschienen.
- Verändert wurden Kosten der logistischen Systeme. Dies diente insbesondere der „Justierung“ des Modal Split.
- Verändert wurden Netze. Dies bezog sich einerseits auf die Korrektur von Anbindungen, andererseits wurden die Parameter der Lkw-Umlegung verändert.

7.3 Modellvalidierung

7.3.1 Güteraufkommen differenziert nach Warengruppen

Grundlage der Aufkommensberechnung des Güterverkehrsmodells sind diverse Statistiken über Verbrauch und Produktion. Diese Statistiken erfassen z.B. die Produktionsmenge am Ort der Herstellung oder den Verbrauch der Bürger und haben in der Regel keinen Bezug zum Transport. Diese Statistiken weisen grundsätzlich Nettomengen aus.

Es besteht ein grundsätzlicher Unterschied zwischen der Produktionsmenge eines Stoffes und der über eine Transportstatistik erfassten Gütermenge. Drei tragen dazu bei, dass die Gütermenge einer Transportstatistik höher sind als Produktionsmenge:

- Die Produktion einer Ware erfolgt in der Regel als mehrstufiger Produktionsprozess, bei dem die Produktion einzelner Komponenten oder einzelne Fertigungsschritte räumlich ausgelagert sind. Die produzierte Ware wird deshalb häufig mehrfach transportiert. Im Verkehrsmodell werden mehrstufige Produktionsprozesse nur verkürzt abgebildet (siehe Abschnitt 3.1.1).
- Bei Umschlagvorgängen werden die transportierten Waren in den Transportstatistiken mehrfach gezählt.
- In den Transportstatistiken erfassten Mengen können auch Gewichte von Verpackungen enthalten („Netto-Netto-Problematik“)

Über die Transportstatistiken ist deshalb ein Rückschluss auf die Produktionsmengen nicht möglich. Unterstellt man richtige Transportstatistiken und Produktionsmengen, ergibt sich aus beiden Werten ein Hinweis auf Mehrfachtransporte auf unterschiedlichen Fertigungsstufen und die Häufigkeit von Umschlagvorgängen.

Die Gutarten des Güterverkehrsmodells können zur Warengruppendefinition der GTE zusammengefasst werden. Die Zuordnung erfolgt im Verkehrsmodell. Im Einzelfall ist davon auszugehen, dass die definitorischen Grenzen nicht exakt übereinstimmen. Die GTE enthält folgende Warengruppendefinitionen:

- Warengruppe 0: Land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse und lebende Tiere. Definitorische Unsicherheiten bestehen bei Holz und Holzprodukten. (Im Güterverkehrsmodell ist Brennholz/Altholz der WG 2 zugeordnet)
- Warengruppe 1: Sonstige Lebensmittel und Futtermittel
- Warengruppe 2: Feste mineralische Brennstoffe. Im Güterverkehrsmodell ist Brennholz/Altholz (4-fache Menge von Kohle) dieser Warengruppe zugeordnet.
- Warengruppe 3: Erdöl, Mineralölzeugnisse. Mögliche definitorische Unsicherheiten bei Grundstoffen für die chemische Industrie (beim Güterverkehrsmodell in dieser Warengruppe enthalten)
- Warengruppe 4: Erze und Metallabfälle

- Warengruppe 5: Eisen, Stahl und Nicht-Eisen-Metalle
- Warengruppe 6: Steine und Erden einschl. Baustoffe. Das Güterverkehrsmodell enthält eine starke (relativ gesicherte) Mengendominanz von Zement, Frischbeton, Aushub und Kies und Sand. Salz und Mineralstoffe, die teilweise in der chemischen Industrie verwendet werden, sind dieser Warengruppe zugeordnet. Ebenso sind Bauteile dieser Warengruppe zugeordnet. Bei der GTE sind wahrscheinlich einige Halb- und Fertigwaren der Bauindustrie der Warengruppe 9 zugeordnet.
- Warengruppe 7: Düngemittel.
- Warengruppe 8: Chemische Erzeugnisse. Beim Güterverkehrsmodell sind die Grundstoffe für die chemische Industrie der Warengruppe 3 (Mineralölprodukte) und mineralische Grundstoffe (Salze) der Warengruppe 6 zugeordnet.
- Warengruppe 9: Fahrzeuge, Maschinen, sonstige Halb- und Fertigwaren sowie besondere Transportgüter.

Waren- gruppe	Erhebungsdaten GTS, mutmaßlich mit umschlag- bedingter Mehrfachzählung		Güterverkehrsmodell ohne Mehrfachzählung		Güterverkehrsmodell mit umschlagbedingter Mehrfachzählung, nur Straße	
0	16'114'596	5.0%	17'626'733	8.8%	21'341'547	10.6%
1	36'174'438	11.3%	26'387'932	13.1%	27'310'825	13.6%
2	319'609	0.1%	1'051'816	0.5%	735'949	0.4%
3	19'713'986	6.2%	13'954'338	6.9%	11'675'956	5.8%
4	3'383'730	1.1%	1'498'253	0.7%	937'668	0.5%
5	7'647'030	2.4%	2'827'837	1.4%	2'694'648	1.3%
6	159'342'473	49.8%	112'002'353	55.6%	109'222'660	54.4%
7	844'255	0.3%	1'079'588	0.5%	1'148'911	0.6%
8	12'221'467	3.8%	2'242'798	1.1%	2'190'509	1.1%
9	64'005'972	20.0%	22'666'542	11.3%	23'493'706	11.7%
Summe	319'767'554	100.0%	201'338'189	100.0%	200'752'379	100.0 %

Tabelle 7-1: Güteraufkommen der Warengruppen in Tonnen

Der Vergleich der GTS-Transportstatistik mit den Modellergebnissen zeigt erhebliche Differenzen. Knapp die Hälfte der Unterschiede ergibt sich aus der Warengruppe 6, bei der das Güterverkehrsmodell einige mengenstarke Gutarten, die üblicherweise aber nur auf sehr kurzen Distanzen transportiert werden, nicht berücksichtigt (siehe unten).

Auch Güter, die nur mit der Eisenbahn transportiert werden, sind in den Werten des Güterverkehrsmodells (mittlere Spalten der **Tabelle 7-1**) enthalten. Aus den Umlagungen im 5-Ebenen-Modell des Güterverkehrsmodells können die auf den jeweiligen Ebenen umgelegten Mengen bestimmt werden. Damit werden auch die im Güterverkehrsmodell abgebildeten Umschlagvorgänge berücksichtigt. Die Summe über die drei Straßenebenen (rechte Spalten) ist der best geeignete Vergleichswert für die Erhebungsdaten der GTE.

Die absolut größte Abweichung ergibt sich in der Warengruppe 6 (Steine und Erden) bei Waren, die nur auf sehr kurzen Distanzen befördert werden. Hier ist das Güterverkehrsmodell nicht vollständig: Es fehlen einige Gutarten wie Strassenaufbruch, Tunnelaufbruch, Erdbaumaterial, usw. Hier hätte eine falsche Lokalisierung von Quellen und Senken in Anbetracht der gewaltigen Mengen größere Probleme verursacht. Inwieweit die GTE diese Waren korrekt abbildet kann nicht beurteilt werden.

Größere Abweichungen bestehen auch in der Warengruppe 3 (Mineralölerzeugnisse). Da die Eckwerte des Güterverkehrsmodells über die Produktionsziffern der Raffinerien und diverse Statistiken über den Energie- bzw. Ölverbrauch als relativ gesichert anzusehen sind, lassen sich die Differenzen auf der Seite des Güterverkehrsmodells nur durch eine Unterschätzung des Umschlags erklären. Aber auch dies ist wenig plausibel, denn Mineralölprodukte können bekanntlich nicht beliebig umgeschlagen werden und ein Umschlag Straße-Straße ist nur bei der Heizölzustellung kleiner Kunden wirtschaftlich. Hier dürfte folglich eher der Grund der Abweichung auf der Seite der GTE zu suchen sein, möglicherweise in der Leerkilometerdefinition.

Auch für die Warengruppe 5 (Eisen, Stahl, Nicht-Eisen-Metalle) gilt, dass Eckwerte der Eisen- bzw. Stahlerzeugung und des Eisen- bzw. Stahlverbrauchs, die in das Güterverkehrsmodell eingehen als sehr zuverlässig anzusehen sind. Das Güterverkehrsmodell berücksichtigt jedoch nicht, dass Stahl (z.B. Baustahl als wichtigste Teilmenge) entweder an der Produktionsstätte oder in der Nähe des endgültigen Zieles häufig noch weitere Verarbeitungsschritte durchläuft (Walzen, Oberflächenbehandlung, Flechten von Bewehrungen) und daraus weitere Transportvorgänge, in der Regel auf kurzen Distanzen, entstehen.

In der Warengruppe 8 (Chemische Erzeugnisse) kommt der Ansatz des Güterverkehrsmodells wegen der mangelnden Transparenz der Branche und der extremen Vielfalt der Prozesse an seine Grenze. Da die eingesetzten Rohstoffe (überwiegend Mineralölprodukte sowie einige Mineralien und Salze) noch relativ genau bestimmbar sind und auch so im Güterverkehrsmodell berücksichtigt werden, spiegelt der nahezu 6-fach höhere Wert der GTE wieder, wie oft innerhalb der chemischen Industrie, die eingesetzten Rohstoffe in diverse Zwischenprodukte umgewandelt und zwischen den Produzenten hin- und her transportiert werden. Inwieweit diese Umwandlungsschritte innerhalb von Produktionsstätten stattfinden oder an verschiedenen Standorten (und damit in die GTE-Statistik eingehen) ist im Modell ohne weitere Inputdaten und eine weitere Auffächerung der Gutarten nicht abbildbar.

In der Warengruppe 9 lassen sich die Ursachen der Differenzen durch die große Inhomogenität der Warengruppe nur vermuten. Ursachen für die Abweichungen auf Seiten des Güterverkehrsmodells sind auf jeden Fall die vereinfachte Abbildung des Handels im Non-Food-Bereich, die Nicht-Abbildung von Sammel- und Verteilfahrten und die Nicht-Berücksichtigung verschiedener Zwischen-Bearbeitungsschritte.

Der Vergleich des Güterverkehrsmodells mit der aktuellen GTE von 2009 zeigt deutlich bessere Übereinstimmungen, jedoch bei einer anderen Warengruppeneinteilung.

Warengruppe (NST/2007)		GTE 2009	Güterverkehrsmodell
1	Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd, Forstwirtschaft und Fischerei	15'734.0	12'611
2	Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	205.5	203
3	Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	104'612.7	72'423
4	Nahrungs- und Genussmittel	31'125,8	21'420
5	Textilien und Bekleidung; Leder und Lederwaren	1'044.4	334
6	Holz sowie Holz- und Korkwaren (ohne Möbel); Papier	3'734.8	8'950
7	Kokereierzeugnisse und Mineralölerzeugnisse	13'297.5	13'964
8	Chemische Erzeugnisse und Chemiefasern; Gummi- und Kunststoffwaren (<i>incl. Zellstoff, 50% Landhandelswaren</i>)	4'538.7	4'918
9	Sonstige Mineralerzeugnisse (verarbeitete Baustoffe, Glas)	38'291.8	39'903
10	Metalle und Halbzeug daraus, Metallerzeugnisse (ohne Maschinen und Geräte)	7'363.0	2'909
11	Maschinen und Ausrüstungen, elektronische Geräte (<i>incl. 50% Landhandelswaren</i>)	2'449.8	2'173
12	Fahrzeuge	556.5	1'926
13	Möbel; sonstige Erzeugnisse	2'265.0	3'351
14	Sekundärrohstoffe; Abfälle	28'794.1	9'988
15	Post, Pakete (<i>mit Druckerzeugnissen</i>)	4'297.4	2'170
16	Geräte und Material für die Güterbeförderung	7'747.9	249
17	Zur Reparatur bewegte Fahrzeuge und sonstige	6'020.7	0
18	Sammelgut (<i>Umzüge</i>)	7'641.3	3'846
19	Nicht identifizierbare Waren	734.3	0
20	Sonstige Güter	1'209.8	0
	Summe	281'665	201'338

Tabelle 7-2: Güteraufkommen der Warengruppen (NSTR 2007) in Tonnen (GTE 2009 und Güterverkehrsmodell)

Wegen der oben beschriebenen Abweichungen wurde ein nachträglicher Vergleich mit der GTE-Erhebung von 2009 vorgenommen, für die eine andere Warengruppeneinteilung existiert. Die Zuordnung der Gutarten ist auch in diesem Fall nicht eindeutig (Annahmen in der Warengruppenbeschreibung der Tabelle in Klammern, kursiv). Offensichtliche Definitionsschwierigkeiten bei der GTE bestehen im Bereich von Holz und Holzprodukten (Stammholz, gesägtes Holz, Brennholz, Zellstoff, Rohpapier, Papierwaren und Druckerzeugnisse). Auch hier ist zu berücksichtigen, dass die GTE Mehrfachzählungen enthält und das Güterverkehrsmodell auch Waren, die nur mit der Bahn transportiert werden.

7.3.2 Aufkommen im Eisenbahnverkehr (SBB-Daten)

Vergleich von Kennzahlen

Ein Vergleich der Kennzahlen der Bahnunternehmen mit den Ergebnissen des Verkehrsmodells ist nur mit Einschränkungen möglich. SBB und BLS erwirtschaften den Großteil ihrer Verkehrsleistung im Güterverkehr im Transitverkehr. Die Verkehrsleistung der BLS im Binnenverkehr ist gering

Kennzahl	SBB	BLS	RhB	Güterverkehrsmodell
Binnenverkehr per Bahn	24.9 Mio. Tonnen	Nicht verfügbar	0.81 Mio. Tonnen	30.91 Mio Tonnen
Import per Bahn:	8.96 Mio. Tonnen	Nicht verfügbar	-	7.22 Mio. Tonnen
Export per Bahn:	3.96 Mio. Tonnen	Nicht verfügbar	-	2.64 Mio. Tonnen
Summe	37.8 Mio. Tonnen			40.77 Mio Tonnen

Tabelle 7-3: Vergleich der Kennzahlen des Güterverkehrsaufkommens auf der Schiene

Für den Binnenverkehr zeigt sich eine leichte Überschätzung des Güterverkehrsaufkommens im Güterverkehrsmodell. Import und Export werden hingegen unterschätzt.

Zu berücksichtigen ist, dass die Kennzahlen der Bahnunternehmen noch Taragewichte der produktnahen Verpackungen enthalten.

Bahnhofsauftkommen

Die Vergleichbarkeit des Aufkommens von Bahnhöfen aus SBB-Daten mit den Aufkommenswerten, die das Güterverkehrsmodell berechnet, wird eingeschränkt durch die nicht vorhandene räumliche Einheit von Bahnhöfen und dem Ort, an dem die Aufkommen generiert werden.

Während das Bahnhofsauftkommen der SBB-Statistik auf den Bahnhof bezogen wird, dem ein Gleisanschluss zugerechnet wird, berechnet das Verkehrsmodell das Verkehrsaufkommen für den Verkehrsbezirk, dem die Strukturdaten (z.B. Arbeitsplätze) zugerechnet werden oder in dem die Umschlageneinrichtung liegt, an dem Waren zwischen Bahn und Straße umgeschlagen werden. Oftmals sind mehrere Verkehrsbezirke an einen Bahnhof angebunden. Betroffen sind davon auch mehrere Bahnhöfe mit hohem Sendungsaufkommen:

- a) Flughafen Zürich-Kloten: Die Strukturdaten und damit der Verbrauch an Kerosin wird im Verkehrsmodell dem Verkehrsbezirk Kloten (Nr. 62) zugerechnet. Für die SBB erfolgt die Kerosin-Lieferung jedoch an den Bahnhof Glattbrugg, welcher in der Gemeinde Opfikon liegt. (Verkehrsbezirk Nr. 66). Tatsächlich erfolgt die Lieferung aber ans Tanklager Rümlang (in Verkehrsbezirk Nr. 97), von wo aus eine Pipeline zum Flughafen existiert.
- b) Das große Zementwerk Untervaz (Verkehrsbezirk 3946) ist an den Bahnhof Zizers (im Verkehrsbezirk 3947) angebunden.
- c) Die Raffinerie in Collombey (Verkehrsbezirk 6152) ist über ein Anschlussgleis an den Bahnhof St-Triphon im Verkehrsbezirk Ollon (Nr. 5409) angebunden, obwohl Collombey über einen eigenen Bahnhof verfügt.

- d) Die Raffinerie Cressier (Verkehrsbezirk 6452) ist an den Bahnhof Cornaux (Verkehrsbezirk 6451) angebunden.
- e) Über den Bahnhof Vernier-Meyrin (Verkehrsbezirk 6630) werden Teile des Stadtgebiets von Genf, unter anderem der Flughafen Genf (vergleiche Kloten/Rümlang/Opfikon) erschlossen.
- f) Die Hafenanlagen des Rheinhafens Birsfelden (Verkehrsbezirk 2766) werden über den Hafenbahnhof Birsfelden erschlossen, dieser liegt jedoch im Verkehrsbezirk Muttenz (Nr. 2770)

Damit die Vergleichbarkeit zwischen SBB-Daten und Modellwerten leichter möglich ist, sind in den Tabellen 7-4 und 7-5 die aufgeführten Beispiele a) bis f) bei der Spalte Bemerkung in die entsprechenden Zeilen eingetragen.

Ungereimtheiten der SBB-Daten

Im Geschäftsbericht der SBB (2009) wird erwähnt, dass sie etwa 1 Mio. Tonnen Zuckerrüben in die beiden Zuckerfabriken nach Aarberg oder Frauenfeld gefahren hat. Dies wären etwa 2,5% des Warenaufkommens im Binnenverkehr. In der vorliegenden Statistik sind jedoch nur 15.200 Tonnen Zuckerrüben enthalten. Auch das Aufkommen der entsprechenden Bahnhöfe in Frauenfeld und Aarberg lässt nicht erkennen, dass hier diese Transporte in der Datenbank enthalten sind.

Bahnhof	Versand	Empfang	Summe	Bemerkung
Birsfelden Hafen	1'813'000 t/a	1'027'000 t/a	2'840'000 t/a	f)
Basel Kleinhüningen	1'885'000 t/a	464'000 t/a	2'348'000 t/a	
St-Triphon	1'577'000 t/a	201'000 t/a	1'777'000 t/a	c)
Glattbrugg	4'000 t/a	1'766'000 t/a	1'770'000 t/a	a)
Cornaux	1'570'000 t/a	98'000 ta/a	1'668'000 t/a	d)
Hüntwangen-Will	1'553'000 t/a	40'000 t/a	1'593'000 t/a	
Basel SBB RB	668'000 t/a	671'000 t/a	1'339'000 t/a	
Aarau	483'000 t/a	625'000 t/a	1'108'000 t/a	
Härkingen Paketpost	486'000 t/a	484'000 t/a	970'000 t/a	
Zizers SBB	547'000 t/a	130'000 t/a	677'000 t/a	b)
Ems Werk	260'000 t/a	345'000 t/a	605'000 t/a	
Menzau	125'000 t/a	477'000 t/a	603'000 t/a	
Landquart	163'000 t/a	406'000 t/a	569'000 t/a	

Tabelle 7-4: Bahnhofsaukommen wichtiger Bahnhöfe nach SBB-Statistik

Gemeinde	Versand	Empfang	Summe	Bemerkung
Igis (Landquart)	1'843'000 t/a	1'194'000 t/a	3'036'000 t/a	
Basel (mehrere Bezirke)	1'251'000 t/a	1'625'000 t/a	2'876'000 t/a	
Collombey-Muraz	2'108'000 t/a	64'000 t/a	2'171'000 t/a	c)
Zürich (mehrere Bezirke)	547'000 t/a	1'350'000 t/a	1'897'000 t/a	

Bahnhof	Versand	Empfang	Summe	Bemerkung
Birsfelden	1'069'000 t/a	774'000 t/a	1'833'000 t/a	
Cressier (NE)	1'295'000 t/a	6'000 t/a	1'301'000 t/a	d)
Visp	232'000 t/a	1'050'000 t/a	1'282'000 t/a	
Muttenz	1'006'000 t/a	179'000 t/a	1'185'000 t/a	f)
Genf (mehrere Bezirke)	196'000 t/a	913'000 t/a	1'109'000 t/a	
Winterthur (mehrere)	170'000 t/a	796'000 t/a	966'000 t/a	
Untervaz	800'000 t/a	125'000 t/a	925'000 t/a	b)
Emmen	391'000 t/a	521'000 t/a	912'000 t/a	
Niederhasli	84'000 t/a	803'000 t/a	887'000 t/a	
Würenlingen	532'000 t/a	272'000 t/a	804'000 t/a	
Bern (mehrere Bezirke)	429'000 t/a	272'000 t/a	701'000 t/a	
Gerlafingen	282'000 t/a	411'000 t/a	693'000 t/a	
St. Gallen (mehrere)	88'000 t/a	563'000 t/a	651'000 t/a	
Vernier	55'000 t/a	594'000 t/a	649'000 t/a	e)
Kloten	25'000 t/a	608'000 t/a	633'000 t/a	a)
Hüntwangen-Wil	207'000 t/a	1'000 t/a	208'000 t/a	

Tabelle 7-5: Aufkommen im Bahnverkehr der Verkehrsbezirke des Güterverkehrsmodells

Die Modellierung von dominierenden Strukturen, die eine jeweils einzigartige Ausprägung haben, ist die größte Herausforderung der Güterverkehrsmodellierung. In sämtlichen aufkommensstarken Bahnhöfen dominieren spezielle Fabriken (z.B. Raffinerien, Zementwerke) oder Umschlagvorgänge. In vielen Fällen wird das Aufkommen durch eine oder sehr wenige Gutarten bestimmt. Der Vergleich von **Tabelle 7-4** mit **Tabelle 7-5** zeigt, dass dies, wenn auch zwar zum Teil mit größeren Abweichungen, in einer Vielzahl von Fällen gut gelungen ist. Die Ursache der Abweichungen und die Ursache für Fälle, in denen es nicht gelungen ist, das Güterverkehrsaufkommen zu modellieren, liegt auf der Ebene der Strukturdaten. Beispielsweise lässt sich das hohe Güterverkehrsaufkommen der Gemeinde und des Bahnhofs Hüntwangen-Wil nicht in dieser Höhe aus den Strukturdaten erklären. Aus Luftbildern lässt sich erkennen, dass es in dieser Gemeinde mehrere Tagebau-Kiesgruben gibt. Zwei größere Gruben verfügen über eine Förder- und Bahn-Verladeinfrastruktur, die in der Lage erscheint, die dafür erforderlichen 100 bis 150 Waggons pro Tag zu befüllen. Eine richtige Modellierung, im konkreten Fall eine richtige Interpretation von Strukturdaten, erfordert bei den Gutarten der Warengruppe „Steine und Erden“ eine sehr gute Ortskenntnis über größere Steinbrücke, Erddeponien usw.

