Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation / Bundesamt für Strassen

Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication / Office fédéral des routes

Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni / Ufficio federale delle strade

Gesetzmässigkeiten im Strassengüterverkehr und seine modellmässige Behandlung

Lois de comportement dans le transport routier de marchandises et leur modélisation

Arbeitsgemeinschaft
Abay & Meier, Zürich und
Ernst Basler + Partner AG, Zürich

Eugen Meier, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH/SVI
Georg Abay, Dr. oec. publ., Verkehrsplaner SVI

Ralf Chaumet, Dr. Ing., Verkehrsplaner SVI
Pascal Kern, dipl. Ing. ETH/SVI
Christoph Lippuner, dipl. Ing. ETH/SVI

Forschungsaufträge 49/96 und 48/98 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI)

Februar 1999

429

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
Bundesamt für Strassen

Gesetzmässigkeiten im Strassengüterverkehr und seine modellmässige Behandlung

Lois de comportement dans le transport routier de marchandises et leur modélisation

Forschungsstelle:

Arbeitsgemeinschaft
Abay & Meier, Zürich
Eugen Meier, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH/SVI
Georg Abay, Dr. oec. publ., Verkehrsplaner SVI

Ernst Basler + Partner AG, Zürich
Ralf Chaumet, Dr. Ing., Verkehrsplaner SVI
Pascal Kern, Dipl. Ing. ETH/SVI
Christoph Lippuner, Dipl. Ing. ETH/SVI

Forschungsaufträge 49/96 und 48/98 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI)

Februar 1999

Begleitgruppe:

Die die Forschungsarbeit begleitende Kommission setzte sich aus folgenden Mitgliedern zusammen:

- Dr. G. Gottardi, Jenni + Gottardi AG, Kilchberg, Präsident
- B. Albrecht, Albrecht & Partner AG, Luzern
- M. Arendt, Dienst für Gesamtverkehrsfragen, Bern
- A. Bützberger, Bützberger Engineering, Brig
- F. Gerber, Service routes et autoroutes, Lausanne
- Dr. St. Rommerskirchen, Prognos AG, Basel
- G. Rutishauser, Rutishauser Ing. Büro, Zürich
- W. Züst, Dienst für Gesamtverkehrsfragen, Bern

Die Forschungsstelle dankt den Mitgliedern für ihre Mitarbeit und ihre wertvollen Anregungen.

Zusammenfassung

Ausgangslage und Zielsetzungen

Im Zusammenhang mit den gegenwärtigen verkehrspolitischen Herausforderungen der Schweiz treten Fragen des Güterverkehrs immer stärker in den Vordergrund. Auch Fragen im Zusammenhang mit Wirkungsanalysen können nur mit einem massnahmensensitiven Güterverkehrsmodell beantwortet werden. Heute sind in der Schweiz keine aktuellen gesamtschweizerischen Güterverkehrsmodelle vorhanden. Zahlreiche den Güterverkehr betreffende Fragen konnten in den letzten Jahren deshalb nur behelfsmässig auf der Ebene von Fahrzeugbewegungen untersucht werden.

Ziel des Forschungsauftrages ist, auf der Grundlage der letzten Güterverkehrserhebung (GTS93) als Baustein zu einem Gesamtmodell Güterverkehr Schweiz ein neues, massnahmensensitives und prognosefähiges Modell für den Strassengüterverkehr in der Schweiz (Binnenverkehr, Import, Export) zu entwickeln. Der Forschungsauftrag verfolgt drei Ziele:

- Die Ableitung von Gesetzmässigkeiten
- Die massnahmensensitive und prognosefähige Modellierung des Strassengüterverkehrs
- Die modellmässige Vervollständigung der (Stichproben-) Erhebung GTS93

Die Ableitung der Gesetzmässigkeiten erfolgt dabei im Hinblick auf die modellmässige Behandlung des Güterverkehrs; d.h. es werden Gesetzmässigkeiten abgeleitet, die für den Aufbau des Modells notwendig sind (spezifische Versand- und Empfangswerte, Distanzverteilungen, durchschnittliche Auslastungen etc.).

Bei der Modellierung des Strassengüterverkehrs steht der Bau des Potential- und Verteilmodells, die zusammen die Wunschlinien des Strassengüterverkehrs liefern, im Vordergrund. Entsprechend dem Forschungsgesuch werden diese beiden Modelle durch ein einfaches Umrechnungs- und Umlegungsmodell zum Gesamtmodell Strassengüterverkehr Schweiz ergänzt.

Daten für die Forschungsarbeit

Die Forschungsarbeit baut auf den Datensätzen Gütertransporterhebung 1993 des Bundesamtes für Statistik (Angaben zum Verkehrsgeschehen), Beschäftigte und Einwohner je Gemeinde (Strukturdaten) und Strassennetz des Dienstes GVF (Netzdaten) auf.

Die wichtigste Datengrundlage bildet die Gütertransportstatistik 1993 (GTS 93). Aus ihr können Gesetzmässigkeiten abgeleitet werden hinsichtlich Versand resp. Empfang und Warenströmen für 24 Eurostat-Warengruppen auf Niveau Gemeinde und den räumlich aggregierten Niveaus GVF-Zone, MS-Region etc. Da es sich bei der GTS93 um eine Stichprobenerhebung handelt, können zuverlässige Informationen nur für höhere Aggregationsniveaus (bei der Zoneneinteilung und bei der Anzahl Warengruppen) abgeleitet werden. Die GTS93 bestimmt deshalb den Aufbau des Modells bezüglich Anzahl Zonen und Anzahl Warengruppen.

In der Forschungsarbeit wurden die Beschäftigten gegliedert nach der NOGA-Systematik (Nomenclature Générale des Activités économique) verwendet. Die Beschäftigten je Gemeinde sind in 17 Abschnitte eingeteilt. Die einzelnen Abschnitte sind hierarchisch in vier weitere Unterabschnitte aufgeteilt. Auf der untersten, d.h. auf der fünften Stufe sind über 700 unterschiedliche Beschäftigtenzahlen vorhanden. Die NO-

GA-Daten erlauben eine differenzierte Warengruppenunterscheidung, sie bestimmen zusammen mit der GTS93 das Aggregationsniveau bei der Warengruppeneinteilung.

Das kodierte Strassennetz wurde vom Dienst GVF zur Verfügung gestellt. Die Berechnung der Widerstandsmatrizen und die Umlegung erfolgten mit der Verkehrsmodellsoftware POLYDROM.

Warengruppen

Eine Zoneneinteilung der Schweiz in 106 MS-Regionen und sieben Gütergruppen (sie können aus den Eurostat-Warengruppen abgeleitet werden) war für das Verteilmodell möglich und sinnvoll. Die NOGA-Daten (Beschäftigtenzahlen) erlaubten für das Potentialmodell eine differenziertere Warengruppenunterscheidung (15 Warengruppen, die aus den Eurostat-Warengruppen abgeleitet werden können).

Zoneneinteilung

Die GTS93 bestimmt den Aufbau des Modells bezüglich Anzahl Zonen. Eine Zoneneinteilung der Schweiz in 106 MS-Regionen und 23 Grenzkorridore ist möglich und sinnvoll. Um die ursprüngliche Zielsetzung (Güterverkehrsmodell auf Basis von 1'113 GVF-Zonen) und die für die Umlegung notwendige räumliche Differenzierung zu erreichen, muss die MS-MS-Matrix in einem speziellen Modell expandiert werden.

Modellaufbau

Für das abzuleitende Strassengüterverkehrsmodell haben wir den in der folgenden Abbildung z-1 dargestellten Modellaufbau gewählt:

- Im Potentialmodell werden zuerst je MS-Region der Versand und der Empfang in Tonnen pro Jahr getrennt für 15 Warengruppen berechnet. Anschliessend werden Export und Import abgespalten.
- Im Verteilmodell werden die 15 Warengruppen zu 7 Gütergruppen zusammengefasst, für die dann die Tonnenströme zwischen den MS-Regionen resp. den Grenzkorridoren bestimmt werden.
- Im Expansionsmodell werden getrennt für die 7 Gütergruppen die 106 MS-Regionen auf 1'113 GVF-Zonen expandiert.
- Im Umrechnungsmodell werden je Gütergruppe die Tonnenströme in Fahrzeugbewegungen (Lastwagen und Lieferwagen) sowie die Jahreswerte auf Werktagswerte umgerechnet.
- Im Umlegungsmodell werden die Fahrzeugbewegungen den möglichen Routen (Bestweg entsprechend dem zeitlich kürzesten Weg) zugeteilt.

Das Potentialmodell

Die Qualität der ausgewählten Erzeugungs- und Anziehungsfunktionen ist unterschiedlich, die R^2-Werte variieren zwischen 0,23 (Versand WG 3) und 0,86 (Empfang WG 10). Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass die tonnagemässig bedeutendsten Warengruppen ein hohes R^2 haben. Für den Versand der Warengruppe 5 (Anteil 4%) konnte keine Funktion gefunden werden. Unbefriedigend ist die Erklärungskraft der Funktion für den Empfang der wichtigen Warengruppe 9 „Steine und Erden" mit einem Empfangsanteil von 38% und einem R^2 von 0,40.

Als erklärende Variablen sind in den ausgewählten Funktionen nur Beschäftigte enthalten. Für alle Warengruppen sind die verwendeten Branchen plausibel. Die zusätzliche

Das Expansionsmodell

Um räumlich verfeinerte Aussagen über die Verflechtungen machen zu können, ist es notwendig, auch die Güterverkehrsströme innerhalb der MS-Regionen zu ermitteln, denn durchschnittlich 60% des gesamten Güterverkehrsaufkommens der Schweiz wickelt sich innerhalb von MS-Regionen ab. Die Aufteilungsfaktoren auf die feineren GVF-Zonen werden, einzeln für jede der sieben Gütergruppen, aus den erklärenden Variablen des Potentialmodells durch gewichtetes Zusammenführen der Variablen des Empfangs und der Anziehung bestimmt.

Das Umrechnungsmodell

Das Modell besteht aus drei Teilen:

- Zuerst wird der Warenstrom (Gütergruppe w) von der Quelle i nach dem Ziel j in zwei Ströme aufgeteilt: in einen Strom, der mit Lastwagen transportiert wird resp. in einen Strom, der mit Lieferwagen befördert wird
- Anschliessend erfolgt für jeden Fahrzeugtyp die Umrechnung von Tonnen in Fahrzeuge (Last- resp. Lieferwagen)
- Zum Schluss werden die beiden Fahrzeugströme auf einen Werktag umgerechnet

Für die ersten beiden Teile werden die Gesetzmässigkeiten aus der GTS93 abgeleitet. Die Auslastung der Fahrzeuge ist u.a. von der Warenart und der Länge des Transportes abhängig. Die mittlere Auslastung der Lastwagen, die im Binnenverkehr eingesetzt werden, liegt bei 4,5 t/Fz., der entsprechende Wert für die Lieferwagen beträgt 0,4 t/Fz.

Bei der Umrechnung der Jahresströme auf Tagesströme werden die Jahresströme durch 250 Werktage dividiert.

Für die Umrechnung des Aussenverkehrs werden vereinfachende Annahmen getroffen: Der Aussenverkehr wird vollständig mit Lastwagen transportiert. Es wird nicht nach Gütergruppen und Distanzklassen unterschieden; die mittlere Auslastung beträgt im Import und Export 5,9 t/Fz.; im Transit 6,1 t/Fz.

Das Umlegungsmodell

Die Last- und Lieferwagenmatrizen (durchschnittlicher Werktagsverkehr) werden auf das Strassennetz umgelegt. Die Routenwahl erfolgt anhand des zeitlich kürzesten Weges. Der Vergleich zwischen den Zählungen (UNO-Zählung 1995) und den modellmässig ermittelten Belastungszahlen zeigt, dass auf den wichtigsten Hauptverkehrsachsen der Schweiz für die Lastwagen eine gute Übereinstimmung erzielt wurde. Die Umlegungsresultate der Lieferwagen stimmen im wesentlichen ebenfalls mit den Zählungen überein, die Abweichungen sind allerdings grösser als bei den Lastwagen.

Schlussfolgerungen

In der Forschungsarbeit ist es gelungen, eine Wunschlinienmatrix für den Strassengüterverkehr (in Tonnen) zu schätzen und ein Modell für den Strassengüterverkehr zu etablieren. Dieses ist eingeschränkt massnahmensensitiv (Beschränkung auf grossräumige Strasseninvestitionen). Mit der Forschungsarbeit ist einerseits die Grundlage für die Ableitung eines gesamtmodalen Modells gegeben resp. liegt anderseits ein Modell für den Strassengüterverkehr vor, das als Hilfsmittel für die Beantwortung von übergeordneten Fragestellungen des Güterverkehrs verwendet werden kann.

Verwendung der Einwohner brachte entweder keine Verbesserung der R^2-Werte, oder die gefundenen Koeffizienten waren nicht signifikant.

Abbildung z-1:
Ausprägungen des Strassengüterverkehrsmodells

Potentialmodell:

Zonen	*Warengruppen*	*Einheit*	*Methode*
Binnenverkehr: 106 MS, Import/Export (I/E): 23 Grenzkorridore	15	t/Jahr	Regressionsanalyse: V_{str} resp. E_{Str} = f (E, B je Branche etc.)

Verteilmodell:

Zonen	*Gütergruppen*	*Einheit*	*Methode*
Binnenverkehr: 106 x 106 MS, I/E: 106 MS x 23 Grenzkorridore	7	t/Jahr	Gravitationsansatz: Fij = f (Vi, Ej, tij)

Expansionsmodell (je Gütergruppe Expansion von 106 MS auf 1'113 GVF-Zonen):

Zonen	*Gütergruppen*	*Einheit*	*Methode*
Binnenverkehr: 1'113 x 1'113 GVF-Zonen, I/E: 1'113 GVF-Zonen x 23 Grenzkorridore	7	t/Jahr	prop. B je GVF-Zone

Umrechnungsmodell (t → Fz; Jahr → Werktag):

Zonen	*Gütergruppen*	*Einheit*	*Methode*
Binnenverkehr: 1'113 x 1'113 GVF-Zonen, I/E: 1'113 GVF-Zonen x 23 Grenzkorridore	7	Lw und Li/Tag	Kategorienanalyse: Auslastung für versch. Distanzklassen

Umlegungsmodell:

Zonen	*Gütergruppen*	*Einheit*	*Methode*
Binnenverkehr: 1'113 x 1'113 GVF-Zonen, I/E: 1'113 GVF-Zonen x 23 Grenzkorridore	1	Fz/Tag	Bestweg

Das Verteilmodell

Mittels eines Gravitationsansatzes wird aus den Quell- und Zielverkehrsaufkommen je MS-Region eine vollständige Verflechtungsmatrix in der Dimension Tonnen pro Jahr bestimmt. Der Exponent des Widerstandes (Gamma) im Gravitationsansatz wird für jede der sieben Gütergruppen separat für Binnen-, Import- und Exportverkehr ermittelt. Dies geschieht durch ein iteratives Vorgehen, indem der Gamma-Wert solange verändert wird, bis die Distanzweitenverteilung und die mittlere Transportweite aus der GTS93 mit derjenigen des Modells übereinstimmt. Die kalibrierten Gamma-Werte schwanken zwischen 1,7 und 2,2; einzig die Gütergruppe V „Steine, Erden und Baustoffe" mit einem hohen Anteil an kurzen Transportdistanzen weist mit 3,7 einen wesentlich höheren Exponenten auf, was plausibel ist. Die Gamma-Werte des Imports und Exports sind erwartungsgemäss wesentlich kleiner.

1 Umfeld des Forschungsauftrages

1.1 Ausgangslage

Ein Verkehrsmodell ist eine idealisierte Nachbildung des tatsächlichen Verkehrsgeschehens aufgrund bekannter resp. abgeleiteter Gesetzmässigkeiten. Mit Hilfe von Verkehrsmodellen werden die Auswirkungen von Massnahmen auf den Verkehrsumfang (Verkehrsaufkommen, -leistung) abgeschätzt. Verkehrsmodelle werden somit angewendet, um das Verkehrsgeschehen modellmässig vorauszusagen. Beispiele sind:

- Bei baulichen, betrieblichen, verkehrspolitischen etc. Massnahmen für den „heutigen" Zustand.
- Für zukünftige Zustände meist im Zusammenhang mit Änderungen im Verkehrssystem (Prognose).

In der Verkehrsplanung wurde bisher bedeutend weniger Forschungsaufwand in die Entwicklung von Güterverkehrsmodellen investiert als in die Entwicklung von Personenverkehrsmodellen. Die wichtigsten Gründe dafür sind:

- Volumenmässig spielt der Personenverkehr, vor allem auf der Strasse, eine wichtigere Rolle als der Güterverkehr.
- Die meisten Probleme, die der Strassenverkehr in der Vergangenheit verursacht hat, stammen vom Personenverkehr.
- Die Modellierung des Güterverkehrs ist wegen der beschränkten Datengrundlage schwieriger als die des Personenverkehrs.

Im Zusammenhang mit den gegenwärtigen verkehrspolitischen Herausforderungen der Schweiz treten Fragen des Güterverkehrs immer stärker in den Vordergrund. Auch Fragen im Zusammenhang mit Wirkungsanalysen können nur mit einem massnahmensensitiven Güterverkehrsmodell beantwortet werden.

Der Grossteil der bisher entwickelten Güterverkehrsnachfragemodelle sind klassische, aggregierte Fünf-Schritt-Modelle. Diese bestehen aus den folgenden Teilmodellen:

- Versand- und Empfangsmodell (Potentialmodell)
  Das Potentialmodell stellt den Zusammenhang her zwischen den Daten und Charakteristika eines Gebietes und dem in diesem Gebiet entstehenden bzw. dem von diesem Gebiet angezogenen Güterverkehr.
- Zielwahlmodell (Verteilmodell)
  Das Verteilmodell verteilt das Güterverkehrsaufkommen einer Zone auf die möglichen Transportziele.
- Verkehrsträgerwahlmodell (Modal Split-Modell)
  Im Verkehrsträgerwahlmodell werden die Verkehrsbeziehungen zwischen den Zonen auf die Verkehrsträger aufgeteilt.
- Umrechnungsmodell (Fahrzeugmodell)
  Das Umrechnungsmodell rechnet die Güterströme von Tonnen in beladene Verkehrsmittelfahrten um und bestimmt die Anzahl der Leerfahrten.
- Routenwahlmodell (Umlegungsmodell)
  Im Umlegungsmodell schliesslich werden die Fahrzeugfahrten auf die Verkehrsnetze umgelegt, d.h. die Transportrouten werden bestimmt.

Ein gesamtschweizerisches Güterverkehrsmodell wurde das letzte Mal in den späten 70er Jahren im Rahmen der Gesamtverkehrskonzeption Schweiz erarbeitet[1]. Dieses Modell wurde u.a. auch im Rahmen der Nationalstrassenüberprüfung anfangs der 80er Jahre eingesetzt. Es ist heute aus verschiedenen Gründen (Veränderungen in der Waren- und Wirtschaftsstruktur, bei den Transportpreisen etc.) nicht mehr anwendbar.

Heute sind in der Schweiz keine aktuelleren gesamtschweizerischen Güterverkehrsmodelle vorhanden. Zahlreiche den Güterverkehr betreffende Fragen konnten in den letzten Jahren deshalb nur behelfsmässig auf der Ebene von Fahrzeugbewegungen untersucht werden.

1.2 Auftrag gemäss Bestätigungsschreiben des ASB vom 11. November 1996

Die Arbeitsgemeinschaft Abay & Meier, Ceresstrasse 10, 8008 Zürich und E. Basler & Partner AG, Zollikerstrasse 65, 8702 Zollikon (Projektleiter: Dr. E. Meier) beabsichtigt, für den schweizerischen Strassengüterverkehr (Binnenverkehr, Import/Export, Transit) ein Modell als Grundlage für massnahmensensitive Güterverkehrsmodelle zu entwikkeln. Die Arbeiten basieren insbesondere auf der Gütertransportstatistik 1993 des Bundesamtes für Statistik. Folgende Resultate werden erwartet:

- Regional differenzierte Gesetzmässigkeiten für die ganze Schweiz
- Erzeugungsmatrizen des Gütertransports zwischen GVF-Zonen (1'113 Zonen) auf der Basis Tonnen, differenziert für 10 Warengruppen (NST/R-Kapitel) und auf der Basis Fahrzeuge
- Strassennetzbelastungen in Fahrzeugen auf dem übergeordneten Netz

1.3 Zielsetzungen

Ziel des Forschungsauftrages ist, auf der Grundlage der letzten Güterverkehrserhebungen (GTS93) als Baustein zu einem Gesamtmodell Güterverkehr Schweiz ein neues, massnahmensensitives und prognosefähiges Modell für den Strassengüterverkehr in der Schweiz (Binnenverkehr, Import, Export) zu entwickeln. Für den Transitverkehr soll eine Grenztor - Grenztor - Matrix für den heutigen Zustand aufgebaut werden.

Der Forschungsauftrag setzt sich aus den Teilen

- **Gesetzmässigkeiten** im Strassengüterverkehr und
- der **modellmässigen Behandlung des Strassengüterverkehrs**

zusammen. Die Ableitung der Gesetzmässigkeiten erfolgt dabei im Hinblick auf die modellmässige Behandlung des Güterverkehrs; d.h. es werden Gesetzmässigkeiten abgeleitet, die für den Aufbau des Strassengüterverkehrsmodells Schweiz notwendig sind (spezifische Versand- und Empfangswerte, Distanzverteilungen, durchschnittliche Auslastungen etc.).

Der Forschungsauftrag verfolgt drei Ziele:

- Die Ableitung von Gesetzmässigkeiten
- Die massnahmensensitive und prognosefähige Modellierung des Strassengüterverkehrs

---

[1] Gesamtverkehrskonzeption Schweiz. Schlussbericht. Bern, Dezember 1977 sowie die Schlussberichte der entsprechenden drei Aufträge.

- Die modellmässige Vervollständigung der (Stichproben-) Erhebung GTS93[2]

Bei der Modellierung des Strassengüterverkehrs steht der Bau des Potential- und Verteilmodells, die zusammen eine Nachfragematrix (Wunschlinien des Strassengüterverkehrs) liefern, im Vordergrund. Entsprechend dem Forschungsgesuch werden diese beiden Modelle durch ein einfaches Umrechnungs- und Umlegungsmodell Strasse zum Gesamtmodell Strassengüterverkehr Schweiz ergänzt.

1.4 Der Güterverkehr in der Schweiz

Das schweizerische Gütertransportaufkommen (inkl. Transitverkehr) verteilte sich 1995 wie in der folgenden Tabelle angegeben auf die einzelnen Verkehrsträger[3]. Der schweizerische Güterverkehrsmarkt zeichnet sich demnach durch folgende Eigenheiten aus:

- Auf Schiene und Strasse werden zusammen über 90% des Verkehrsaufkommens transportiert und beinahe 90% der Verkehrsleistungen erbracht.
- Ueber 80% aller Güter werden auf der Strasse befördert.
- Auch bei der Verkehrsleistung ist heute die Strasse der wichtigste Verkehrsträger.
- Der Güterverkehr mit Ölleitungen, auf dem Wasser und in der Luft ist vergleichsweise untergeordnet.

Tabelle 1-1:
Schweizerischer Güterverkehr 1995 (Aufkommen und Leistung) nach Verkehrsträgern (inkl. Transit)

	Verkehrsaufkommen	*Verkehrsleistung*
Strasse	82,0%	55,9%
Schiene	11,5%	37,7%
Ölleitungen	3,3%	5,4%
Wasser und Luft	3,2%	0,9%
Total pro Jahr (= 100%)	*413 Mio t*	*23'002 Mio tkm*

(Rundungsdifferenzen nicht ausgeglichen)

Quelle: Bundesamt für Statistik. Schweizerische Verkehrsstatistik 1995. Bern, 1998.

Die Gliederung des Verkehrsaufkommens auf der Strasse nach Verkehrsarten ergibt das in Tabelle 1-2 dargestellte Bild[4]. Der schweizerische Strassengüterverkehr ist vorwiegend auf den Binnenmarkt (Lokal- und Ueberlandverkehr) ausgerichtet. Die Anteile des Transit- sowie des Ein- und Ausfuhrverkehrs machen zusammen knapp 10% des gesamten Strassengüterverkehrsaufkommen aus. Der Strassengüterverkehr wickelt sich somit vor allem auf kurzen Distanzen ab.

---

2 Die Vervollständigung ist notwendig, um die in der GTS93 zwangsläufig nicht enthaltenen Beziehungen (unechte Nullwerte) einzufüllen, um so die Grundlage für die Ableitung eines gesamtmodalen (Strasse und Schiene) Güterverkehrsmodells (Potential- und Verteilmodell) zu ermöglichen.

3 Bundesamt für Statistik. Schweizerische Verkehrsstatistik 1995. Bern, 1998.

4 Bundesamt für Statistik. Gütertransporte auf der Strasse Erhebung 1993. Bern, 1996.

Tabelle 1-2:
Im Strassengüterverkehr der Schweiz transportierte Güter nach Verkehrsarten im Jahre 1993

Verkehrsart	*in Mio t*	*Anteil in %*
Verkehr mit schweren Nutzfahrzeugen (Gesamtgewicht >3,5t)		
Lokalverkehr innerhalb geschlossener Siedlungsgebiete	27,9	8,7
Ueberlandverkehr bis 25 km	172,4	53,8
Ueberlandverkehr ≥25 km	68,0	21,2
Internationaler Verkehr mit CH-Fahrzeugen	10,9	3,4
Internationaler Verkehr mit ausländischen Fahrzeugen	15,3	4,8
Verkehr mit leichten Nutzfahrzeugen (Gesamtgewicht <3,5t)	25,8	8,1
Total	*320,3*	*100,0*

(Rundungsdifferenzen nicht ausgeglichen)

Quelle: Bundesamt für Statistik. Gütertransporte auf der Strasse Erhebung 1993. Bern, 1996.