7.3.3 Import- und Exportstatistik

Die Import- und Exportströme werden in der schweizerischen Aussenhandelsstatistik der eidgenössischen Zollverwaltung erfasst. Bei der Interpretation der Werte ist zu berücksichtigen, dass die Erfassung der Tonnage nur einen Nebenaspekt darstellt und primär die finanziellen Ströme erfasst werden. Die angegebenen Mengen der Zollstatistik umfassen alle Verkehrsträger, d.h. auch Pipeline und Luftverkehr, wobei letzter mengenmäßig fast zu vernachlässigen ist. Nicht bekannt ist, wie in der Zollstatistik Re-Exporte gebucht werden. Re-Exporte sind denkbar im Hafen Basel, wenn Waren mit dem Schiff ankommen, auf Lkw oder Bahn verladen werden und zurück nach Deutschland oder Frankreich transportiert werden.

Zollstatistik Warengruppe	9. Import 2005	Güterverkehrsmodell Warengruppe (NSTR-Einteilung)	11. Import
Land- und Forstwirtschaft	6'283'000 t	Getreide (01)	359'000 t
		Obst, Gemüse (02)	721'000 t
		Zuckerrüben, lebende Tiere (03)	336'000 t
		Holz, Kork (04)	280'000 t
		Spinnstoffe (05)	10'000 t
		Lebensmittel, Futtermittel (06)	2'129'000 t
		Ölsaaten, Fette (07)	559'000 t
		<i>Zwischensumme</i>	4'394'000 t
Energieträger	15'300'000 t	Feste Energieträger (08)	203'000 t
- davon über Pipeline ca.	-8'100'000 t	Mineralölprodukte (09)	7'795'000 t
<i>Zwischensumme</i>	7'200'000 t	<i>Zwischensumme</i>	7'998'000 t
Chemikalien	5'160'000 t	Chemische Produkte	608'000 t
		Natürl. und chemische Düngemittel	250'000 t
Steine und Erden	10'869'000 t	Steine und Erden (14)	5'999'000 t
		Zement, Kalk, verarbeitete Rohstoffe	3'280'000 t
Metalle und Metallwaren	3'874'000 t	Eisenerze, Stahl- und Eisenabfälle (10)	165'000 t
		NE-Metallerze (11)	0 t
		Eisen, Stahl und NE-Metalle incl.	575'000 t
Maschinen und Elektronik	935'000 t	Metallwaren incl. EBM-Waren (19)	116'000 t
Fahrzeuge	682'000 t	Fahrzeuge und Beförderungsmittel, Maschinen (18)	979'000 t
Instrumente, Uhren	39'000 t		
Papier und graphische	2'271'000 t	Zellstoff, Altpapier (17)	613'000 t
Textilien und Bekleidung	308'000 t	Glas, Glaswaren (20)	371'000 t
Leder, Kautschuk,	760'000 t	Leder, Textilien, Bekleidung, sonstige	1'364'000 t
Verschieden übrige Waren	619'000 t	Sonstige Waren (22)	802'000 t
Total	47'159'000 t	Total	27'500'000
davon über Pipeline/ Luftfacht	-8'200'000 t		t
Summe	38'959'000 t		

Tabelle 7-6: Vergleich der Importe zwischen Zollstatistik und Verkehrsmodell

Die Import-Daten der Zollstatistik und die Importe, die das Güterverkehrsmodell berechnet, werden in **Tabelle 7-6** gegenübergestellt. Da unterschiedliche Warengruppendefinitionen vorliegen wurde versucht, ähnliche Warengruppen einander zuzuordnen.

Generell sind die Importe im Güterverkehrsmodell zu gering.

Die größten Abweichungen bestehen bei den Chemikalien. Soweit es sich um chemische Grundstoffe (z.B. Etylen, Propylen, Benzol) handelt, sind diese im Güterverkehrsmodell den Mineralölprodukten zugeordnet. An dieser Stelle erscheint eine Validierung der Zollstatistik sinnvoll, zumal der Export von Chemikalien deutlich kleiner angegeben wird. Den Angaben der Zollstatistik für die Rubriken Energieträger und Chemikalien stehen die Angaben der Erdöl-Vereinigung entgegen, die den Erdölverbrauch der Schweiz mit ca. 11-12 Mio. t/Jahr beziffert.

Ebenfalls große Abweichungen bestehen bei Metallen und Metallwaren. Da bei dieser Warengruppe auch die Exporte im Güterverkehrsmodell unterschätzt werden, ist hier der Warenfluss der gesamten metallverarbeitenden Industrie unterschätzt worden.

Auch die Exporte werden im Güterverkehrsmodell deutlich unterschätzt (siehe Tabelle 7-7) . Bei „Steinen und Erden“ liegt im Güterverkehrsmodell ein Fehler vor.

Zollstatistik Warengruppe	Export 2005	Güterverkehrsmodell Warengruppe (NSTR-Einteilung)	Export
Land- und Forstwirtschaft	3'800'000 t	Getreide (01)	9'000 t
		Obst, Gemüse (02)	9'000 t
		Zuckerrüben, lebende Tiere (03)	315'000 t
		Holz, Kork (04)	864'000 t
		Spinnstoffe (05)	44'000 t
		Lebensmittel, Futtermittel (06)	1'115'000 t
		Ölsaaten, Fette (07)	3'000 t
		Zwischensumme	1'360'000 t
Energieträger	1'049'000 t	Feste Energieträger (08)	266'000 t
- davon über Pipeline ca.	-75'000 t	Mineralölprodukte (09)	563'000 t
Zwischensumme	974'000 t	Zwischensumme	829'000 t
Chemikalien	1'809'000 t	Chemische Produkte	608'000 t
		Natürl. und chemische Düngemittel	250'000 t
Steine und Erden	1'567'000 t	Steine und Erden (14)	0 t
		Zement, Kalk, verarbeitete Rohstoffe	20'000 t
Metalle und Metallwaren	2'563'000 t	Eisenerze, Stahl- und Eisenabfälle	149'000 t
		NE-Metallerze (11)	82'000 t
		Eisen, Stahl und NE-Metalle incl. Metallabfälle (12)	300'000 t
Maschinen und Elektronik	817'000 t	Metallwaren incl. EBM-Waren (19)	84'000 t
Fahrzeuge	348'000 t	Fahrzeuge und Beförderungsmittel, Maschinen (18)	839'000 t
Instrumente, Uhren	36'000 t		
Papier und graphische	2'179'000 t	Zellstoff, Altpapier (17)	490'000 t
Textilien und Bekleidung	308'000 t	Glas, Glaswaren (20)	229'000 t
Leder, Kautschuk, Kunststoffe	556'000 t	Leder, Textilien, Bekleidung, sonstige Metallwaren (21)	1'381'000 t
Verschieden übrige Waren	202'000 t	Sonstige Waren (22)	472'000 t
Total	15'109'000 t	Total	6'636'000 t
- davon über Pipeline und	-1'120'000 t		
Summe	13'989'000 t		

Tabelle 7-7: Vergleich der Exporte zwischen Zollstatistik und Verkehrsmodell

7.3.4 Mittlere Transportdistanzen Straße

Die mittlere Transportdistanz für eine Tonne lässt sich aus der Verkehrsleistung und dem Güteraufkommen einfach durch Division der Verkehrsleistung durch das Güteraufkommen berechnen. Unsicherheiten in Bezug auf die Abgrenzung der Warengruppen werden dabei teilweise eliminiert. Bestehen bleibt die Problematik der Mehrfachzählung des Aufkommens bei Umschlagvorgängen. Wie im Abschnitt 3.1.1 bereits beschrieben, führt die verkürzte Abbildung von Produktionsprozessen zu einem geringeren Fahrtenaufkommen und längeren durchschnittlichen Transportentfernungen im Verkehrsmodell.

Warengruppe	Berechnet aus Erhebungsdaten GTE (mutmaßlich mit umschlagbedingter Mehrfachzählung)	Verkehrsmodell nach Kalibrierung (mit umschlagbedingter Mehrfachzählung)
0: Landw. Produkte	61.2	48.0
1: Lebens-, Futtermittel	67.7	82.1
2: feste Brennstoffe	25.3	47.0
3: Mineralölprodukte	30.9	48.7
4: Erze, Schrott	32.5	44.3
5: Eisen, Stahl	61.6	57.2
6: Steine, Erden, Baustoffe	18.1	56.3
7: Düngemittel	77.2	39.1
8: Chemische Produkte	54.9	45.7
9: Halb- und Fertigwaren	58.5	67.1
Durchschnitt	37.5	59.5

Tabelle 7–8: Transportentfernung der Warengruppen in km

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die Transportentfernung als Modellergebnis gegenüber der Verkehrsleistung zurücktritt. Das im Verkehrsmodell zu geringe Güteraufkommen wird durch eine Überschätzung der durchschnittlichen Transportentfernung kompensiert um eine korrekte Verkehrsleistung zu berechnen. Eine für das Verkehrsmodell unerheblicher Umschlag innerhalb oder in unmittelbarer Nähe des Start- oder Zielverkehrsbezirks oder ein weiterer Produktionsschritt führt statistisch zu einer Verkürzung der Transportweite und einer Ausweitung der Güteraufkommens, nicht jedoch zu einer Veränderung der Verkehrsleistung.

Die größten Abweichungen in dieser Hinsicht bestehen bei der Warengruppe 6 (Steine, Erden, Baustoffe). Eine Erklärung könnte sein, dass im Güterverkehrsmodell der Zonenbinnenverkehr nicht abgebildet wird. Bei der Warengruppe „Steine, Erden, Baustoffe“ ist der Anteil kurzer Fahrten hoch, die jedoch mit dem Güterverkehrsmodell nur schwer nachgebildet werden können.

7.3.5 Verkehrsleistung differenziert nach Warengruppen

Eine korrekte Bestimmung der Verkehrsleistung ist für das Güterverkehrsmodell von zentraler Bedeutung. Für die Verkehrsleistung auf der Straße erreicht das Güterverkehrsmodell eine sehr gute Übereinstimmung, auch bei der differenzierten Betrachtung von Warengruppen (siehe **Tabelle 7–9**). Auf der Schiene wird die Verkehrsleistung im Verkehrsmodell überschätzt, wobei die Differenzen überwiegend auf die Warengruppe 6 (Steine und Erden) zurückzuführen ist.

Warengruppe	Auswertung GTE/GQGV			Güterverkehrsmodell nach Kalibrierung		
	Straße	Schiene	Summe	Straße	Schiene	Summe
0	986'153	271'764	1'257'917	1'023'785	390'211	1'414'222
1	2'449'848	276'304	2'726'152	2'243'532	496'748	2'740'294
2	8'097	16'452	24'549	34'606	83'377	119'527
3	608'690	656'939	1'265'629	568'441	1'391'460	1'981'895
4	109'826	116'299	226'125	41'520	101'385	142'905
5	470'876	203'745	674'621	154'096	132'888	286'984
6	2'889'765	640'637	3'530'402	6'153'859	1'920'294	8'075.385
7	65'203	13'217	78'420	44'950	37'833	82'891
8	671'033	291'419	962'452	100'141	131'019	232'636
9	3'743'003	1'127'893	4'870'896	1'576'123	604'006	2'180'309
Σ	12'002'494	3'614'669	15'617'163	11'941'053	5'289'221	17'257'059

Tabelle 7–9: Verkehrsleistung in 1000 tkm nach Warengruppen (Summe incl. Binnenschiff)

In der Warengruppe 0 (Landwirtschaftliche Produkte) hat die Schiene im Güterverkehrsmodell eine deutlich höhere Verkehrsleistung als die Auswertung der GTE. Eine wesentliche Ursache liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit in der Betrachtung des Zuckerrübentransports und eventuell weiterer saisonaler Transporte. Im Bezugsjahr wurden die Zuckerrübentransporte noch überwiegend mit der Bahn abgewickelt. Weiterhin ist im Güterverkehrsmodell Holz auf allen Bearbeitungsstufen (außer Altholz/Brennholz) in dieser Warengruppe enthalten. Möglich ist, dass in der GTE/GQGV einige Holzprodukte der Warengruppe 9 zugerechnet werden.

In der Warengruppe 1 (Lebensmittel, Futtermittel) wird die Ursache der verbleibenden Abweichung beim Transport von Erfrischungsgetränken vermutet. Hier berechnet das Güterverkehrsmodell einen hohen Anteil an Fahrten mit der Bahn. Möglich ist auch, dass Container mit Lebensmitteln in der GTE/GQGV der Warengruppe 9 zugerechnet werden.

In der Warengruppe 2 (feste Brennstoffe) erklärt sich der Unterschied alleine aus der Zuordnung von Altholz/Brennholz. Die GTE/GQGV zählt nur Kohle zu den festen Brennstoffen.

In der Warengruppe 3 (Mineralölprodukte) resultiert vermutlich die Ursache der Abweichung bei der Verkehrsleistung der Schiene in der Zuordnung von Rohstoffen der chemischen Industrie (z.B. Etylen). Im Güterverkehrsmodell sind alle Stoffe, die eine Raffinerie verlassen, den Mineralölprodukten zugeordnet. Entsprechend ist die Verkehrsleistung der Schiene für die Warengruppe 8 zu gering.

Für die Warengruppen 4 (Erze, Schrott) und 5 (Eisen, Stahl) ist die Ursache in der zu geringen Verkehrsleistung, insbesondere auf der Straße in der reduzierten Abbildung der mehrstufigen Produktionsprozesse zu vermuten (siehe oben)

Bei der Warengruppe 6 (Steine und Erden einschl. Baustoffe) ist die Verkehrsleistung auf der Straße im Güterverkehrsmodell deutlich höher als bei in der GTE/GQGV. Im Güterverkehrsmodell sind sie den Baustoffen zugeordnet. In der Modellerstellung besteht in dieser Warengruppe die Problematik, dass die Transportweiten der verschiedenen Waren sehr unterschiedlich ist, jedoch auf der statistischen Ebene nur Durchschnittswerte vorliegen. Die Ursachen der Differenzen liegen hier auf der Ebene der Verteilungsrechnung, bei der die verschiedenen Baustoffe noch zu ähnlich behandelt werden.

Auch auf der Ebene der Verkehrsleistung zeigt sich, dass die Warengruppe 8 (Chemische Produkte) im Verkehrsmodell nur unzureichend abgebildet ist.

Die Warengruppe 9 (Fahrzeuge, Maschinen, sonstige Halb- und Fertigwaren sowie besondere Transportgüter) ist so unscharf definiert, dass hier weitere sinnvolle Aussagen nicht möglich sind.

7.3.6 Straßenverkehrszählungen

Die Straßenverkehrszählungen unterscheiden in Lieferwagen, Lastwagen sowie Last- und Sattelzüge. Im Verkehrsmodell sind Lastzüge und Sattelzüge zusammengefasst. Bei den Lieferwagen ist zu beachten, dass diese nur teilweise die Funktion des Gütertransports haben. Da die Modellierung des übrigen Wirtschaftsverkehrs (z.B. Verkehr von Handwerkern von/nach und zwischen Baustellen) nicht Bestandteil des Güterverkehrsmodells ist, können keine befriedigenden Belastungen für Lieferwagen ermittelt werden.

Gegenüberstellung von berechneten Werten und Zählergebnissen für Lkw, Lasten- und Sattelzüge (ohne Kalibration auf die Zählraten):

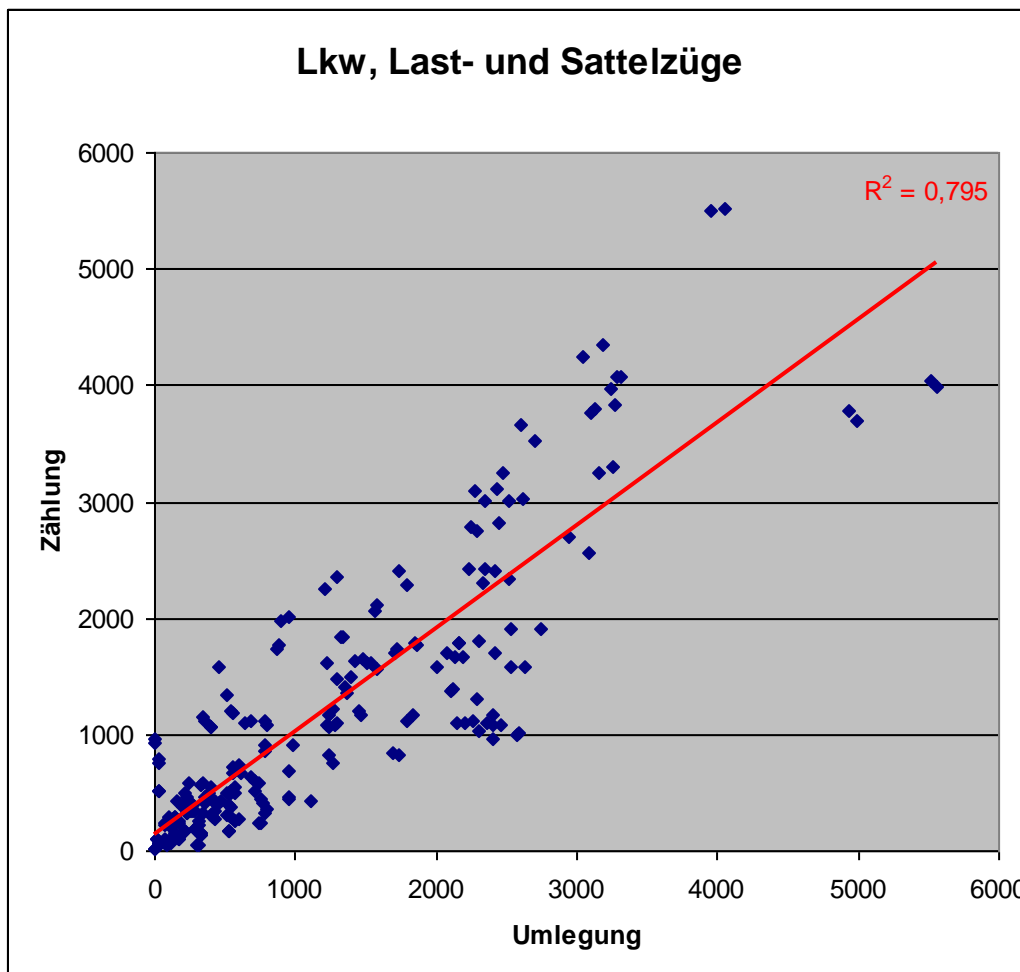


Abbildung 7-1: Vergleich der berechneten Belastungen mit Zählergebnissen 2005 (ohne Kalibration auf die Zählraten)

Die in **Abbildung 7-1** dargestellte Gegenüberstellung von berechneten Modellwerten und Zählergebnissen ergibt nach aktuellem Stand der Kalibration (Oktober 2010) mit einem R^2 von 0,80 ein noch befriedigendes Bild. Hierbei werden keine Matrixkorrekturverfahren eingesetzt.

Viele der Abweichungen zwischen Modellergebnis und gezählten Belastungen lassen sich nicht direkt auf die Ursachen zurückführen. Sowohl im Modell als auch in der Wirklichkeit stellen Querschnittsbelastungen eine Summierung verschiedener Fahrten mehrerer Quelle-Ziel-Beziehungen dar. Die Ursachen einer Abweichung können sowohl in der Routenwahl als auch in der Nachfrage liegen. Im Güterverkehr kommen Aspekte der Beladung, der Leerfahrten und der Abbildung logistischer Vorgänge (Umschlag) als mögliche Gründe für Abweichungen hinzu.

In **Abbildung 7–2** sind die Differenzen zwischen Zähl- und Umlegungsergebnissen dargestellt: Rot dargestellt sind Strecken, bei denen das Umlegungsergebnis größer als die Zählwerte sind, grün der gegenteilige Fall. Die Streckenlänge dominiert den optischen Eindruck, diese ist aber für die Bewertung ohne Relevanz.