Wie Tabelle 1-3 zeigt, ergibt die entsprechende Aufteilung des Schienengüterverkehrs ein völlig anderes Bild[5]: Der Schienengüterverkehr ist stark durch die Auslandverflechtung der Schweiz geprägt. Der Anteil des Binnenverkehrs beträgt nur knapp 40%. Im Schienengüterverkehr werden die Güter über längere Distanzen transportiert.

Tabelle 1-3:
Schienengüterverkehrsaufkommen der Schweiz nach Verkehrsarten 1993

Verkehrsart	*in Mio t*	*Anteil in %*
Binnenverkehr, Wagenladungen (Cargo Rail)	15,4	34,8
Import/Export, Wagenladungen (Cargo Rail)	10,8	24,4
Transit, Wagenladungen (Cargo Rail)	7,4	16,7
Kombinierter Verkehr (Cargo Combi)	9,5	21,5
Stückgutverkehr (Cargo Domizil)	0,6	1,4
Postverkehr	0,5	1,1
Total	*44,2*	*100,0*

(Rundungsdifferenzen nicht ausgeglichen)

Quelle: Generalsekretariat SBB. Zahlen 1993.

Die Rolle von Strasse und Schiene in der Güterversorgung der Schweiz (d.h. ohne den Transitverkehr) kann anhand der VIS/VTS-Warengruppen gezeigt werden. Die Aufgliederung des Transportaufkommens im Überlandverkehr auf die beiden Verkehrsträger ist in Tabelle 1-4 dargestellt[6]. Die Tabelle zeigt deutlich die Bedeutung der Strasse im schweizerischen Binnenverkehr mit einem Anteil von 94% beim Aufkommen resp. 81% bei der Leistung.

---

5 Generalsekretariat SBB. Zahlen 1993.

6 Jäger, Florin. Der Modal-Split im Binnengüterverkehr der Schweiz. Diplomarbeit der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern. 1996.
Die Zahlen basieren auf einer Auswertung der GTS93 (Strasse) und des Verkaufsinformationssystems VIS 1993 der SBB.

Tabelle 1-4:
Marktanteile von Strasse und Schiene im schweizerischen Binnengüterverkehr nach Warengruppen (Überlandverkehr) nach Jäger, Der Modal-Split im Binnengüterverkehr der Schweiz

	Aufkommen in 1'000 t		*Leistung in 1'000 tkm*		*Transportweite in km*		*Anteil Schiene*	
Warengruppe (VIS/VTS)	*STR*	*SCH*	*STR*	*SCH*	*STR*	*SCH*	*Aufk.*	*Leistung*
Getreide	758	715	42'919	75'897	57	106	49%	64%
Früchte, Gemüse	3'350	165	250'351	14'281	75	87	5%	5%
Lebensmittel, Getränke	21'774	1'549	1'546'334	209'197	71	135	7%	12%
Öle, Fette, Ölsaat	210	92	27'828	12'972	133	141	30%	32%
Holz, Kork, roh	5'111	275	275'256	33'368	54	121	5%	11%
Düngemittel	722	273	46'986	24'051	65	88	27%	34%
Mineralien, roh (ohne Erze)	106'176	2'993	1'157'319	196'304	11	66	3%	15%
Eisenerze, Eisenschrott	1'035	849	34'396	129'380	33	152	45%	79%
Erze und Schrott von NE-Metalle	2'308	45	48'069	3'070	21	68	2%	6%
Andere Rohstoffe	4'286	1'128	161'209	74'774	38	66	21%	32%
Feste mineralische Brennstoffe	79	105	6'739	7'787	85	74	57%	54%
Erdöl, Erdölprodukte, Gas	10'736	2'540	605'294	327'415	56	129	19%	35%
Teere, Kohle- und Gaserzeugnis	1'201	19	33'137	1'218	28	64	2%	4%
Chemische Produkte	2'986	470	252'151	62'099	84	132	14%	20%
Kalk, Zement, Erzeugn. min. Sto	43'535	2'999	911'830	265'663	21	89	6%	23%
Metalle, roh, Halbfabrikate	4'235	709	320'351	98'370	76	139	14%	23%
Metallwaren	1'071	43	92'878	6'286	87	146	4%	6%
Maschinen, Transportmittel	4'143	151	319'303	17'610	77	117	4%	5%
Andere Fertigwaren	8'532	323	658'365	35'646	77	110	4%	5%
Verschiedene Waren	18'274	1'019	653'022	143'502	36	141	5%	18%
Total	*240'522*	*16'462*	*7'443'737*	*1'738'890*	*31*	*106*	*6%*	*19%*

(Rundungsdifferenzen nicht ausgeglichen)

Anmerkungen: STR Strasse
SCH Schiene

1.5 Transportketten

Bei der Entwicklung eines Güterverkehrsmodells sind verschiedene Eigenheiten des Güterverkehrs speziell zu berücksichtigen. Insbesondere die vorhandenen Transportketten wirken sich auf das Verteil-, das Modal Split- und das Umrechnungsmodell aus. Es ist deshalb wichtig, genau festzulegen, in welchem Teilmodell die einzelnen „Teile dieser Transportketten" nachgebildet werden sollen.

Die wichtigsten Bestandteile eines Gütertransportsystems sind: Das Transportgut, die Transportmittel und der Transportprozess. Die Lösung einer Transportaufgabe besteht im Aufbau einer Transportkette. Beim Güterverkehr versteht man unter der Transportkette die Folge von technisch und organisatorisch miteinander verknüpften Vorgängen, bei denen Güter von einer Quelle (Versender) zu einem Ziel (Empfänger) bewegt werden.

Der Gütertransport kennt folgende 3 Grundabläufe:

- Den "Haus-zu-Haus-Verkehr"
- Den "Knotenpunktverkehr" von Güterströmen vom Grossverlader oder Terminal zum Grossempfänger bzw. Terminal
- Den "Sammel- und Verteilverkehr" als Sammeln und Verteilen vieler kleiner Ladungseinheiten über alle Entfernungsbereiche

Transportketten können definiert werden durch die Ein-, Um- und Ausladestellen (logistische Knoten etc.) sowie die verwendeten Verkehrsmittel. Die GTS93 bildet die Basis für die Ableitung der Gesetzmässigkeiten. In ihr wurden die Frachtführer befragt. Ein Gütertransport, der sich aus mehreren Grundabläufen zusammensetzt (Sammeln, Knotenpunktverkehr, Verteilen) ist in der GTS93 nicht mehr als solcher identifizierbar,

da der Frachtführer keine Angaben über den Vor- resp. Nach-Grundablauf machen kann. Bei der Modellbildung können deshalb die Transportketten nur indirekt (durch den Einbezug der Terminals als Erzeuger) nachgebildet werden.

Bei jedem Gütertransport gibt es drei Funktionen (Nachfrage nach Transportleistung, anordnende Transportaufgabe und Durchführung des Transports). Die Rollenteilung, d.h. die Uebernahme dieser Funktionen, ist komplex und befindet sich in einem ständigen Wandel. Vereinfachend können vier Modelle der Rollenteilung unterschieden werden:

- Der Verlader (Absender oder Empfänger) besorgt den Transport selbst (Werkverkehr); er übernimmt alle drei Funktionen selber.
- Der Verlader betraut einen Spediteur mit der Organisation des Transports; letzterer führt die Sammel- und Verteiltätigkeit selber aus und übergibt den eigentlichen Transport einem Frachtführer. Die drei Funktionen sind voll getrennt.
- Der Verlader nimmt direkt mit dem Frachtführer Kontakt auf und verzichtet auf die Vermittlung des Transports durch den Spediteur; der Spediteur als "Architekt" des Transports wird ausgeschaltet.
- Spediteure treten selber als Frachtführer auf, um ihre Fahrzeuge, die sie für den Abhol- und Verteildienst benötigen, besser auszulasten; Spediteure übernehmen Anordnung und Durchführung des Transports.

Der Verlader (Versender oder Empfänger) ist der Nachfrager nach Transportleistungen. Er tritt auf dem Markt als Nachfrager nach Laderaum auf und entscheidet als Frachtzahler über das in Anspruch zu nehmende Leistungsangebot, d.h. über den Transportweg, das Transportmittel und das Behältnis. Er hat meistens mehrere Möglichkeiten:

- Mehrere Transportvorschläge, die ihm ein oder mehrere Spediteure unterbreiten
- Einsatz eigener Fahrzeuge (Werkverkehr)
- Direkter Einsatz eines Frachtführers

Spediteure sind spezialisierte Dienstleistungsfirmen, die im Auftrage von Verladern Warentransporte organisieren. Man kann vier haupsächliche Spediteur-Aufgaben unterscheiden:

- Planung des Transports zusammen mit dem Verlader (Frachtzahler)
- Einkauf von Transportvolumen zur Durchführung des Transports von Haus zu Haus
- Organisation und Durchführung des Transports (inkl. Zollformalitäten)
- Lagerung und Umschlag

Der Frachtführer übernimmt die operative Tätigkeit, er führt den Transport durch. Als Frachtführer treten die Bahnen, aber auch Strassentransporteure auf. Die Bahn übernimmt dabei meistens auch Spediteurfunktionen. Der Strassen-Frachtführer akquiriert Aufträge, verteilt diese auf seine Fahrzeuge (Disposition) und erteilt seinen Chauffeuren die Fahrbefehle.

2 Modellaufbau

2.1 Idee des Modellaufbaus

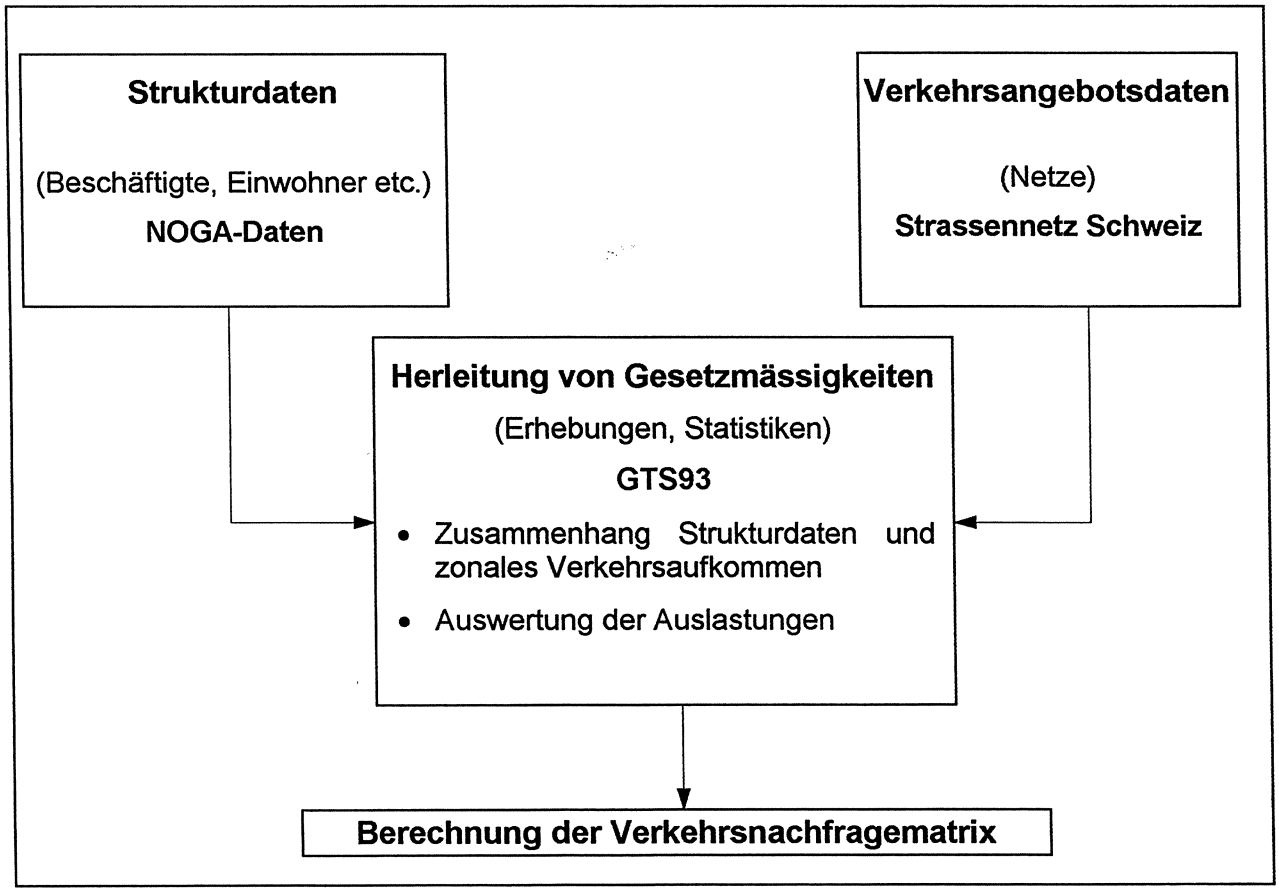
Güterverkehrsmodelle bestehen im allgemeinen aus vier unterschiedlichen Komponenten:

- Strukturdaten
- Verkehrsangebotsdaten
- Herleitung von Gesetzmässigkeiten aus Erhebungen/Statistiken
- Verkehrsnachfragedaten

Die Herleitung der Gesetzmässigkeiten muss jeweils für die betrachtete Aufgabenstellung - hier für den Strassengüterverkehr - abgeleitet werden. Unter Gesetzmässigkeiten wird der funktionale Zusammenhang zwischen einer erklärenden Variablen, z.B. Arbeitsplätze, und einer abhängigen Variablen, z.B. zonales Güterverkehraufkommen, verstanden. Aus den hergeleiteten Gesetzmässigkeiten kann mit Verkehrsangebots- und Strukturdaten die Verkehrsnachfrage, also hier die Strassengüterverkehrsnachfragematrix, ermittelt werden.

In der nachfolgenden Abbildung 2-1 sind diese Modellbausteine für die hier vorliegende Aufgabenstellung dargestellt.

Abbildung 2-1:
Bausteine für ein Güterverkehrsmodell



Unabhängig davon, ob ein monomodales (entweder Schiene **oder** Strasse) oder ein bimodales Güterverkehrsmodell (Schiene **und** Strasse) entwickelt werden soll, müssen alle Modellbausteine für den jeweils untersuchten Verkehrsträger erarbeitet werden. Werden bei modalen Fragestellungen zusätzliche Erklärungsinhalte des jeweils anderen Verkehrsträgers gewünscht, muss auch dieser entsprechend analysiert werden. Für das Stassengüterverkehrsmodell war dies aber nicht möglich, da die Daten des Schienengüterverkehrs in der dafür notwendigen Detaillierung nicht verfügbar waren.

Für eine spätere, hier nicht beauftragte Etablierung eines modalsplitsensitiven Gesamtverkehrsmodells müssen zur Ermittlung der Nachfragematrizen Gesetzmässigkeiten nicht nur im jeweiligen betrachteten Verkehrsträger (z.B. dem Strassenverkehr), sondern auch in **Relation der Verkehrsträger untereinander** (Kreuzelastizitäten) hergeleitet werden. Hierfür müssen Verkehrsangebots- und Nachfragedaten auf Schiene **und** Strasse bereits bekannt sein, damit aus den Matrizen und den routenspezifischen Widerständen der Modal Split modellmässig ermittelt werden kann. Für ein solches Modal-Split-Modell sind die hier zu erarbeitenden Verkehrsnachfragematrizen des Strassengüterverkehrs auch bestimmt.

Mit der Etablierung eines Modells für den Strassengüterverkehr sind folgende Ergebnisse erzielbar:

- Erarbeitung von Verkehrsnachfragematrizen nach Warengruppen
- Gütergruppenspezifische, kalibrierte Widerstandsfunktionen für die Güterverkehrsverteilung
- Distanz- und gütergruppenspezifische Auslastungsgrade

Die Datengrundlagen hierfür sind die GTS93 (erhobene Verkehrsnachfragedaten zur Ermittlung von Gesetzmässigkeiten) und das Strassennetz des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen (Verkehrsangebotsdaten).

Im Hinblick auf ein gesamtschweizerisches Güterverkehrsmodell stellt die Entwicklung des Strassengüterverkehrsmodells einen wesentlichen Input dar, denn erst mit Hilfe dieses Modells wird eine Widerstands- und Nachfragematrix so erarbeitet, dass diese anschliessend in ein gesamtmodales Modell eingespeist werden kann.

Der Bau des Potential- und Verteilmodells, die zusammen diese Nachfragematrix liefern, steht deshalb im Vordergrund. Entsprechend dem Forschungsgesuch werden diese beiden Modelle durch ein einfaches Umrechnungs- und Umlegungsmodell zum Gesamtmodell Strassengüterverkehr Schweiz ergänzt.

2.2 Darstellung des gewählten Modellaufbaus (Übersicht)

Für das abzuleitende Strassengüterverkehrsmodell haben wir die in Abbildung 2-2 dargestellten Teilmodelle gewählt[7]:

- Im Potentialmodell werden zuerst je MS-Region der Versand und der Empfang in Tonnen pro Jahr getrennt für 15 Warengruppen berechnet. Anschliessend werden der Export und der Import abgespalten.
- Im Verteilmodell werden die 15 Warengruppen zu 7 Gütergruppen zusammengefasst, für die dann die Tonnenströme zwischen den MS-Regionen resp. den Grenzkorridoren bestimmt werden.

---

7 Detailliertere Angaben zur Anzahl Zonen und zur Anzahl Waren- resp. Gütergruppen sind in den folgenden Kapiteln enthalten.

- Im Expansionsmodell werden getrennt für die 7 Gütergruppen die 106 MS-Regionen auf 1'113 GVF-Zonen expandiert.
- Im Umrechnungsmodell werden wiederum getrennt für 7 Gütergruppen die Tonnenströme in Fahrzeugbewegungen (Lastwagen und Lieferwagen) sowie die Jahreswerte auf Werktagswerte umgerechnet.
- Im Umlegungsmodell werden die Fahrzeugbewegungen den möglichen Routen zugeteilt.

Abbildung 2-2:
Ausprägungen des Strassengüterverkehrsmodells

Potentialmodell:

Zonen	*Warengruppen*	*Einheit*	*Methode*
Binnenverkehr: 106 MS, Import/Export (I/E): 23 Grenzkorridore	15	t/Jahr	Regressionsanalyse: V_{str} resp. E_{Str} = f (E, B je Branche etc.)

Verteilmodell:

Zonen	*Gütergruppen*	*Einheit*	*Methode*
Binnenverkehr: 106 x 106 MS, I/E: 106 MS x 23 Grenzkorridore	7	t/Jahr	Gravitationsansatz: Fij = f (Vi, Ej, tij)

Expansionsmodell (je Gütergruppe Expansion von 106 MS auf 1'113 GVF-Zonen):

Zonen	*Gütergruppen*	*Einheit*	*Methode*
Binnenverkehr: 1'113 x 1'113 GVF-Zonen, I/E: 1'113 GVF-Zonen x 23 Grenzkorridore	7	t/Jahr	prop. B je GVF-Zone

Umrechnungsmodell (t → Fz; Jahr → Werktag):

Zonen	*Gütergruppen*	*Einheit*	*Methode*
Binnenverkehr: 1'113 x 1'113 GVF-Zonen, I/E: 1'113 GVF-Zonen x 23 Grenzkorridore	7	LW und Li/Tag	Kategorienanalyse: Auslastung für versch. Distanzklassen

Umlegungsmodell:

Zonen	*Gütergruppen*	*Einheit*	*Methode*
Binnenverkehr: 1'113 x 1'113 GVF-Zonen, I/E: 1'113 GVF-Zonen x 23 Grenzkorridore	1	Fz/Tag	Bestweg

2.3 Modellanwendung - realisierbare Einsatzbereiche

„Verkehrsmodelle" sind das, was der Verkehrsplaner für seine Arbeit typischerweise benötigt. Die darin enthaltenen Daten zum Verkehrsangebot und zur Verkehrsnachfrage erlauben eine Beurteilung der Auswirkungen von Stassenbauinfrastrukturmassnahmen mit überschaubarem Zeit- und Finanzaufwand im Sinne der genannten Zielsetzungen. Fragen der Umwelt, der Verkehrspolitik oder der Raumplanung sind mit Ver-

kehrsmodellen dagegen schwieriger zu untersuchen. Häufig sind sich Anwender oder auch Auftraggeber der spezifischen Eigenschaften einer Modellabbildung nicht bewusst oder wollen deren - auf die jeweilige Fragestellung begrenzte - beschränkte Aussagekraft nicht akzeptieren. Es ist deshalb von zentraler Bedeutung, dass vor einer Anwendung des Modells geprüft wird, ob es sich für die zu beantwortenden Fragestellungen sinnvoll einsetzen lässt. Eine sorgfältige Plausibilisierung der Resultate unter Berücksichtigung der im Modell implementierten Inputdaten und Variablen ist von unabdingbarer Notwendigkeit.

Aufgrund statistischer Gesetzmässigkeiten nimmt die Wahrscheinlichkeit, bei gegebener Stichprobengrösse einen wahren Wert zu ermitteln, mit der Anzahl der Disaggregationen ab (räumliche Verfeinerung, verfeinerte Aufteilung nach Warengruppen, Aufteilen nach Fahrzeugklassen usw.). Eine Interpretation der hier für Umlegungszwecke erarbeiteten Matrix von 1'113 x 1'113 Verflechtungen im Güterverkehr ist daher aus Gründen des Umfangs und der Validität der Einzelergebnisse nicht zulässig. Diese hoch disaggregierte Matrix wird nur deshalb ermittelt, um bei der Umlegung die sonst vernachlässigten Zonenbinnenverkehrsanteile tief zu halten. Für räumliche und warenspezifische Interpretationen sind Aussagen auf aggregierter Basis (z.B. der 106 MS-Zonen) hingegen durchaus sinnvoll.

Wir möchten daher auf mögliche, sinnvolle Einsatzbereiche des Modells eingehen und diejenigen Überlegungen herausheben, die für eine spätere Anwendung zu Prognose- oder Massnahmensimulationen notwendig sind. Sollen verkehrspolitische Szenarien betrachtet werden, müssen diese so formuliert werden, dass sie ausschliesslich den Strassenverkehr betreffen. Modal-Split-Fragen müssen vorgängig behandelt werden.

Es wurde versucht, die vorliegende Forschungsarbeit - „Gesetzmässigkeiten im Strassengüterverkehr und seine modellmässige Behandlung" - so transparent wie möglich aufzubauen und darzustellen. Im folgenden wird aufgezeigt, welche Parameter für die einzelnen Modellschritte verwendet wurden und in welchen Einsatzbereichen die einzelnen Modellteile eingesetzt werden können (Tabelle 2-1).

Die Tabelle soll einen Eindruck der möglichen Einsatzbereiche vermitteln, ohne diese abschliessend aufzuzählen. Weitere Anwendungen können ohne weiteres möglich sein und sind im Einzelfall zu prüfen. Die Dokumentation des Modells in den folgenden Kapiteln soll Grundlage für die Beurteilung weiterer Anwendungen sein.

Tabelle 2-1:
Einsatzbereiche des Strassengüterverkehrsmodells

Modellschritte	*was tun damit?*	*notwendige Vorarbeiten/Prognosen*
Potentialmodell	regionale Veränderung in der Arbeitsplatzstruktur abbilden für einen befristeten Zeitraum Anhaltswerte für das Güterverkehrsaufkommen errechnen	Produktivitätsprognosen Arbeitsplatzprognosen nach Branchen und Regionen
Verteilmodell	warengruppenspezifische Generierung einer Güterverkehrsnachfragematrix aus zuvor ermittelter zonaler Güterverkehrserzeugung und -anziehung Beurteilung der Auswirkungen von Angebotsveränderungen im Strassengüterverkehr auf die Quell-Ziel-Verteilung	Zustand Strassennetz für Prognose (Verkehrsangebot: Geschwindigkeitsfunktionen für LW- und Lieferwagenverkehr sowie Kostenfunktionen für das Strassennetz)
Umrechnungsmodell	Auswirkung von Änderungen in der Güterverkehrsnachfrage auf Fahrzeugebene abbilden	Definition verkehrspolitischer Massnahmen zur Auslastung Vorgaben zu Elastizitäten zwischen Tonnagen und Fahrtenzahlen (Transportketten) im Strassengüterverkehr erarbeiten
Umlegungsmodell	Darstellung sämtlicher Streckenbelastungen im Strassennetz Auswirkungen von nachfrageabhängigen Angebotsveränderungen darstellen	

Vor dem Umrechnungsmodell wird ein mit dem Verteilmodell verknüpftes Expansionsmodell eingeschaltet.
Das Umlegungsmodell dient zur groben Überprüfung der aus den vorigen Modellschritten ermittelbaren Fahrzeugbewegungen.

3 Güterverkehrsmodelle: Vorhandene Modellansätze

In verschiedenen europäischen Ländern wurden bereits Güterverkehrsmodelle mit unterschiedlichen Ansätzen etabliert und angewendet. Als Überblick und als Vergleich werden nationale und städtische Modelle kurz erläutert.

3.1 Nationale Güterverkehrsmodelle

Im Rahmen des Bundesverkehrswegeplanes wurden in Deutschland[8] und Österreich[9] nationale Verkehrsmodelle etabliert. Diese umfassen neben dem Personenverkehr auch den Güterverkehr. Es wurden in beiden Fällen sowohl der Strassen- als auch der Schienenverkehr modelliert.

Diese Verkehrsmodelle wurden erstellt, um die verkehrlichen Auswirkungen (Verkehrsbelastungszunahmen und Verkehrsentlastungen) von Infrastrukturmassnahmen für einen Prognosezustand zu ermitteln. Diese Modelle sind von der räumlichen (Anzahl Zonen) und sachlichen (Anzahl Gütergruppen) Disaggregation am ehesten vergleichbar mit dem hier vorliegenden Strassengüterverkehrsmodell. Die Modelle der Bundesverkehrswegepläne sind in Deutschland und in Österreich multimodale Modelle.