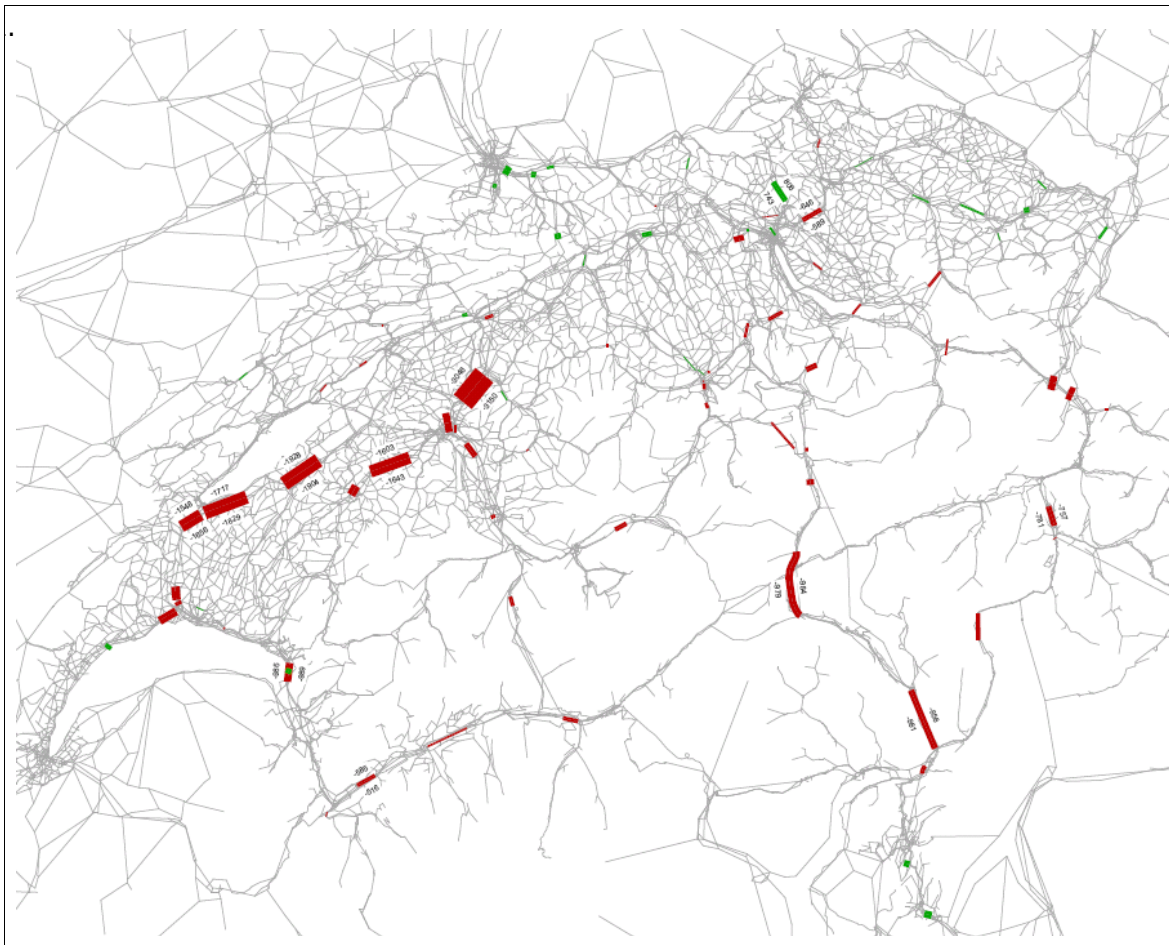


Abbildung 7–2: Differenzbelastung im schweren Güterverkehr (Lkw, Lasten- und Sattelzüge) zwischen Verkehrsmodell und Zählwerten (2005)

Die größten Differenzen treten auf der A1 nordöstlich von Bern und zwischen Bern und Lausanne auf. Das Verkehrsmodell berechnet hier zu viele Fahrzeuge. Im untergeordneten Netz im Raum Bern sind die berechneten Verkehrsbelastungen etwas unterhalb der Zählwerte, gleichen aber die Werte auf der A1 nicht aus. Auch die Autobahn A5/N5 weiter westlich, die in Richtung Lausanne und Genf eine Routenalternative darstellt, hat etwas zu wenig Verkehr. Eine denkbare Ursache der Differenz ist die Grossbaustelle der A1 zwischen Oensingen und Kriegstetten, die während der Zählung bestanden hat, soweit dies eine Recherche im Zuge der Kalibrierung ergab.

Die Alpenquerungen St. Gotthard und St. Bernhard haben im Verkehrsmodell ebenfalls deutlich mehr Verkehr als die Verkehrszählungen. Diese Mehrbelastung reicht im Süden bis zu einer Zählstelle südlich von Bellinzona. An den Zählstellen weiter südlich bei Lugano und an der Grenze bei Chiasso sind die Verkehrsbelastungen des Modells dagegen geringer als die Zählwerte (siehe **Tabelle 7–10**).

Fahrtrichtung Süden	Zählwert (Lkw + Lastenzüge + Sattelzüge)	Verkehrsmodell (Lkw und Lastenzüge/Sattelzüge)
Gotthardtunnel	1575 Fahrzeuge/Tag	2554 Fahrzeuge /Tag
St. Bernhard	278 Fahrzeuge/Tag	722 Fahrzeuge /Tag
A2 bei Claro (nördlich der Verzeigung Bellinzona-Nord)	1705 Fahrzeuge/Tag	2566 Fahrzeuge /Tag
A2 bei Bellinzona	2403 Fahrzeuge/Tag	2916 Fahrzeuge/Tag
A2 südlich von Lugano	2253 Fahrzeuge/Tag	1406 Fahrzeuge/Tag
A2 bei Chiasso	1978 Fahrzeuge/Tag	998 Fahrzeuge /Tag

Tabelle 7–10: Vergleich von Zählergebnissen und Umlegungsergebnissen auf der Gotthard-Achse 2005 (ohne Kalibration auf die Zählraten)

Der hier in Erscheinung tretende Effekt weist auf eine Schwachstelle des Modellaufbaus bei der Verkehrszelleneinteilung, den Strukturdaten und der Abbildung von Umschlageneinrichtungen speziell im Tessin hin: Das Tessin ist in Bezug auf den Warentransport sehr stark mit dem Großraum Mailand verbunden. Auf italienischer Seite existieren nur wenige, wesentlich größere Verkehrszellen, deren Mittelpunkte und Anbindungen in deutlicher Entfernung zur Grenze liegen. Für manche Waren und Produktionsprozesse, für die keine Strukturdaten im Ausland vorlagen, betrachtet das Modell nur den Binnenraum. Der „kleine Grenzverkehr“, mit Waren, die üblicherweise auf kurzen Entfernungen stattfindet, wird so bereits in der Verteilungsrechnung teilweise unterbunden, gleichzeitig werden die innerschweizerischen Verkehrsströme über den Alpenhauptkamm überbewertet. Diese Schwachstelle kann nur durch eine Detaillierung der Verkehrszellen in Italien im Raum nördlich von Mailand, einer Schätzung der Strukturdaten bzw. Import- und Exportmengen für diese Verkehrszellen und einer Abbildung von Umschlageneinrichtungen in diesem Raum beseitigt werden.

7.4 Verkehrsbelastungen auf der Strasse

Verkehrsbelastungen auf der Strasse setzen sich bei der Verkehrsmodellierung im UVEK aus Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen sowie den Sattel- / Lastzügen zusammen. Zur Ermittlung der Verkehrsbelastungen im schweren Güterverkehr werden als Grundlage die ermittelten Quell-/Zielmatrizen aus dem Güterverkehrsmodell verwendet. Mit Hilfe eines Wunschlinienkorrekturverfahrens (VStromFuzzy) werden die Modellbelastungen an die verfügbaren Zählraten angepasst. Diese Arbeiten wurden im Rahmen der Aktualisierung der Modellzustände für das Basisjahr 2005 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 7-3 bis 7-6 zusammengestellt. Sie zeigen, dass bei beiden Verkehrssystemen des schweren Güterverkehrs eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Modellbelastungen und den verfügbaren Zählraten erreicht wird. Für den schweren Güterverkehr auf der Schiene können keine vergleichbaren Karten erstellt werden, da mit dem Nationalen Güterverkehrsmodell keine Betriebsabläufe abgebildet werden.

Für die Qualität der mit dem Güterverkehrsmodell berechneten Quell-/Zielmatrizen ist es wichtig, dass die räumliche Struktur der Güterströme realitätsgenau abgebildet wird. Wie gezeigt wurde können durch die Kalibration der Verkehrsbelastungen an die verfügbaren Zählwerte zu hohe oder zu niedrige Verkehrsbelastungen entsprechend korrigiert werden.

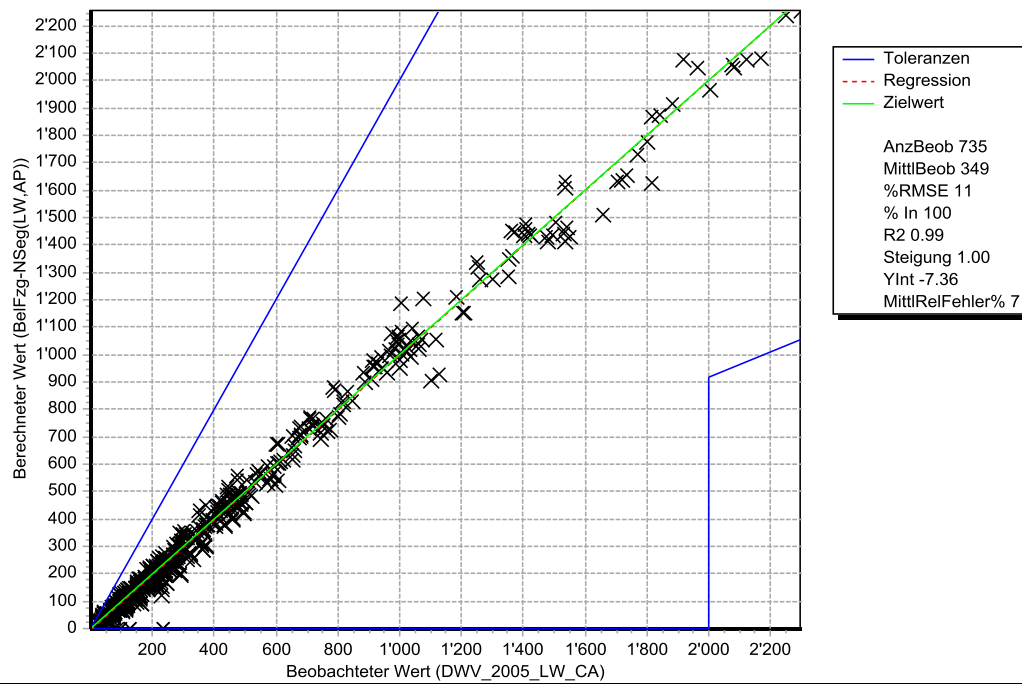


Abbildung 7-3: Vergleich der Streckenbelastungen aus Modell (nach Zählstellenkalibration) und Zählung, Lastwagen (2005)

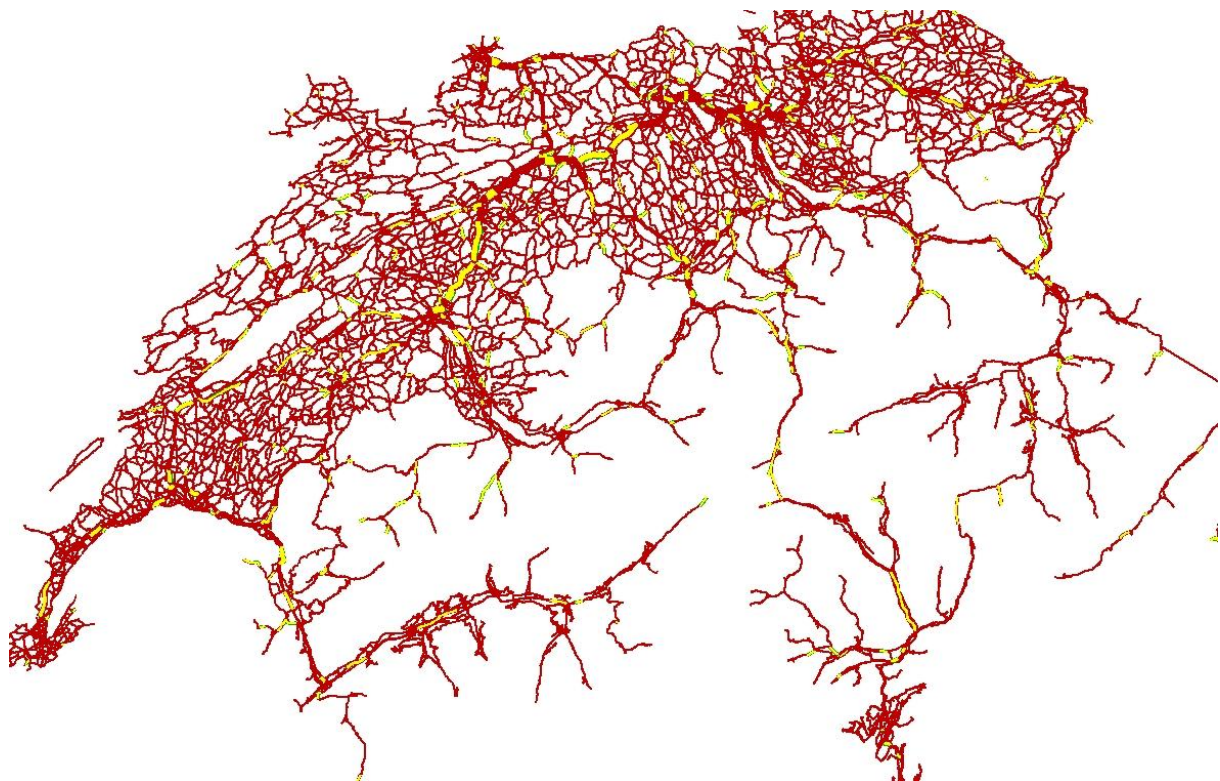


Abbildung 7-4: Netzbelastungen Lastwagen (DWV 2005): Vergleich Modell/Zählung

Gelb = Grundbelastung (Zählstelle vorhanden)
 zusätzlich rot = relative positive Differenz zum Zählwert
 zusätzlich grün = relative negative Differenz zum Zählwert
 vollständig rote Abschnitte = Modellergebnis keine Zählstelle vorhanden

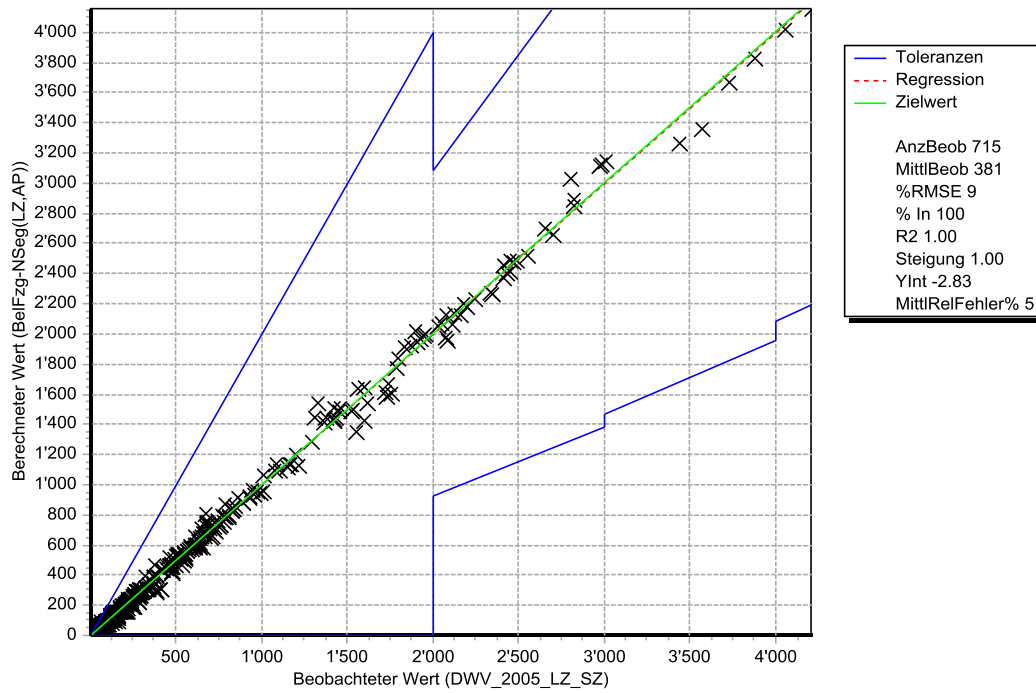


Abbildung 7-5: Vergleich der Streckenbelastungen aus Modell (nach Zählstellenkalibration) und Zählung, Last-/Sattelzüge (2005)

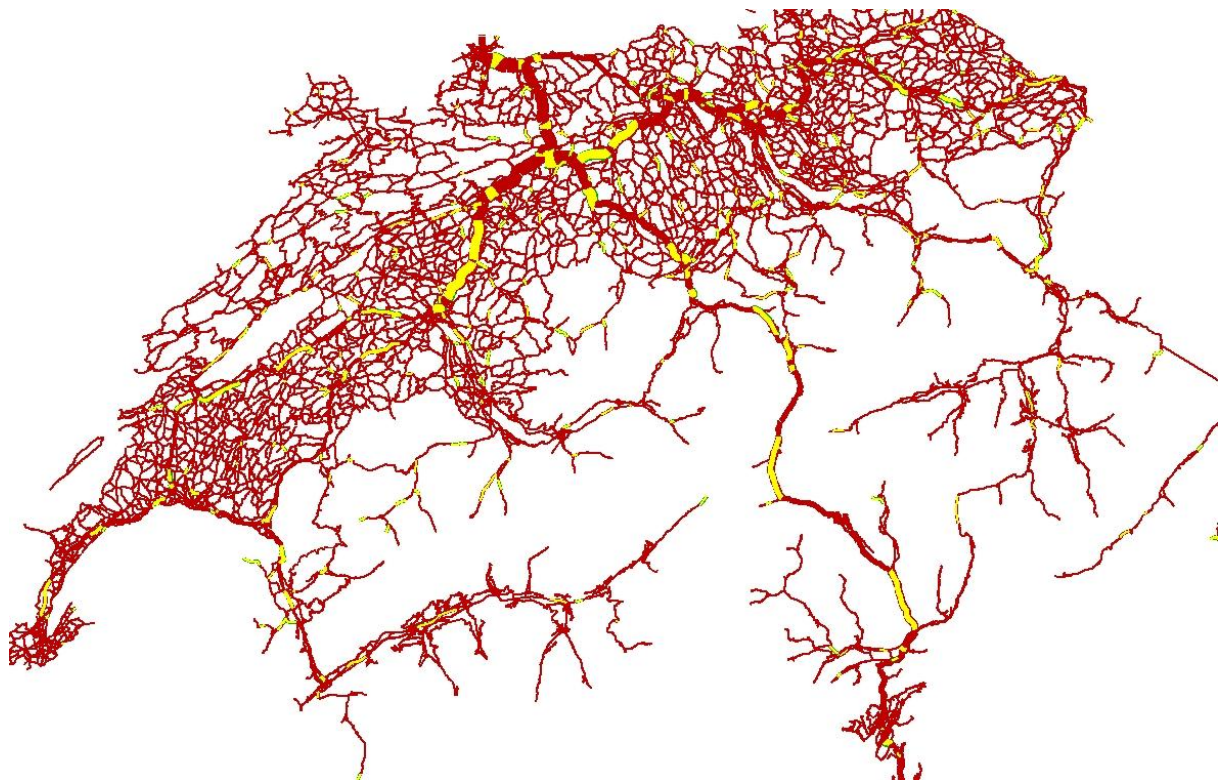


Abbildung 7-6: Netzbelastungen Last-/Sattelzüge (DWV 2005): Vergleich Modell/Zählung

Gelb = Grundbelastung (Zählstelle vorhanden)
 zusätzlich rot = relative positive Differenz zum Zählwert
 zusätzlich grün = relative negative Differenz zum Zählwert
 vollständig rote Abschnitte = Modellergebnis keine Zählstelle vorhanden

8 Sensitivitätsbetrachtung

8.1 Definition der Varianten

Mit Hilfe von Varianten wird untersucht, ob und wie das Modell bei der Veränderung wesentlicher Eingangsgrößen reagiert. Die definierten Varianten bilden deshalb primär keine planerischer Vorhaben ab, sondern sind so konstruiert, dass verschiedene Schritte des Modellablaufs und unterschiedliche Eingangsgrößen getestet werden. Sie beziehen sich alle auf das Jahr 2005, da kein Prognosemodell besteht. Gleichwohl lassen sich daraus - wenn man eine im wesentlichen korrekte Berechnungsweise unterstellt - planerische bzw. verkehrspolitische Effekte ableiten. Die Ausprägungen der Veränderungen sind in den meisten Varianten übertrieben. Einerseits soll eine erkennbare Veränderung sichergestellt werden, andererseits werden nicht - wie dies bei einer planerischen Variante der Fall wäre - verschiedene Maßnahmen mit ähnlicher Wirkungsrichtung kombiniert, sondern nur wenige Eingangsgrößen verändert.

Nicht getestet wurde eine Veränderung der Strukturdaten und eine daraus resultierende Veränderung der Menge der zu transportierenden Güter, da diese Wirkungsweise modelltechnisch trivial ist.

Es werden insgesamt 5 Varianten im Rahmen der Sensitivitätsbetrachtung definiert:

- In Variante 1 wird eine Sperrung des Bahnnetzes unterstellt. Lediglich die Bahn-Nachfrage des im Modell nicht berechneten Durchgangsverkehr wird im letzten Schritt (Umlegung) berücksichtigt. Die Sperrung erfolgt durch die Annahmen extrem hoher Kosten für den Eisenbahntransport (z.B. 9999 CHF/km). Für sehr seltene Fälle, in denen keine andere Route existiert, bleibt damit die Benutzung des Bahnnetzes möglich.
- In Variante 2 werden die entfernungs- und zeitabhängigen Kosten für den Lkw-Transport um 50% erhöht. Nicht erhöht werden jedoch die Kosten bei der Be- und Entladung sowie beim Umschlag. Bei kurzen Transporten, bei denen die letztgenannten Kosten dominieren, wirken sich die angenommenen Veränderungen weniger aus, als bei weiteren Transporten. Die Ursache der Kostenerhöhung wird nicht näher spezifiziert. Eine Erhöhung der LSWA, höhere Treibstoffpreise, höhere Löhne für Fahrer, höhere Kosten für Fahrzeuge und Reparaturen oder höhere Zinskosten hätten jeweils die gleiche Wirkung.
- In Variante 3 wird eine Subventionierung der Lade- und Umschlagkosten von und zur Bahn angenommen. Sowohl für die Anbindungen (Be- und Entladevorgänge) als auch für den Umschlag innerhalb von Logistikzentren und den Direktumschlag Straße-Schiene werden die Kosten auf 10% des Ausgangswertes gesenkt. Unverändert bleiben jedoch die zeit- und entfernungsabhängigen Kosten.
- In Variante 4 wird eine Erhöhung der Zahl der Logistikzentren angenommen. Planerisch entspräche dies einer Dezentralisierung bei den führenden Logistikanbietern. Da es zu aufwändig wäre, im gesamten Untersuchungsraum neue Logistikzentren einzufügen wurden die Logistikzentren, in denen Lebensmittel umgeschlagen werden, auch für Nicht-Lebensmittel geöffnet. Umgekehrt wurden alle Logistikzentren in denen Nicht-Lebensmittel umgeschlagen werden, auch für Lebensmittel geöffnet. Der Umfang der Waren, die prinzipiell umschlagfähig in Logistikzentren sind, wurde jedoch nicht verändert.
- In Variante 5 werden die logistischen Systeme (d.h. die Versandart) , mit denen Waren transportiert werden, verändert. In den meisten Fällen wird die Aufteilung eines Warenstroms nach dem Kriterium des Produktes „Transportentfernung x Umfang des

Warenstromes“ in drei Klassen vorgenommen. Hier wurden die Klassengrenzen halbiert. Dies hat zur Folge, dass logistische Systeme, die üblicher Weise für weite Entfernungen und/oder große Mengen zum Einsatz kommen (z.B. Container oder Massenguttransporte) bereits bei kürzeren Distanzen oder kleiner Mengen zu größeren Anteilen gewählt werden. Planerisch entspricht dies einer Rückkehr zu verkehrlich weniger aufwändigen Logistikstrukturen mit größeren Sendungseinheiten, weniger Just-in-time-Lieferungen und statt dessen mehr Direktfahrten.