3.2 Wirtschaftsverkehrsmodell WIVER (Deutschland)[10]

Anwendungsstädte

Berlin, Hamburg, München

Systemabgrenzung

Die Betrachtung erfolgt zonenweise. Berücksichtigt werden alle Fahrten in Ausübung des Berufs mit Kraftfahrzeugen innerhalb von Städten, welche nicht der Ortsveränderung vom Wohnort zur Arbeitsstelle und zurück dienen. Der Verkehr wird aufgeteilt in Güterverkehr, Gewerbeverkehr und Restverkehr (Polizei, Stadtreinigung, Post).

Logistik

Die Transportorganisation wird nicht berücksichtigt, es wird nicht nach Werkverkehr und gewerblichem Verkehr unterschieden. Die Warenströme entstehen in 10 Quellbranchen und führen zu 7 Zielbranchen. Es werden 4 Fahrzeugtypen unterschieden.

Modellansatz

Das Modell WIVER ist als Verhaltensmodell mit der Berücksichtigung von Fahrtketten konzipiert. Anhand von Struktur- und Verhaltensdaten einer Stadt und ihres Umlandes werden die Fahrten nach Branchen und Fahrzeugarten pro Verkehrszelle berechnet und in einer Matrix dargestellt.

Der Ablauf des Modells erfolgt in 4 Stufen:

---

8 PLANCO Consulting GmbH. Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen, Bewertungsverfahren für den Bundesverkehrswegeplan 1992. Bundesminister für Verkehr, Schriftenreihe Heft 72, 1993.

9 Herry/IPE/Kessel & Partner. Österreichischer Bundesverkehrswegeplan, R2-Güterverkehr in Österreich im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr.

10 Bertram Meimbresse; Thomas Haupt; Norbert Bieling. WIVER - Ein Berechnungsmodell für den städtischen und regionalen Wirtschaftsverkehr. Strassenverkehrstechnik 11/96.

1 Ermittlung der Tourenzahl, Zielpunktzahl und der Fahrtzwecke für jede Branche, jeden Fahrzeugtyp und jede Verkehrszelle (Gesamtverkehrsaufkommen).
2 Zuordnung der Zielpunkte zu den Verkehrszellen
3 Berechnung der Fahrtketten durch die Verknüpfung der Zielpunkte zu Touren (Verkehrsverteilung)
4 Anpassung des berechneten Verkehrsaufkommens und der Verkehrsverteilung an die erhobenen Tagesganglinien

Die Tourenverknüpfung erfolgt anhand einer sogenannten Savingsfunktion, welche den Einsparungseffekt durch die Verknüpfung zweier Ziele verrechnet. Je grösser der Einsparungseffekt, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Ziele miteinander verknüpft werden. Die Savingsfunktionen und Realisierungswahrscheinlichkeiten werden differenziert nach Fahrzeugtyp und Branche ermittelt.

Erhebungen, Inputdaten

Für die Simulation werden Verhaltensdaten und Strukturdaten (anhand amtlicher Statistik) benötigt. Diese Daten werden u.a. durch Betriebsbefragungen und die Erhebung von singulären Verkehrserzeugern gewonnen. Die wichtigste Grösse ist der Anteil der fahrtaktiven Beschäftigten (dienstliche Fahrten) pro Verkehrszelle. Als wichtigste Strukturdaten dienen eine Entfernungsmatrix im Untersuchungsraum und die Einwohner nach Verkehrszellen. Die Betriebsbefragung umfasste z.B. in München ca. 3000 Firmen, wobei ca. 2000 antworteten.

Outputdaten

Berechnet werden Fahrten nach Fahrzeugarten, Branchen und Verkehrszellen (Ziel-/Quellmatrix) und deren Verflechtung (Wunschlinienmatrix). Dadurch können die Fahrleistungen nach Fahrzeugarten und Branchen ermittelt werden. Eine Umlegung der Wunschlinien ist im WIVER nicht vorgesehen.

Modellierte Massnahmen

Über veränderte Eingabedaten können quantitative Aussagen über Wirkungen ausgewählter Planungsmassnahmen und Szenarien bzw. über Verkehrsentwicklungen für die Region gemacht werden. Beispiele hierfür sind:

- Potentiale des Personenwirtschaftsverkehrs
- Auswirkungen eines GVZ
- Theoretische Bündelungspotentiale des Warenverkehrs im erweiterten Citybereich durch Kooperation
- Lieferzeitbeschränkung im Citybereich

Das Modell wurde in drei grossen deutschen Städten angewendet. Mit diesem Modell kann eine effiziente Bearbeitung von Szenarien, Untersuchungen und Ermittlung deren Massnahmenwirkungen durchgeführt werden. Ein breites Massnahmenspektrum lässt sich bearbeiten, weil die Inputdaten sehr stark nach Fahrzeugtypen und Branchen differenziert sind.

Die Ergebnisse sind stark abhängig von Veränderungen der Inputdaten. Wirkungen auf Inputdaten werden allein aufgrund von Erfahrungswerten und Expertenschätzungen ausserhalb des Modells festgelegt.

Das Modell lässt keine Aussagen zu Sekundärwirkungen zu. Z.B. bei einer Veränderung der Erreichbarkeiten können mit dem Modell keine Strukturänderungen abgeschätzt werden.

3.3 Verkehrsnachfrage- und Umlegungssystem VENUS (Deutschland)[11]

Anwendungsstädte

Düsseldorf, Hannover, Cottbus, München, Nürnberg, Augsburg, Dortmund, Trier, Bremen, Bielefeld

Systemabgrenzung

Die zu untersuchende Stadt wird in Zonen eingeteilt (z.B. Postzustellbezirke). Singuläre Verkehrserzeuger wie Flughäfen oder Güterverteilzentren, werden als eigene Zonen berücksichtigt. Der Fernverkehr wird durch Überlagerung mit der Nahverkehrsmatrix berücksichtigt.

Logistik

Lieferketten werden berücksichtigt. Die branchenspezifischen Logistikstrukturen werden mittels fünf verschieden definierten Transportzwecken berücksichtigt.

Die Transportfahrzeuge werden nach 12 Typen unterschieden (4 Gewichtsklassen und 3 Emissionsklassen).

Modellansatz

Vierstufiger Ablauf mit Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Erstellung umlegungsrelevanter LW-Matrix und Verkehrsumlegung. Die Tourengenerierung erfolgt in der Verkehrsverteilung. Für jedes Feld in der Quell-Ziel-Matrix sind die Anzahl Direkt- und Lieferkettenfahrten bekannt. Die Verknüpfung der Lieferkettenfahrten zu Touren erfolgt in Abhängigkeit der effektiven Tourenparameter (Anzahl Stopps pro Tour, Fahrdistanz pro Tour, Reisezeit pro Tour).

Erhebungen, Inputdaten

Das Modell verlangt eine Reihe von Strukturdaten pro Verkehrszelle (Einwohner, Beschäftigte nach Branche etc.). Zudem sind detaillierte Betriebs- und Fahrerbefragungen notwendig, damit Verhaltensdaten aus dem Transportgewerbe erkannt (Anzahl Stopps pro Tour, Fahrtdauer pro Tour usw.) und für die Simulation berücksichtigt werden können.

Für die Kalibration des Modells sind Verkehrszählungen notwendig.

Outputdaten

Das Modell liefert Nachfragematrizen und Netzbelastungen. Daraus können Fahrleistungen, Emissionen und Belästigungspotentiale berechnet werden.

Modellierte Massnahmen

Eine grosse Anzahl von Massnahmen aus den folgenden Teilgebieten werden als simulationsfähig betrachtet:

---

[11] Ingenieurgruppe IVV-Aachen. COST 321, Urban goods transport. Meeting of Working Group B on 14. June 1996 in Cologne.

- Logistische Massnahmen (Transportkoordination, GVZ, Ersatz grosser LW durch Lieferwagen etc.)
- Modale Veränderungen (Koordination verkehrsmittelübergreifender Transportvorgänge)
- Transportkosten (Road pricing)
- Infrastrukturplanung (Optimierung von Verteilsystemen, intensive Erweiterung des Schienennetzes)
- Verkehrsmanagement (Beeinflussungsmassnahmen im Güterverkehr, LW-Routen etc.)
- Technische Massnahmen am Fahrzeug (alternative Kraftstoffe, leise Fahrzeuge)

Ein breites Spektrum von Massnahmen ist aufgrund der starken Differenzierung der Inputdaten nach Fahrzeugtyp und Warengruppe theoretisch abbildbar. Der Personenverkehr ist im Modell berücksichtigt.

3.4 FRETURB Modell (Frankreich)[12]

Anwendungsstädte

Bordeaux, Marseille (geplant), Dijon (geplant)

Systemabgrenzung

Die Stadt Bordeaux wurde in 45 Zonen eingeteilt. Abgebildet wird der städtische Güterverkehr ohne öffentliche Dienststellen wie Post, Spitäler, öffentliche Baustellen, Entsorgung.

Logistik

In der Transportorganisation wird unterschieden nach Selbsttransport Versender, Selbsttransport Empfänger und Transport durch Dritte (grosse Unterschiede je Klasse bezüglich Anzahl Stopps pro Tag und Sendungsgewicht). Es werden Punkt-Punkt-Transporte und Lieferketten berücksichtigt.

Zur Berücksichtigung von branchenspezifischen Eigenheiten werden die Aktivitäten in 28 Branchen mit total 66 Schichten eingeteilt.

Die Transportfahrzeuge werden in 4 Klassen unterteilt.

Modellansatz

Das Modell bildet den Zusammenhang zwischen Erzeugeraktivitäten und den Verkehrsflüssen sowie Transportketten ab. Anders als bei den deutschen Modellen werden keine Matrizen erstellt, sondern Bewegungen beschrieben, die an Be- und Entladepunkten erzeugt werden. Dabei wird ein Zusammenhang zwischen der Anzahl Betriebe und Beschäftigte pro Zone mit der Anzahl Be- und Entladungen pro Zone beschrieben.

Es wird ein Potentialmodell angewendet, das die Anzahl der Be- und Entladungen pro Beschäftigten und Schicht berücksichtigt.

---

[12] Laboratoire d'Economie des Transports, Lyon. An attempt at modelisation of goods transport in urban area. Unterlage zum COST-321-Meeting der Gruppe B in Brüssel am 31.10.1996.

Erhebungen, Inputdaten

Drei Erhebungen wurden durchgeführt, um den Ist-Zustand zu beschreiben und die Modellinputdaten zu ermitteln.

- Untersuchung der Be-/und Entladepunkte (Betriebe), welche Güter versenden oder erhalten (Versand und Empfang, Aktivitäten und Anzahl Beschäftigte der Firmen, Stichprobe bei 4% der Firmen in Bordeaux)
- Befragung der Chauffeure, welche bei den Betrieben beladen und Entladen (Lieferketten, Belade-/Entladezeiten)
- Untersuchung der Transportfirmen (Transportorganisation)

Zudem wurden periodische Luftbilder ausgewertet, die alle drei Sekunden aufgenommen wurden.

Für die Simulation werden verschiedene Strukturdaten und Verkehrsdaten benötigt: Anzahl Betriebe und Beschäftigte nach Branche und Betriebsgrösse, Parkierungsstatistiken, Jahres- und Wochenganglinien.

Outputdaten

Die Ergebnisse fallen in Form von Potentialen (Bewegungen), Belegungsdauern und Fahrleistungen pro Zone an (Dichtewerte). Damit wird die Belegung der Strassen durch Lieferfahrzeuge und der ruhende Verkehr abgebildet.

Modellierte Massnahmen

Verschiedene Massnahmen aus den folgenden 4 Bereichen sind zur Simulation vorgesehen:

- Transportlogistik (z.B. Bildung von städtischen Plattformen, Tourenoptimierung, Veränderung des Fahrzeugparks)
- Rechtsgrundlagen (z.B. Zugangsbeschränkungen, zeitliche Regelungen)
- Planungs- und Infrastrukturmassnahmen (z.B. neue Infrastruktur)
- Standorte der Aktivitäten (z.B. Standortstrategie, Ausbreitung der Stadt)

Der französische Modellansatz weist einen starken Raumbezug auf, indem die Belegung des Strassenraumes (Fläche, Zeit) eine zentrale Rolle spielt. Der Ansatz erscheint insbesondere für die wirklichkeitsgetreue Abbildung des Ist-Zustands und für pauschale Aussagen von Massnahmenwirkungen geeignet. Der Aufwand für Erhebungen und Modellaufbau ist ziemlich hoch.

Weil keine Matrizen erstellt und keine Netzbelastungen berechnet werden, ist es nicht möglich, Fragen bezüglich Kapazität, Modal-Split und Routen zu beantworten.Der Personenverkehr wird in der Simulation nicht berücksichtigt, das heisst Auswirkungen auf das Verkehrssystem bei Veränderungen im Güterverkehr können nicht abgebildet werden.

Das Modell wurde erst in Bordeaux angewendet, wobei Massnahmenwirkungen noch nicht modelliert wurden. Aussagen zur Übertragbarkeit auf andere Städte fehlen.

3.5 Weitere Modelle

In den Niederlanden[13] und in Dänemark[14] wurden zwei weitere Modelle entwickelt, die aber Massnahmen nur mit sehr starken Vereinfachungen abbilden lassen.

In der Schweiz wurde für den Kanton Zürich ein massnahmensensitives und prognosefähiges Güterverkehrsmodell[15] entwickelt. In diesem Modell wird der Strassen- wie auch der Schienengüterverkehr des Kantons Zürich simuliert.

3.6 Anwendbarkeit für das Strassengüterverkehrsmodell Schweiz

Die in den Kapiteln 3.2 bis 3.4 erwähnten Modelle sind für kleinräumige Fragestellungen (Städte und Agglomerationen) etabliert. Die darin angewendeten Modellansätze basieren einerseits auf einer umfangreichen und detaillierten Erhebung und andererseits auf einer räumlich wesentlich feineren Zonierung. Da dies für das Strassengüterverkehrsmodell in dieser Form nicht machbar ist, können die darin verwendeten Modellansätze nicht übernommen werden.

Die Modelle der Bundesverkehrswegepläne in Deutschland und Österreich hingegen sind vom Modellansatz sehr ähnlich. Sie unterscheiden sich hauptsächlich dadurch, dass sie zusätzlich ein Teilmodell für den Modal Split beinhalten.

---

13 Visser, J.G.S.N., und A.J. van Binsbergen. Modelling freight transport in cities. TRAIL Research School Delft. Delft, May 1996.

14 COWIconsult. Goods Transport in Danish towns,. Potentials for Rationalisation of Transports and Reduction of Environmental Impact, Energy Consumption and Traffic Accidents. January 1994

15 Jenni + Gottardi AG. Güterverkehrsmodell Kanton Zürich GüV-ZH. Juli 1998.

4 Daten für die Forschungsarbeit

Bei der Entwicklung eines Güterverkehrsmodells können drei Typen von Daten unterschieden werden:

- Angaben über das Verkehrsgeschehen
- Angaben über die Flächennutzung und die Siedlungs-, Gesellschafts- sowie Wirtschaftsstruktur (Strukturdaten)
- Daten über die Verkehrsnetze

Die Forschungsarbeit baut auf den Datensätzen Gütertransporterhebung 1993 (Angaben zum Verkehrsgeschehen), Beschäftigtenzahlen nach der NOGA-Systematik und Einwohner je Gemeinde (Strukturdaten) und dem Strassennetz des Dienstes GVF (Netzdaten) auf.

4.1 Gütertransporterhebung 1993 (GTS93)

Die wichtigste Datengrundlage bildet die Gütertransportstatistik 1993 des Bundesamtes für Statistik (GTS93)[16]. Bei der GTS93 handelt es sich um eine Stichprobenerhebung, die ca. 1% des gesamten Strassen-Binnen-Güterverkehrs umfasst. Sie enthält die auf das Jahr hochgerechneten Fahrten der schweizerischen und ausländischen Fahrzeuge.

Aus der GTS93 können folgende Gesetzmässigkeiten abgeleitet werden:

- Versand und Empfang nach 24 Warengruppen auf Niveau Gemeinde und den räumlich aggregierten Niveaus GVF-Zone, MS-Region resp. Grossregion
- Warenströme nach 24 Warengruppen auf Niveau Gemeinde und räumlich aggregiert
- Import-, Export- und Transitströme nach 24 Warengruppen auf Niveau Gemeinden (CH) bzw. 23 Grenzkorridore Alpentransit
- Fahrleistungen nach 24 Warengruppen, Nutzfahrzeugkategorie (Lieferwagen, Lastwagen) und Region
- Fahrzeugauslastung nach 24 Warengruppen, Nutzfahrzeugkategorie und Region

Die GTS93 besteht aus einem Datensatz mit den schweizerischen und einem solchen mit den ausländischen Fahrzeugen.

Schweizerische Fahrzeuge

Die Fragebogen der GTS93 enthielten aus befragungstechnischen Gründen 42 Warenarten. Diese lassen sich zu den 24 Eurostat-Warengruppen und zu den 10 NST/R-Kapiteln zusammenfassen. Die Ortsangaben liegen in der GTS93 als Postleitzahlen vor. Aus diesen können die entsprechenden Gemeinden ermittelt werden.

Aus diesen Informationen kann eine Wunschlinienmatrix auf Gemeindebasis abgeleitet werden. Diese Matrix enthält die aus der Stichprobe auf das Jahr 1993 je Warengruppe hochgerechneten transportierten Tonnen zwischen den Gemeinden bzw. zwischen Gemeinden und dem Ausland, falls es sich um Import oder Export handelt. Da es sich bei der GTS93 um eine relativ kleine Stichprobe handelt (sie enthält ca. 60'000 Daten-

[16] Bundesamt für Statistik. Gütertransporte auf der Strasse. Erhebung 1993. Bern, 1996.

sätze), kann diese abgeleitete Wunschlinienmatrix nicht als Näherung für die wirklichen Wunschlinien zwischen den einzelnen Gemeinden betrachtet werden.

In Tabelle 4-1 sind zur Illustration der Zusammenhänge die Anzahl Werte (theoretisch mögliche Anzahl Warenströme von i nach j bei w Warengruppen) bei verschiedenen Zonen-Aggregationsniveaus und Warengruppeneinteilungen dargestellt.

Tabelle 4-1:
Anzahl theoretisch möglicher Warenströme bei i Zonen und w Warengruppen

Zoneneinteilung (Anzahl Zonen i =)	*mit 24 Warengruppen nach EUROSTAT*	*mit 10 Warengruppen nach NST/R*	*ohne Unterscheidung von Warengruppen*
16 Grossregionen	6'144 Werte	2'560 Werte	256 Werte
106 MS Regionen	269'664 Werte	112'360 Werte	11'236 Werte
ca. 1'100 GVF-Zonen	ca. 29 Mio. Werte	ca. 12 Mio. Werte	ca. 1,2 Mio Werte
ca. 3'000 Gemeinden	ca. 216 Mio. Werte	ca. 90 Mio. Werte	ca. 9 Mio. Werte

Diese Darstellung zeigt deutlich, wie die Anzahl Werte vom gewählten Aggregationsniveau und von der Warengruppeneinteilung abhängig ist. Zuverlässige Informationen können nur für höhere Aggregationsniveaus (bei der Zoneneinteilung und bei der Anzahl Warengruppen) abgeleitet werden. **Die GTS93 bestimmt deshalb den Aufbau des Modells bezüglich Anzahl Zonen und Anzahl Warengruppen**.

In der folgenden Tabelle ist ein solches Aggregationsniveau dargestellt. Die Wunschlinienmatrix ist hier auf 10 Grossregionen aggregiert und über alle Warengruppen aufsummiert. Die Matrix enthält den Warenfluss (Tonnen) innerhalb und zwischen den Grossregionen im Jahr 1993. Die Tabelle zeigt erstens, dass die leichten Nutzfahrzeuge nur 8,4% der Gesamttonnage transportieren und zweitens, dass die leichten Nutzfahrzeuge im Fernverkehr weniger eingesetzt werden als die schweren Fahrzeuge.

Aus der Wunschlinienmatrix lassen sich jedoch auch andere statistisch relevante Informationen ableiten. So können etwa die Gesamtmengen, die eine Region verlassen (Erzeugung) und die, welche eine Region empfängt (Anziehung), berechnet werden. Wird diese Berechnung auf Gemeindebasis durchgeführt, so sind die Resultate statistisch kaum signifikant[17]. Wird die Berechnung aber z.B. auf Basis der 106 MS-Regionen und der 10 NST/R-Kapitel durchgeführt, dann erhält man eine statistisch solide Datengrundlage für die Potentialanalyse.

[17] So haben z.B. bei der Eurostat-Warengruppe „Steine und Erden" in der GTS93 von den über 3'000 Gemeinden der Schweiz nur rund 900 einen Versand und nur rund 1'000 einen Empfang.

Tabelle 4-2:
Warenfluss innerhalb und zwischen zehn Grossregionen 1993 (in 1'000 t pro Jahr)

Schwere inländische Nutzfahrzeuge

	ZentralCH	WestCH	Zürich	OstCH	Bern	NWestCH	Graubünden	Tessin	Wallis	Ausland	Total
ZentralCH	24'244	295	1'270	977	640	1'625	139	224	37	279	29'730
WestCH	347	36'764	321	212	2'189	879	32	68	1'154	459	42'425
Zürich	1'110	394	32'061	2'507	511	1'784	192	129	92	359	39'139
OstCH	878	326	2'992	32'945	401	1'036	572	152	23	730	40'055
Bern	626	2'230	525	455	27'501	2'769	75	124	138	405	34'848
NWestCH	2'637	1'411	3'251	1'364	3'597	37'691	174	289	243	1'677	52'334
Graubünden	121	22	307	409	67	141	10'482	137	4	201	11'891
Tessin	161	75	114	125	69	196	83	9'702	8	118	10'651
Wallis	31	865	89	17	194	131	3	4	9'642	109	11'085
Ausland	486	1'165	498	1'574	367	2'054	136	314	84	362	7'040
Total	30'641	43'547	41'428	40'585	35'536	48'306	11'888	11'143	11'425	4'699	279'198

(Rundungsdifferenzen nicht ausgeglichen)

leichte inländische Nutzfahrzeuge

	ZentralCH	WestCH	Zürich	OstCH	Bern	NWestCH	Graubünden	Tessin	Wallis	Ausland	Total
ZentralCH	1'645	21	112	29	39	81	5	7	9	1	1'949
WestCH	3	4'977	24	0	79	16	0	1	66	6	5'172
Zürich	95	39	3'439	142	25	191	29	4	10	12	3'986
OstCH	64	2	205	2'972	10	39	41	7	0	17	3'357
Bern	26	138	48	27	3'335	212	5	2	8	2	3'803
NWestCH	95	38	196	50	155	3'766	10	5	6	23	4'344
Graubünden	1	0	5	51	2	3	599	3	0	6	670
Tessin	3	0	0	9	6	0	6	1'361	0	22	1'407
Wallis	3	77	6	0	20	3	1	6	866	0	982
Ausland	1	3	2	9	0	15	0	6	4	5	45
Total	1'936	5'295	4'037	3'289	3'671	4'326	696	1'402	969	94	25'715

(Rundungsdifferenzen nicht ausgeglichen)

Ausländische Fahrzeuge

Die Datenstruktur der ausländischen Fahrzeuge in der GTS93 ist mit derjenigen der inländischen Fahrzeuge nicht identisch. Als Ortsangaben in der Schweiz liegen die sogenannten Raumplanungsregionen (RPR) vor. Zudem gibt es hier die Einteilung der Warenarten in die 24 Eurostat - Warengruppen.

In einer Potentialanalyse müssen auch die ausländischen Fahrzeuge berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wurden die 100 RPR in die 106 MS übergeführt. Dies konnte über den Umweg RPR - Gemeinde - MS-Region erfolgen. Die Expansion erfolgte aufgrund der 24 Warengruppen und aufgrund der je Gemeinde bekannten Strukturdaten (Einwohner und Beschäftigte in den verschiedenen Branchen). Die auf Gemeindebasis expandierten Daten (Import/Export aus einer Gemeinde mit ausländischen Fahrzeugen) wurden dann in einem zweiten Schritt auf MS-Zonen aggregiert.

4.2 Beschäftigtenzahlen nach der NOGA-Systematik

Die NOGA[18] ist eine aus fünf Stufen, mit einer Zwischenstufe zwischen der ersten und der zweiten Position, bestehende, hierarchisch gegliederte Systematik. Die ersten vier Stufen und die Zwischenstufe sind mit der Systematik der Wirtschaftszweige in den Europäischen Gemeinschaften (NACE Rev. 1) identisch[19], die fünfte ist eine zusätzliche, rein schweizerische Position, die den schweizerischen Gegebenheiten Rechnung trägt.

Die NOGA-Daten[20] liegen je Gemeinde vor. Sie sind in 17 Abschnitte (A - Q) eingeteilt, wobei der Sektor I von den Abschnitten A und B, der Sektor II von den Abschnitten C bis F und der Sektor III von den Abschnitten G bis Q abgedeckt werden. Die einzelnen Abschnitte sind hierarchisch in vier weitere Unterabschnitte aufgeteilt.

> Beispiel:
> Abschnitt D gibt die Anzahl Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe an, er wird unterteilt in 14 Unterabschnitte (DA bis DN). DD z.B. gibt die Anzahl der Beschäftigten in der Be- und Verarbeitung von Holz an. DD wird in 5 weitere Untergruppen unterteilt (20.1 bis 20.5). Die Untergruppe 20.1 z.B. gibt die Anzahl Beschäftigte in Säge-, Hobel- und Holzimprägnierwerken an. Eine nochmalige Unterteilung differenziert endlich zwischen Beschäftigten in Sägewerken und Beschäftigten in Hobel- und Holzimprägnierwerken.

Auf der untersten, d.h. auf der fünften Stufe sind je Zelle über 700 unterschiedliche Beschäftigtenzahlen vorhanden.

Für die Erklärung der Güterpotentiale werden nicht alle Beschäftigtenzahlen benötigt. Es gibt Branchen, die für den Güterverkehr nicht oder nur in sehr geringem Ausmass relevant sind. Zudem werden für die Erklärung der Gütertransportpotentiale je Warengruppe die Beschäftigtenzahlen auf unterschiedlichen Detaillierungsniveaus benötigt. Das richtige Detaillierungsniveau hängt dabei erstens von der Wichtigkeit der Warengruppe, zweitens von der Zusammensetzung der einzelnen Warengruppen und drittens vom Grad der Entsprechung zwischen Warengruppe und vorhandenen Beschäftigtenzahlen ab.

---

[18] Bundesamt für Statistik. NOGA Allgemeine Systematik der Wirtschaftszweige. Teil 1: Detaillierte Gliederung. Bern, 1995.

[19] Dies ermöglicht den Vergleich von Wirtschaftsdaten auf internationaler Ebene.

[20] NOGA = NOmenclature Générale des Activités économiques.

Beispielsweise ist die Bedeutung der Eurostat-Warengruppen 1, 2 und 3 „Getreide, Kartoffeln, Früchte, Tiere, Zuckerrüben" mit ca. 2,2% Versandanteil relativ bescheiden. Da sie zudem recht heterogen zusammengesetzt ist, genügt es, wenn für ihre Erklärung die total Beschäftigten in der Landwirtschaft herangezogen werden. Dies entspricht der zweiten NOGA-Stufe oder dem „zweitgröbsten" Detallierungsgrad.

Anders ist es jedoch bei der Eurostat-Warengruppe 15 „Steine und Erden", die mit 38,2% Versandanteil die wichtigste Warengruppe überhaupt ist. Für ihre Erklärung müssen u.a. die Beschäftigtenzahlen für die Gewinnung von Natursteinen und die Beschäftigtenzahlen für die Gewinnung von Kies und Sand herangezogen werden. Diese Beschäftigtenzahlen finden sich in der NOGA-Systematik auf der niedrigsten Ebene (Stufe 5).

Aufgrund dieser Überlegungen wurden für die Analysen aus den NOGA-Daten 50 verschiedene, für die vorliegende Untersuchung relevante Beschäftigtengruppen abgeleitet; d.h. für jede Gemeinde resp. jede MS-Region wurde ein Datensatz mit 50 Variablen (Beschäftigen je NOGA-Abschnitt etc.) erstellt. In den ausgewählten Versand- und Empfangsfunktionen kommen nicht alle Variablen vor; die in den ausgewählten Funktionen verwendeten Variablen sind in Tabelle 4-3 zusammengestellt, die nicht vorkommenden in Tabelle 4-4.

Die NOGA-Daten erlauben auch eine differenzierte Warengruppenunterscheidung, die **NOGA-Daten bestimmen zusammen mit der GTS93 das Aggregationsniveau bei der Warengruppeneinteilung**.

4.3 Strassennetz des Dienstes GVF

Für die Ermittlung der Widerstandmatrizen zwischen den Zonen (als Input für das Verteilmodell) und für das Umlegungsmodell werden die folgenden Unterlagen und Arbeitsinstrumente benötigt:

- Das für den Güterverkehr relevante, aufbereitete Strassennetz
- Ein Verkehrsmodell für die Berechnung der kürzesten Wege

Das kodierte Strassennetz wurde vom Dienst GVF zur Verfügung gestellt. Die Berechnung der Widerstandsmatrizen und die Umlegung erfolgten mit der Verkehrsmodellsoftware POLYDROM.

Tabelle 4-3:
In den ausgewählten Erzeugungs- und Anziehungsfunktionen verwendete Branchen

Nr.	NOGA-Nummer	Beschäftigte im NOGA-Titel (Branche)
1	A01	Landwirtschaft, Jagd und damit verbundene Dienstleistungen
2	A02	Forstwirtschaft
5	A14.12	Gewinnung von Kalkstein, Gips und Kreide
6	A14.21	Gewinnung von Kies und Sand
7	A15 + A16	Herstellung von Nahrungsmitteln und Getränken; Tabakverarbeitung
9	Summe (A17.3 - A17.7) + A18	Textilveredelung; Herstellung von Textilwaren; Herstellung von Bekleidung und Pelzwaren
10	A19	Herstellung von Lederwaren und Schuhen
11	A20	Be- und Verarbeitung von Holz
12	A21	Papier- und Kartongewerbe
13	A24	Chemische Industrie
14	A25	Herstellung von Gummi und Kunststoffwaren
15	Summe (A26.1 - A26.3)	Herstellung von Glas und Glaswaren; Keramikwaren
17	A26.51	Herstellung von Zement
18	A26.6	Herstellung von Erzeugnissen aus Beton, Gips und Zement
19	A26.7 + A26.8	Be- und Verarbeitung von Natursteinen; Herstellung von sonstigen Produkten aus nichtmetallischen Mineralien
20	A27	Erzeugung und Bearbeitung von Metall
21	A28	Herstellung von Metallerzeugnissen
22	A29	Maschinenbau
28	A37	Rückgewinnung und Vorbereitung für die Rückgewinnung
29	A45.1	Vorbereitende Baustellenarbeiten
30	A45.2	Hoch- und Tiefbau
31	A45.3	Bauinstallation
32	A45.4	Ausbaugewerbe
33	A50.1	Handel mit Automobilen
34	A50.5	Tankstellen
35	A51.2 + A51.3	Grosshandel mit landwirtschaftlichen Grundstoffen und lebenden Tieren; Nahrungsmitteln, Getränken und Tabakwaren
36	A51.41	Grosshandel mit Textilien
37	A51.42	Grosshandel mit Bekleidung und Schuhen
38	Summe (A51.43 - A51.47) + A51.7	Grosshandel mit sonstigen Verbrauchsgütern
39	A51.51	Grosshandel mit festen Brennstoffen und Mineralölerzeugnissen
40	A51.52	Grosshandel mit Erzen und Metallen
41	A51.53	Grosshandel mit Holz und Baustoff
42	A51.54	Grosshandel mit Eisenwaren
43	A51.55	Grosshandel mit chemischen Erzeugnissen
44	A51.56	Grosshandel mit sonstigen Halbwaren
45	A51.57	Grosshandel mit Altmaterial und Reststoffen
46	A51.6	Grosshandel mit Maschinen und Ausrüstungen
47	A52.11 + A52.2	Detailhandel mit Nahrungsmitteln
48	A52.12 + A52.3 + Summe (A52.41 - A52.43) + A52.45 + A52.47 + A52.48	Detailhandel mit Non-food-Produkten

Tabelle 4-4:
In den Analysen getestete Branchen, die in den ausgewählten Funktionen nicht vorkommen

Nr.	*NOGA-Nummer*	*Beschäftigte im NOGA-Titel (Branche)*
3	A05	Fischerei und Fischzucht
4	A14.11	Gewinnung von Natursteinen für den Bau
8	A17.1 + A17.2	Spinnstoffaufbereitung und Spinnerei; Weberei
16	A26.4	Herstellung von Ziegeln und sonstiger Baukeramik
23	Summe (A30 - A32)	Herstellung von elektrischen Geräten, Ausrüstungen
24	A33	Herstellung von Präzisionsinstrumenten
25	A34 + A35	Herstellung von Automobilen; sonstigen Fahrzeugen
26	A36.1	Herstellung von Möbeln
27	Summe (A36.2 - A36.6)	Herstellung von Schmuck; Musikinstrumenten; Sportgeräten; sonstigen Erzeugnissen
49	A52.44	Detailhandel mit Möbeln und Haushaltgegenständen
50	A52.46	Detailhandel mit Metallwaren

5 Abgrenzungen für die Forschungsarbeit

5.1 Betrachtete Transporte

Beim Güterverkehr kann zwischen inner- und ausserbetrieblichen Transporten unterschieden werden. Unter innerbetrieblichen Transporten versteht man sowohl den werksinternen Transport zwischen verschiedenen Produktionsorten ohne Benutzung von öffentlichen Verkehrsflächen wie den Transport innerhalb eines Lagerhauses.

Die ausserbetrieblichen Transporte benützen öffentliche Verkehrsflächen und umfassen Transporte vom Lieferanten zum Kunden und Transporte zwischen verschiedenen Werken bzw. Lagerhäusern eines Unternehmens.

Mit dem Güterverkehrsmodell werden die ausserbetrieblichen Transporte nachgebildet. Das Modell umfasst somit folgende Transporte:

- Warentransporte mit Fahrzeugen zwischen verschiedenen Betrieben, wobei das Werksareal verlassen wird (= ausserbetriebliche Transporte)
- Warentransporte mit Fahrzeugen zum Endverbraucher, jedoch ohne den Einkaufsverkehr

5.2 Räumliche Gliederung der Verkehrsnachfrage

Das Güterverkehrsmodell Schweiz umfasst den Binnenverkehr, den Import und den Export. Für den Transit wird eine Grenztor-Grenztor-Matrix für den heutigen Zustand ermittelt.

5.3 Warengruppen

Die Einteilung der Warenarten in die 24 Eurostat - Warengruppen entspricht zollrelevanten Kriterien. Sie sind in Tabelle 5-1 aufgeführt.

In dieser Systematik gibt es einige Gütergruppen, die im schweizerischen Güterverkehr praktisch keine Rolle spielen (der jährliche Versand an Rohöl beträgt bloss ca. 68'000 Tonnen, der Versand von festen Brennstoffen 85'800 Tonnen). Zudem gibt es Gütergruppen, für die es keine geeigneten erklärenden Variablen gibt (es gibt keine Angaben darüber, wieviele Personen sich etwa mit der Produktion von Kartoffeln abgeben).

Für die Modellierung des schweizerischen Strassengüterverkehrs ist diese Einteilung also ungeeignet. Sie kann jedoch zu den 10 NST/R Kapiteln aggregiert werden (Tabelle 5-2). Diese Einteilung ist gröber, für die Modellierung aber besser geeignet. Die Auswertung der GTS93-Daten auf dieser Basis ergibt gesamtschweizerisch die in der Tabelle zusammengestellten Potentiale (Versand resp. Empfang).

Wie die Zahlen zeigen, gibt es auch in dieser Systematik Warengruppen, die für die Modellierung kaum von Relevanz sind. Es sind dies die NST/R-Kapitel 2 „Feste Brennstoffe", 4 „Erze und Metallabfälle" und 7 „Düngemittel".

Die Differenz zwischen Versand und Empfang ist auf den Unterschied zwischen Export (rund 7 Mio Tonnen) und Import (rund 17 Mio Tonnen) zurückzuführen. Eine analoge Auswertung der inländischen leichten Nutzfahrzeuge zeigt das gleiche Bild: Die Warengruppen 2, 4 und 7 sind kaum relevant.

Tabelle 5-1: Waren- und Gütergruppen für das Strassengüterverkehrsmodell Schweiz

Nr. gemäss EUROSTAT	Bezeichnung gemäss EUROSTAT	EUROSTAT Anteil am Gesamtaufkommen [%]	NST/R-Kapitel Nr.	NST/R-Kapitel Anteil am Gesamtaufkommen [%]	CH-Güterverkehrsmodell Strasse Warengruppen Potentialmodell Nr.	Warengruppen Potentialmodell Anteil am Gesamtaufkommen [%]	Gütergruppen Nr.	Gütergruppen Anteil am Gesamtaufkommen [%]
1	Getreide	0.3%						
2	Kartoffeln, frische Früchte, sonstiges frisches und gefrorenes Gemüse	1.5%			1	2.1%		
3	Lebende Tiere, Zuckerrüben	0.3%	0	5.8%			I	5.8%
4	Holz und Kork	2.3%			2	2.3%		
5	Spinnstoffe und Textilabfälle, andere pflanzliche, tierische und verwandte Rohstoffe	1.4%			3	1.4%		
6	Andere Nahrungs- und Futtermittel	9.1%	1	9.2%	4	9.2%	II	9.2%
7	Ölsaaten, Ölfrüchte und Fette	0.08%						
8	Feste mineralische Brennstoffe	0.04%	2	0.04%				
9	Rohes Erdöl	0.02%	3	4.6%	5	4.62%	III	4.7%
10	Mineralölerzeugnisse	4.6%						
11	Eisenerze, Eisen- und Stahlabfälle und -schrott, Hochofenstaub, Schwefelkiesabbrände	0.5%	4	1.4%	6	1.5%		
12	NE-Metallerze und Abfälle von NE-Metallen	1.0%					IV	3.4%
13	Eisen, Stahl und NE-Metalle (einschliesslich Halbzeug)	2.0%	5	2.0%	7	2.0%		
14	Zement, Kalk, verarbeitete Baustoffe	17.6%	6	58.4%	8	17.6%	V	58.4%
15	Steine und Erden	40.8%			9	40.8%		
16	Natürliche oder chemische Düngemittel	0.3%	7	0.3%				
17	Grundstoffe der Kohle- und Petrochemie, Teere	0.5%			10	2.4%	VI	2.9%
18	Chemische Erzeugnisse ohne EUROSTAT 17	1.6%	8	2.6%				
19	Zellstoffe, Altpapier	0.5%			11	0.5%		
20	Fahrzeuge und Beförderungsmittel, Maschinen, Motoren, auch zerlegt und Einzelteile	2.1%			12	2.1%		
21	Metallwaren, einschliesslich EBM-Waren	0.5%			13	0.9%		
22	Glas, Glaswaren, keramische und andere mineralische Erzeugnisse	0.4%	9	15.7%			VII	15.7%
23	Leder, Textilien, Bekleidung, sonstige Halb- und Fertigwaren	4.0%			14	4.0%		
24	Sonstige Waren	8.7%			15	8.7%		
		100%		100%		100%		100%

(Rundungsdifferenzen nicht ausgeglichen)

Die Zusammenfassung der Eurostat-Warengruppen zu den 15 Warengruppen des Potentialmodells wird in Abschnitt 5.4 erläutert.

Tabelle 5-2:
Versand und Empfang nach NST/R-Kapiteln, in- und ausländische schwere Nutzfahrzeuge (in 1000 t pro Jahr)

Warengruppe	*Versand*		*Empfang*	
	in 1'000 t	*in %*	*in 1'000 t*	*in %*
0 Land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse, lebende Tiere	15'734	5.7%	16'629	5.8%
1 Andere Nahrungs- und Futtermittel	25'183	9.2%	26'154	9.2%
2 Feste mineralische Brennstoffe	86	0.0%	145	0.1%
3 Erdöl, Mineralölerzeugnisse	12'607	4.6%	13'374	4.7%
4 Erze und Metallabfälle	4'090	1.5%	3'975	1.4%
5 Eisen, Stahl und NE-Metalle (inkl. Halbzeug)	5'417	2.0%	5'704	2.0%
6 Steine, Erden, Baustoffe	160'754	58.5%	166'061	58.3%
7 Düngemittel	826	0.3%	859	0.3%
8 Chemische Erzeugnisse	6'715	2.4%	7'630	2.7%
9 Fahrzeuge, Maschinen, sonstige Halb- und Fertigwaren, besondere Transportgüter	43'469	15.8%	44'479	15.6%
Total	*274'881*	*100.0%*	*285'010*	*100.0%*

(Rundungsdifferenzen nicht ausgeglichen)

Für die weiteren Analysen wurden deshalb die NST/R Kapitel 2, 4 und 7 zu anderen Warengruppen addiert:

- NST/R-Kapitel 2 „Feste mineralische Brennstoffe" und NST/R-Kapitel 3 „Erdöl, Mineralölerzeugnisse"
- NST/R-Kapitel 4 „Erze und Metallabfälle" und NST/R-Kapitel 5 „Eisen, Stahl und NE-Metalle (inkl. Halbzeug)"
- NST/R-Kapitel 7 „Düngemittel" und NST/R-Kapitel 8 „Chemische Erzeugnisse"

In Tabelle 5-1 sind die verschiedenen Zusammenfassungen dargestellt.

5.4 Neue Warengruppen für das Potentialmodell

Erste Schätzungen der Erzeugungs- und Anziehungsfunktionen auf der Ebene der NST/R-Kapitel ergaben teilweise unbefriedigende Ergebnisse. Die einzelnen Kapitel sind zum Teil zu wenig homogen und von sehr unterschiedlicher Relevanz bezüglich des Güterverkehrs. NST/R Kapitel 6 beispielsweise (Steine, Erden, Baustoffe) hat allein einen Versandanteil von über 55%, während Kapitel 2 (feste mineralische Brennstoffe) einen Versandanteil von bloss 0,03% ausweist. NST/R Kapitel 9, mit einem Versandanteil von ca. 18%, umfasst solch unterschiedliche Güter wie Fahrzeuge, Maschinen, Metallwaren, Glaswaren, keramische Waren, Leder, Textilien sowie sonstige Waren.

Die NOGA-Daten erlauben - wie bereits erwähnt - differenziertere Warengruppeneinteilungen. Deshalb wurde aufgrund einer eingehender Analyse der NOGA-Daten einerseits und der Warengruppenstruktur der GTS93 (24 Eurostat-Warengruppen) andererseits eine neue Warengruppeneinteilung abgeleitet, die den Bedürfnissen des Modellbaus (Potentialmodell) besser entspricht. Die wichtigsten Aspekte der Neugliederung waren dabei:

- möglichst grosse Homogenität
- Relevanz bezüglich Güterverkehr
- zur Verfügung stehende Strukturdaten (Beschäftigtenzahlen)

Diese neue Warengruppeneinteilung besteht aus 15 Warengruppen. Der Zusammenhang zwischen der Eurostat-, der neuen 15-er Einteilung und den 7 Gütergruppen folgt aus Tabelle 5-1.[21]

5.5 Zoneneinteilung

Die GTS93 bestimmt den Aufbau des Modells bezüglich Anzahl Zonen und Anzahl Warengruppen. Eine Unterscheidung von 7 Gütergruppen (aus den NST/R-Kapiteln abgeleitet) und eine Zoneneinteilung der Schweiz in 106 MS-Regionen und 23 Grenzkorridore (Abbildung 5-1) ist für das Verteilmodell möglich und sinnvoll (beim Potentialmodell werden 15 Warengruppen unterschieden). Um die ursprüngliche Zielsetzung - Güterverkehrsmodell auf Basis von 1'113 GVF-Zonen - und die für die Umlegung notwendige räumliche Differenzierung zu erreichen, muss die MS-MS-Matrix expandiert werden.

Auf jeder Modellstufe wird die Zoneneinteilung der Schweiz so detailliert wie möglich gewählt. Es wurden folgende Zoneneinteilungen verwendet[22]:

Potentialmodell:	106 MS-Regionen
Verteilmodell:	106 MS-Regionen
Expansionsmodell:	von 106 MS-Regionen auf 1'113 GVF-Zonen
Umrechnungsmodell:	1'113 GVF-Zonen
Umlegungsmodell:	1'113 GVF-Zonen

Für den Aussenverkehr wird von den 23 Grenzkorridoren, die der Dienst GVF für den Alpentransit verwendet, ausgegangen.

5.6 Verkehrsmittel

Beim Verkehrsträger Strasse wird zwischen den zwei Verkehrsmitteln unterschieden:

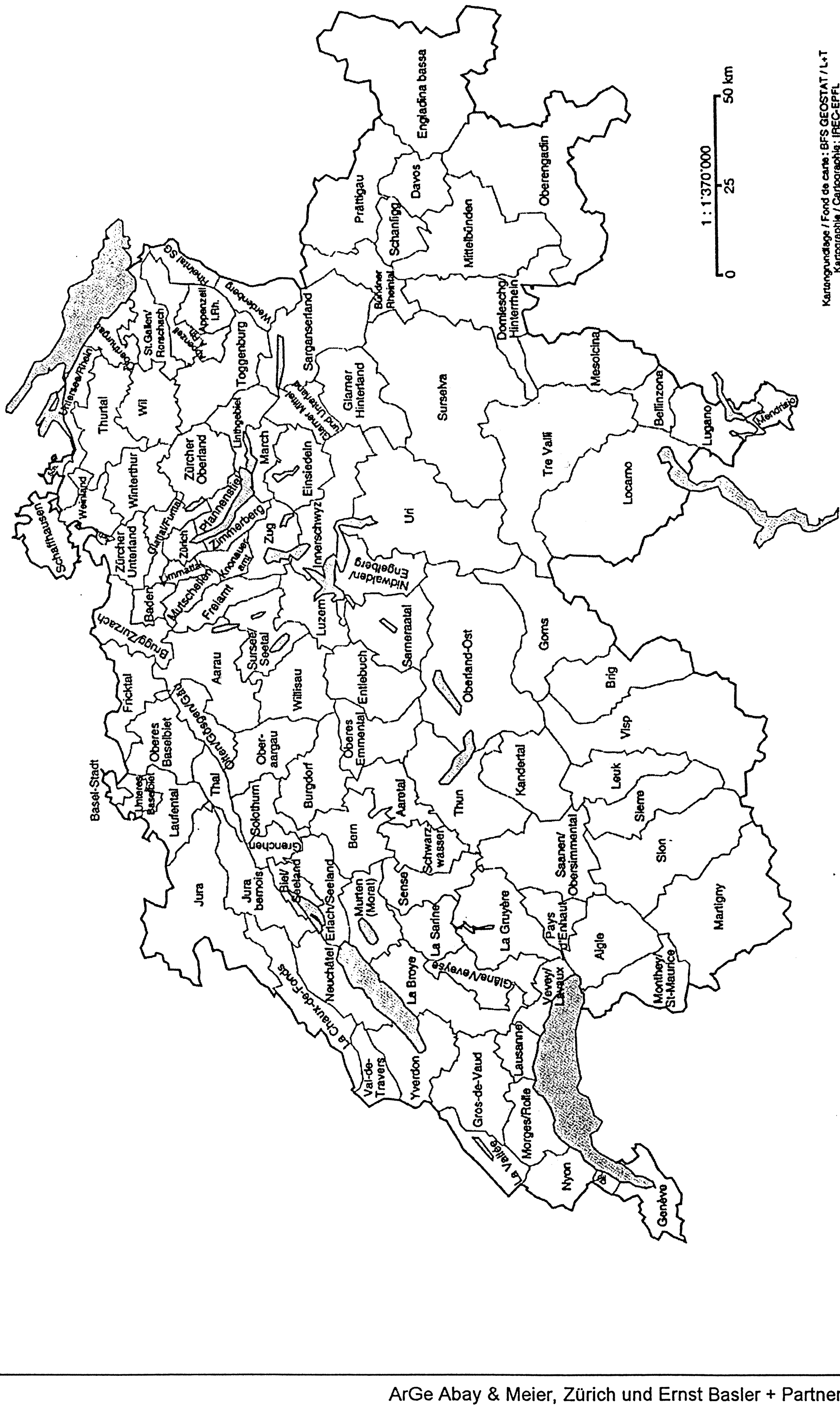
- Leichte Nutzfahrzeuge (Gesamtgewicht <3,5 Tonnen, Nutzlast >1 Tonne) entspricht ungefähr den **Lieferwagen**
- Schwere Nutzfahrzeuge (Gesamtgewicht >3,5 Tonnen, Nutzlast >1 Tonne) entspricht ungefähr den **Lastwagen**

---

21 Zur Unterscheidung der beiden Einteilungen sprechen wir beim Potentialmodell von 15 Warengruppen, bei den folgenden Modellen von 7 Gütergruppen.

22 Für Interpretationen und Darstellungen können die Zonen je nach Bedarf auf Kantone und Grossregionen zusammengefasst werden.

Abbildung 5-1:
Einteilung der Schweiz in 106 MS-Regionen



6 Das Potentialmodell

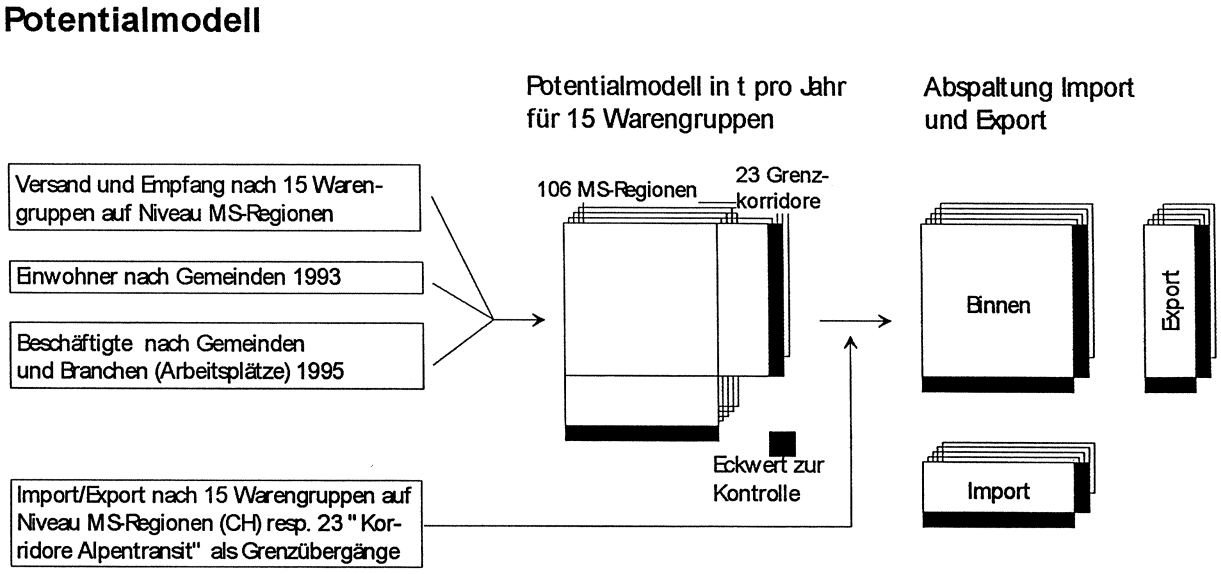
6.1 Aufgabe

Das Potentialmodell stellt den Zusammenhang zwischen der Flächennutzung (Siedlungs- und Wirtschaftsstruktur) und den versandten bzw. empfangenen Gütermengen einer Region her. Dabei ist der Versand und der Empfang von Gütern in der Regel mit den menschlichen Tätigkeiten (Arbeitsvorgängen) verbunden. Die Art der erzeugten und empfangenen Güter steht in Zusammenhang mit der Art dieser Tätigkeiten. Die Menge der Güter ist meistens proportional der Zahl der Menschen, welche die jeweiligen Tätigkeiten ausüben.