In allen Varianten wird davon ausgegangen, dass die Verkehrsnetze die Zusatzbelastungen aufnehmen können. Dies ist bei den gegebenen Verhältnissen – von wenigen möglicherweise kritischen Einzelfällen abgesehen - realistisch. Zu berücksichtigen ist jeweils das Verhältnis des Güterbinnenverkehrs zum Personenverkehr und zum Gütertransitverkehr. Das Straßennetz bietet nachts und am Wochenende beispielsweise ausreichend freie Kapazitäten für zusätzliche Lkw-Fahrten, die im Falle einer Sperrung des kompletten Eisenbahnnetzes (Variante 1) entstünden, das man sich nur als nationale Katastrophe vorstellen kann. Auch im Eisenbahnnetz ist die Möglichkeit der Steigerung der Verkehrsleistung im Binnenverkehr weniger eine technische Frage, als eine Frage der Prioritätensetzung von Gütertransitverkehr, Güterbinnenverkehr und Personenverkehr.

Das Verkehrsmodell erfasst die wichtigsten, nicht jedoch alle denkbaren Reaktionsmöglichkeiten auf veränderte Eingangsgrößen, z.B. erhöhte Kosten. Nicht modelliert werden folgende Reaktionsmöglichkeiten:

- Auf den Transport der Ware wird komplett verzichtet, wenn deren Transport teurer wird.
- Die Zielwahl verändert sich. Lieferanten und Abnehmer „rücken näher zusammen“. Diese Möglichkeit kann im Modell abgebildet werden, wurde jedoch bei den Varianten nicht vorgenommen.
- Es wird eine andere Versandart gewählt. Die Versandart ist modelltechnisch eine Eingangsgröße (siehe Variante 5) und somit nicht durch andere Eingangsgrößen veränderbar.
- Eine Veränderung des Auslastungsgrades ergibt sich im Güterverkehrsmodell nur, wenn die Lkw-Fahrten auf einer anderen Ebene des Verkehrsmodells stattfinden. Eine „automatische“ Erhöhung des Auslastungsgrades bei höheren Kosten findet nicht statt.

8.2 Ergebnisse der Variantenberechnung

Die Berechnung des Güteraufkommens soll an dieser Stelle zur Vermeidung von Missverständnissen und Fehlinterpretationen an einem Beispiel illustriert werden: Transportiert werden sollen 1000 t einer beliebigen Ware über eine Distanz von 80 km zwischen den Verkehrsbezirken A und B.

Im ersten Fall findet der Transport durch mehrere Direktfahrten mit dem Lkw statt. Dem Lkw werden in diesem Fall 1000 t Güteraufkommen und 80.000 tkm Verkehrsleistung zugerechnet. Im zweiten Fall wird die Ware zunächst 10 km mit dem Lkw zu einer Umladestation gefahren, dann mit der Bahn 60 km transportiert und anschließend wieder 10 km mit dem Lkw zum Ziel transportiert. Dem Lkw werden in diesem Fall aus der Summe des ersten und des letzten Abschnitts (Vor- und Nachlauf) 2000 t Güterverkehrsaufkommen und 20.000 tkm (25%) Verkehrsleistung zugerechnet. Der Bahn werden 1000 t Güterverkehrsaufkommen und 60.000 tkm (75%) Verkehrsleistung zugerechnet.

Die Verlagerung auf die Bahn erhöht somit immer auch das Güteraufkommen des Lkw, wenn damit zugleich Umschlag verbunden ist. Im Durchschnitt sind bei Verlagerungen weniger als zwei Umschlagvorgänge erforderlich, weil oftmals einer Seite eine Direktanbindung an das Bahnnetz aufweist. In der Regel erhöht sich mit einer Verlagerung auch die Summe der Verkehrsleistung, da der direkte Weg mit dem Lkw in fast allen Fällen kürzer ist als eine gebrochene Route. Da im Vor- und Nachlauf eines Bahntransportes überwiegend kleinere Lkw eingesetzt werden, erhöht sich auch die Verkehrsleistung, gemessen in Fahrzeug-km.

Variante 1 (Sperrung Bahn)

Auf Tonnenkilometer-Basis geht der Bahnverkehrs durch die Sperrung fast auf Null zurück. Der Lkw übernimmt entsprechende Mehrverkehre. Die Tonnenkilometerleistung auf der Straße nimmt dadurch um 41% zu. Die Zunahmen sind stark überwiegend im Verkehr mit schweren Lkw (Ebene 2). Die gesamte Tonnenkilometerleistung aller Verkehrsträger geht um 1,7% leicht zurück. Auffällig ist ein Rückgang von 8,9% in der transportierten Tonnage aller Verkehrsträger. Dies beruht auf dem oben beschriebenen Effekt (Mehrfachzählungen), hier jedoch in umgekehrter Weise.

Variante 2 (Lkw teurer)

Der Anteil der Bahn an der Verkehrsleistung erhöht sich durch die Verteuerung der Lkw-Transporte deutlich von 30,6 auf 36,2%. Die Verkehrsleistung auf der Straße geht um 7% zurück. Bedingt durch Vor- und Nachlauffahrten zu den Bahnhöfen erhöht sich die Gesamtverkehrsleistung leicht um 0,9%. Die Tonnage erhöht sich durch zusätzliche Doppel- und Dreifachzählungen sogar um 3,5%. Zu bedenken ist, dass nur die zeit- und entfernungsabhängigen Kostenbestandteile der Lkw-Transporte verteuert wurden. Die Kosten für Be- und Entladung sowie Umschlag, die bei kürzeren Fahrten dominieren, bleiben unverändert.

Variante 3 (Subventionierung Bahnumschlag)

Eine Reduzierung der Kosten des Umschlags auf die Bahn führt zu vermehrten Umschlagvorgängen und damit im Gegenzug zu einer Minderung von Lkw-Direktfahrten.

Der Anteil der Bahn an der Verkehrsleistung erhöht sich deutlich von 30,6 auf 37,8%. Gleichzeitig geht jedoch die Gesamtverkehrsleistung um 1,6% zurück, obwohl die Tonnage aller Verkehrsträger um 5,1 % - bedingt durch die oben beschriebene Zählweise - zunimmt.

Die Subventionierung der Umschlagvorgänge bewirkt somit eine effektive Organisation des Güterverkehrs wenn man den Energie- und Materialaufwand als Maßstab heranzieht.

Variante 4 (Öffnung Logistikzentren)

Die Öffnung vorhandener Umschlagzentren für zusätzliche Warengruppen hat praktisch keine Wirkungen im Netz. Dies ist bei einer Analyse der Lage der Umschlagzentren verständlich, da diese sich oft in unmittelbarer Nähe befinden und dadurch faktisch kein zusätzliches Angebot geschaffen wird. Berechnet wird eine geringe Erhöhung des Bahnanteils an der Verkehrsleistung um 0,2 %-Punkte und eine um 0,1% höhere Verkehrsleistung insgesamt.

Variante 5 (Verschiebung Aufteilungsschranken zwischen logistischen Systemen)

Bei dieser Variante wird die Verkehrsleistung signifikant um 21,4% reduziert. Der Anteil der Bahn an der Transportleistung ist 2,1 %-Punkte höher. Die Gesamttonnage ist 1% höher. Diese Variante bildet damit den Gütertransport der Vergangenheit mit mehr Lagerkapazität (weniger Just-in-time) auf Versender- und Empfängerseite ab, was größere Sendungen erlaubt, die auf direkten Weg transportiert werden. Dies wird deutlich, wenn man einzelne logistische Systeme betrachtet: Den größten Verkehrsleistungseinbruch erfährt die Systemlogistik mit Paletten, weitere „Verlierer“ sind die Lebensmittel-Systemlogistik und „normale“ Lebensmitteltransporte per Lkw. Stabil bleiben hingegen Massengüter und der Komplettladungsverkehr der Bauwirtschaft.

8.2.1 Tabellarischer Vergleich

Güteraufkommen im Binnenverkehr, Import und Export

Umgeschlagene Güter im Bezugsgebiet Schweiz werden mehrfach gezählt. Die weitgehende Sperrung des Schienenverkehrs in Variante 1 reduziert neben dem Bahnverkehr auch die Lkw-Fahrten im Vor- und Nachlauf der Bahntransporte. Routen mit Umschlagvorgängen Lkw/Bahn und Bahn/Lkw werden durch Lkw-Direktfahrten ersetzt. Dies ist die Ursache des starken Rückgangs des Güteraufkommens in diesem Fall.

Der Gesamtwert enthält auch das Güteraufkommen der Binnenschifffahrt. In Tonnen / Jahr.

t/a	Güteraufkommen Straße		Güteraufkommen Schiene		Güteraufkommen Gesamt		Anteil Schiene
Bezugsfall 2005	199.184.213	(100%)	41.079.940	(100%)	247.373.585	(100%)	16,6%
Variante 1	215.622.555	108%	6.370.939	15%	228.236.270	92%	2,8%
Variante 2	196.697.279	98%	51.560.679	125%	254.881.538	103%	20,2%
Variante 3	188.856.643	95%	61.204.092	149%	258.239.964	104%	23,7%
Variante 4	200.021.732	100%	41.272.396	100%	248.407.793	100%	16,6%
Variante 5	199.021.827	100%	43.286.913	105%	249.523.212	101%	17,3%

Tabelle 8-1: Güteraufkommen im Binnenverkehr, Import und Export

Güteraufkommen Binnenverkehr

Umgeschlagene Güter im Bezugsgebiet Schweiz werden mehrfach gezählt. Der Gesamtwert enthält auch das geringe Güteraufkommen der Binnenschifffahrt (ca. 2 Mio. t/a), den Durchgangsverkehr jedoch nicht.

t/a	Güteraufkommen Straße		Güteraufkommen Schiene		Güteraufkommen Gesamt		Anteil Schiene
Bezugsfall 2005	180.389.112	(100%)	30.840.339	(100%)	213.081.119	(100%)	14,5%
Variante 1	184.962.967	103%	6.340.278	21%	194.040.223	91%	3,3%
Variante 2	178.459.977	99%	40.688.536	132%	220.519.157	103%	18,5%
Variante 3	170.734.353	95%	50.386.997	163%	224.026.016	105%	22,5%
Variante 4	181.179.483	100%	31.022.885	101%	214.054.035	100%	14,5%
Variante 5	180.559.354	100%	32.789.524	106%	215.198.798	101%	15,2%

Tabelle 8-2: Güteraufkommen im Binnenverkehr

Verkehrsleistung im Bezugsgebiet

Die Verkehrsleistung im Bezugsgebiet ohne Durchgangsverkehr wird berechnet über die Lkw-Distanz zwischen den Verkehrsbezirken (auch für die Schiene) in Tonnen-km / Jahr.

Mio. tkm/a	Verkehrsleistung Straße		Verkehrsleistung Schiene		Verkehrsleistung Gesamt		Anteil Schiene
Bezugsfall 2005	11'941	(100%)	5'289	(100%)	17'257	(100%)	30,6%
Variante 1	16'913	142%	54	1%	16'986	98%	0,3%
Variante 2	11'087	93%	6'318	119%	17'448	101%	36,2%
Variante 3	10'535	88%	6'436	122%	16'998	98%	37,9%
Variante 4	11'956	100%	5'327	101%	17'310	100%	30,8%
Variante 5	9'107	76%	4'449	84%	13'591	78%	32,7%

Tabelle 8-3: Verkehrsleistung im Binnenverkehr und dem Inlandsanteil des Quell- und Zielverkehrs

8.2.2 Belastungsdarstellungen Straße

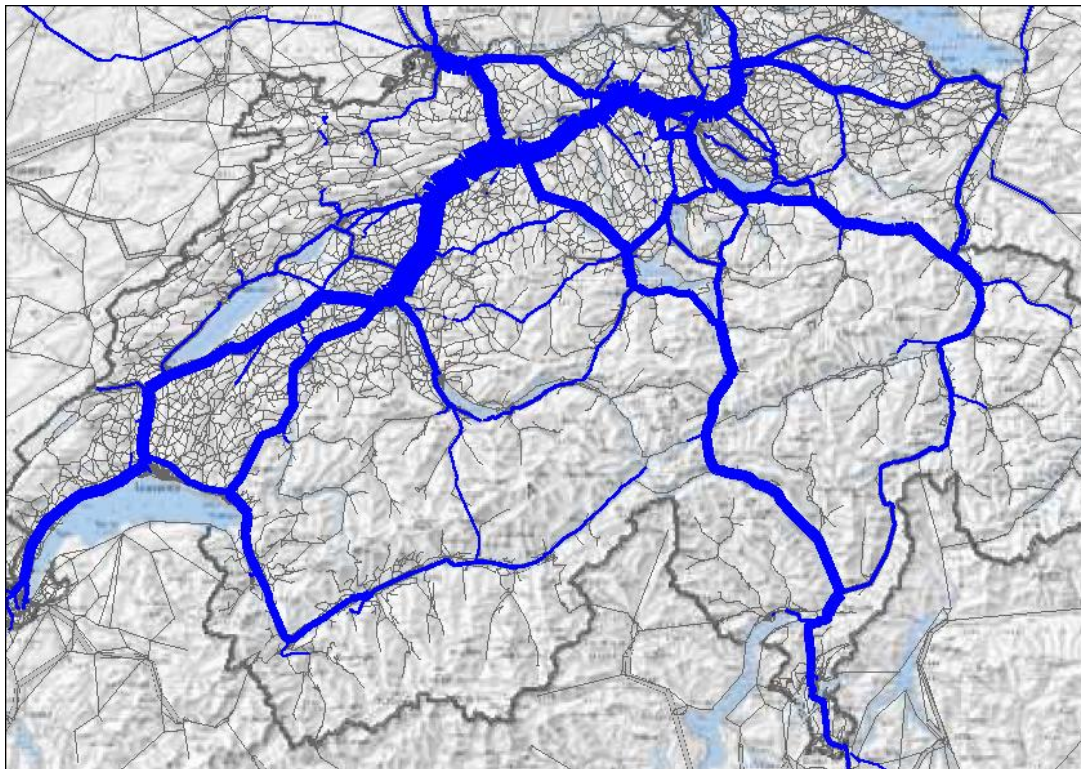


Abbildung 8-1: Belastungen durch Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ) im **Bezugsfall** (Nachfrageberechnung 2005)

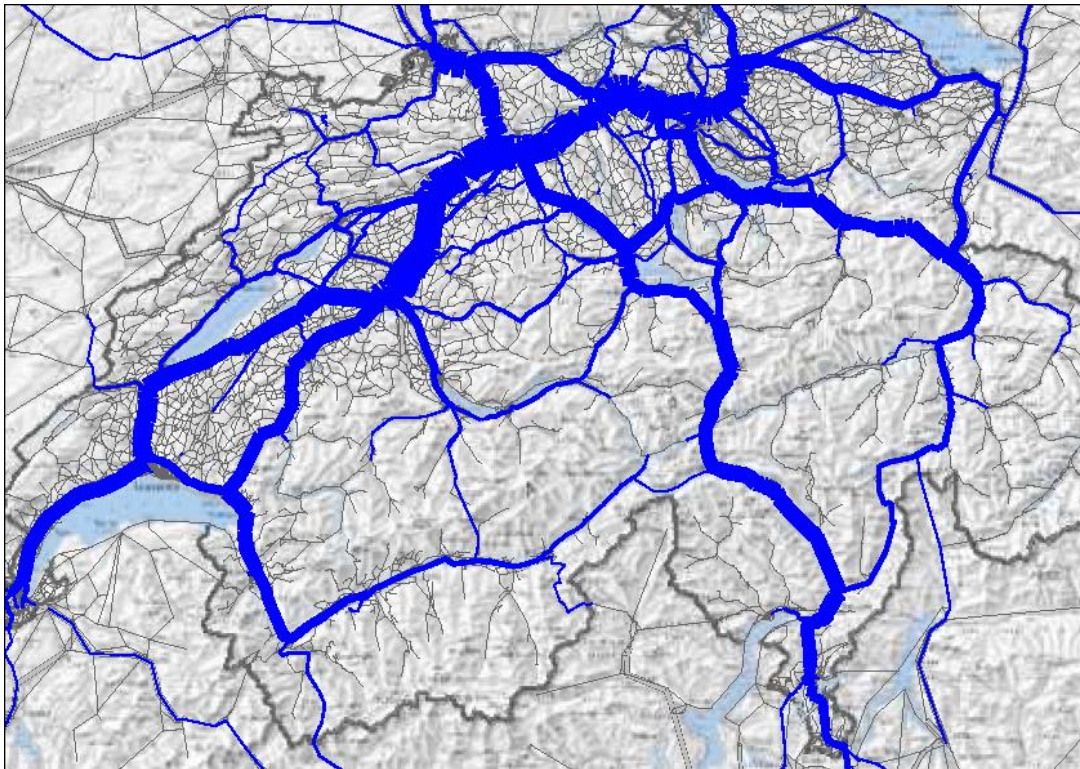


Abbildung 8-2: Belastungen durch Schwerverkehr (Lkw, LZ und SZ) in **Variante 1**

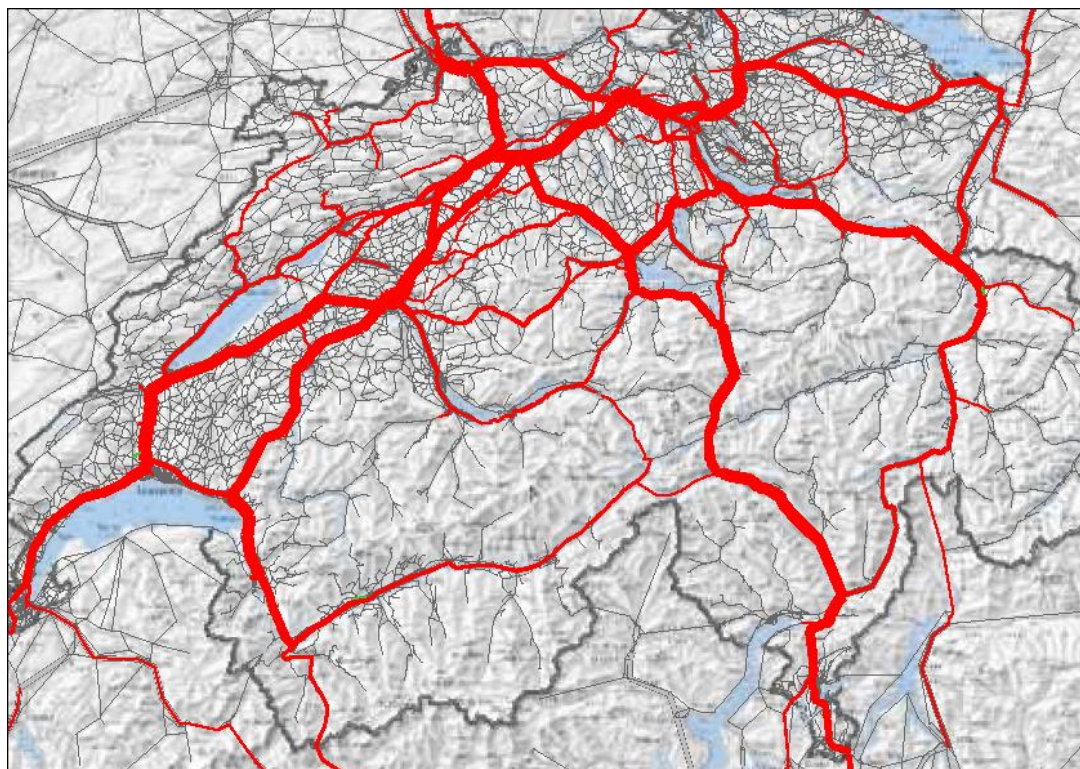


Abbildung 8-3: Differenzbelastung im Schwerverkehr (Lkw, LZ und SZ): **Variante 1 – Bezugsfall**. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt.