6.2 Vorgehen und grundsätzlicher Aufbau des Potentialmodells

In Abbildung 6-1 ist das Vorgehen und der grundsätzliche Aufbau des Potentialmodells dargestellt. Das Potentialmodell besteht aus drei Teilen, dem Erzeugungsteil, dem Anziehungsteil und der Abspaltung von Import/Export. Im Erzeugungsteil werden die tonnenmässigen Mengen, die je Zone und Gütergruppe generiert werden, ermittelt. Analog werden im Anziehungsteil die „angezogenen" Güter je Zone und Gütergruppe bestimmt. Im dritten Teil werden die Mengen des Imports resp. des Exports abgespalten.

Abbildung 6-1:
Aufbau des Potentialmodells



Da gemäss Aufgabenstellung der Strassengüterverkehr zu modellieren ist, beschränkt sich das hier vorgestellte Potentialmodell auf die Ermittlung von Gütermengen, die auf der Strasse transportiert werden. Im Erzeugungsteil werden demnach diejenigen Gütermengen ermittelt, die von den einzelnen inländischen Zonen auf der Strasse zu inländischen oder ausländischen Destinationen transportiert werden. Analog werden im Anziehungsteil diejenigen Gütermengen ermittelt, die von inländischen oder ausländischen Herkunftszonen zu den einzelnen (inländischen) Zonen auf der Strasse transportiert werden.

6.3 Potentiale je Warengruppe

Das Potentialmodell wurde mit Hilfe der GTS93 und der Strukturdaten (Beschäftigtenzahlen aus der NOGA-Systematik und Einwohner je Zone) auf Basis der neu gebildeten 15 Warengruppen und der 106 MS-Zonen abgeleitet. Zu diesem Zweck musste die GTS93 auf der Basis der 15 Warengruppen ausgewertet werden. Die Auswertung ergibt gesamtschweizerisch die in Tabelle 6-1 zusammengestellten Potentiale (Versand und Empfang).

Tabelle 6-1:
Potentiale je Warengruppe (Summe leichte und schwere Nutzfahrzeuge)

	Warengruppe	Versand in 1'000 t	Versand in %	Empfang in 1'000 t	Empfang in %
1	Getreide, Kartoffeln, Früchte, Tiere, Zuckerrüben	6'676	2%	7'192	2%
2	Holz und Kork	7'364	2%	7'719	2%
3	Spinnstoffe und Textilabfälle, andere pflanzliche, tierische und verwandte Rohstoffe	4'475	1%	4'497	1%
4	Andere Nahrungs- und Futtermittel, Ölsaaten, Ölfrüchte und Fette	28'152	9%	29'112	9%
5	Feste mineralische Brennstoffe, rohes Erdöl, Mineralölerzeugnisse	12'890	4%	13'715	4%
6	Eisenerze, Eisen- und Stahlabfälle und -schrott, Hochofenstaub, Schwefelkiesabbrände, NE-Metallerze und Abfälle von NE-Metallen	4'323	1%	4'204	1%
7	Eisen, Stahl und NE-Metalle (einschliesslich Halbzeug)	6'555	2%	6'841	2%
8	Zement, Kalk, verarbeitete Baustoffe	52'663	18%	53'679	17%
9	Steine und Erden	114'724	38%	119'016	38%
10	Natürliche oder chemische Düngemittel, Grundstoffe der Kohl- und Petrochemie, Teere, chemische Erzeugnisse	6'839	2%	7'832	3%
11	Zellstoffe, Altpapier	1'536	1%	1'489	0%
12	Fahrzeuge und Beförderungsmittel, Maschinen, Motoren, auch zerlegt und Einzelteile	8'616	3%	8'663	3%
13	Metallwaren, einschliesslich EBM-Waren, Glas, Glaswaren, keramische und andere Erzeugnisse	3'441	1%	3'630	1%
14	Leder, Textilien, Bekleidung, sonstige Halb- und Fertigwaren	14'451	5%	14'621	5%
15	Sonstige Waren	27'826	9%	28'395	9%
	Total	*300'532*	*100%*	*310'605*	*100%*

(Rundungsdifferenzen nicht ausgeglichen)

Der Versand beinhaltet neben dem Binnenverkehr auch den Export und der Empfang den Import von Gütern. Die Differenz zwischen Versand und Empfang ist darauf zurückzuführen, dass tonnenmässig etwa 10 Mio Tonnen Güter mehr importiert als exportiert werden (vergl. auch Tabelle 6-2).

Wie diese Zahlen zeigen, gibt es auch in dieser Warengruppensystematik einige Warengruppen, die tonnenmässig dominant (8 und 9), und solche, die kaum relevant sind (3, 11 und 13). Alle diese Warengruppen sind jedoch, zumindest was die Differenzierung der NOGA-Daten betrifft, homogene Warengruppen, die nicht weiter aufgeteilt werden können. Zudem sind für die Erklärung der Potentiale die entsprechenden Beschäftigtenzahlen vorhanden.

Tabelle 6-2:
Produktion und Attraktion nach Warengruppen mit Export- und Importanteilen (in 1'000 Tonnen)

	Versand in 1'000 t			Empfang in 1'000 t		
Warengruppe	davon Binnen	davon Exp	Exp in %	davon Binnen	davon Imp	Imp in %
1 Getreide, Kartoffeln, Früchte, Tiere, Zuckerrüben	6'676	20	0.3%	7'192	537	7.5%
2 Holz und Kork	7'364	530	7.2%	7'719	885	11.5%
3 Spinnstoffe und Textilabfälle, andere pflanzliche, tierische und verwandte Rohstoffe	4'475	191	4.3%	4'497	214	4.8%
4 Andere Nahrungs- und Futtermittel, Ölsaaten, Ölfrüchte und Fette	28'152	438	1.6%	29'112	1'398	4.8%
5 Feste mineralische Brennstoffe, rohes Erdöl, Mineralölerzeugnisse	12'890	79	0.6%	13'715	905	6.6%
6 Eisenerze, Eisen- und Stahlabfälle und -schrott, Hochofenstaub, Schwefelkiesabbrände, NE-Metallerze und Abfälle von NE-Metallen	4'323	191	4.4%	4'204	71	1.7%
7 Eisen, Stahl und NE-Metalle (einschliesslich Halbzeug)	6'555	618	9.4%	6'841	904	13.2%
8 Zement, Kalk, verarbeitete Baustoffe	52'663	264	0.5%	53'679	1'280	2.4%
9 Steine und Erden	114'724	747	0.7%	119'016	5'039	4.2%
10 Natürliche oder chemische Düngemittel, Grundstoffe der Kohl- und Petrochemie, Teere, chemische Erzeugnisse	6'839	856	12.5%	7'832	1'849	23.6%
11 Zellstoffe, Altpapier	1'536	203	13.2%	1'489	157	10.5%
12 Fahrzeuge und Beförderungsmittel, Maschinen, Motoren, auch zerlegt und Einzelteile	8'616	762	8.8%	8'663	809	9.3%
13 Metallwaren, einschliesslich EBM-Waren, Glas, Glaswaren, keramische und andere Erzeugnisse	3'441	354	10.3%	3'630	543	15.0%
14 Leder, Textilien, Bekleidung, sonstige Halb- und Fertigwaren	14'451	1'629	11.3%	14'621	1'799	12.3%
15 Sonstige Waren	27'826	250	0.9%	28'395	819	2.9%
Total	300'532	7'132	2.4%	310'605	17'209	5.5%

(Rundungsdifferenzen nicht ausgeglichen)

Aus Tabelle 6-2 ist ersichtlich, dass der Exportanteil am Versand (=Produktion) mit jährlich rund 7 Mio Tonnen (2,4%) und der Importanteil am Empfang (=Attraktion) mit jährlich 17 Mio Tonnen (5,5%) relativ bescheiden sind.

6.4 Ableitung des Potentialmodells

Ziel der Potentialanalyse ist, die Erzeugung und Anziehung je MS-Zone und Warengruppe modellmässig zu erklären und für jede Warengruppe die bestmögliche Regressionsgleichung zu finden[23].

Es wird ein Zusammenhang zwischen der Verkehrserzeugung (Versand) resp. der Verkehrsanziehung (Empfang) und den Beschäftigtenzahlen je Branche sowie den Einwohnern je MS-Region gesucht. Bei der multiplen linearen Regression geht es darum, die relevanten erklärenden Variablen x_i auszuwählen sowie deren Koeffizienten b_i und die Konstante a der folgenden Gleichung zu schätzen, wobei n die Anzahl der unabhängigen Variablen ist:

[23] Diese Analyse wurde mit Hilfe von *SPSS for Windows, Release 6.1* durchgeführt.

$$y = b1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + ... + b_n \cdot x_n + a$$

wobei:

y = abhängige Variable (Versand resp. Empfang) je MS-Region in Tonnen pro Jahr
x_i = unabhängige Variablen (Beschäftigte, Einwohner) je MS-Region
a = Konstante
b_i = Koeffizienten
i = 1, ... n (Anzahl erklärende Variablen)

Für jede der 15 Warengruppen wurden verschiedene Regressionsfunktionen getestet. Als erklärende Variablen wurden die Beschäftigtenzahlen nach NOGA und die Einwohner je MS-Region verwendet. Weitere erklärende Variablen wie z.B. das Volkseinkommen etc. konnten nicht getestet werden, da diese Variablen nicht räumlich disaggregiert (je MS-Region) vorliegen.

Als Testgrösse für die Güte der Funktionen wurden das Bestimmtheitsmass (R Square resp. Adjusted R Square), die Signifikanz der Koeffizienten und der Durbin-Watson-Test auf Autokorrelation der Residuen (Abweichung der betrachteten von den theoretisch zu erwartenden Werten) betrachtet. Zudem wurden die Funktionen auch hinsichtlich Plausibilität untersucht.

In den Abschnitten 6.5 und 6.6 sind je Warengruppe die „besten" Erzeugungs- und Anziehungsfunktionen zusammengestellt (Konstante, erklärende Variablen inkl. Koeffizienten, R Square). Die übrigen Testgrössen befinden sich im Anhang.

6.5 Modellansätze für die Verkehrserzeugung

In Tabelle 6-3 sind die für die Verkehrserzeugung ausgewählten Modellansätze je Warengruppe dargestellt.

Die Qualität der Erzeugungsfunktionen ist unterschiedlich, die R^2-Werte variieren zwischen 0,23 (WG 3) und 0,80 (WG 4). Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass die tonnagemässig bedeutendsten Warengruppen ein hohes R^2 haben. In Tabelle 6-4 ist für jede Warengruppe der Versand in Tonnen, ihr Anteil am Gesamtversand und das R^2 angegeben. Die Tabelle zeigt, dass für die Warengruppen 4, 8 und 9 mit grossen Versandanteilen durchwegs hohe R^2 erreicht werden. Auch für Warengruppe 15 mit einem Versandanteil von rund 9% ist die Güte der Erzeugungsfunktion befriedigend. Als unbefriedigend muss die Erklärungskraft der Funktion für Warengruppe 14 (5% Versandanteil) mit einem R^2 von 0,42 bezeichnet werden. Für Warengruppe 5 (Anteil 4%) konnte keine brauchbare Funktion gefunden werden.

Tabelle 6-3:
Ausgewählte Erzeugungsfunktion für 15 Warengruppen

Warengruppe	Konstante	Erklärende Variablen (Beschäftigte in der NOGA-Branche ...)	R^2
1 Getreide, Kartoffeln, Früchte, Tiere, Zuckerrüben	E = -188'846.72	+15.46 Landwirtschaft, Jagd und damit verbundene Dienstleistungen +124.04 Grosshandel mit landw. Grundstoffen, Nahrungsmitteln etc.	0.69
2 Logarithmus (Holz und Kork)	E = 2.45	+0.67 Log (Be- und Verarbeitung von Holz) +0.33 Log (Forstwirtschaft)	0.52
3 Spinnstoffe und Textilabfälle, andere pflanzliche, tierische und verwandte Rohstoffe	E = 24'116.90	+20.87 Herst. Nahrungsmittel und Getränke; Tabakverarbeitung +959.01 Grosshandel mit Altmaterial und Reststoffen	0.23
4 Logarithmus (Andere Nahrungs- und Futtermittel, Ölsaaten, Ölfrüchte und Fette)	E = 3.06	+0.50 Log (Herstellung Nahrungsmittel und Getränke; Tabakverarbeitung) +0.37 Log (Grosshandel mit landw. Grundstoffen, Nahrungsmitteln etc.)	0.80
5 Feste mineralische Brennstoffe, rohes Erdöl, Mineralölerzeugnisse	E =	es konnte keine Funktion gefunden werden	
6 Eisenerze, Eisen- und Stahlabfälle und -schrott, Hochofenstaub, Schwefelkiesabbrände, NE-Metallerze und Abfälle von NE-Metallen	E = 10'453.16	+1'076.17 Rückgewinnung und Vorbereitung für die Rückgewinnung +155.16 Grosshandel mit sonstigen Halbwaren	0.50
7 Eisen, Stahl und NE-Metalle (einschliesslich Halbzeug)	E = 15'876.15	+151.00 Erzeugung und Bearbeitung von Metall +278.65 Grosshandel mit Eisenwaren	0.58
8 Zement, Kalk, verarbeitete Baustoffe	E = 161'585.25	+1'308.86 Herstellung von Zement +884.07 Herstellung von Erzeugnissen aus Beton, Gips und Zement +77.04 Hoch- und Tiefbau +635.79 Grosshandel mit Holz und Baustoff +1'170.40 Gewinnung von Kies und Sand	0.57
9 Steine und Erden	E = 383'437.41	+56'982.00 Gewinnung von Kalkstein, Gips und Kreide +3'487.48 Gewinnung von Kies und Sand +5'694.27 Be- und Verarbeitung von Natursteinen etc. +1'706.93 Grosshandel mit Holz und Baustoff	0.64
10 Natürliche oder chemische Düngemittel, Grundstoffe der Kohl- und Petrochemie, Teere, chemische Erzeugnisse	E = 26'614.09	+27.53 Chemische Industrie +66.33 Herstellung von Gummi und Kunststoffwaren +153.21 Grosshandel mit festen Brennstoffen und Mineralölerzeugnissen	0.59
11 Zellstoffe, Altpapier	E = 4'261.50	+43.23 Papier- und Kartongewerbe +704.66 Grosshandel mit Altmaterial und Reststoffen	0.45
12 Fahrzeuge und Beförderungsmittel, Maschinen, Motoren, auch zerlegt und Einzelteile	E = 23'700.24	+32.39 Maschinenbau +262.63 Handel mit Automobilen +20.59 Grosshandel mit Maschinen und Ausrüstungen	0.70
13 Metallwaren, einschliesslich EBM-Waren, Glas, Glaswaren, keramische und andere mineralische Erzeugnisse	E = 10'101.74	+19.05 Grosshandel mit sonstigen Verbrauchsgütern +133.96 Herstellung von Glas und Glaswaren; Keramikwaren +89.48 Grosshandel mit Erzen und Metallen	0.60
14 Leder, Textilien, Bekleidung, sonstige Halb- und Fertigwaren	E = 69'870.73	+269.34 Herstellung von Lederwaren und Schuhen +763.61 Grosshandel mit Textilien +722.04 Grosshandel mit Bekleidung und Schuhen	0.42
15 Sonstige Waren	E = 93'310.01	+3'135.00 Vorbereitende Baustellenarbeiten +146.77 Grosshandel mit sonstigen Verbrauchsgütern	0.54

Als erklärende Variablen sind in den ausgewählten Funktionen nur Beschäftigte enthalten. Für alle Warengruppen sind die verwendeten Branchen plausibel. Die zusätzliche Verwendung der Einwohner brachte entweder keine Verbesserung der R^2-Werte, oder die gefundenen Koeffizienten waren nicht signifikant. Im Anhang sind auch die t-Statistiken für die Koeffizienten der Variablen aufgeführt. Alle Koeffizienten sind bei einer Vertrauensgrenze von 95% signifikant. Auch die Werte der Durbin-Watson Tests sind befriedigend.

Alle Ansätze sind linear, für die Warengruppen 2 und 4 wurden die Variablen logarithmiert.

Alle Ansätze enthalten eine Konstante:

- Bei Warengruppe 1 ist diese negativ: Bei der Anwendung der Funktion muss eine Kontrolle eingebaut werden, damit keine negativen Versandzahlen entstehen.
- Bei den Warengruppen 8 und 9 nimmt sie sehr grosse Werte an. Hier ist es wichtig, dass die ausgewählten Funktionen nur im gültigen Bereich d.h. im Bereich, in dem sie getestet wurden (minimale resp. maximale Anzahl Beschäftigte je Zone), angewendet werden[24].
- Bei der Anwendung der Funktionen zeigt sich, dass ein Teil des Versands von der Konstanten „herrührt", der andere Teil von den erklärenden Variablen. Bei den wichtigsten beiden Warengruppen (8 und 9) „stammt" rund ein Drittel des Versands von der Konstanten. Über alle Warengruppen sind es rund ein Fünftel (knapp 70 Mio Tonnen von total 300 Mio Tonnen).

Die Konstante beeinträchtigt die zeitliche Prognosefähigkeit der ausgewählten Funktionen. Sie kann als eine Art Grundproduktion betrachtet werden. Im Laufe der Zeit kann diese Grundproduktion jedoch ändern. Also müsste streng genommen für die Konstante eine Prognose erstellt werden.

In den Funktionen kommen nur Beschäftigte als erklärende Variablen vor. Wirtschaftliche Variablen waren nicht in der notwendigen Disaggregation verfügbar. Die Funktionen können somit den Zusammenhang zwischen der Wirtschaftslage und der Produktion nicht nachbilden. Für eine zeitliche Prognose muss zudem unterstellt werden, dass die Koeffizienten der erklärenden Variablen zeitlich übertragbar sind.

Die ausgewählten Funktionen sind somit beschränkt massnahmensensitiv. Massnahmen, die sich auf das Verkehrsangebot oder die Wirtschaftslage auswirken, können nur indirekt über die Beschäftigten (ausserhalb des Modells wird der Einfluss der Massnahme auf die Beschäftigtenzahl abgeschätzt) nachgebildet werden. Allerdings ist die Massnahmensensitivität auf der Potentialebene grundsätzlich beschränkt.

[24] Zur Erläuterung ein (extremes) Beispiel: Hat es zum Beispiel in einer Zone nur einen einzigen Beschäftigten in der Branche „Gewinnung von Kalkstein, Gips und Kreide" so würde dieser pro Jahr 383'437 (konstantes Glied) plus 56'982 (Koeffizient der ersten erklärenden Variablen), also total rund 440'000 Tonnen produzieren. Ein zweiter Beschäftigter würde die Produktion „nur" um 56'982 Tonnen erhöhen.

Tabelle 6-4:
Beurteilung der Güte der Erzeugungsfunktionen

	Warengruppe	Versand in 1'000 t	Versand in %	R^2
1	Getreide, Kartoffeln, Früchte, Tiere, Zuckerrüben	6'676	2%	0.69
2	Holz und Kork	7'364	2%	0.52
3	Spinnstoffe und Textilabfälle, andere pflanzliche, tierische und verwandte Rohstoffe	4'475	1%	0.23
4	Andere Nahrungs- und Futtermittel, Ölsaaten, Ölfrüchte und Fette	28'152	9%	0.80
5	Feste mineralische Brennstoffe, rohes Erdöl, Mineralölerzeugnisse	12'890	4%	–
6	Eisenerze, Eisen- und Stahlabfälle und -schrott, Hochofenstaub, Schwefelkiesabbrände, NE-Metallerze und Abfälle von NE-Metallen	4'323	1%	0.50
7	Eisen, Stahl und NE-Metalle (einschliesslich Halbzeug)	6'555	2%	0.58
8	Zement, Kalk, verarbeitete Baustoffe	52'663	18%	0.57
9	Steine und Erden	114'724	38%	0.64
10	Natürliche oder chemische Düngemittel, Grundstoffe der Kohl- und Petrochemie, Teere, chemische Erzeugnisse	6'839	2%	0.59
11	Zellstoffe, Altpapier	1'536	1%	0.45
12	Fahrzeuge und Beförderungsmittel, Maschinen, Motoren, auch zerlegt und Einzelteile	8'616	3%	0.70
13	Metallwaren, einschliesslich EBM-Waren, Glas, Glaswaren, keramische und andere Erzeugnisse	3'441	1%	0.60
14	Leder, Textilien, Bekleidung, sonstige Halb- und Fertigwaren	14'451	5%	0.42
15	Sonstige Waren	27'826	9%	0.54
	Total	*300'532*	*100%*	

(Rundungsdifferenzen nicht ausgeglichen)

6.6 Modellansätze für die Verkehrsanziehung

In Tabelle 6-5 sind die für die Verkehrsanziehung (Empfang) gefundenen Modellansätze je Warengruppe dargestellt.

Die Qualität dieser Gleichungen ist deutlich besser als die für die Produktion. Die R^2-Werte variieren zwischen 0,29 (WG 3) und 0,86 (WG 10). Wichtig ist, dass die Warengruppen mit einem hohen Empfangsanteil ein hohes R^2 haben. In Tabelle 6-6 ist deshalb für jede Warengruppe der Empfang in Tonnen, ihr Anteil am Gesamtempfang und das R^2 angegeben. Die Tabelle zeigt, dass für die Warengruppen 4, 8, 14 und 15 mit grossen Empfangsanteilen durchwegs hohe R^2 erreicht werden (>0,60).

Unbefriedigend ist die Erklärungskraft der Funktion für die wichtige Warengruppe 9 „Steine und Erden" mit einem Empfangsanteil von 38% und einem R^2 von 0,40. Trotz zahlreichen Durchläufen gelang es nicht, für diese Warengruppe eine bessere Erklärungskraft zu erhalten. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Ziele (Baustellen) für die Warengruppe „Steine und Erden" erstens sehr dispers verteilt sind und zweitens permanent ändern.

Tabelle 6-5:
Ausgewählte Anziehungsfunktionen für 15 Warengruppen

Warengruppe	Konstante	Erklärende Variablen (Beschäftigte in...)	R^2
1 Getreide, Kartoffeln, Früchte, Tiere, Zuckerrüben	A = 12'068.76	+144.63 Grosshandel mit landw. Grundstoffen, Nahrungsmitteln etc.	0.74
2 Holz und Kork	A = 23'806.25	+89.26 Be- und Verarbeitung von Holz +80.53 Papier- und Kartongewerbe	0.41
3 Spinnstoffe und Textilabfälle, andere pflanzliche, tierische und verwandte Rohstoffe	A = 20'303.50	+26.98 Herstellung Nahrungsmittel und Getränke; Tabakverarbeitung +993.45 Grosshandel mit Altmaterial und Reststoffen	0.29
4 Andere Nahrungs- und Futtermittel, Ölsaaten, Ölfrüchte und Fette	A = 36'370.91	+182.38 Grosshandel mit landw. Grundstoffen, Nahrungsmitteln etc. +143.66 Detailhandel mit Nahrungsmitteln	0.80
5 Feste mineralische Brennstoffe, rohes Erdöl, Mineralölerzeugnisse	A = 39'790.38	+522.24 Grosshandel mit festen Brennstoffen und Mineralölerzeugnissen +2'088.00 Tankstellen	0.77
6 Eisenerze, Eisen- und Stahlabfälle und -schrott, Hochofenstaub, Schwefelkiesabbrände, NE-Metallerze und Abfälle von NE-Metallen	A = 13'388.71	+1'145.82 Rückgewinnung und Vorbereitung für die Rückgewinnung	0.44
7 Eisen, Stahl und NE-Metalle (einschliesslich Halbzeug)	A = -12'160.70	+45.28 Erzeugung und Bearbeitung von Metall +21.13 Hoch- und Tiefbau	0.72
8 Zement, Kalk, verarbeitete Baustoffe	A = 193'554.55	+659.89 Herstellung von Erzeugnissen aus Beton, Gips und Zement +110.59 Hoch- und Tiefbau +602.94 Grosshandel mit Holz und Baustoff	0.66
9 Steine und Erden	A = 468'854.12	+4'699.96 Herstellung von Zement +214.11 Hoch- und Tiefbau +1'787.93 Grosshandel mit Holz und Baustoff	0.40
10 Natürliche oder chemische Düngemittel, Grundstoffe der Kohl- und Petrochemie, Teere, chemische Erzeugnisse	A = 18'212.54	+36.26 Chemische Industrie +51.17 Herstellung von Gummi und Kunststoffwaren +33.77 Herstellung von Nahrungsmitteln und Getränken; Tabakverarbeitung	0.86
11 Zellstoffe, Altpapier	A = -6'721.98	+36.83 Be- und Verarbeitung von Holz plus Papier- und Kartongewerbe	0.45
12 Fahrzeuge und Beförderungsmittel, Maschinen, Motoren, auch zerlegt und Einzelteile	A = 24'702.02	+22.27 Grosshandel mit Maschinen und Ausrüstungen +218.34 Handel mit Automobilen +33.52 Maschinenbau	0.79
13 Metallwaren, einschliesslich EBM-Waren, Glas, Glaswaren, keramische und andere mineralische Erzeugnisse	A = 5'367.54	+7.82 Maschinienbau +18.65 Bauinstallation +61.12 Grosshandel mit Eisenwaren	0.77
14 Leder, Textilien, Bekleidung, sonstige Halb- und Fertigwaren	A = 25'863.13	+49.15 Textilveredelung; Herst. von Textilwaren, Bekleidung und Pelzwaren +57.95 Detailhandel mit Non-Food-Produkten	0.80
15 Sonstige Waren	A = 49'804.42	+411.85 Ausbaugewerbe	0.65

Tabelle 6-6:
Beurteilung der Güte der Anziehungsfunktionen

	Warengruppe	Empfang in 1'000 t	in %	R^2
1	Getreide, Kartoffeln, Früchte, Tiere, Zuckerrüben	7'192	2%	0.74
2	Holz und Kork	7'719	2%	0.41
3	Spinnstoffe und Textilabfälle, andere pflanzliche, tierische und verwandte Rohstoffe	4'497	1%	0.29
4	Andere Nahrungs- und Futtermittel, Ölsaaten, Ölfrüchte und Fette	29'112	9%	0.80
5	Feste mineralische Brennstoffe, rohes Erdöl, Mineralölerzeugnisse	13'715	4%	0.77
6	Eisenerze, Eisen- und Stahlabfälle und -schrott, Hochofenstaub, Schwefelkiesabbrände, NE-Metallerze und Abfälle von NE-Metallen	4'204	1%	0.44
7	Eisen, Stahl und NE-Metalle (einschliesslich Halbzeug)	6'841	2%	0.72
8	Zement, Kalk, verarbeitete Baustoffe	53'679	17%	0.66
9	Steine und Erden	119'016	38%	0.40
10	Natürliche oder chemische Düngemittel, Grundstoffe der Kohl- und Petrochemie, Teere, chemische Erzeugnisse	7'832	3%	0.86
11	Zellstoffe, Altpapier	1'489	0%	0.45
12	Fahrzeuge und Beförderungsmittel, Maschinen, Motoren, auch zerlegt und Einzelteile	8'663	3%	0.79
13	Metallwaren, einschliesslich EBM-Waren, Glas, Glaswaren, keramische und andere Erzeugnisse	3'630	1%	0.77
14	Leder, Textilien, Bekleidung, sonstige Halb- und Fertigwaren	14'621	5%	0.80
15	Sonstige Waren	28'395	9%	0.65
	Total	*310'605*	*100%*	

(Rundungsdifferenzen nicht ausgeglichen)

Als erklärende Variablen sind in den ausgewählten Funktionen nur Beschäftigte enthalten. Für alle Warengruppen sind die verwendeten Branchen plausibel. Die zusätzliche Verwendung der Einwohner brachte entweder keine Verbesserung der R^2-Werte, oder die gefundenen Koeffizienten waren nicht signifikant. Im Anhang sind auch die t-Statistiken für die Koeffizienten aufgeführt. Alle Koeffizienten sind bei einer Vertrauensgrenze von 95% signifikant. Auch die Werte der Durbin-Watson Tests sind befriedigend.