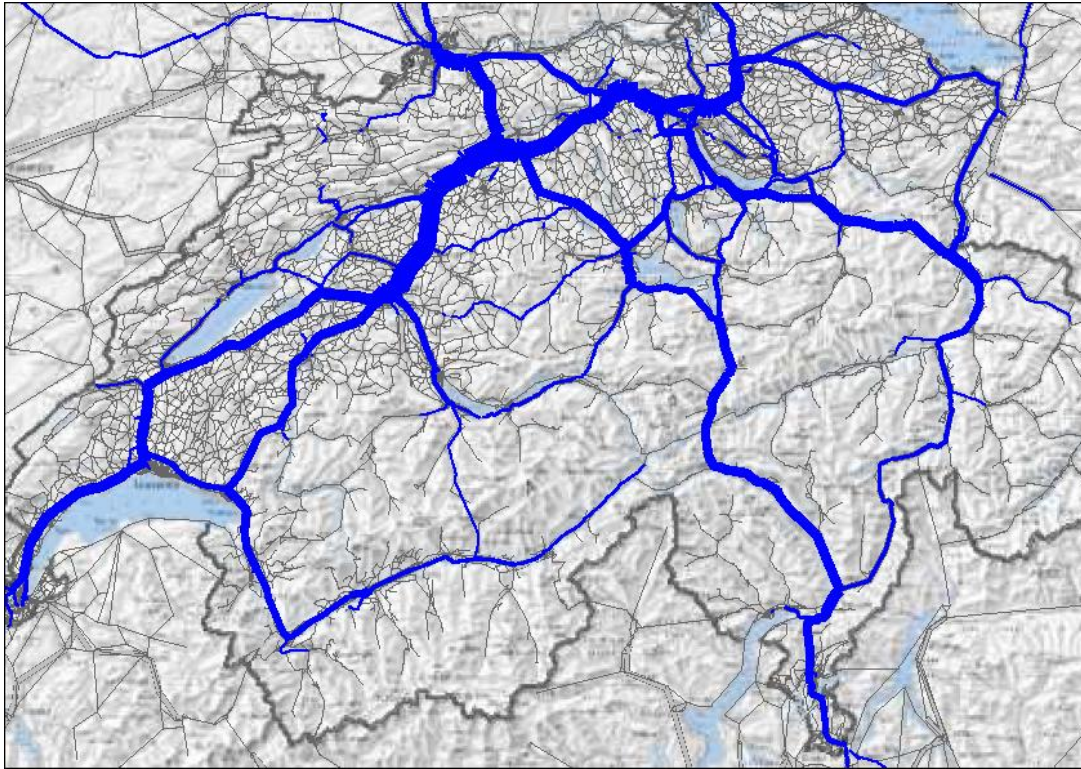


Abbildung 8-4: Belastungen durch Schwerverkehr (Lkw, LZ und SZ) in **Variante 2**

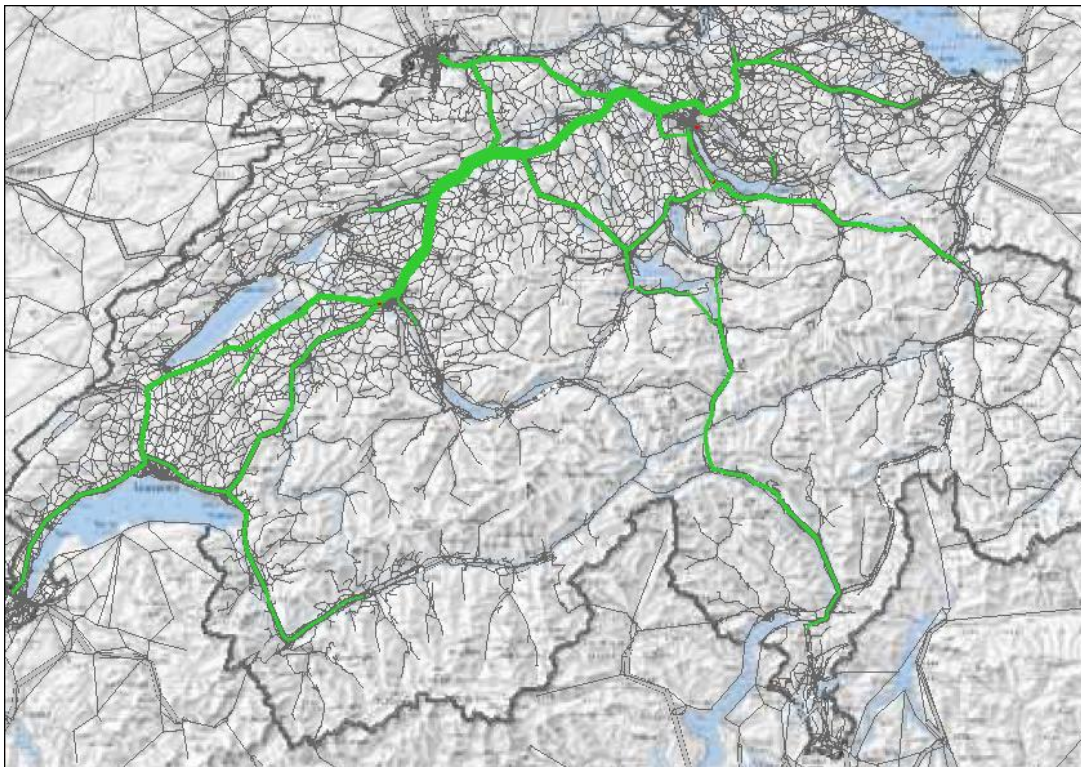


Abbildung 8-5: Differenzbelastung im Schwerverkehr (Lkw, LZ und SZ): **Variante 2 – Bezugsfall**. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt.

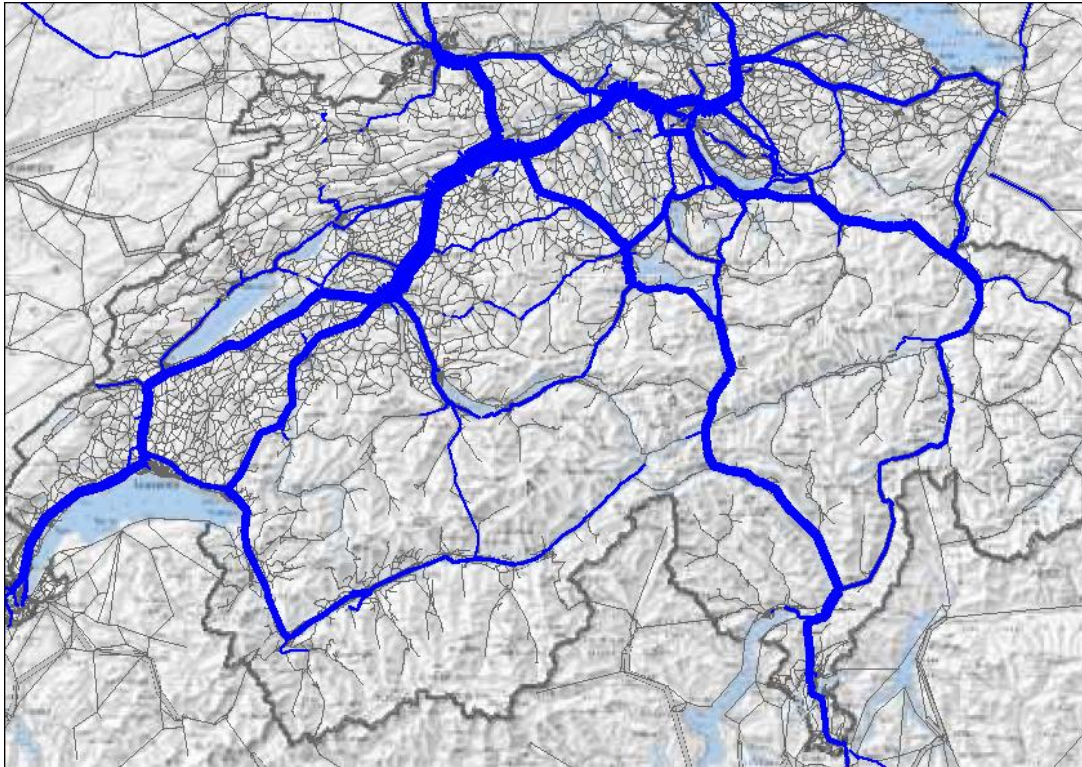


Abbildung 8-6: Belastungen durch Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ) in **Variante 3**

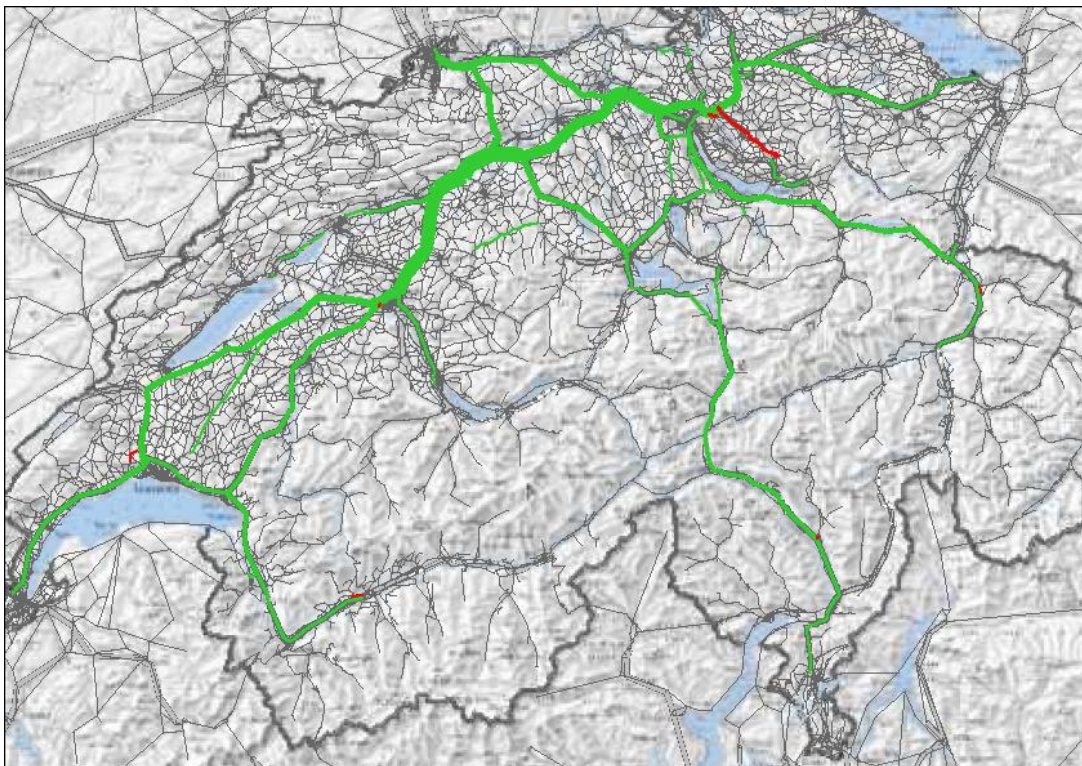


Abbildung 8-7: Differenzbelastung im Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ): **Variante 3 – Bezugsfall**. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt.

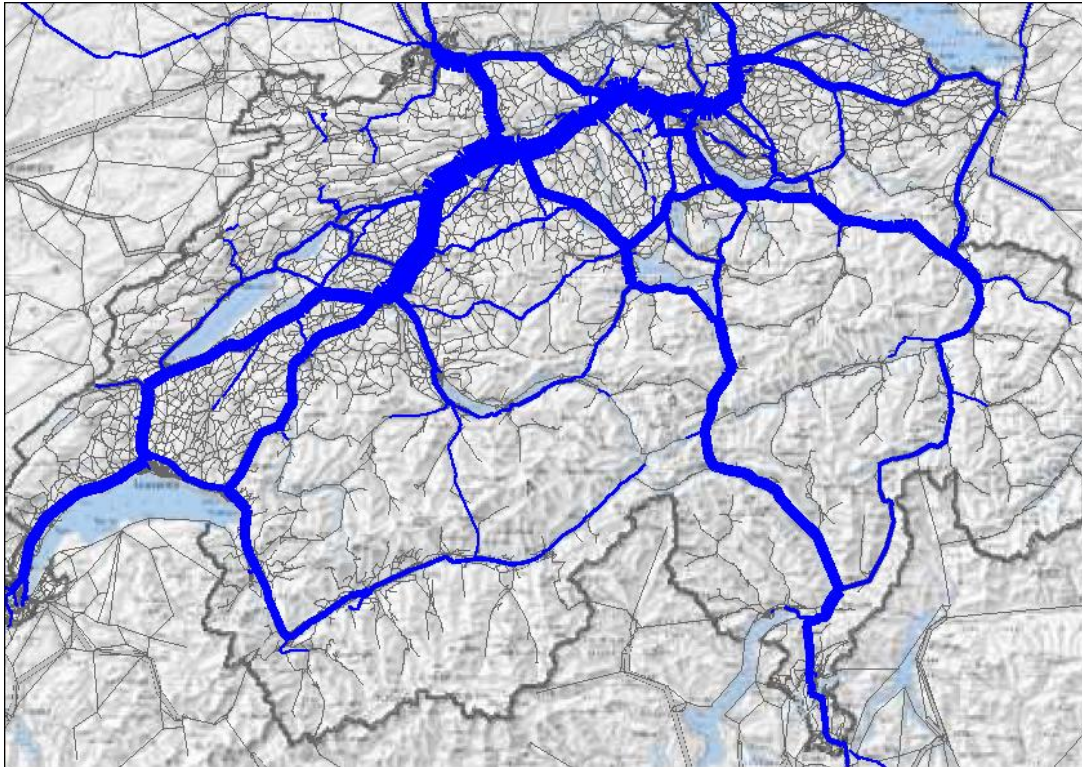


Abbildung 8-8: Belastungen durch Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ) in **Variante 4**

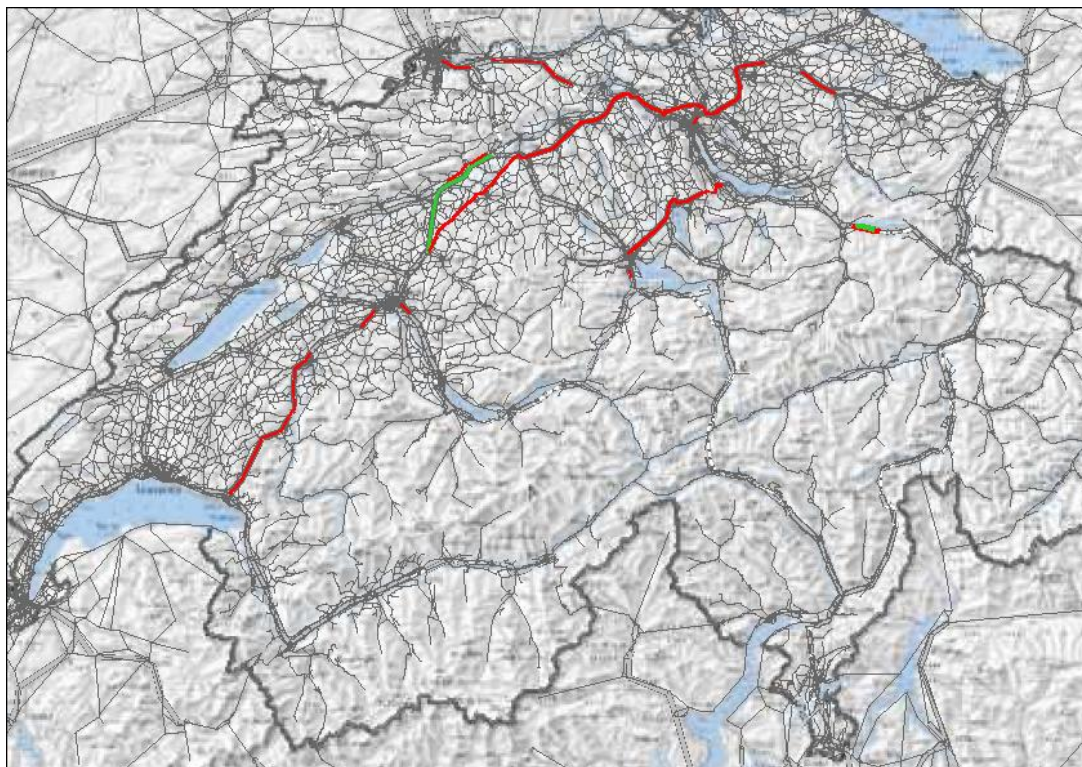


Abbildung 8-9: Differenzbelastung im Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ): **Variante 4 – Bezugsfall**. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt.

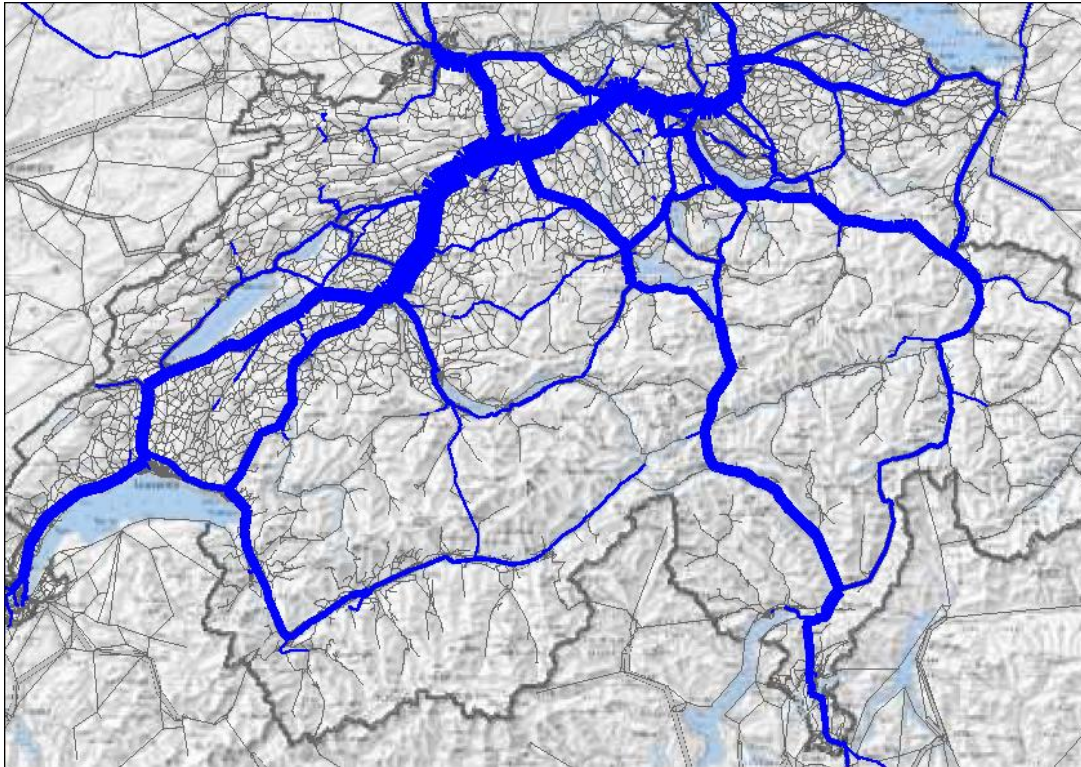


Abbildung 8–10: Belastungen durch Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ) in **Variante 5**

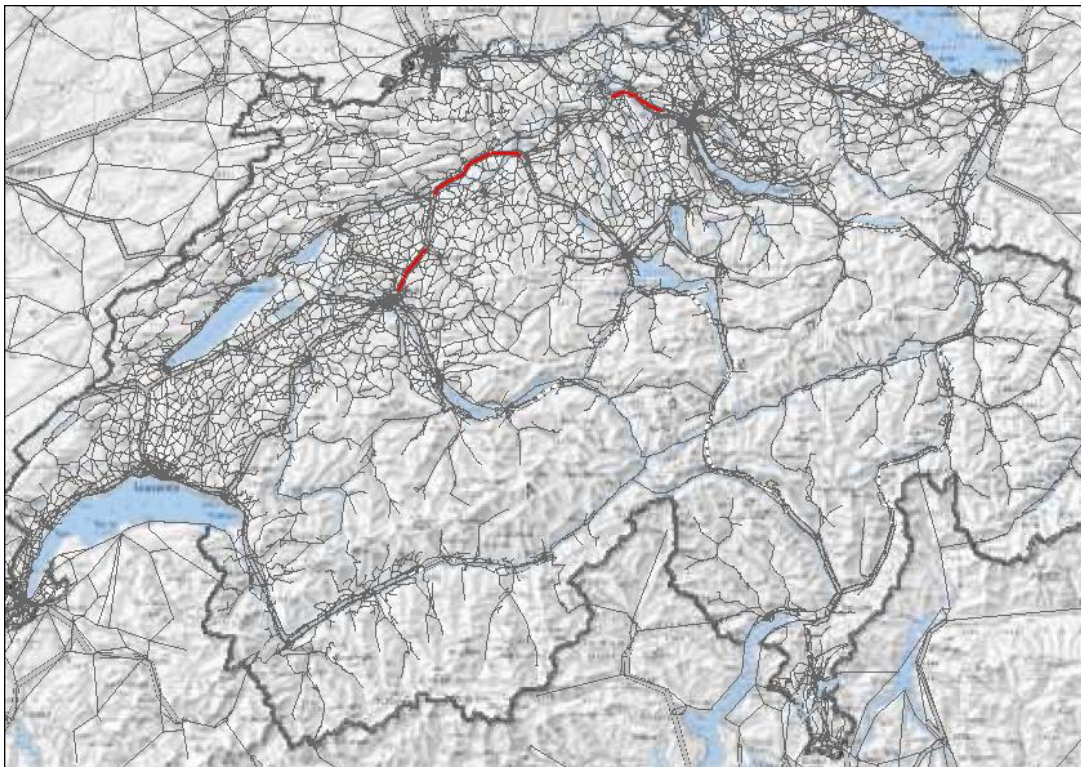


Abbildung 8–11: Differenzbelastung im Schwerverkehr (Lkw, Lz und SZ): **Variante 5 – Bezugsfall**. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt.

8.2.3 Belastungsdarstellungen Schiene

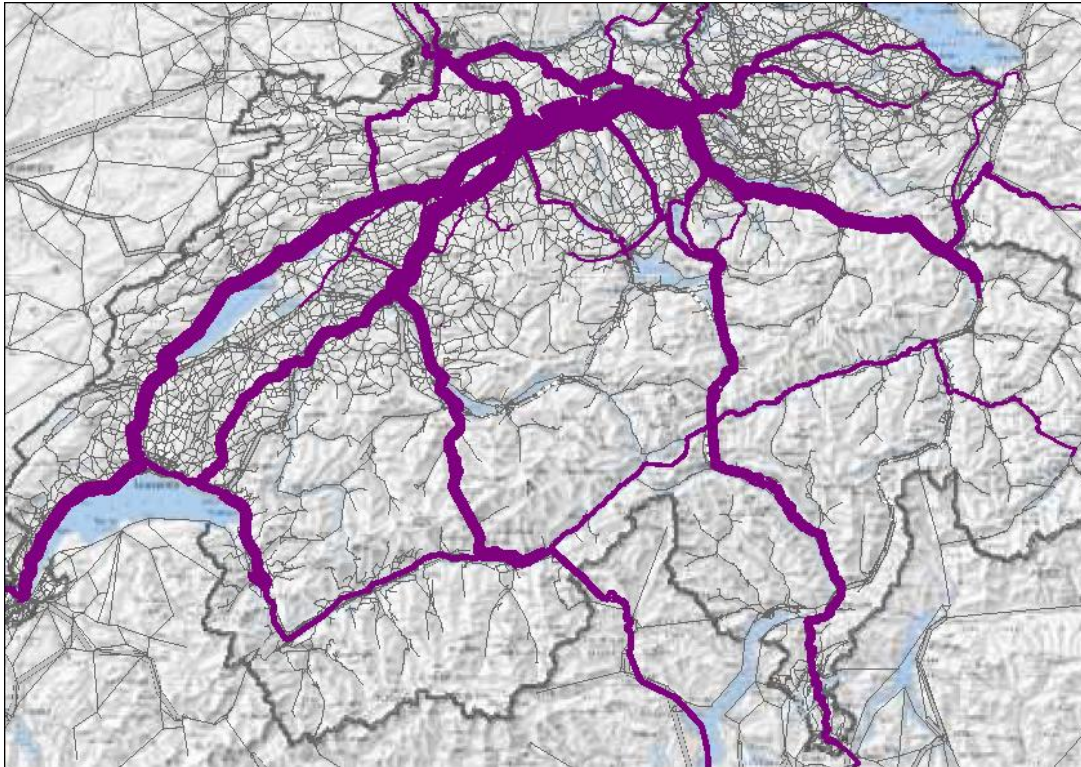


Abbildung 8-12: Belastungen Schienennetz (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr) im **Bezugsfall** (Nachfrageberechnung 2005), Maximale Streckenbelastung 6.280.000 t/Jahr

Für Variante 1 „Sperrung Bahn“ erübrigt sich die Darstellung von Belastungskarten.

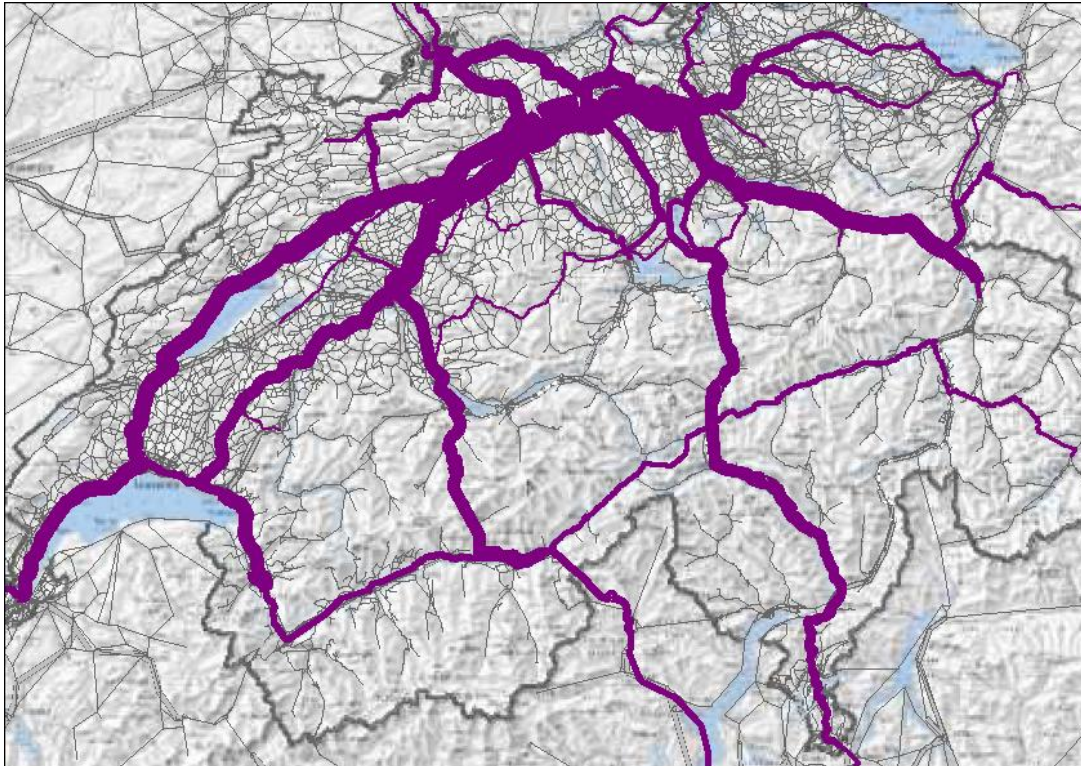


Abbildung 8-13: Belastungen Schienennetz (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr) in **Variante 2**, Maximale Streckenbelastung 7.560.000 t/Jahr

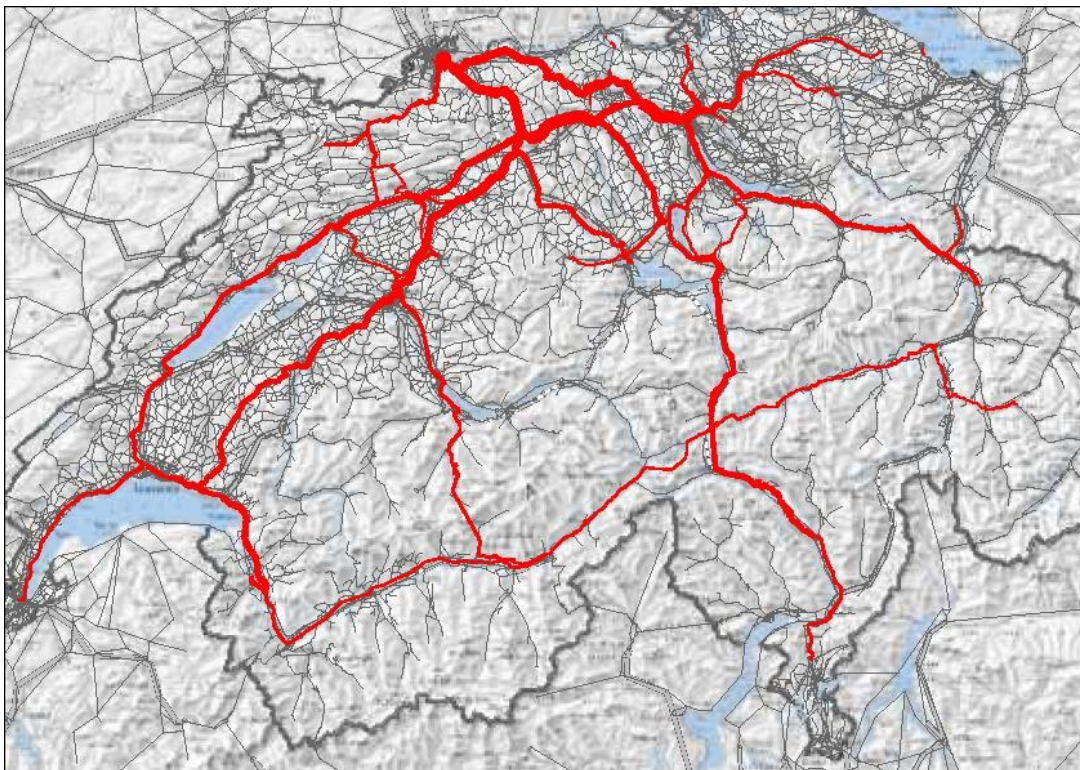


Abbildung 8-14: Differenzbel. im Schienenverkehr (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr): **Variante 2 – Bezugsfall**. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt. Maximale Differenzbelastung 1.760.000 t/Jahr

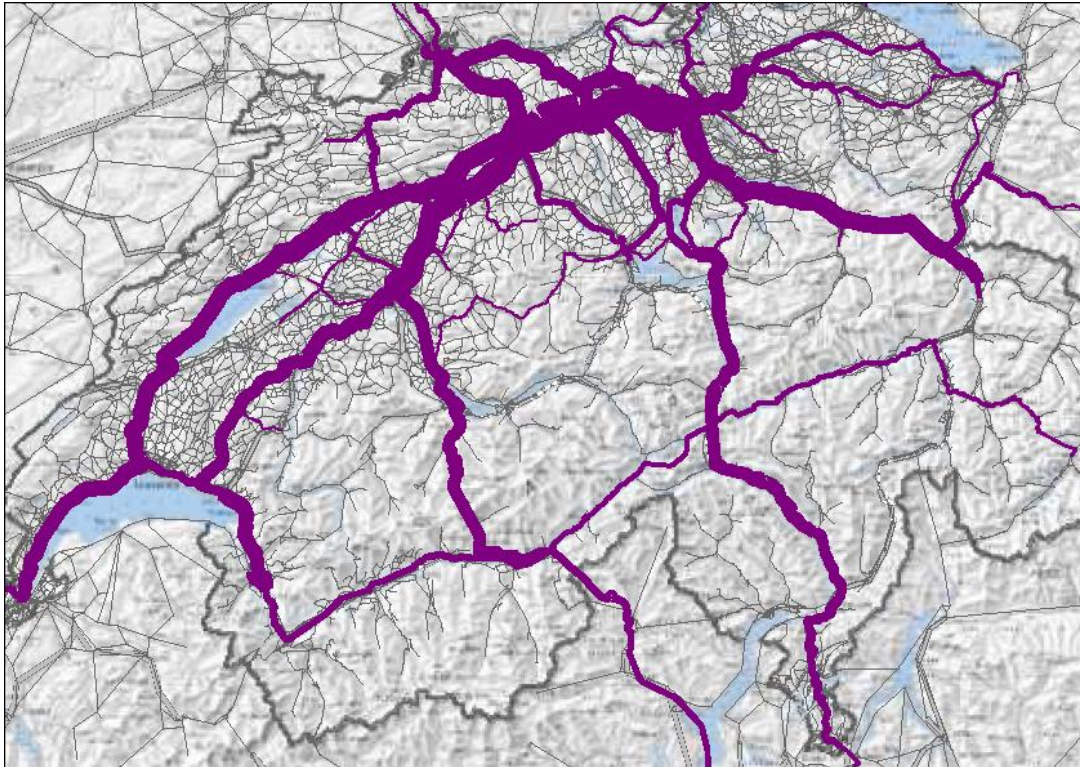


Abbildung 8-15: Belastungen Schienennetz (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr) in **Variante 3**, Maximale Streckenbelastung 7.720.000 t/Jahr

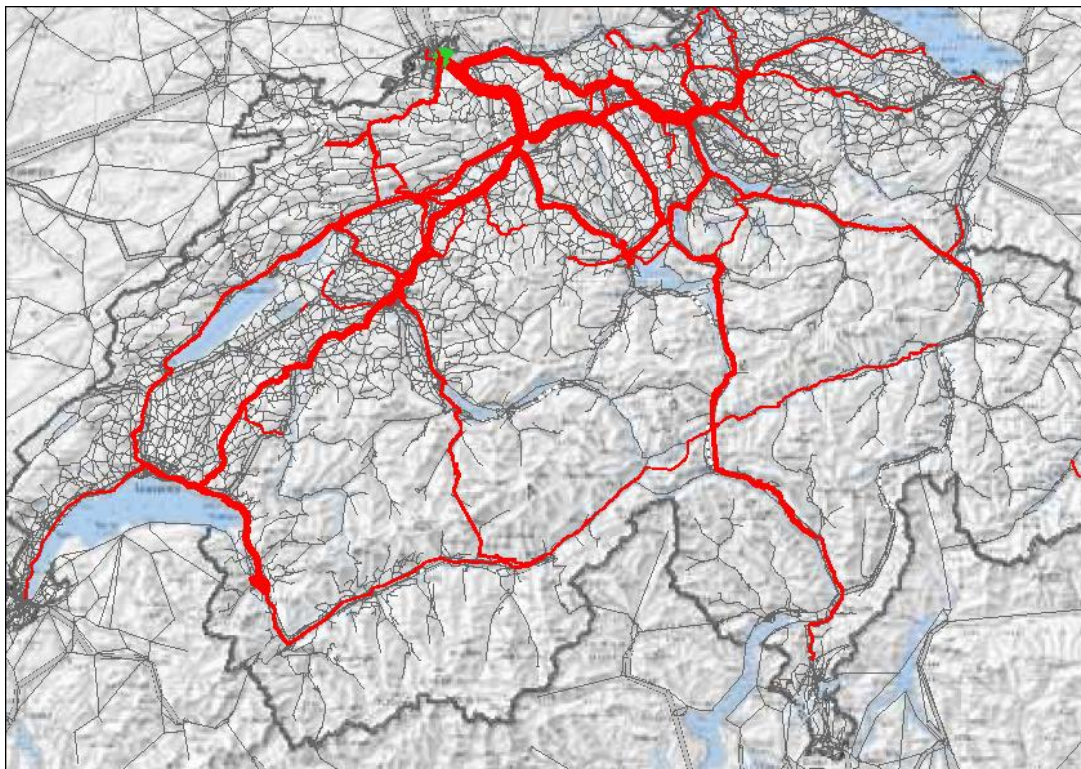


Abbildung 8-16: Differenzbel. im Schienenverkehr (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr): **Variante 3 – Bezugsfall**. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt. Maximale Differenzbelastung 1.440.000 t/Jahr.

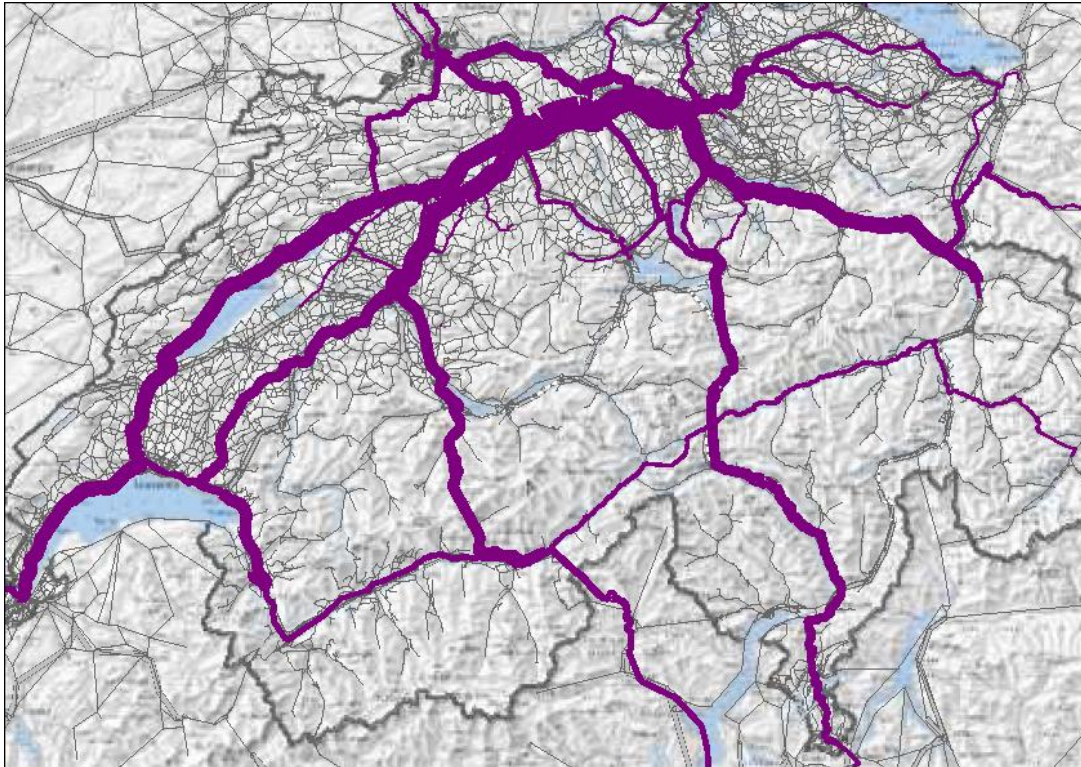


Abbildung 8-17: Belastungen Schienennetz (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr) in **Variante 4**, Maximale Streckenbelastung 6.310.000 t/Jahr

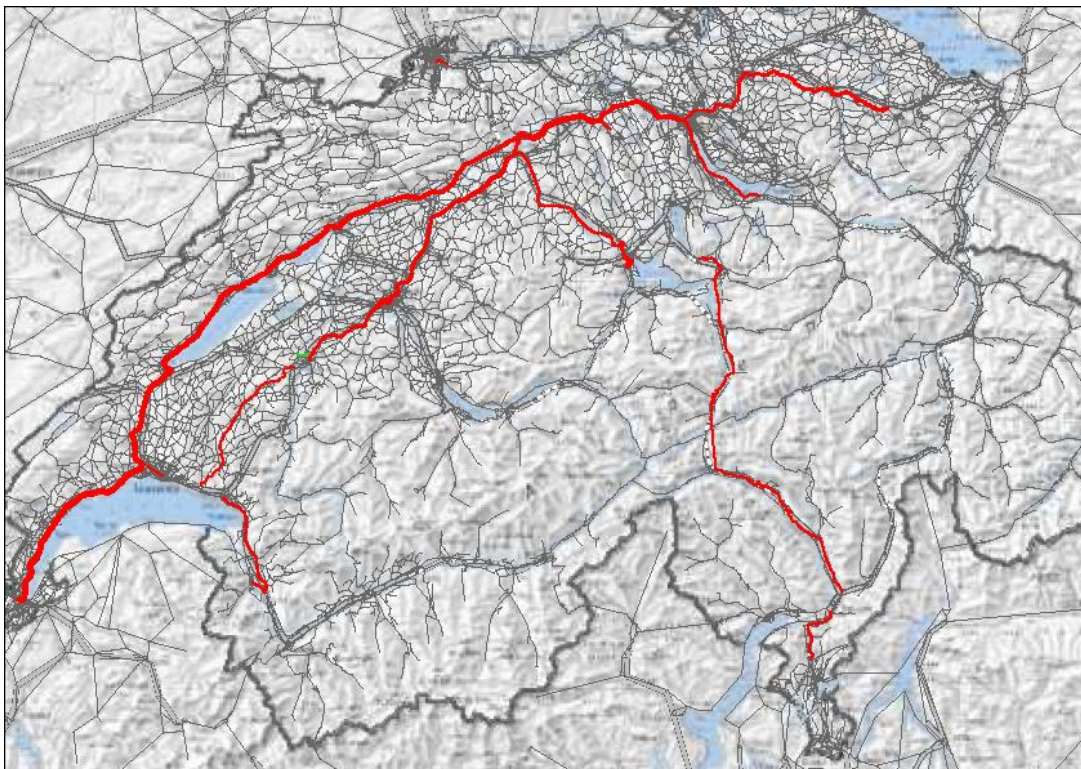


Abbildung 8-18: Differenzbel. im Schienenverkehr (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr): **Variante 4 – Bezugsfall**. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden stark vergrößert dargestellt. Maximale Differenzbelastung 45.000 t/Jahr

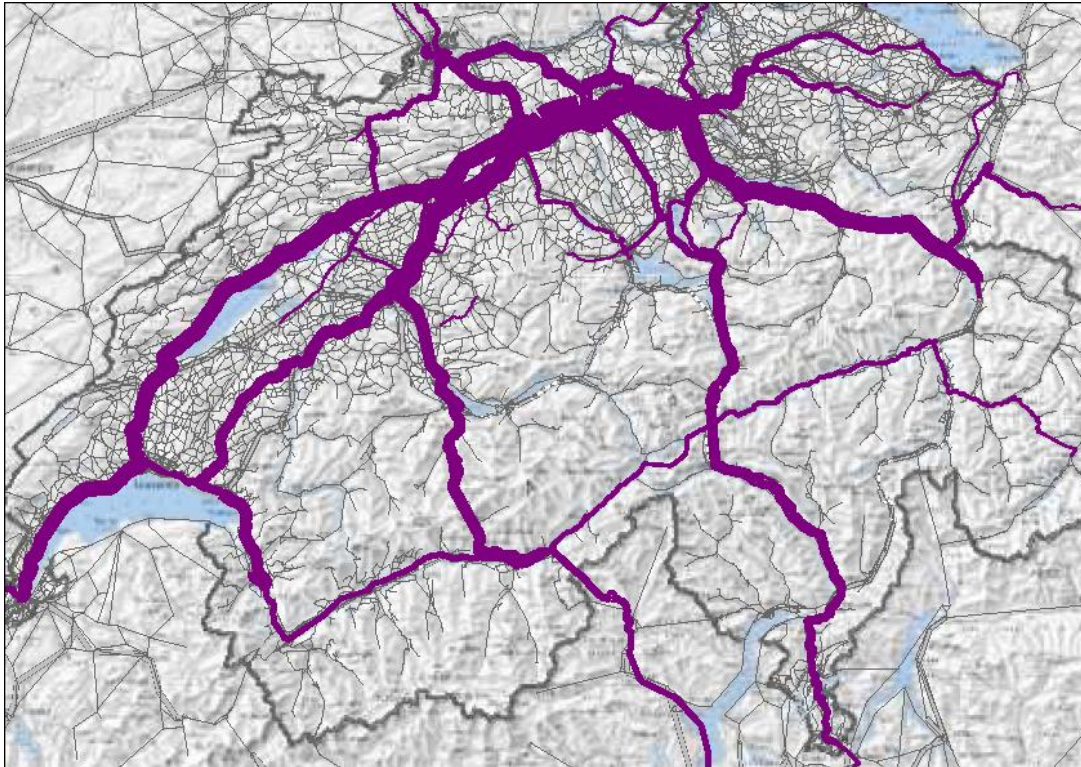


Abbildung 8-19: Belastungen Schienennetz (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr) in **Variante 5**, Maximale Streckenbelastung 6.580.000 t/Jahr

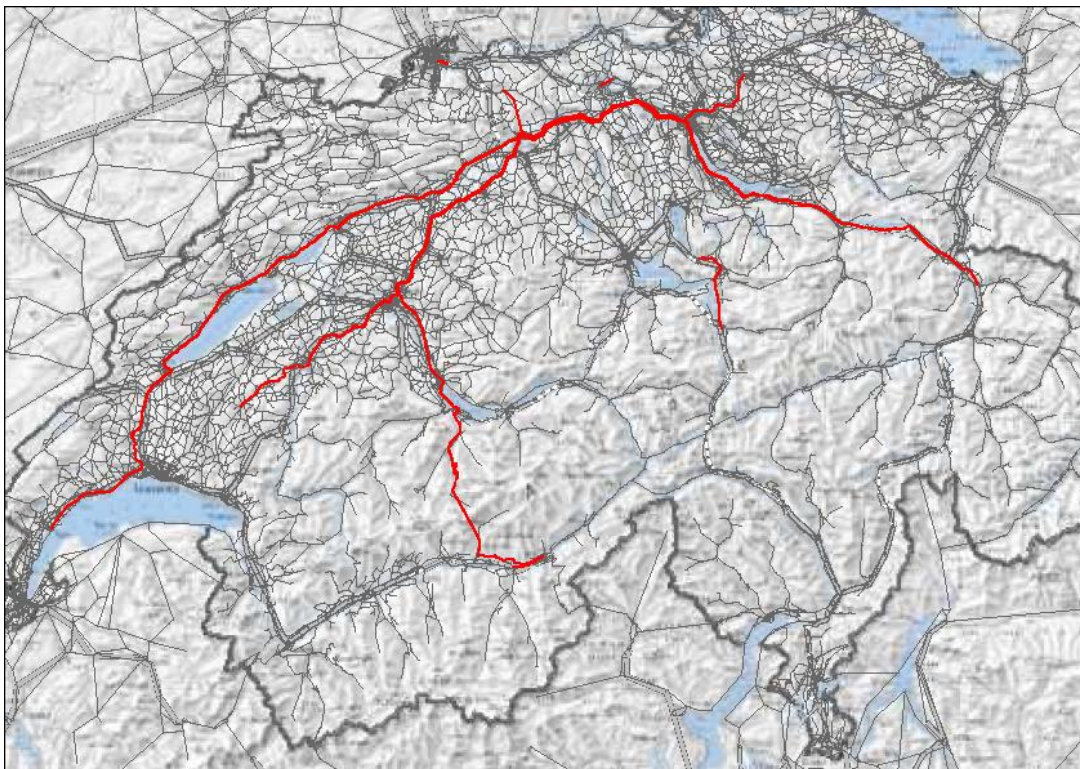


Abbildung 8-20: Differenzbel. im Schienenverkehr (Tonnage, ohne Durchgangsverkehr): **Variante 5 – Bezugsfall**. Mehrbelastungen rot, Minderbelastungen grün. Differenzen werden mit doppelter Balkenbreite dargestellt. Maximale Differenzbelastung 433.000 t/Jahr

8.2.4 Bewertung der Sensitivitätsberechnungen

Auf den ersten Blick erscheinen die Wirkungen bei allen berechneten Varianten relativ gering. Im Personenverkehr hätten vergleichbare Veränderungen der Modellparameter bei den meisten Verkehrsmodellen sicherlich stärker ausgeprägte Veränderungen der Ergebnisse zur Folge.