Alle Ansätze sind linear und enthalten eine Konstante:

- Bei Warengruppe 7 ist diese negativ: Bei der Anwendung der Funktion muss eine Kontrolle eingebaut werden, damit keine negativen Empfangszahlen entstehen.
- Bei den Warengruppen 8 und 9 nimmt die Konstante sehr grosse Werte an. Hier ist es wichtig, dass die ausgewählten Funktionen nur im gültigen Bereich d.h. im Bereich, in dem sie getestet wurden (minimale resp. maximale Anzahl Beschäftigte je Zone), angewendet werden.
- Bei der Anwendung der Funktionen zeigt sich, dass ein Teil des Empfangs von der Konstanten „herrührt", der andere Teil von den erklärenden Variablen. Bei den wichtigsten beiden Warengruppen (8 und 9) „stammt" 35 resp. 40% des Empfangs von der Konstanten. Über alle Warengruppen sind es rund ein Fünftel (knapp 70 Mio Tonnen von total 300 Mio Tonnen).

Die Konstante beeinträchtigt die zeitliche Prognosefähigkeit der ausgewählten Empfangsfunktionen. Sie kann als eine Art Grundproduktion betrachtet werden. Im Laufe der Zeit kann diese Grundproduktion jedoch ändern. Also müsste streng genommen für die Konstante eine Prognose erstellt werden.

In den Funktionen kommen nur Beschäftigte als erklärende Variablen vor. Wirtschaftliche Variablen waren nicht in der notwendigen Disaggregation verfügbar. Die Funktionen können somit den Zusammenhang zwischen der Wirtschaftslage und der Anziehung nicht nachbilden. Für eine zeitliche Prognose muss zudem unterstellt werden, dass die Koeffizienten der erklärenden Variablen zeitlich übertragbar sind.

Die ausgewählten Funktionen sind somit beschränkt massnahmensensitiv. Massnahmen, die sich auf das Verkehrsangebot oder die Wirtschaftslage auswirken, können nur indirekt über die Beschäftigten (ausserhalb des Modells wird der Einfluss der Massnahme auf die Beschäftigtenzahl abgeschätzt) nachgebildet werden. Allerdings ist die Massnahmensensitivität auf der Potentialebene grundsätzlich beschränkt.

Die bei der Erzeugung angeführten Bemerkungen zu den Konstanten, der Prognosefähigkeit und der Massnahmensensitivität gelten analog auch hier.

7 Das Verteilmodell

7.1 Aufgabe

Das Verteilmodell ist ein Modell für die Verteilung des Güterquellverkehrsaufkommens einer Zone auf alle möglichen Zielzonen und umgekehrt. Für die modellmässige Abbildung wird davon ausgegangen, dass die Ströme zwischen verschiedenen Zonen als Funktion der Erzeugung resp. des Empfangs der beteiligten Zonen sowie der Merkmale des Bestweges zwischen diesen Zonen dargestellt werden können. Für die Erzeugung dieser Funktion wird üblicherweise ein Gravitationsansatz verwendet[25].

Die Erarbeitung des Verteilmodells wird analog dem Potentialmodell auf die durch die ArGe aufbereiteten Erhebungsdaten der GTS93 abgestützt. Die GTS93 ist mit ca. 60'000 Datensätzen eine zu kleine Stichprobe, um aus ihr direkt Wunschlinienmatrizen auf der Stufe der GVF-Zonen (das entspricht rund 1.2 Millionen Datensätzen) ableiten zu können. Es ist deshalb das Ziel, aus der Stichprobe GTS93 Gesetzmässigkeiten (Distanzverteilungen) für die Verflechtungen auf der Ebene der 106 MS-Regionen abzuleiten und über eine räumliche Disaggregation (Expansionsmodell) zu einem Fahrtenmodell auf Stufe GVF-Zonen zu gelangen.

7.2 Etablierung des Verteilmodells

Zur Etablierung des Verteilmodells sind Daten zum Verkehrsangebot und zur Verkehrsnachfrage nötig:

- Verkehrsangebot

  Das Verkehrsangebot wird durch das Netz der National- und Hauptstrassen sowie der wichtigsten Nebenstrassen innerhalb der Schweizer Grenze mit Stand 1995 abgebildet. Dieses Netz wurde vom Dienst GVF zur Verfügung gestellt. Die darin enthaltene Attributierung des Netzes basiert ursprünglich auf Personenwagengeschwindigkeiten. Weiter sind die Strassen in neun unterschiedliche Linkklassen unterteilt. Sämtlichen Links der Schweiz müssen nun schwerverkehrstypische Geschwindigkeiten zugeordnet werden.

  Dazu wird zuerst den Linktypen eins bis vier, die den Autobahnen entsprechen (vgl. Tabelle 7-1), die für Lastwagen erlaubte Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h als Basisgeschwindigkeit zugeordnet. Da der Schwerverkehr besonders zeitempfindlich auf Steigungen ist, werden an entsprechenden Stellen die Geschwindigkeiten streckenabschnittsweise herabgesetzt. Für die restlichen Linktypen fünf bis neun wurden die Geschwindigkeiten pauschal reduziert, damit die bereits im Personenwagennetz enthaltenen Geschwindigkeitsunterschiede erhalten bleiben. An einzelnen Stellen sind zudem individuelle Anpassungen zur Berücksichtigung von speziellen topografischen Verhältnissen vorgenommen worden. Tabelle 7-1 zeigt die für die einzelnen Linkklassen gewählte Basisgeschwindigkeit sowie die Minimal- und Maximalgeschwindigkeiten der einzelnen Linkklassen.

[25] Hidber, Carl, und Eugen Meier. Vorlesung Verkehrskonzepte. Zürich 1996.

Tabelle 7-1:
Definition der Linkklassen und gewählte Basisgeschwindigkeiten für Lastwagen

Linkklassen	Basisgeschwindigkeit in km/h	Geschwindigkeitsbereich in km/h
1) 6 Spuren ohne Kreuzungen	80	50 - 80
2) 4 Spuren ohne Kreuzungen	80	50 - 80
3) 3 Spuren ohne Kreuzungen	80	40 - 80
4) 2 Spuren ohne Kreuzungen	80	30 - 80
5) 4 Spuren mit Kreuzungen	50	20 - 80
6) 3 Spuren mit Kreuzungen	40 - 50	30 - 80
7) 2 Spuren mit Kreuzungen Ausbau gut	40 - 50	10 - 80
8) 2 Spuren mit Kreuzungen übrige	30 - 40	10 - 80
9) Diverses	individuell	-

Im Verteilmodell wird mit den Lastwagengeschwindigkeiten gerechnet, da der grösste Teil (über 90 %) des Güterverkehrsaufkommens [t/a] mit diesen Fahrzeugen transportiert wird. Im Umlegungsmodell werden für die Lieferwagen höhere Geschwindigkeiten definiert (vgl. Kapitel 10).

Mit diesen für den Schwerverkehr kodierten Geschwindigkeiten lässt sich über die pro Link definierten Distanzen die Fahrzeit für sämtliche Beziehungen ermitteln. Diese auf dem Bestweg ermittelte Fahrzeit t_{ij} dient für das Verteilmodell als Widerstand einer Beziehung.

- Verkehrsnachfrage
  - Binnenverkehr der Schweiz:

    Zur Ermittlung der schweizerischen Binnenverkehrsmatrix dienen die Randsummen der auf Basis MS-Regionen aggregierten Erhebungsdaten der GTS93, also das Quell- und Zielverkehrsaufkommen je MS-Region. Dabei werden die 15 Warengruppen, die im Potentialmodell verwendet wurden, zu sieben Gütergruppen zusammengefasst. Die Wunschlinien aus der GTS93, ebenfalls aggregiert auf MS-Regionen, werden zur Ermittlung der Distanzklassenverteilungen als Kalibrationsgrundlage verwendet.

  - Import und Export:

    Das Vorgehen für die Bestimmung der Import- und Exportverflechtungen ist grundsätzlich gleich wie für die Ermittlung der Binnenverkehrsmatrix. Als Übertrittszonen zum Ausland dienen die 23 Korridore, die der Dienst GVF für den Alptransit verwendet. Somit werden für Import und Export Matrizen vom Format 23x106 resp. 106x23 generiert.

7.3 Modellansatz Verteilmodell

Der gewählte Modellansatz gilt grundsätzlich für alle zu modellierenden Verkehrsarten (Binnen-, Import- und Exportverkehr). Der Import- und Exportverkehr muss aber aufgrund seiner differenzierten Gesetzmässigkeiten separat betrachtet werden.

- Binnenverkehr

  Zwischen den MS-Regionen i und j ergibt sich je Warengruppe ein Strom G in Funktion der Produktion von i, der Attraktion von j und den Generalisierten Kosten GK zwischen i und j. Als Generalisierte Kosten werden die Fahrzeiten t_{ij} verwendet, da diese das weitaus wichtigste Merkmal des Widerstandes sind.

$$G_{ij} = f\left(P_i, A_j, GK_{ij}\right)$$

  Für die Funktion wird ein Gravitationsansatz gewählt:

$$G_{ij} = k_{ij} \cdot \frac{P_i \cdot A_j}{\left(W_{ij}\right)^{\gamma}}$$

Mit:
- P_i Produktion der MS-Region i
- A_j Attraktion der MS-Region j
- W_{ij} Widerstandsfaktor zwischen den MS-Regionen i und j
- k_{ij} gebietsabhängiger Faktor
- γ Exponent des Widerstandes

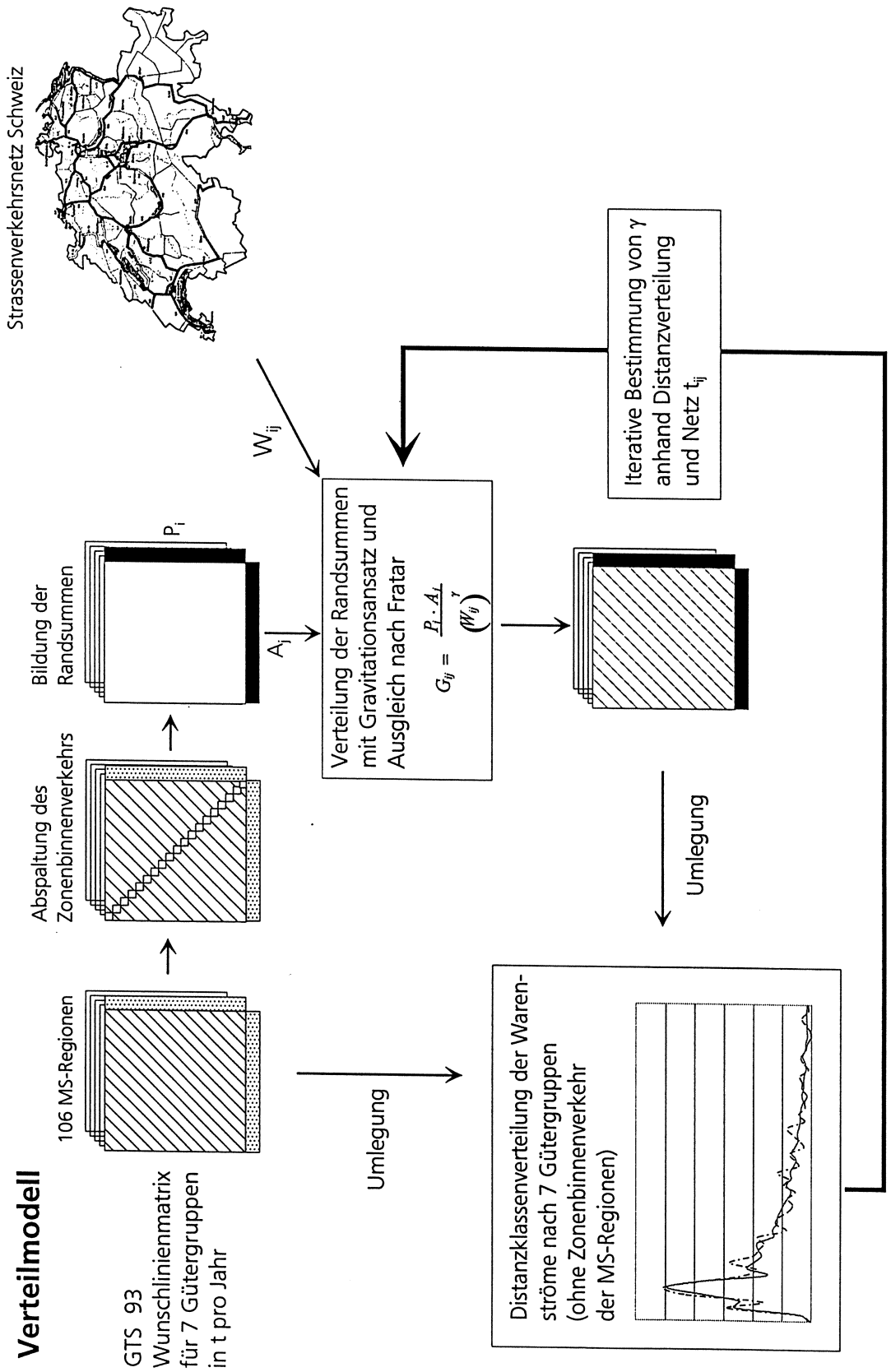
Die Ableitung des Verteilmodells erfolgt in drei Schritten (vgl. Abbildung 7-1):

1. Im ersten Schritt werden aus der Erhebung GTS93 die Randsummen für Produktion und Attraktion je MS-Zone und Gütergruppe (I-VII) ermittelt und in die Verkehrsmodellsoftware POLYDROM[26] eingespeist. Der Zonenbinnenverkehr darf dabei nicht in den Randsummen enthalten sein, da dieser Verkehr nicht auf die übrigen Zonen verteilt wird. Deshalb wird er vorgängig abgespaltet.
2. Im zweiten Schritt werden mit dem oben aufgeführten Gravitationsansatz diese Randsummen auf die einzelnen MS-Regionen verteilt. Dabei wird ein Ausgleich nach Fratar in fünf Iterationsschritten vorgenommen. Der gebietsabhängige Faktor k_{ij} wird zunächst gleich eins gesetzt (k_{ij} bietet eine weitere Korrekturmöglichkeit, um besondere gebietsspezifische Einflüsse berücksichtigen zu können), der Exponent des Widerstandes wird vorgewählt und zunächst auf einen in der Literatur gängigen Wert zwischen 1.5 und 2.0 gesetzt.
3. Die aus Schritt zwei hervorgehende Matrix wird im Netz umgelegt. Daraus wird für jede Gütergruppe eine Distanzklassenverteilung ermittelt, die mit derjenigen aus der GTS93 verglichen werden kann. Der Exponent des Widerstandes wird nun für jede Gütergruppe solange verändert, bis die beiden Distanzverteilungen - diejenige des Modells und diejenige aus der GTS93 - und die mittlere Transportdistanz übereinstimmen. Mit diesem iterativen Vorgang wird das Verteilmodell einzel für jede Gütergruppe anhand der GTS93 kalibriert.

---

[26] POLYDROM, Version 8 von Systems Consult, Dr. C. de Rham, 7, boulevard d'Italie, MC 98000 Monaco

Abbildung 7-1:
Vorgehensschema im Verteilmodell



- Import/Export

  Import und Export müssen separat behandelt werden. Die Verteilung erfolgt im exakt gleichen Verfahren wie beim Binnenverkehr. Im ersten Schritt werden für den Import nur die Produktionswerte für die 23 Übertrittszonen und die Attraktionswerte für die 106 MS-Regionen in POLYDROM eingespeist und für den Export entsprechend die Attraktionswerte für die Übertrittszonen und die Produktionswerte für die MS-Regionen.

7.4 Gesetzmässigkeiten aus der GTS93 (Kalibrationsgrundlagen)

In der Matrix des Binnenverkehrs der Schweiz macht der Zonenbinnenverkehr, also der Verkehr, der sich innerhalb einer MS-Region abwickelt und deshalb wie bereits erwähnt für das Verteilmodell keine Rolle spielt, bei der hier gewählten Zonenfeinheit einen erheblichen Anteil des Güterverkehrsaufkommens aus. Die folgende Tabelle 7-2 zeigt die Anteile des Zonenbinnengüterverkehrs am gesamten Binnengüterverkehr der Schweiz für jede Gütergruppe. Das ebenfalls aufgeführte absolute Binnengüterverkehrsaufkommen der einzelnen Gütergruppen zeigt den grossen Aufkommensanteil der Gütergruppe V (Steine, Erden, Baustoffe). Charakteristisch für diese Gütergruppe sind verhältnismässig kurze Transportdistanzen, so dass über 70 Prozent der transportierten Menge die Grenze einer MS-Region nicht überqueren. Die ausgewiesenen Distanzklassenverteilungen und die mittleren Transportdistanzen basieren nur auf dem Verkehr, der seine Quellzone verlässt und dürfen somit nicht mit den in der Realität zurückgelegten Distanzen verglichen werden. Effektiv werden die Güter über wesentlich kürzere durchschnittliche Distanzen transportiert.

Tabelle 7-2:
Anteile des Zonenbinnenverkehrs der MS-Regionen am totalen Binnenverkehr der Schweiz je Gütergruppe

Gütergruppe	Beschreibung	Total Binnenverkehr CH in Mio t/a	Anteil Zonenbinnenverkehr (MS-Region) in %
I	Land- und Forstwirtschaft	17.8	46%
II	Nahrungs- und Futtermittel	27.7	37%
II	Brenn- und Treibstoffe	12.8	34%
IV	Erze, Eisen, Metalle	10.1	49%
V	Steine, Erden, Baustoffe	166.4	71%
VI	Chemie, Dünger	7.3	31%
VII	Sonstige Waren	51.3	54%
	Alle Gütergruppen	293.4	60%

gemäss Auswertung GTS93

Die zur Kalibration dienende Distanzklassenverteilung je Gütergruppe wird direkt aus der GTS93 ermittelt. Diese sieht für die sieben verschiedenen Gütergruppen, wie aus den folgenden Abbildungen ersichtlich ist, unterschiedlich aus.

Abbildung 7-2:
Gütergruppe I: Land- und Forstwirtschaft
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]

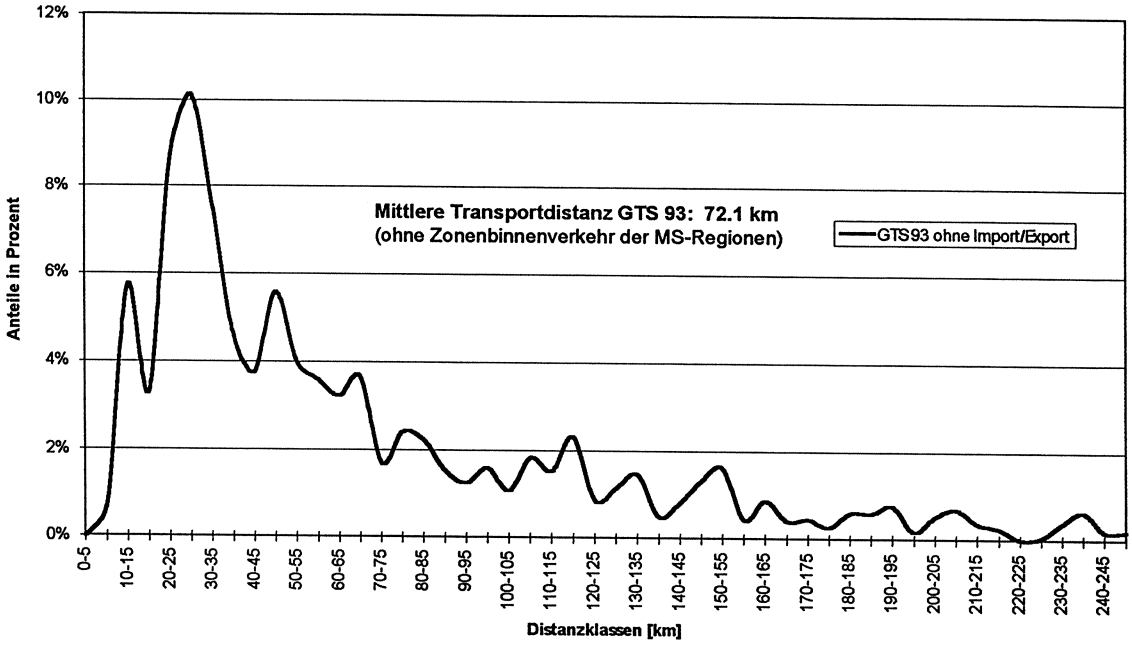


Abbildung 7-3:
Gütergruppe II: Nahrungs- und Futtermittel
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]

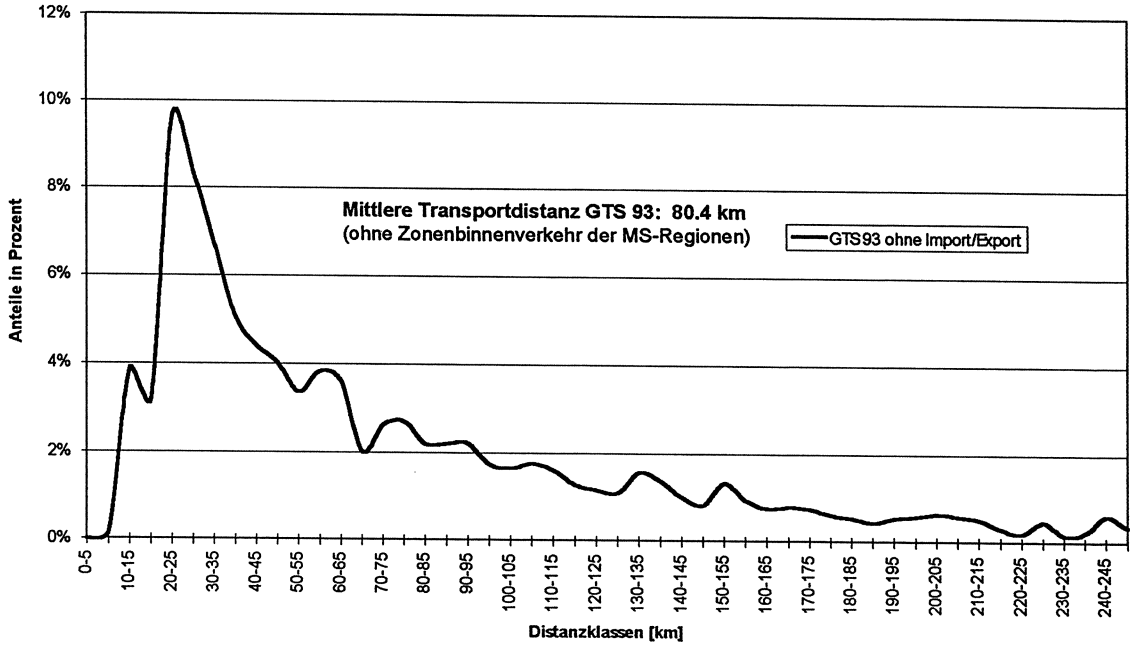


Abbildung 7-4:
Gütergruppe III: Brenn- und Treibstoffe
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]

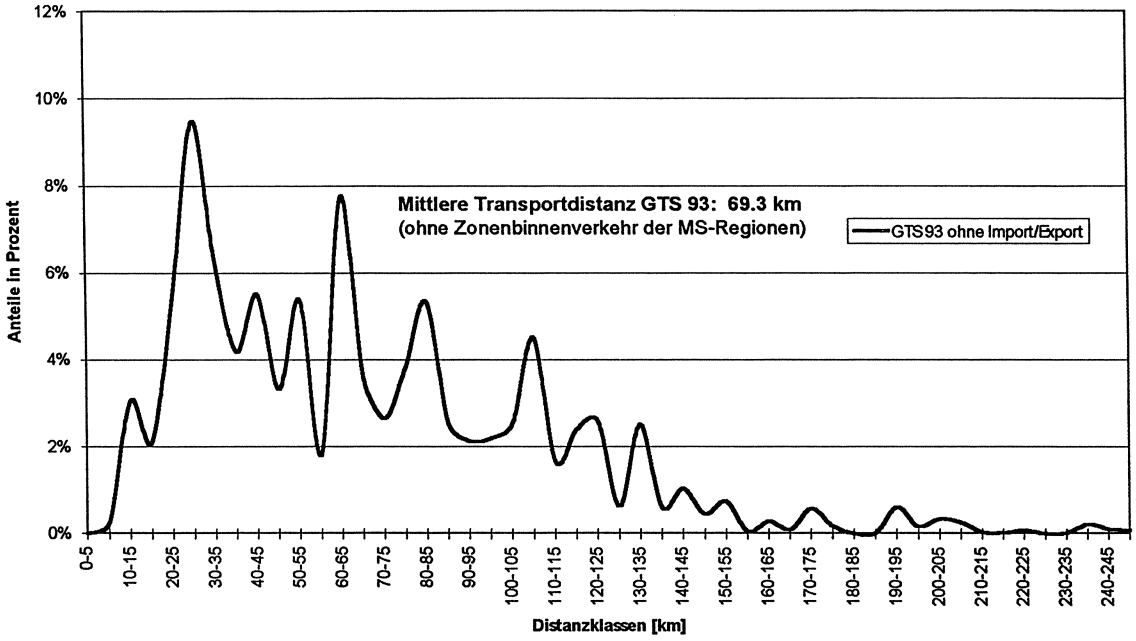


Abbildung 7-5:
Gütergruppe IV: Erze, Eisen, Metalle
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]

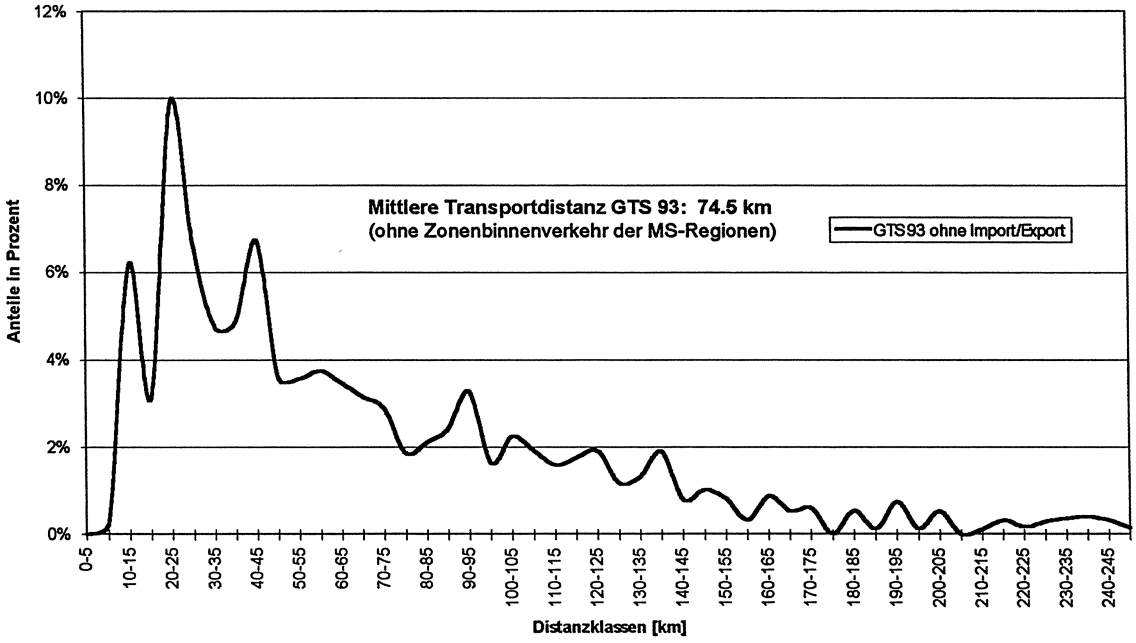


Abbildung 7-6:
Gütergruppe V: Steine, Erden, Baustoffe
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]

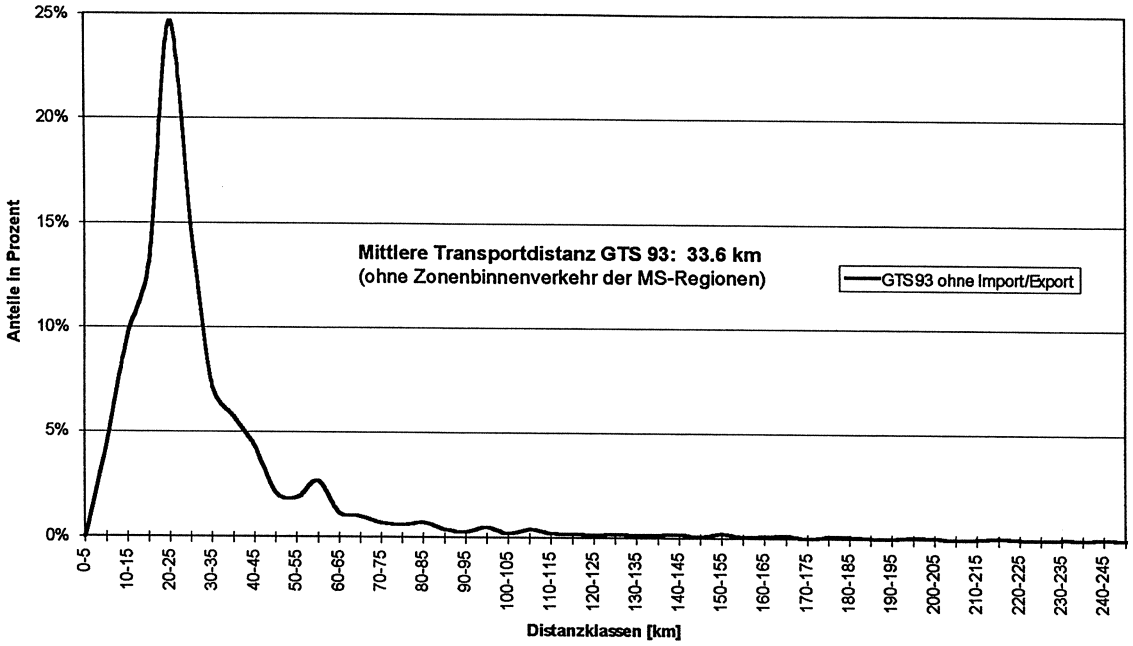


Abbildung 7-7:
Gütergruppe VI: Chemie, Dünger
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]

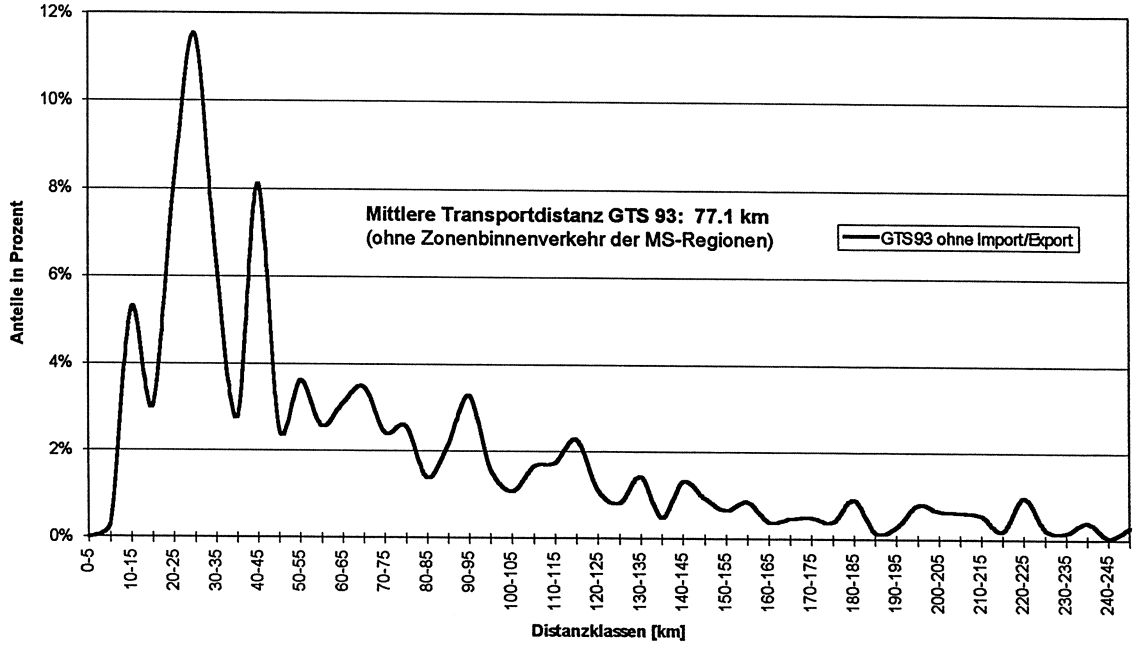
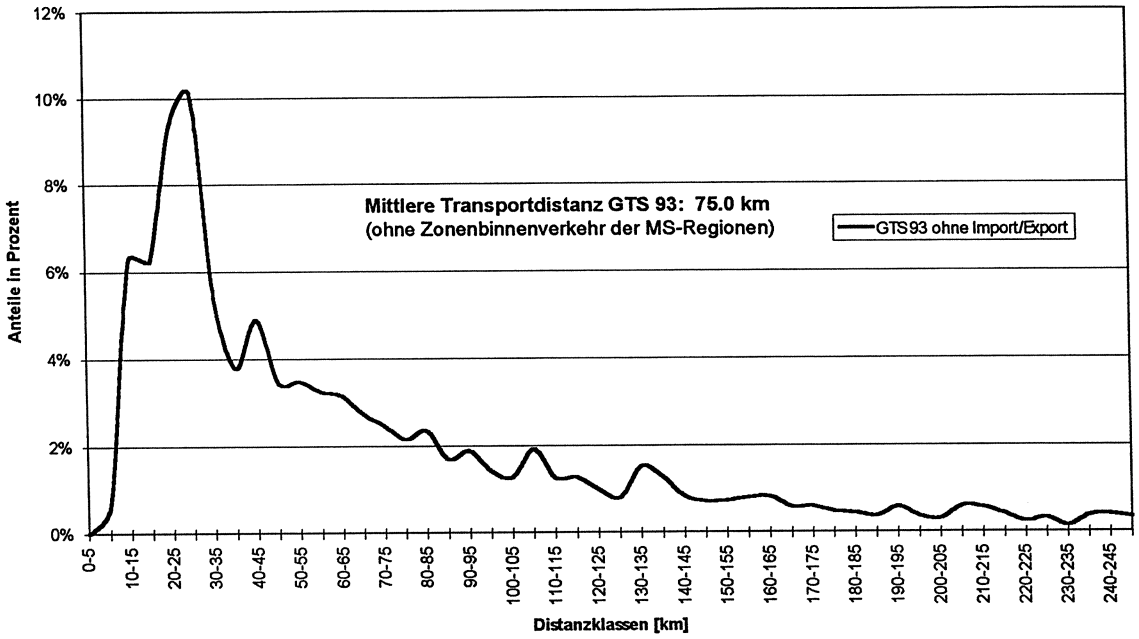


Abbildung 7-8:
Gütergruppe VII: Sonstige Waren
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



7.5 Resultate

Resultat des Verteilmodells sind die gerechneten und vollständigen Wunschlinienmatrizen für sieben Gütergruppen auf Stufe der 106 MS-Regionen und der 23 Übertrittszonen in der Dimension Tonnen pro Jahr. Sie werden je Gütergruppe in Form folgender Matrizen dargestellt:

- Binnenverkehr: 106x106 Zonen
- Import: 23x106 Zonen resp. Grenzabschnitte
- Export: 106x23 Zonen resp. Grenzabschnitte

Zusammen mit einer aus den Erhebungsdaten (GTS93) gewonnenen Transitmatrix (23x23 Grenzabschnitte) kann nun eine vollständige Aussenverkehrsmatrix generiert werden.

Aus den gerechneten Wunschlinienmatrizen kann die Distanzklassenverteilung des Verteilmodells ermittelt werden; die Kalibrierung des Verteilmodells erfolgt, wie bereits im Kapitel 7.3 erwähnt wurde, über einen Abgleich der Distanzklassenverteilung und der mittleren Transportdistanz. Die folgende Tabelle 7-3 zeigt die ermittelten Gamma-Werte des Verteilmodells für jede Gütergruppe im Binnenverkehr der Schweiz.

Tabelle 7-3:
Kalibrierte Exponenten des Widerstandes (Gamma) des Binnenverkehrs

Gütergruppe Nr.	Beschreibung	Gamma (Exponent des Widerstandes)	Mittlere Transportdistanz GTS93 in km (ohne Zonenbinnenverkehr der MS-Regionen)	Mittlere Transportdistanz Modell in km (ohne Zonenbinnenverkehr der MS-Regionen)	Abweichung der mittleren Transportdistanz GTS93 zu Modell in %
I	Land- und Forstwirtschaft	1.7	72	77	7.2
II	Nahrungs- und Futtermittel	1.8	80	74	-7.8
III	Brenn- und Treibstoffe	2.2	69	74	6.9
IV	Erze, Eisen, Metalle	1.8	75	71	-4.7
V	Steine, Erden, Baustoffe	3.7	34	29	-8.9
VI	Chemie, Dünger	1.7	77	71	-8.4
VII	Sonstige Waren	1.8	75	70	-7.2

Mit Ausnahme der Gütergruppe V (Steine, Erden, Baustoffe) liegen die Gamma-Werte zwischen 1.7 und 2,2, was auch mit den in der Literatur gängigen Werten korrespondiert. Der Widerstandsexponent der Gütergruppe V ist erwartungsgemäss wesentlich höher, da der Baustellenverkehr mit den typischerweise relativ kurzen Fahrten (weniger als halb so weite Transportdistanzen wie die anderen Gütergruppen) eine ganz andere Charakteristik aufweist.

Da der Import- und Exportverkehr bezüglich der Transportweiten ein ganz anderes Verhalten aufweist als der Binnenverkehr, muss dieser Verkehr separat kalibriert werden. Es werden somit jeweils für den Binnen-, für den Import- und den Exportverkehr separate Exponenten des Widerstandes für jede einzelne der sieben Gütergruppen bestimmt. Die Widerstandsexponenten des Imports und Exports sind aufgrund der viel längeren mittleren Transportdistanzen dieses Verkehrs wesentlich kleiner. Es ergibt sich also ein geringerer Widerstand.

Tabelle 7-4:
Kalibrierte Exponenten des Widerstandes (Gamma) des Imports

Gütergruppe Nr.	Beschreibung	Gamma (Exponent des Widerstandes)	Mittlere Transportdistanz GTS93 in km (ohne Zonenbinnenverkehr der MS-Regionen)	Mittlere Transportdistanz Modell in km (ohne Zonenbinnenverkehr der MS-Regionen)	Abweichung der mittleren Transportdistanz GTS93 zu Modell in %
I	Land- und Forstwirtschaft	1.3	105	98	-6.1
II	Nahrungs- und Futtermittel	1.3	123	113	-8.0
III	Brenn- und Treibstoffe	1.2	92	86	-6.5
IV	Erze, Eisen, Metalle	1.1	110	104	-5.3
V	Steine, Erden, Baustoffe	1.9	57	54	-6.0
VI	Chemie, Dünger	1.4	81	77	-4.2
VII	Sonstige Waren	1.3	111	106	-4.5

Die Abweichungen sind beim Importverkehr allesamt negativ. Eine weitere Verkleinerung des Gammawertes um einen Zehntel würde aber zu grösseren Abweichungen mit zu grossen Transportweiten führen. Das Modell reagiert in diesem Bereich sehr sensitiv auf kleine Änderungen des Exponenten des Widerstandes.

Tabelle 7-5:
Kalibrierte Exponenten des Widerstandes (Gamma) des Exports

Gütergruppe Nr.	Gütergruppe Beschreibung	Gamma (Exponent des Widerstandes)	Mittlere Transportdistanz GTS93 in km (ohne Zonenbinnenverkehr der MS-Regionen)	Mittlere Transportdistanz Modell in km (ohne Zonenbinnenverkehr der MS-Regionen)	Abweichung der mittleren Transportdistanz GTS93 zu Modell in %
I	Land- und Forstwirtschaft	1.5	147	152	3.4
II	Nahrungs- und Futtermittel	1.3	116	112	-3.4
III	Brenn- und Treibstoffe	1.5	74	78	5.4
IV	Erze, Eisen, Metalle	1.1	88	95	8.0
V	Steine, Erden, Baustoffe	1.3	72	72	0.0
VI	Chemie, Dünger	1.3	101	90	-10.9
VII	Sonstige Waren	1.3	105	99	-5.7

Die Resultate dieses Kalibrationsvorganges, also der Vergleich der Distanzklassenverteilung aus der GTS93 und aus dem Verteilmodell (Grafiken der Distanzklassenverteilungen für die einzelnen Warengruppen), sind separat für den Binnen-, den Import- und den Exportverkehr für jeweils jede Gütergruppen in Anhang C aufgeführt.

8 Das Expansionsmodell

8.1 Aufgabe

Im Expansionsmodell wird die im Verteilmodell auf Basis der MS-Regionen (106+23)x(106+23) ermittelte Matrix auf die wesentlich feinere Einteilung der GVF-Zonen (1'113+23)x(1'113+23) disaggregiert. Durch dieses Vorgehen kann für jedes Feld der Matrix ein Wert bestimmt werden. Die „unechten Nullen", die es aus einer aus der Stichprobe GTS93 direkt ermittelten Matrix ergäbe, gibt es somit nicht mehr. Die Expansion wird für jede der sieben Gütergruppen separat durchgeführt. Der wesentliche Arbeitsschritt für das Expansionsmodell ist die Bestimmung der Disaggregationsfaktoren.

8.2 Bestimmung der Disaggregationsfaktoren

Für die Aufteilung der Güterverkehrsströme von einer MS-Region auf eine GVF-Zone muss ein Aufteilungsfaktor bestimmt werden. Dies geschieht anhand der erklärenden Variablen des Potentialmodells. Es werden für alle GVF-Zonen innerhalb einer MS-Region die massgebenden Beschäftigten für die jeweilige Gütergruppe anteilsmässig bestimmt und jeweils mit den in den Potentialfunktionen verwendeten Koeffizienten gewichtet. Die Konstanten der Regressionsgleichungen werden nicht verwendet. Da im Potentialmodell allerdings mit 15 Warengruppen gerechnet wurde, müssen für das Expansionsmodell auf Basis der sieben Gütergruppen neue Regressionsgleichungen bestimmt werden.

Die verwendete Verkehrsmodellsoftware eignet sich nicht für eine quell- und zielfahrtenspezifische Disaggregation. Deshalb werden für die Ermittlung der Disaggregationsfaktoren die Gewichte sowohl aus den Produktions- als auch aus den Attraktionsgleichungen genommen.

Ein einfaches Beispiel soll das Vorgehen erläutern (vgl. Abbildung 8-1):

Gütergruppe I ist eine Aggregation der im Potentialmodell verwendeten Warengruppen 1 und 2, die im Potentialmodell mit folgenden Regressionsgleichungen beschrieben wurden:

Ursprüngliche Regressionsgleichungen für 15 Warengruppen aus dem Potentialmodell

Warengruppe 1:

- Produktion: $E = a*B1 + b*B2 + k_1$
- Attraktion: $A = c*B1 + d*B13 + k_2$

Warengruppe 2:

- Produktion: $E = e*B5 + k_3$
- Attraktion: $A = f*B4 + g*B7 + h*B10 + k_4$

wobei:

a, b, c,.....: Koeffizienten

B1, B2, ...: erklärende Variablen für die Warengruppen des Potentialmodells aus Kapitel 6

k_1, k_2,.....: Konstanten

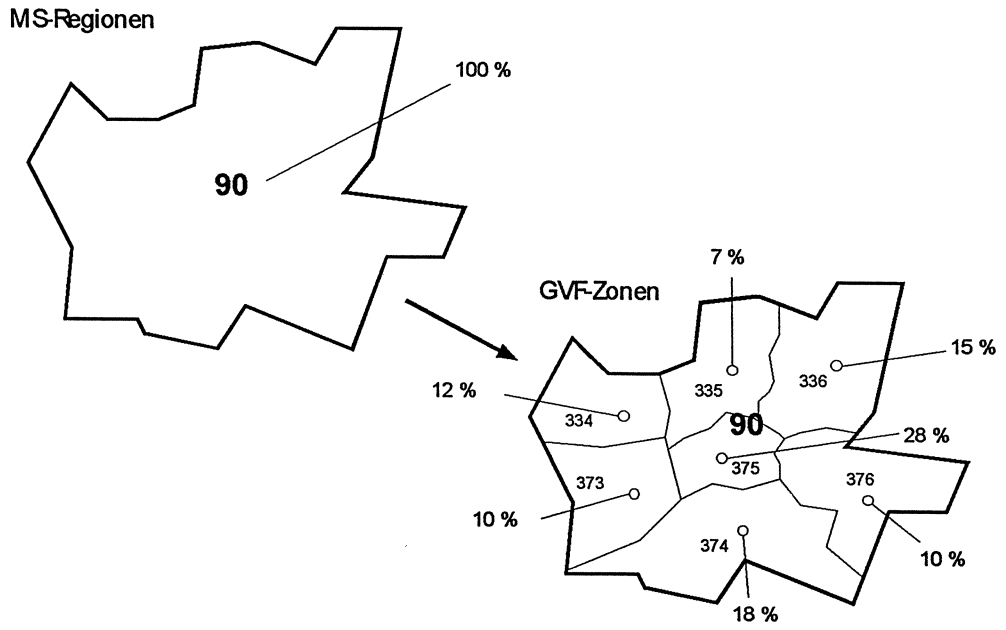
1. Schritt: neue Schätzung der Regressionsgleichungen für sieben Gütergruppen zur Bestimmung der neuen Koeffizienten

Gütergruppe I: (neue Koeffizienten i bis o)

- Produktion: $E = i*B1 + j*B2 + k*B5 + k_5$
- Attraktion: $A = l*B1 + m*B7 + n*B10 + o*B13 + k_6$

2. Schritt: Mit diesen neuen Koeffizienten (i bis o) werden die Variablen (B) gewichtet. Die Konstanten (k_5 und k_6) werden dabei weggelassen. Danach werden die Anteile je GVF-Zone bestimmt.

Abbildung 8-1:
Disaggregation von einer MS-Region auf GVF-Zonen

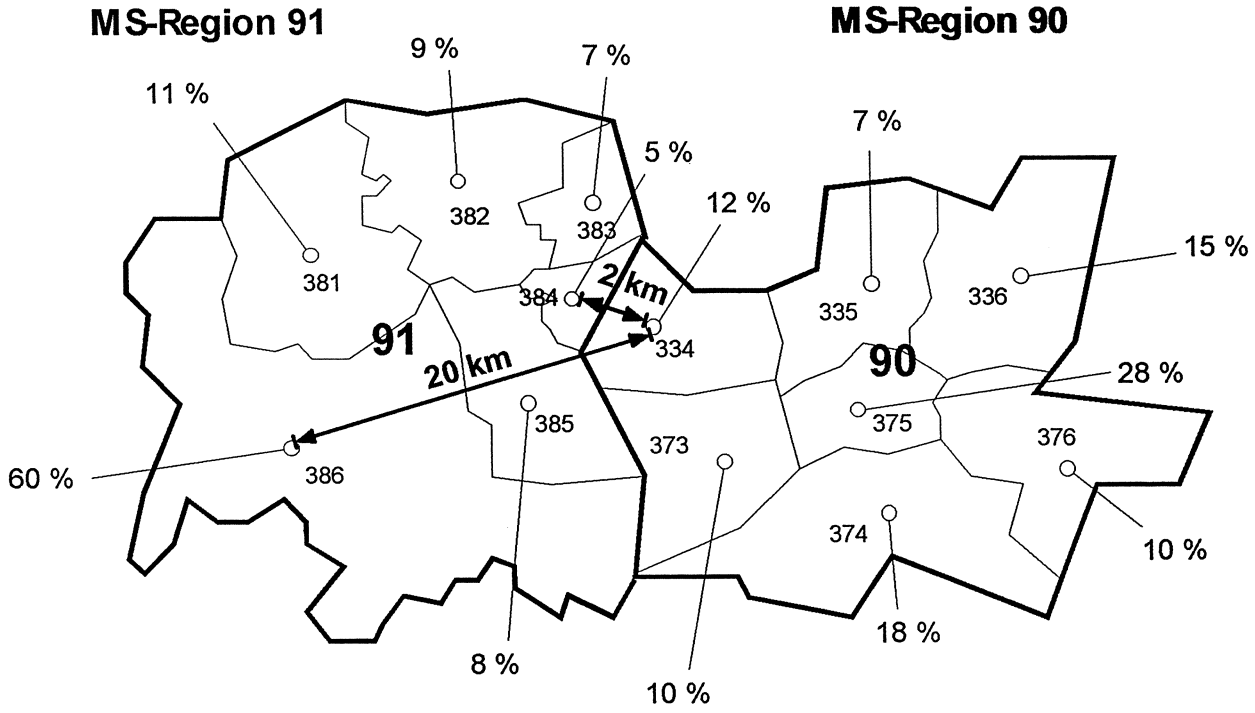


8.3 Resultate und deren Validation

Mit dem vorstehend beschriebenen Verfahren wird die Disaggregation einer MS-Region auf ihre GVF-Zonen ausschliesslich auf der Basis der gewichteten Verhältniszahlen durchgeführt. Der Widerstand zwischen verschiedenen GVF-Zonen innerhalb einer MS-Region wird dagegen vernachlässigt. Diese systematische, hier nicht vermeidbare Ungenauigkeit beim oben beschriebenen Disaggregationsansatz kann nicht ohne weiteres behoben werden. Selbst wenn der Widerstand bei dieser Disaggregation beücksichtigt werden würde, gäbe es keine Grundlage, um die Widerstandsabhängigkeit zu kontrollieren. Die Datengrundlage dazu fehlt und somit wäre dieser Modellteil nicht eichbar.