Diese Sicht ist jedoch zu relativieren:

- Bei einer Vielzahl von Waren bleiben in allen Varianten die wesentlichen Parameter, in erster Linie der Netzzugang am Anfang und Ende der Routen, unverändert. Die Fixierung auf eine bestimmte Art der Logistik und die Nutzung bestimmter Verkehrsträger ist stark ausgeprägt und wird durch die angenommenen Veränderungen der Eingangsparameter nicht in Frage gestellt.
- Es entspricht der allgemeinen Erfahrung, dass die Wirksamkeit von (staatlichen) Eingriffen in die Kostenstrukturen der Logistik nur einen begrenzten Effekt hat. Im Güterverkehr spielen andere Faktoren wie z.B. Zölle, Handelsbegrenzungen, natürliche Standortfaktoren, Flächenverfügbarkeiten usw. eine vergleichbare Rolle. Ursächlich dafür ist, dass bei Konsum- und Massengütern die Transport- und sonstigen Logistikkosten meist nur einen geringen Anteil an den Gesamtkosten haben. Änderungen an den Kostenstrukturen der Logistik im nationalen Rahmen können Produktionsstrukturen (z.B. Just-in-Time-Zulieferung, globale Beschaffung und Vermarktung, Spezialisierungs- und Zentralisierungstendenzen) somit nur in Einzelfällen beeinflussen.
- Modale Veränderungen im Güterverkehr erfordern immer die Verfügbarkeit – oftmals warenspezifischer – Infrastrukturen (Anschlussgleise, Verladeeinrichtung). Der Güterverkehr auf der Bahn ist – trotz des dichten Netzes – Bahnverkehr weitaus weniger ubiquitär als der öffentliche Personenverkehr. Ebenfalls ist ein Umschlagvorgang im Güterverkehr relativ zum Gesamtaufwand des Transportes ein weitaus teurer und aufwändigerer Vorgang als ein Umstieg im Personenverkehr.

8.2.5 Folgerungen für die eventuelle Weiterentwicklung

In Variante 5 wird die starke Wirkung der Aufteilung von Warenströmen auf logistische Systeme deutlich. Es ist nachvollziehbar, dass die Sendungsgröße und die unterschiedlichen Möglichkeiten des Transport (z.B. Multimodalität) einen erheblichen Einfluss auf das Transportgeschehen hat. Faktisch wird in der Aufteilung die Bandbreite des Modal-Split bereits vorbestimmt. Die Freiheitsgrade in den nachfolgenden Schritten sind weitaus geringer. Im Moment erfolgt diese Aufteilung alleine durch Schätzung des Anwenders. Empirische Grundlagen der Art „x Prozent der Warengruppe Y werden bei Entfernungen über 100 km per Container transportiert“ existieren nicht.

Es kann unterstellt werden, dass bereits die Wahl des logistischen Systems für eine Gutart in Abhängigkeit von der Größe des Warenstromes, der Entfernung und gegebenenfalls weitere Parameter (z.B. Grenzübertritt, Bahnerschließung) nach Kostenkriterien erfolgt. Veränderungen in der Kostenparametrisierung der logistischen Systeme würden dann auch im Güterverkehrsmodell bereits eine Veränderung der Aufteilung der Waren auf die logistischen Systeme nach sich ziehen.

Sinnvoll erscheint, die Auslastung der Fahrzeuge in den Wirkungsbereich des Modells zu integrieren: Bei höheren Transportkosten sollte die Auslastung der Fahrzeuge „automatisch“ zunehmen. Dies könnte modelliert werden, indem die Kosten für das Be- und Entladen der Fahrzeuge in Abhängigkeit zum Auslastungsgrad definiert würden.

9 Gesamtbeurteilung und Empfehlungen

9.1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Das nationale Güterverkehrsmodell fügt sich in die Verkehrsmodellierung des UVEK ein und ergänzt das nationale Personenverkehrsmodell. Auf der Basis von Strukturdaten, Angeboten (Netzen) und empirisch ermittelten Parametern (des Verhaltens, des Verbrauchs usw.) wird die Gesamtheit des schweren Güterverkehrs aller Verkehrsträger im Bezugsgebiet Schweiz berechnet und für verschiedene Darstellungen und Anwendungen bereitgestellt.

Zusammen mit dem Personenverkehrsmodell sollen mit dem Güterverkehrsmodell (NGVM) die Entscheidungsgrundlagen für verkehrspolitische Massnahmen verbessert werden. Das NGVM wurde für das Basisjahr 2005 erstellt. Mit dem Projekt „Validierung des NGVM“ wird die Entwicklungsphase des Güterverkehrsmodells abgeschlossen und eine erste Bilanz gezogen.

Das Modell wurde in einem ersten umfassenden Schritt von PTV entwickelt und implementiert und im vorliegenden zweiten Schritt in einem erweiterten Konsortium (PTV und RappTrans) überarbeitet, kalibriert und validiert.

Ziel des Validierungsprojekts war es, die Modellqualität zu verbessern und einen besseren Überblick zu den Modellreaktionen und Einsatzmöglichkeiten zu erhalten. Dazu wurden Inputdaten geprüft, Outputdaten validiert sowie der Ist-Zustand 2005 des Modells neu kalibriert.

Mit Hilfe von Sensitivitätsberechnungen wurden die Modellstrukturen überprüft und die Reaktionen des Modells bei Variation einzelner Einflussfaktoren ermittelt. Die grundlegenden Modellansätze und die Validierungsergebnisse werden in diesem Bericht dokumentiert.

Mit diesem Projektbericht steht das Modell nunmehr als Basismodell für verschiedene Modell-anwendungen zur Verfügung.

9.2 Das Basismodell NGVM

Grundlage des Güterverkehrsmodells ist die realwirtschaftliche Abbildung der Ökonomie eines Landes. Güterverkehr entsteht durch das Auseinanderfallen der Orte, an denen Waren erzeugt und verbraucht werden. Die Erzeugung und der Verbrauch von Waren sind überwiegend natürlichen Gegebenheiten geschuldet (z.B. Rohstoffe) oder sie entstehen durch den Konsum von Menschen an ihrem Wohnort (z.B. Lebensmittel und Konsumgüter). In vielen Fällen sind von den komplexen Wertschöpfungsketten nur wenige Glieder im betrachteten Raum existent. Im NGVM werden diese in einem verhaltensorientierten Ansatz modelliert, d.h. von den realen Prozessen abstrahiert in mathematisch und logisch bzw. empirisch begründeten Zusammenhang quantitativ nachgebildet.

Klassisch wird diese Nachbildung in den Stufen Erzeugung, Verteilung, Aufteilung (Modal Split) und Wegewahl aufgeteilt. Diese Stufen sind im gewählten verhaltensorientierten Ansatz sehr eng miteinander verzahnt.

Erzeugung

Die Existenz und teilweise auch der Umfang von Prozessen, bei denen Stoffe erzeugt, umgeformt oder vernichtet werden, kann über Strukturdaten abgeschätzt werden. Nutzbare Strukturdaten sind z.B. Beschäftigungsdaten, die nach Branchen differenziert sind oder Angaben über die Flächennutzung in Gemeinden. Hierfür findet eine separate, noch im Aufbau

befindliche Strukturdatenbank Anwendung. Bei großen Erzeugern ist hier eine Überprüfung und Anpassung erforderlich.

Das Güterverkehrsmodell verfolgt mit der räumlichen Einteilung der Verkehrszonen (2944 in der Schweiz und 165 im benachbarten Ausland), der Gruppierung der Waren in 118 Gutarten und der Definition von 19 logistischen Systemen einen sehr detaillierten Ansatz. Die feine räumliche Einteilung des NGVM liegt in der Anforderung der Kompatibilität mit dem Personenverkehrsmodell begründet und wäre für den Güterverkehr nicht unbedingt notwendig. Als Gutarten werden disaggregierte Warengruppen bezeichnet, die in Bezug auf transportrelevante Eigenschaften homogen sind und zugleich – auch bei ansonsten ähnlichen Eigenschaften – wichtige Produktionsschritte oder unterschiedliche Verwendungen abbilden (z.B. Stammholz/Rohholz oder Treibstoffe/Heizöl).

Mit Hilfe von „logistischen Systemen“ werden die unterschiedlichen Versandformen, Gesetzmäßigkeiten und Kostenstrukturen der Logistik abgebildet. Im einzelnen werden folgende logistische Systeme unterschieden: Tanktransporte für Flüssigkeiten (für Mineralöl, Chemie und Lebensmittel), Massenguttransporte (offene Schüttgüter und Abrollcontainer), Lkw-Komplettladungen (Lebensmittel, Nicht-Lebensmittel, Bau, Forst- und Landwirtschaft), Container, Schwerverkehr, Transport mit Spezialfahrzeugen (Langholz/Kfz-Transport), Stückgut (Lebensmittel-Palettenlogistik, Nicht-Lebensmittel-Palettenlogistik, sonstiges Stückgut) sowie Pakete und Briefe. Die Infrastrukturelemente (Straßen, Eisenbahn, Umschlageinrichtungen) sind für die logistischen Systeme unterschiedlich freigegeben und ihre Nutzung verursacht Kosten in unterschiedlicher Höhe.

Verteilung

Ohne Berücksichtigung des Transportmittels wird zunächst eine Verteilungsrechnung durchgeführt, die die Massenbilanzen für alle Waren für alle Zonen ausgleicht. Dabei wird mit einem Widerstandsmodell auf Basis der Fahrzeiten im Straßengüterverkehr mit spezifischen Widerstandselastizitäten je Gutart gerechnet.

Verkehrsaufteilung (Modal Split) und Wahl des Transportweges bzw. der Transportlogistik

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Nachfrage der Gutarten auf die logistischen Systeme unter Berücksichtigung von Sendungsgröße und Transportentfernung aufgeteilt wird. Das Güterverkehrsmodell generiert den Binnen-, Ziel- und Quellverkehr für die Schweizer Verkehrszellen in drei verschiedenen Dimensionen: Als Tonnage, als Sendungsaufkommen verschiedener Sendungstypen und als werktägliche Lkw- bzw. Waggonfahrten. Der Transitverkehr auf Strasse und Schiene ist in dem generellen Berechnungsablauf nicht enthalten, wird aber für die Umlegung auf Strasse und Schiene auf der Grundlage der Grenzverkehrserhebungen in Form von Fahrten übernommen.

In vielen Fällen erfolgt die Bedienung eines Warenstromes zwischen zwei Zonen nicht als direkte Lieferung. Vielmehr werden Waren über logistische Netzwerke gebündelt transportiert. Ziel der logistischen Bündelung ist die Minimierung von Logistikkosten unter Nebenbedingungen, die überwiegend durch die Art der Ware definiert werden (Haltbarkeit, Aggregatzustand, Warenwert, Möglichkeit des gemeinsamen Transports mit anderen Waren usw.).

Für die Bedienung der Transportbedürfnisse für unterschiedliche Waren haben sich unterschiedliche „logistische Systeme“ herausgebildet. Es wird unterstellt, dass Waren, die mit einem logistischen System transportiert werden, auf dem gesamten Transportweg in diesem System bleiben. Innerhalb eines logistischen Systems sucht sich ein Warenstrom (umgerechnet in Sendungen der jeweiligen Transportgefäße) zwischen Start und Ziel kostenminimale Wege.

Im aktuellen Zustand wird auf dieser feinsten Ebene (3109 Zonen x 3109 Zonen x 118 Gutarten x 19 logistische Systeme) nur genau ein Weg ermittelt.

Als Widerstände der Transportwegewahl – und damit auch der Verkehrsmittelwahl – dienen generalisierte Kosten. Kosten treten beim Transport einer Ware an verschiedenen Stellen und in verschiedener Weise auf. Nicht alle Widerstände – insbesondere die von nicht realisierten Alternativen – sind monetär bezifferbar, z.B. Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit. Der kostenminimale Weg einer Warensendung wird nicht nur durch die Logistikkosten bestimmt, sondern auch durch zusätzliche Versenderkosten (z.B. Zeitbedarf). Weitere qualitative Aspekte wie die Sicherheit und Pünktlichkeit des Transports werden vereinfacht abgebildet, da die Haltbarkeit und der Wert der Ware bei den Versenderkosten eine zentrale Rolle spielen. Als kostenminimaler Weg wird daher der Weg bestimmt, bei dem die Summe aus Logistikkosten und Versenderkosten minimal ist.

In einem weiteren Schritt wird der Weg jeder Warensendung analysiert. An Stellen, an denen ein Umschlag stattfindet, wird der Weg geteilt (durch Teilnetzbildung im Umlegungsmodell). Die erzeugten Teilwege sind modal homogen d.h. es wird nur eine Transportart genutzt. Die so bestimmten Teilwege werden in Fahrten unterschiedlicher Fahrzeuge umgerechnet. Dann werden die Leerfahrten erzeugt. Die Fahrten der Fahrzeuge werden im Verkehrsnetz umgelegt und erzeugen so Wege und Belastungen in den jeweiligen Verkehrsnetzen.

Output

Die Outputs aus dem nationalen Güterverkehrsmodell werden als Nachfragematrizen an das nationale Personenverkehrsmodell weitergegeben. Hiermit ist es möglich, den gesamten relevanten, motorisierten Straßenverkehr im NPVM abzubilden und so die Grundlagen für Leistungsbetrachtungen sowie Lärm- und Luftschadstoffemissionen bereitzustellen.

9.3 Validierungsgrundlagen

Bei der Validierung wurden Netz- und Nachfragedaten sowie die Übereinstimmung der Modellergebnisse mit der Realität überprüft. Zu diesem Zweck wurden Daten zum Güterverkehr aus verschiedenen Statistiken eingesetzt. Dabei zeigten sich die Stärken, aber auch die Schwächen der verfügbaren Datengrundlagen.

Die verfügbaren Daten unterscheiden sich in Erhebungsmethodik, Erhebungshäufigkeit und Qualität voneinander. Als Validierungsgrundlagen fanden folgende Angaben Verwendung: zu Güteraufkommen, Import und Export zu den Nachbarländern, Verkehrsleistungen in der gesamten Schweiz, Verkehrsleistungen nach Warengruppen, Verkehrsleistungen nach Gutarten, Fahrtlängenverteilungen, Modal Split, Fahrleistungen Strasse, Leerfahrten Strasse, Umschlagmengen KLV, Kombiverkehr und Netzbelastungen auf Strasse und Schiene.

9.4 Kalibrierungsergebnisse

Ziel der Kalibrierung war es, eine möglichst gute Übereinstimmung der Modellergebnisse mit gezählten oder auf andere Weise empirisch erhobenen Größen zu erreichen.

Es wurde eine Vielzahl an Kalibrationsschritten vorgenommen. Dabei wurden vorrangig Massengutströme betrachtet. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag bei den Schienentransportleistungen und Strassennetzbelastungen. Eine Vielzahl von Verkehrsbeziehungen konnte so geeicht und plausibilisiert werden. Allerdings konnten nicht alle Abweichungen zwischen Modellergebnis und empirischen Messdaten korrigiert werden. So

verblieben bei einigen Warengruppen deutliche Abweichungen bei Strasse bzw. Schiene zwischen den Modellwerten und den empirischen Daten.

Ein Teil dieser Abweichungen erklärt sich daraus, dass eine definitorische Übereinstimmung von Modellgrößen und empirischen Daten nicht gegeben ist. So fehlen für Zwischenstufen der Modellierung, wie dem Sendungsaufkommen, geeignete empirische Eckdaten. Zwar erfolgt die Nachfrageerzeugung am Beginn der Berechnungen auf der Basis von überprüfbareren Daten (Einwohner, Arbeitsplätze, landwirtschaftliche Produktion, Produktionsziffern von großen Einzelbetrieben), aber erst nach den Zwischenschritten der Verteilungsrechnung, der Sendungsgrößenermittlung und der Aufteilung auf die Transportwege ergeben sich wieder Ergebnisse (z.B. Verkehrsbelastungen), die überprüfbar sind. Für die Zwischenschritte der Güterverkehrsmodellierung sind praktisch keine Kontrollmöglichkeiten vorhanden.

9.5 Sensitivitätsberechnungen

Mit Hilfe von Sensitivitätsbetrachtungen wurde untersucht, ob und wie das Modell bei der Veränderung wesentlicher Eingangsgrößen reagiert. Die hierfür definierten Sensitivitätsberechnungen bilden deshalb keine planerischen Vorhaben ab, sondern werden als Test der verschiedenen Schritte des Modellablaufs und unterschiedliche Eingangsgrößen konstruiert. Die Ausprägungen der Veränderungen der Inputdaten sind in den meisten Berechnungen bewusst übertrieben, um eine erkennbare Veränderung bei Variation weniger Eingangsgrößen testen zu können.

Es wurden insgesamt 5 Anwendungsfälle im Rahmen der Sensitivitätsbetrachtung definiert. Inhalte waren 1.) eine Sperrung des Bahnnetzes, 2.) die Erhöhung der entfernungs- und zeitabhängigen Kosten für den Lkw-Transport um 50%, 3.) eine Subventionierung der Lade- und Umschlagkosten von und zur Bahn, 4.) eine Erhöhung der Zahl der Logistikzentren sowie 5.) eine Veränderung der Entfernungsklassen in den logistischen Systemen.

Als Ergebnisse der Berechnungen lässt sich feststellen, dass alle Wirkungseffekte in die richtige Richtung gehen. Allerdings werden in der aktuellen Implementierung des Modells keine Engpässe an Umschlaganlagen modelliert. Auch Rückkopplungen aus Kapazitätsengpässen im Straßennetz auf die Logistik sind nicht implizit eingebaut, sondern müssten für entsprechende Untersuchungen explizit in den Modellablauf durch Iterationen eingeführt werden.

Eine wichtige Konsequenz zeigt sich bei der Änderung der Entfernungsklassen für die logistischen Systeme (Berechnung Nr.5). Dort wird die starke Wirkung der Aufteilung von Warenströmen auf logistische Systeme deutlich, dass die Sendungsgröße und die unterschiedlichen Möglichkeiten des Transports (z.B. Multimodalität) einen erheblichen Einfluss auf das Transportgeschehen haben. Faktisch wird mit dieser Zuordnung von Gutarten und Entfernungsklassen zu logistischen Systemen der Modal-Split in einem engen Korridor bereits vorbestimmt.

9.6 Würdigung Gesamtmodell

Das Güterverkehrsmodell liefert einen logisch geschlossenen Ansatz zur Berechnung quasi sämtlicher im Zusammenhang mit dem Güterverkehr relevanter Nachfrage- und Verkehrsbelastungsdaten für den Bezugsraum Schweiz. Der Transitverkehr wird aus den grenzquerenden Erhebungen übernommen. Dies bedeutet, dass Nachfragedaten in räumlich sehr feiner Auflösung (gemeindescharf, über 3000 Verkehrszonen) sowohl für Gutarten, Sendungseinheiten, Fahrzeugen und Tonnage in Verkehrsmitteln berechnet werden können. Die

feinräumige Aufteilung wurde gewählt, um eine Kompatibilität zwischen nationalem Personenverkehrsmodell und nationalem Güterverkehrsmodell (also der UVEK-Verkehrsmodelle) herstellen zu können (Nachfragematrizen für den Strassenverkehr dienen mit ihrer Verflechtungsstruktur als Input für das NPVM). Die grösseren Schweizer Städte sind analog zum NPVM etwas feiner aufgeteilt, erreichen jedoch damit nicht einen Disaggregationsgrad, der bei der Anwendung rein lokaler oder regionaler Modelle Verwendung findet.

Vorteile eines hier gewählten feinräumigen Aggregationsniveaus gegenüber einer Nachfrageschätzung auf der Grundlage empirisch erhobener Verkehrsdaten ist die Nachvollziehbarkeit aller Transportvorgänge bis auf die Ebene von Strukturdaten und die Abbildung aller Ströme von der Quelle bis zum Ziel einschliesslich der Umschlagvorgänge und der indirekt ausgelösten Leerfahrten. Die Prognosefähigkeit ist abhängig von einem schlüssigen Ansatz zur Prognose der Inputdaten, insbesondere der Strukturdaten, der Verbrauchs- und Produktionsraten für die verschiedenen Gutarten und der Aussenhandelsverflechtungen. Dies wurde im vorliegenden Basismodell noch nicht implementiert.

Für ein hochindustrialisiertes Land wie die Schweiz mit hochdifferenzierten ökonomischen internen und externen Verflechtungen stösst auch der gewählte feinräumig differenzierte Modellansatz an Grenzen: Es gibt unzählige Güterströme, die im Hinblick auf die Abgrenzung der Gutart, der erklärenden Strukturgrößen, der Versandart oder der Art des Umschlags auch anders abgebildet werden könnten als dies im Verkehrsmodell in der vorliegenden Fassung geschieht.

Der Schwerpunkt und auch die Besonderheit dieses Modells besteht in der verhaltensorientierten Abbildung der Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen im Güterverkehr. Wesentlich ist hierbei die mehrstufige Modellierung von Tonnenströmen, Sendungen und Fahrzeugfahrten.

An den Übergängen von Strukturdaten zu Tonnenströmen, Tonnenströmen zu Sendungen und Sendungen zu Fahrzeugfahrten sind die Wirkungszusammenhänge für die hier wesentlichen Parameter der Zielwahl und Entfernungsverteilung, der Wahl der Sendungsart, die Verkehrsmittelwahl (Modal-Split) und die Beladung bzw. Auslastung der Fahrzeuge nicht durch Formeln abgebildet, die die jeweilige Entscheidungssituation volks- und verkehrswirtschaftlich darstellen, sondern größtenteils als einfache Aufteilungen oder manuell einzustellende Parameter. Bei der Codierung von Varianten muss im Einzelfall überprüft werden, ob diese Parameter konstant bleiben dürfen oder in welchem Ausmass sie sich allenfalls verändern.

Bei der Anwendung des Modells für Prognose- oder Szenarienberechnungen ergibt sich daraus in bestimmten Fällen die Möglichkeit bzw. die Notwendigkeit, Parameter nachzuführen und damit neue logistische Strukturen abzubilden oder auf diese Effekte zu verzichten und damit anzunehmen, dass die unterstellten Grundlagen weiterhin gelten.

9.7 Einsatzmöglichkeiten und -grenzen

Das Güterverkehrsmodell ermöglicht erstmals die Erstellung von hochaufgelösten Nachfragematrizen für den gesamten Güterverkehr der Schweiz. Zudem wurde ein methodischer Rahmen entwickelt, welcher eine strukturierte Weiterentwicklung des Güterverkehrsmodells erlaubt.

Zu den **Einsatzmöglichkeiten** des Modells zählt, dass an Zählraten kalibrierte Nachfragematrizen für den Schwerverkehr (Strasse) für das Personenverkehrsmodell erzeugt und dort als Grundbelastung übernommen werden können. Nach Gütergruppen und Logistiksystemen differenzierte Nachfragematrizen können auf das zugehörige Netz (Strasse, Schiene) umgelegt und dargestellt werden.

Das NGVM kann als **Basismodell** für folgende Fragestellungen eingesetzt werden (siehe auch Tabelle 9-1):

Es werden 4 Stufen der Anwendung definiert (Zahlen 1 bis 4 in Tabelle 9-1):

1. Die Beantwortung einer Fragestellung erfordert die Anwendung und Auswertung der berechneten Ergebnisse des Güterverkehrsmodells sowie ein Grundverständnis über die Wirkungsweise des Verkehrsmodells.
2. Die Beantwortung der Fragestellung erfordert ein vertieftes Grundverständnis über die Wirkungsweise des Verkehrsmodells. Erforderlich sind z.B. Auswertungen auf der Basis von Zwischenergebnissen, eine einfache Veränderung von Strukturdaten, Netzen oder Modellparametern.
3. Die Beantwortung der Fragestellung erfordert neben einem vertieften Verständnis des Verkehrsmodells Erfahrungen als Modellbauer um das Verkehrsmodell um zusätzliche Gutarten, logistische Systeme und Fahrzeuge erweitern zu können. Erforderlich ist auch die Veränderung von Parametern, jedoch im Rahmen der vorhandenen Modellarchitektur und in der Regel weiterführende externe Berechnungen.
4. Die Beantwortung der Fragestellung erfordert neben einem vertieften Verständnis des Verkehrsmodells eine Erweiterung der Modellarchitektur einschließlich des VB-Scripts.

Für neue Anwender des NGVM erfordern bereits die Berechnungen der ersten Stufe eine intensive Einarbeitung in die Modellphilosophie und Wirkungsweise.

Ergänzend wird auch in einer Farbcodierung angegeben, wie gut das Modell für die Beantwortung der Fragestellung geeignet ist. Damit wird mit folgender Farbcodierung gearbeitet:

Ohne Einschränkung geeignet; ggf. Auswertungstiefe beachten	
Externe Vorgaben müssen einbezogen und in Modellgrößen umgesetzt werden	
Nicht geeignet; Modell erlaubt allenfalls ergänzende Betrachtungen und Vertiefungen der Fragestellung	

Falls der eigentliche Schwerpunkt der Anwendung im Personenverkehrs- und Umlageungsmodell liegt, wird das mit einem *) angezeigt. Die Matrizen aus dem nationalen GVM werden benutzt.

Bereich	Fragestellungen	Anwendung innerhalb NGVM
Auswertungen Ist-Zustand / Ausgangszustand	Analyse und Darstellung von Güterverkehrsströmen (Tonnen, Warengruppen, Transportgefässe etc.) nach Verkehrsträger und Verkehrsarten	1
	Analyse und Darstellung von Zeit-, Distanz und Kostenmatrizen nach Verkehrsträger und Verkehrsarten (konventionell)	2
	Analyse und Darstellung von Zeit-, Distanz und Kostenmatrizen nach Logistiksystemen und Warengruppen	3
	Analyse und Darstellung von Belastungskennwerten, Leistungs- (z.B. Fahrleistungen), Kosten- und Mengenkennwerten	2*
	Analyse der Kapazität von Strecken und Knoten (Netzauslastungen) im Straßennetz (in Verbindung mit dem Personenverkehrsmodell)	1*
	Modal-Split-, Routen- und Zielwahlanalysen	2
	Erreichbarkeitsanalysen	1*
Statistiken / Prognosen / Szenarien	Abschätzung der Güterverkehrsentwicklung aufgrund von sozio-ökonomischen Entwicklungen	3
Netz- und Massnahmenplanungen	Auswirkungsanalysen für Netzplanungen (Neubauten, Ausbauten von Strecken und Knoten, inkl. Kapazitätsplanungen etc.)	2*
	Auswirkungsanalysen von ökonomischen Massnahmen (LSVA-Anpassungen, Road Pricing/LKW-Maut, Tarifierungen, Preisveränderungen, Kontingentierungen, Subventionierung etc.)	3
	Auswirkungsanalysen von technischen Massnahmen (neue Transportsysteme, Veränderungen im Fahrzeugpark, Veränderungen bei Transportgefässen, etc.)	4
	Auswirkungsanalysen von rechtlichen Massnahmen und deren Vollzug (Veränderungen von Gewichtslimiten, Emissionsgrenzwerten, Arbeits- und Ruhezeitvorschriften, Geschwindigkeiten, Fahrverboten, Kontrollen etc.)	3
Zweckmässigkeitsbeurteilung von Konzepten und Projekten	Basiskennwerte für Kosten/Nutzenanalysen	3
	Basiskennwerte für Nutzwertanalysen und Vergleichswertanalysen	3
Standortplanungen und -konzepte	Standortplanungen für Rangier- und Güterbahnhöfe und andere Anlagen für den Schienengüterverkehr	2
	Standortplanungen für Distributions- und Verteilplattformen, Lager etc.	2
	Standortplanungen für Umschlagterminals Strasse/Schiene	2
Potentialanalysen	Abschätzung von Verlagerungspotentialen zwischen Verkehrsträgern	3
	Abschätzung von Aufkommenspotentialen für Güterverkehrsanlagen (Umschlagterminals, etc.)	3
Umweltstudien (inkl. UVB) und Sicherheitsanalysen	Abschätzung von Luftschadstoffemissionen	1*
	Abschätzung von Lärmemissionen der Straße	1*
	Abschätzung des Energieverbrauchs	1*
Microanalyse (neu)	Strategieänderung Logistik- und Transportwirtschaft	3

Tabelle 9-1: Einsatzbereiche des Güterverkehrsmodells

Es zeichnen sich folgende **Einsatzgrenzen** des Modells ab:

Die Handhabung des Modells ist durch den hohen Detaillierungsgrad u.U. sehr aufwändig. Je nach Anwendungsfall müssen z.T. mehrere Verhaltensparameter des Modells neu eingestellt werden. Bei komplexen Anwendungen ist die Beteiligung der Modellautoren notwendig. (siehe Tabelle oben)

Eine weitere Einschränkung ergibt sich aus dem Verzicht auf die Modellierung von Kapazitäten bei Umschlagseinrichtungen. Die Ermittlung und Darstellung der Umschlagsmengen ist zwar möglich. Da aber keine Kapazitäten der Umschlagseinrichtungen im Modell enthalten sind, konnten hier keine Auslastungen ermittelt und bei der Wahl der Umschlagspunkte über Rückkoppelungen im Modell berücksichtigt werden. Die Anwendungen des Modelltyps in anderen Weltregionen zeigten jedoch, dass die hierfür notwendigen Ergänzungen - nämlich der Einbau einer Rückkopplungsschleife und die Ergänzung um Kapazitäten und CR-Funktionen - sehr gut machbar sind. Für das vorliegende Güterverkehrsmodell müssten diese jedoch aus Gründen der Rechenzeit auf einzelne Gütergruppen oder Logistiksysteme beschränkt bleiben.

Der „Kombinierte Verkehr“ ist im Moment nicht direkt als Ergebnis aus dem NGVM ablesbar. Durch entsprechende „Filtereinstellungen“ über die Teilmatrizen der Modellzwischenstufen ist es jedoch möglich, eine zum bestehenden Verständnis des „Kombinierten Verkehrs“ passende Menge zu ermitteln. In der Realität existierende Angebote wie „Rollende Landstraße“ wurden im Basismodell nicht implementiert.

9.8 Empfehlungen der Auftragnehmer

Aus heutiger Sicht und gemäss der Einschätzung zum aktuellen Stand des Basismodells ergeben sich einerseits verschiedene offene Fragen, die im Rahmen des Projekts nicht abschliessend geklärt werden konnten. Andererseits könnten einzelne Modellkomponenten des Basismodells erweitert oder angepasst werden.

Aufgrund der bisherigen Validierungs- und Sensitivitätsberechnungsergebnisse können folgende Empfehlungen abgegeben werden:

- **Verbesserungen in der Empirie:** Es sollten Möglichkeiten geprüft werden, ob und wie die statistischen Datengrundlagen zur Nachfrage im Güterverkehr weniger stark in Abhängigkeit vom gewählten Transportmittel erhoben werden können (Einbezug Verladeperspektive), um die Grundlagen zur Modelletablierung zu verbessern.
- **Modellierung der Transit- und Aussenverkehre:** Die fehlende Modellierung des Transitverkehrs sowie die grobe Modellierung des Quell- und Zielverkehrs auf der ausländischen Seite schränken die Modellanwendung ein. Vorgeschlagen wird ein vorgelagertes, erheblich gröberes Modell aber prinzipiell mit gleicher Struktur, das die wesentlichen alpenquerenden Güterströme Mitteleuropas, d.h. auch die Verkehre über transalpine Alternativrouten (z.B. Brenner, Mont Blanc) enthält.
- **Parameterschätzungen:** Zahlreiche Wirkungszusammenhänge zwischen Transportvorgängen im Güterverkehr und den Einflussfaktoren bzw. den Motiven der Entscheidungsträger aus der Logistik und der verladenden Wirtschaft konnten bisher nur abgeschätzt werden. Sie sollten weiter untersucht und empirisch fundiert werden.
- **Rückkopplungen zu Netz- und Hubkapazitäten:** Bei der Betrachtung von Auslastungen bzw. Kapazitätsengpässen von Umschlagseinrichtungen wären Rückkopplungen wünschenswert. Im derzeitigen Verfahrensablauf würden diese Rückkopplungen jedoch die Rechenzeiten unzumutbar verlängern.
- **Widerstandsmatrix:** In der Verteilungsrechnung zu Beginn des Verfahrensablaufs sollte sich die Verteilung an den Transportkosten der jeweiligen Gutart und nicht an der Lkw-Fahrzeit orientieren. Das derzeitige Vorgehen ist aus Vereinfachungsgründen (Geringere Rechenzeit und Speicherbedarf) so implementiert.

Glossar

Begriff	Erläuterung
Bezirk Zone Verkehrszelle	Die Begriffe werden synonym gebraucht. Sie beschreiben ein zentrales Element eines Verkehrs- und Netzmodells. Eine Verkehrszelle hat einen geographischen Bezug und fasst die Strukturen und die Verkehrsnachfrage eines geographischen Raumes zusammen.
Emissionsklasse (Euro-Kategorie)	Abgasnorm, die Grenzwerte für den Schadstoffausstoss von Motorwagen festlegt. Je höher die Emissionsklasse, desto tiefer sind die Grenzwerte bzw. desto „sauberer“ sind die Fahrzeuge und desto tiefer sind die LSVA-Abgabesätze
Frachtart	Form der Ladung (z.B. flüssige Massengüter in Tankwagen, Grosscontainer, palettierte Güter)
Gutart	Eine Gutart im Sinne des Güterverkehrsmodells ist eine Ware oder eine Gruppe ähnlicher Waren, die nach gleichen Regeln transportiert wird. Die Definition unterschiedlicher Gutarten folgt daher nicht ausschließlich nach der Beschaffenheit oder der Verwendung der Ware. Die mengenmäßige Relevanz ist ein weiteres Kriterium bei der Definition der Gutarten.
Güterverkehr	Umfasst die Transportvorgänge, die vorrangig zum Transport von Waren durchgeführt werden. Der Begriff wird hier als Gegenstück zum Personenverkehr verwendet. Im Bereich von warenbezogenen Dienstleistungen (z.B. Montagen) besteht eine nicht klar definierbare „Grauzone“
Logistik	Logistik bezeichnet die Summe aller Dienstleistungen und Prozesse, die mit dem Transport von Waren verbunden sind. Die Logistik umfasst die klassischen TUL-Funktionen (Transport, Umschlag, Lagerung)
logistisches System	Teilmarkt der Logistik für eine Frachtart, der nach homogenen Gesetzmäßigkeiten (Kosten) funktioniert. Ausführliche Erläuterung auf Seite 6 und in Abschnitt 4.2.
LSVA	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe. Gemäss Definition der Eidgenössischen Zollverwaltung ist die LSVA eine vom Gesamtgewicht, der Emissionskategorie sowie den gefahrenen Kilometern in der Schweiz und dem Fürstentum Liechtenstein abhängige eidgenössische Abgabe. Sie muss für alle Motorfahrzeuge und deren Anhänger entrichtet werden, die ein zulässiges Gesamtgewicht von mehr als 3.5 Tonnen aufweisen, dem Gütertransport dienen und im In- und Ausland immatrikuliert sind und das öffentliche Strassennetz der Schweiz befahren.
Netzmodell	Ein Netzmodell ist die Abbildung eines realen Verkehrsnetzes als computerbasiertes Rechenmodell. Netzmodelle bestehen unter anderem aus den zentralen Bausteinen „Verkehrsbezirke“, „Knoten“, „Strecken“ und „Anbindungen“.

Begriff	Erläuterung
Kalibrierung Kalibration	Kalibrierung wird Prozess bei der Erstellung eines Modells - hier eines Verkehrsmodells – genannt, bei dem die Parameter des Modells so eingestellt werden, dass die Modellergebnisse eine möglichst gute Übereinstimmung mit gemessenen, realen Werten aufweisen.
Quellverkehr Export Versand	Quellverkehr bezeichnet alle Transportvorgänge, die von einem Bezugsgebiet ausgehen. Ist das Bezugsgebiet ein Nationalstaat, wird hierfür bei Warenströmen der Begriff „Export“ verwendet. Auf betrieblicher Ebene entspricht dies auch dem „Versand“
Umlegung	Umlegung wird die Methode genannt, mit der eine Nachfrage (Personen, Sendungen oder Fahrzeuge zwischen zwei Orten) in einem Netzmodell einen Weg findet und dabei die benutzten Netzelemente belastet. Es existiert eine Vielzahl verschiedener Umlegungsverfahren. Die Algorithmen suchen dabei zunächst mögliche Verbindungen, bewerten diese (z.B. in Bezug auf die erforderliche Zeit) und teilen anschließend die Nachfrage auf die gefundenen Verbindungen auf.
Schwerverkehr	Umfasst die Gesamtheit des Verkehrs von Lastkraftwagen, Lasten- und Sattelzügen. Nicht enthalten ist der Verkehr von Lieferwagen und Personenkraftwagen und Bussen. Im üblichen Gebrauch umfasst Schwerverkehr auch Busse.
Warengruppe	Die verwendete Klassifizierung basiert vor 2008 grundsätzlich auf der revidierten Fassung der europäischen NST/R-Systematik, ab 2008 auf der NST 2007-Nomenklatur. Der Begriff „Warengruppe“ wird im Gegensatz zum Begriff „Gutarten“ für eine gröbere Einteilung verwendet.
Validierung	Als Validierung wird die Überprüfung eines Modells – hier eines Verkehrsmodells – in Bezug auf die Gesetzmäßigkeiten und Wirkungszusammenhänge bezeichnet.
Zielverkehr Import Empfang	Zielverkehr bezeichnet alle Transportvorgänge, die in ein Bezugsgebiet hinein führen. Ist das Bezugsgebiet ein Nationalstaat, wird hierfür bei Warenströmen der Begriff „Import“ verwendet. Auf betrieblicher Ebene entspricht dies auch dem „Empfang“

Literatur- und Quellverzeichnis

- Arendt M. (2000). Intermodales Modell für den Schweizerischen Binnengüterverkehr. Methodenbericht. GVF-Bericht 2/2000. Bundesamt für Raumentwicklung. Bern.
- Bundesamt für Raumentwicklung (2005). Alpenquerender Güterverkehr auf Schiene und Strasse 2004. Schlussbericht.
- Bundesamt für Statistik (2005). Gütererhebung auf der Strasse, Erhebung 2003, Beschreibung der Datensätze
- Bundesamt für Statistik (2004): Grenzquerender Strassengüterverkehr mit ausländischen Fahrzeugen 2003 (GQGV 03), Technischer Bericht
- Bundesamt für Verkehr BAV (2009): LSVA-Daten 2003/2005
- GS1 Schweiz (2008), Logistikmarkt 2009
- IRE und Rapp Trans AG (2004). Bewertung der Bedeutung von Qualitätsmerkmalen im Güterverkehr. ASTRA. 2004.
- Dieter Lohse, Werner Schnabel (3. Auflage 2010), Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung
- Rapp Trans AG (2010). Dokumentation Erstellung Mengengerüst für den Kombinierten Ladungsverkehr im Binnenverkehr der Schweiz. SBB Cargo AG. März 2010. (unveröffentlicht, vertraulich).
- Rapp Trans AG, LOG HSG, ProgTrans AG (2010). Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten. 1. Zwischenbericht. 2. März 2010. (unveröffentlicht, vertraulich).
- Rapp Trans AG und IVT ETH (2011). SPINALP: Scanning the Potential for Intermodal Transport. Schlussberichtsentswurf. Stand März 2011. (noch unveröffentlicht).
- Rapp Trans AG (2008). Terminallandschaft Schweiz. SBB Infrastruktur. (unveröffentlicht, vertraulich).
- Rapp Trans AG, IVT/ETHZ (2008). Modal Split Funktionen im Güterverkehr. SVI Forschungsauftrag 2004/081. Dezember 2008.
- PTV AG (2008). Handbuch Güterverkehrsmodell Schweiz. Entwurf. Juli 2008.
- Rapp Trans AG (2007). KLV-Mengengerüst Schweiz und Gatewayterminal Zürich. SBB Cargo. Mai 2007. (unveröffentlicht, vertraulich).
- Rapp Trans AG (2006). Marktperspektivemodell für den Schienengüterverkehr. SBB Infrastruktur. (unveröffentlicht, vertraulich).
- Rapp Trans AG (2005). Vorstudie für ein nationales Güterverkehrsmodell. Im Auftrag ARE/BAV/ASTRA. 7. Januar 2005.
- Rapp Trans AG (2004). Vor- und Nachlauf im Kombinierten Ladungsverkehr. SVI Forschungsauftrag 1999/329. 2004.

Rapp Trans AG (2000). Standort- und Transportkonzepte für den Kombinierten Ladungsverkehr. Bericht B2 des NFP41. 2000.

Rhätische Bahn (2009): Zahlen 2003