Durch diese Ungenauigkeit werden mit dem Expansionsmodell tendenziell zu lange Fahrten erzeugt. Dies lässt sich folgendermassen illustrieren (vgl. Abbildung 8-2): Zone 384 in der MS-Region 91 liegt nur 2 km von der Zone 334 in der MS-Region 90 entfernt, weist jedoch für die Gütergruppe X eine kleine Verhältniszahl auf (5%). Zone 386 in der MS-Region 91 liegt am entfernten Rand zur MS-Region 90, die Entfernung zur Zone 334 beträgt deshalb 20 km. Trotzdem ergeben sich zwischen Zone 386 und 334 mehr Fahrten als zwischen 384 und 334, weil die Zone 386 für die Gütergruppe X die grössere Verhältniszahl als die Zone 384 aufweist und der Distanzwiderstand bei der Disaggregation nicht berücksichtigt werden konnte.

Abbildung 8-2:
Disaggregation ohne Berücksichtigung des Widerstandes



Es wurde versucht, mittels einer systematischen Kontrolle des Expansionsmodells die Auswirkungen dieser Ungenauigkeit zu analysieren. Zu diesem Zweck wurde die aus der GTS93 ermittelte Distanzklassenverteilung auf Ebene GVF-Zonen mit der Distanzklassenverteilung nach dem Expansionsmodell verglichen (vgl. Anhang D). Es zeigt sich, dass sich der erwartete Effekt vor allem bei der Gütergruppe V einstellt; bei allen anderen Gütergruppen ist der Fehler nicht wahrnehmbar. Dies erscheint plausibel: Die Gütergruppe V weist von allen Gütergruppen klar die kürzesten mittleren Transportdistanzen auf und ist deshalb besonders anfällig. Bei den anderen Gütergruppen sind die mittleren Transportdistanzen so lang, dass dieser Effekt nicht mehr ins Gewicht fällt.

9 Das Umrechnungsmodell

9.1 Aufgabe

Das Umrechnungsmodell rechnet die Warenströme, welche die Dimension Tonnen haben, in Fahrzeugströme (Last- und Lieferwagen) um. Neben beladenen Fahrzeugbewegungen entstehen aufgrund des asymmetrischen Güterverkehrsaufkommens Leerfahrten. Ihre Anzahl wird ebenfalls im Umrechnungsmodell berechnet. Daneben hat das Umrechnungsmodell noch eine dritte Aufgabe. Das Güterverkehrsaufkommen wird meistens pro Jahr berechnet. Als Beurteilungsgrösse für Transportsysteme bzw. Einzelteile davon wird ein durchschnittlicher Tag oder eine speziell definierte Stunde gewählt. Das Güterverkehrsaufkommen muss auf dieses Bezugsintervall umgerechnet werden.

9.2 Umrechnungsalgorithmus

Die Umrechnung erfolgt getrennt für die sieben Gütergruppen. Das Modell besteht aus den folgenden drei Teilen:

- Zuerst wird der Warenstrom (Gütergruppe w) von der Quelle i nach dem Ziel j in zwei Ströme aufgeteilt: in einen Strom, der mit Lastwagen transportiert wird resp. in einen Strom, der mit Lieferwagen befördert wird
- Anschliessend erfolgt für jeden Fahrzeugtyp die Umrechnung von Tonnen in Fahrzeuge (Last- resp. Lieferwagen)
- Zum Schluss werden die beiden Fahrzeugströme auf einen Werktag umgerechnet.

Bei der Umrechnung der Jahresströme auf Tagesströme werden die Jahresströme durch 250 Werktage dividiert. Dadurch ergeben sich gebrochene Fahrtenzahlen, die im anschliessenden Umlegungsmodell problemlos weiterverarbeitet werden können.

Für die ersten beiden Teile werden die Gesetzmässigkeiten aus der GTS93 abgeleitet. Die Ermittlung der Gesetzmässigkeiten für die Aufteilung der Tonnenströme in Teilströme „Lastwagen" resp. „Lieferwagen" kann dabei relativ einfach erfolgen, da die entsprechenden Datenfiles vorhanden sind.

Der Umrechnungsalgorithmus Tonnen-Fahrzeuge wäre einfach, wenn es erstens nur „einfache" Fahrten[27] gäbe und zweitens auf eine beladene Fahrt immer eine Leerfahrt zurück zur Quelle folgen würde.

Leider ist die Wirklichkeit komplizierter. Ein beträchtlicher Teil der Güter wird auf der Strasse in sogenannten „zusammengesetzten Fahrten" transportiert, d.h., auf derselben Fahrt oder Tour werden Waren (die zu unterschiedlichen Gütergruppen gehören können) von einem oder mehreren Einladeorten nach verschiedenen Ausladeorten befördert. Auf das Aufkommen (Tonnen) bezogen werden ca. 33% der Güter in zusammengesetzten Fahrten verteilt. Auf die Leistung (Tonnenkilometer) bezogen beträgt der Anteil der zusammengesetzten Fahrten rund 64%.

Eine exakte Berechnung der Fahrzeugströme ist nur mittels einer Mikrosimulation möglich, wozu neben detaillierten Kenntnissen über die beteiligten Akteure auch wesentlich detailliertere Kenntnisse über die zu transportierenden Güter nötig wären. Da diese

[27] Bei einer „einfachen" Fahrt wird die gesamte Ladung einer einzigen Warengruppe von einem Einladeort zu einem *einzigen* Ausladeort gebracht.

Informationen nicht zur Verfügung stehen, muss ein vereinfachtes Verfahren gesucht werden.

Die Auslastung der Fahrzeuge ist u.a. von der Warenart und der Länge des Transportes abhängig. Die eigentliche Aufgabe besteht darin, die Tonnenmatrizen in Fahrzeugmatrizen umzurechnen. Dies kann aufgrund der vorhandenen Datenlage nur dann durchgeführt werden, wenn es gelingt, durchschnittliche Auslastungen je Fahrzeug, Gütergruppe und Distanzklasse herzuleiten, wobei in diesen Zahlen sowohl die beladenen als auch die leeren Fahrten bzw. Fahrtstrecken berücksichtigt sind.

In der GTS93 werden die Gütertransporte der inländischen Fahrzeuge in drei Gruppen eingeteilt: Lokalverkehr, Pendelverkehr und Überlandverkehr.

Der Lokalverkehr findet innerhalb einer Ortschaft oder der unmittelbar angrenzenden Vororte, die zusammen ein zusammenhängendes Siedlungsgebiet bilden, statt. Zum Pendelverkehr werden solche Fahrten gezählt, die zwischen den selben Be- und Entladeorten ausgeführt werden[28].

Der Pendelverkehr und der Lokalverkehr werden durch je ein Datenfile beschrieben, wodurch die Ableitung von mittleren Belastungen je Fahrzeug (Tonnen pro Fahrzeug) relativ einfach ist.

Für die Beschreibung des Überlandverkehrs gibt es in der GTS93 zwei Datenfiles. Das erste beschreibt die Route des Fahrzeuges („Überlandverkehr Route") und das zweite die Ladung bzw. die eigentlichen Quell-Ziel-Beziehungen („Überlandverkehr Ladung"). Im Routenfile sind auch die leer gefahrenen Strecken enthalten. In der Regel ist eine Route dann zu Ende, wenn das Fahrzeug wieder zum Ausgangsort zurückkehrt. Die Grundidee für die Ableitung von mittleren Auslastungsgraden besteht darin, dass je Route eine mittlere Auslastung berechnet wird. Dies geschieht mit der folgenden Formel[29]:

$$mittlere\ (leistungsgewichtete)\ Auslastung = \frac{Tonnenkilometer}{Fahrzeugkilometer}$$

Die Tonnenkilometer können aus dem File „Überlandverkehr Ladung" berechnet werden, indem die effektiv beladen gefahrenen Kilometer mit den Tonnagen für die einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen multipliziert und aufsummiert werden. Die Summation erfolgt ohne Unterscheidung von Gütergruppen.

Die Fahrzeugkilometer folgen aus dem File „Überlandverkehr Route", indem alle Teilstreckendistanzen inklusive die Leerfahrtenstrecken aufsummiert werden.

Die mit obiger Formel berechnete mittlere Auslastung gilt für die gesamte Route. Sie wird anschliessend den während der Route bedienten Quell-Ziel-Beziehungen entsprechend der jeweils transportierten Gütergruppe (werden auf einer Tour mehrere Gütergruppen transportiert, so erhalten alle die entsprechende Auslastung) und der relevanten Distanzklasse (wird aus der direkten Distanz zwischen der Quelle und dem Ziel aus dem Wunschlinienfile ermittelt) zugewiesen.

---

28 Pendelfahrten sind also definitionsgemäss „einfache" Fahrten.

29 Die mittlere (leistungsgewichtete) Auslastung entspricht dabei der mittleren Ladung pro Fahrzeugkilometer.

Die mittleren Auslastungen je Gütergruppe und Distanzklasse werden für alle Routen ermittelt und am Schluss gemittelt. In diese Berechnungen werden auch der Pendel- und der Lokalverkehr mit einbezogen, wobei die Route bei den Pendelfahrten aus einem Hin- und einem Rückweg besteht.

Die folgende Abbildung 9-1 veranschaulicht anhand von zwei Beispielen den Algorithmus:

- Beispiel 1 zeigt eine „einfache" Fahrt beladen von 8001 nach 8002 und leer wieder zurück nach 8001. Die durchschnittliche Auslastung von 5 Tonnen wird den beiden Teilfahrten von (1) nach (2) resp. von (2) zurück nach (1) zugeordnet.
- Im Beispiel 2 wird eine „zusammengesetzte" Fahrt (Tour) von 8003 via 8002 nach 6003 von dort nach 6005 und wieder zurück nach 8002 betrachtet. Die vier Teilfahrten erhalten die durchschnittliche Auslastung von 0,72 Tonnen.

9.3 Aufteilung der Tonnenströme auf Last- und Lieferwagen

Die Prozentwerte für die Aufteilung der Tonnenströme in Last- resp. Lieferwagenströme konnten aus der GTS93 differenziert nach sieben Gütergruppen und vier Distanzklassen abgeleitet werden (vgl. Tabelle 9-1).

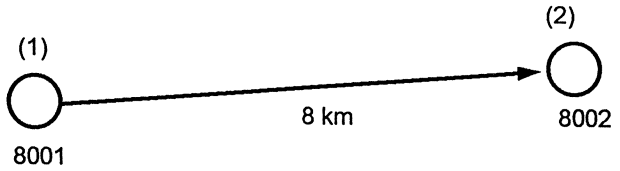
Die Tabelle zeigt deutlich, dass der Anteil der mit Lastwagen transportierten Tonnage bei den Gütergruppen III (feste Brennstoffe, Erdöl, Erdölerzeugnisse) und V (Zement, Kalk, Steine und Erden) sehr hoch ist. Zudem wird die Distanzabhängigkeit des Anteils deutlich.

Tabelle 9-1:
Anteile der mit LW transportierten Tonnagen je Gütergruppe und Distanzklasse (Binnenverkehr Schweiz)

GG	*von 0 bis 20 km*	*von 20 bis 50 km*	*von 50 bis 80 km*	*> 80 km*
I	0.77	0.90	0.92	0.97
II	0.80	0.95	0.96	0.97
III	0.97	1.00	1.00	1.00
IV	0.81	0.93	0.93	0.95
V	0.96	0.99	0.97	0.98
VI	0.83	0.94	0.91	0.96
VII	0.75	0.85	0.82	0.90
Total	0.90	0.94	0.93	0.95

Abbildung 9-1:
Beispiele für die Ermittlung der mittleren Auslastung

Beispiel 1:

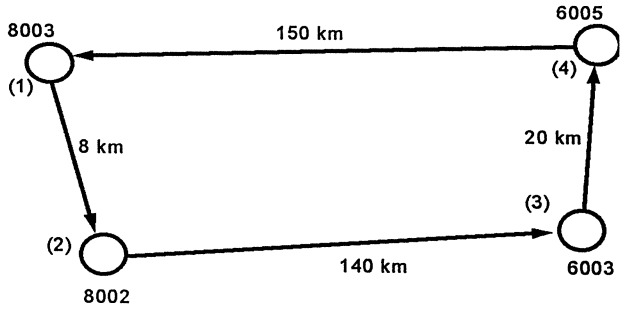


Wunschlinien		km	t	tkm
8001	8002	8	10	80

Tour		Fzkm	t im Fz.	tkm
von (1)	nach (2)	8	10	80
von (2)	nach (1)	8	0	0
	Summe	16		80

Auslastung a = 80 tkm / 16 Fzkm = 5 tkm / Fzkm

Beispiel 2:



Wunschlinien		km	t	tkm
8003	6003	148	1.0	148
8002	6005	160	0.5	80
	Summe			228

Tour		Fzkm	t in Fz.	tkm
von (1)	nach (2)	8	1	8
von (2)	nach (3)	140	1 + 0.5 = 1.5	210
von (3)	nach (4)	20	1 + 0.5 - 1 = 0.5	10
von (4)	nach (1)	150	1 + 0.5 - 1 - 0.5 = 0	0
	Summe	318		228

Auslastung a = 228 tkm / 318 Fzkm = 0,72 tkm / Fzkm

9.4 Auslastung je Fahrzeug

Die Ableitung der Gesetzmässigkeiten bei der Fahrzeugauslastung wurden separat für den Lieferwagen- und für den Lastwagenverkehr durchgeführt. Die Resultate sind in Tabelle 9-2 resp. Tabelle 9-3 zusammengefasst.

Tabelle 9-2:
Mittlere Auslastungen (Tonnen je Fahrzeug) je Gütergruppe und Distanzklasse, schwere inländische Nutzfahrzeuge (Binnenverkehr Schweiz)

GG	von 0 bis 20 km	von 20 bis 50 km	von 50 bis 80 km	>80 km
I	3.46	3.93	4.16	5.80
II	3.56	3.98	4.18	4.95
III	5.93	6.52	7.01	7.50
IV	2.83	3.58	4.04	5.23
V	4.90	6.15	6.51	7.29
VI	3.84	4.10	4.37	5.38
VII	3.29	3.87	3.78	4.58

Die mittleren Auslastungen je Fahrzeug nehmen mit zunehmender Transportdistanz zu, und zwar sowohl bei den schweren (Lastwagen) als auch bei den leichten Nutzfahrzeugen (Lieferwagen). Dieses Resultat ist plausibel; auf grössere Distanzen lohnt es sich, grössere Fahrzeuge einzusetzen bzw. die Fahrzeuge besser auszulasten.

Die mittlere Auslastung der inländischen schweren Nutzfahrzeuge, die im Binnenverkehr eingesetzt werden, liegt bei 4,5 t/Fz. Der entsprechende Wert für die leichten Nutzfahrzeuge beträgt 0,4 t/Fz.

Tabelle 9-3:
Mittlere Auslastungen (Tonnen je Fahrzeug) je Gütergruppe und Distanzklasse, leichte inländische Nutzfahrzeuge (Binnenverkehr Schweiz)

GG	von 0 bis 20 km	von 20 bis 50 km	von 50bis 80km	> 80 km
I	0.34	0.39	0.42	0.52
II	0.48	0.40	0.39	0.47
III	0.41	0.39	0.45	0.84
IV	0.30	0.36	0.44	0.76
V	0.53	0.40	0.43	0.65
VI	0.24	0.30	0.41	0.51
VII	0.31	0.37	0.40	0.54

9.5 Aussenverkehr (Import, Export, Transit)

Für die Umrechnung des Aussenverkehrs werden folgende vereinfachende Annahmen aus der GTS93 abgeleitet:

- Der Aussenverkehr wird zu 100% mit schweren Nutzfahrzeugen transportiert.

- Die mittlere Auslastung beträgt im Import und Export 5,9 t/Fz.; es wird nicht nach Gütergruppen und Distanzklassen unterschieden.
- Im Transit liegt die mittlere Auslastung bei 6,1 t/Fz.; auch hier wird nicht nach Gütergruppen und Distanzklassen unterschieden.

10 Das Umlegungsmodell

10.1 Aufgabe

Das Ziel des Umlegungsmodells ist, die in den vorhergehenden Teilmodellen ermittelten Daten (Fahrzeugströme) als Belastungen auf dem übergeordneten Strassennetz der Schweiz darzustellen. Es handelt sich dabei um ein einfaches Umlegungsmodell, in dem die Verkehrsströme der Hauptverkehrsachsen dargestellt werden sollen. Es wird nicht beabsichtigt, die exakten Belastungen auf Nebenachsen und im Nahverkehrsbereich von Agglomerationen zu ermitteln. Schliesslich dienen die Resultate des Umlegungsmodells auch als wichtige Kontrolle für die Ergebnisse der vorangehenden Teilmodelle. Analysen der berechneten Belastungen erlauben somit Plausibilitätskontrollen.

10.2 Vorgehen

Im Umlegungsmodell werden die im Umrechnungsmodell ermittelten Matrizen (Lastwagen pro Werktag sowie Lieferwagen pro Werktag) auf das Strassennetz umgelegt. Dies wird mit einer Bestwegumlegung durchgeführt. Der gesamte Verkehr jeder Beziehung sucht sich also im zugrundegelegten Netz den zeitlich kürzesten Weg und belastet somit die Links auf dieser Route. Die Bestwegumlegung ist für den Güterverkehr eines durchschnittlichen Werktages durchaus plausibel, da, über den Tag verteilt, keine Engpässe mit Einfluss auf das Routenwahlverhalten zu erwarten sind und sich zudem ein sehr grosser Anteil des Güterverkehrs nicht während den Spitzenstunden des privaten Personenverkehrs abwickelt. Verlagerungen auf andere Routen infolge von Kapazitätsengpässen, die mit einer Sukzessiv- oder Gleichgewichtsumlegung berücksichtigt werden könnten, müssen demzufolge für den Zweck unseres Modells nicht in Betracht gezogen werden.

Das Strassennetz ist gemäss der im Kapitel Verteilmodell aufgeführten Tabelle 7-1 in neun unterschiedliche Linkklassen gegliedert. Auswertungen zur Verkehrsleistung können demnach separat für Autobahnen (Strassen ohne Kreuzungen) und übrige Strassen durchgeführt werden.

Die Attributierung der Links, insbesondere die Zuordnung der Lastwagengeschwindigkeiten zu den Links, wurde bereits in Kapitel 7, Verteilmodell, beschrieben. Das Hauptaugenmerk bei der Geschwindigkeitsattributierung liegt hierbei auf den Hauptverbindungsachsen, da vor allem diese für die Verteilung des Verkehrs wie auch für die Ermittlung des Bestweges zwischen Regionen relevant sind. Da es sich gemäss Auftrag um ein einfaches Umlegungsmodell handelt, ist es nicht Ziel, auf allen Nebenstrassen innerhalb einzelner Regionen die exakten Belastungszahlen zu ermitteln.

Im Umlegungsmodell wurden für die Lieferwagen eigene Geschwindigkeiten definiert. Die Lieferwagen kommen insbesondere in Agglomerationen zum Einsatz, also vermehrt auf übrigen Strassen (nicht auf Autobahnen). Auf diesen Strassen können sie auch ihre Vorteile in Form von grösserer Geschwindigkeit gegenüber den Lastwagen ausspielen. Deshalb wurden die Geschwindigkeiten auf diesen Strassen für die Lieferwagen um 20 Prozent erhöht. Auf gewissen Streckenabschnitten wurden sie aufgrund der topologischen Verhältnisse individuell angepasst.

10.3 Resultate und deren Validation

Nach der Umlegung liegen die Belastungen für Last- und Lieferwagen je Link vor. Abbildung 10-1 zeigt die Belastungen für die Lastwagen und Abbildung 10-2 für die Lieferwagen. Die ermittelten Belastungen stellen den durchschnittlichen Werktagsverkehr im Jahre 1993 dar.

Die Tabelle 10-1 zeigt eine Übersicht über die wesentlichen Ergebnisse aus der Umlegung. Die darin enthaltenen Werte können nicht mehr direkt mit der GTS93 verglichen werden, da in dieser Erhebung keine auf die gleiche Art bestimmte Vergleichswerte vorhanden sind. Zudem muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass die Daten für die Lieferwagen in der GTS93 nur über einen Fünftel des gesamten Wagenbestandes - verteilt über alle Stichtage - erhoben wurden und nicht so repräsentativ sind wie die Daten der Lastwagen, die über den ganzen Fahrzeugbestand erhoben wurden.

Die Werte zur Verkehrsleistung beinhalten besonders für die Lieferwagen einen gewissen Spielraum. Die im Umrechnungsmodell ermittelten Auslastungsgrade zeigen, dass die Lieferwagen je nach Distanz und Gütergruppe ca. zehn bis fünfzehnmal weniger transportieren als die Lastwagen. Deshalb ergeben kleine Änderungen bei der Aufteilung zwischen Liefer- und Lastwagen grosse Änderungen bzgl. der Verkehrsleistung der Lieferwagen. Wenn z.B. fünf Tonnen, die mit einem Lastwagen transportiert werden könnten, mit Lieferwagen transportiert werden müssen, sind dazu mindestens zehn Lieferwagenfahrten notwendig. Eine kleine Verringerung der Verkehrsleistung bei den Lastwagen verursacht bei den Lieferwagen also eine wesentlich grössere Verkehrsleistung. Anders ausgedrückt heisst das, dass die Verkehrsleistug der Lieferwagen sehr sensibel auf das im Umrechnungsmodell ermittelte Aufteilungsverhältnis zwischen Last- und Lieferwagen reagiert.

Tabelle 10-1:
Aufkommen und Fahrleistungen der Lastwagen

Lastwagen	Aufkommen in LW/Werktag	Fahrleistung LW-km/Werktag	mittlere Distanz in km
Gesamtverkehr	252'389	8'520'000	34
Binnenverkehr CH	231'944	6'450'000	28
Export	5'749	532'000	93
Import	13'031	1'020'000	79
Transit	1'665	518'000	311

Die jährliche Fahrleistung der Lastwagen beträgt gemäss GTS93 2'063 Millionen Fahrzeugkilometer. Die jährliche Fahrleistung im Modell ermittelt sich aus der Multiplikation mit 250 Arbeitstagen (vgl. Kapitel 9, Umrechnungsmodell). Der Modellwert beträgt somit 2'130 Millionen Fahrzeugkilometer und liegt um 67 Mio. Lw-km oder 3.2 Prozent über dem der GTS93. 61 Prozent dieser Fahrleistung wird auf Autobahnen erbracht und 39 Prozent auf dem übrigen Strassennetz.

Abbildung 10-1:
Belastungsplot Lastwagen (DWV)

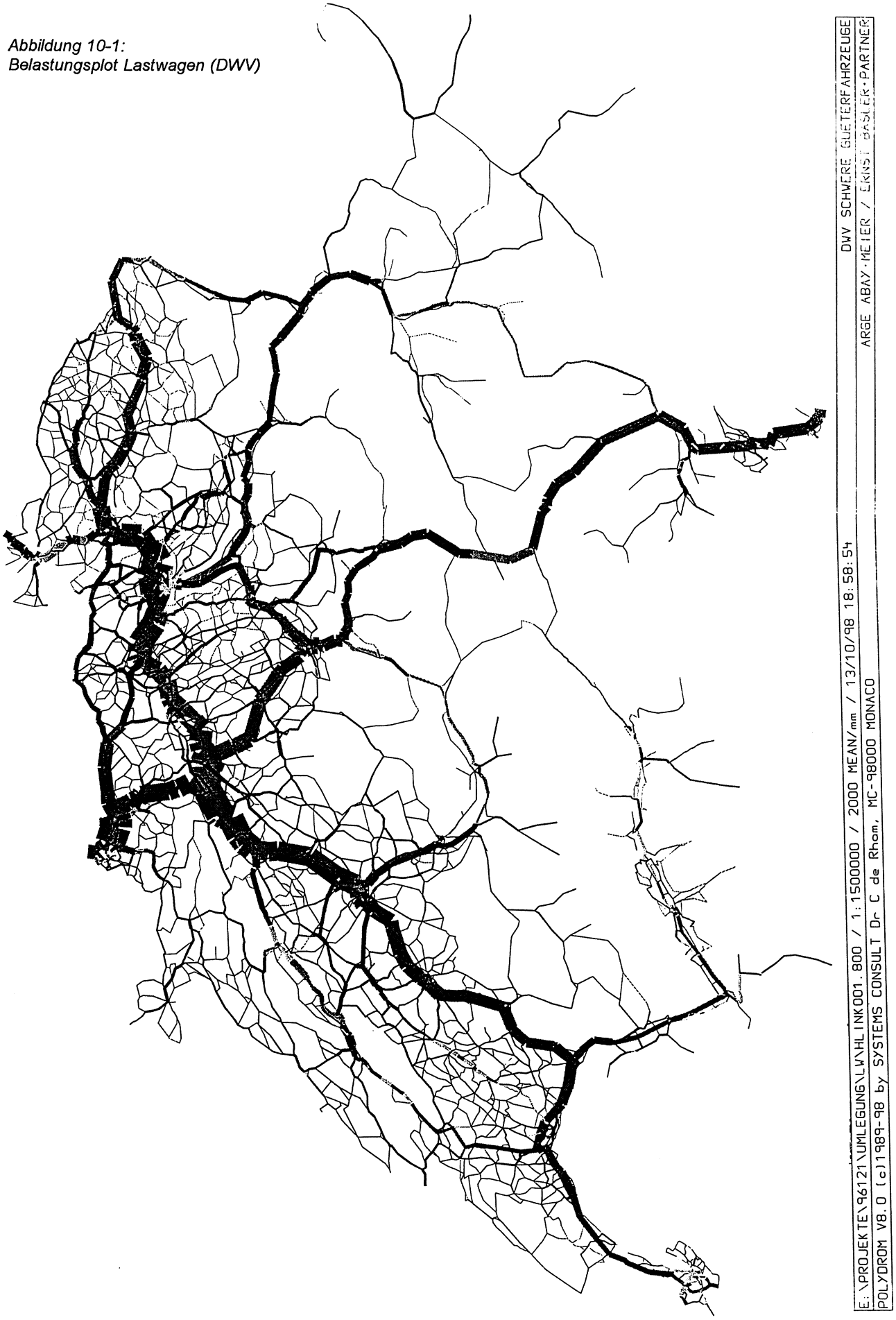


Abbildung 10-2:
Belastungsplot Lieferwagen (DWV)

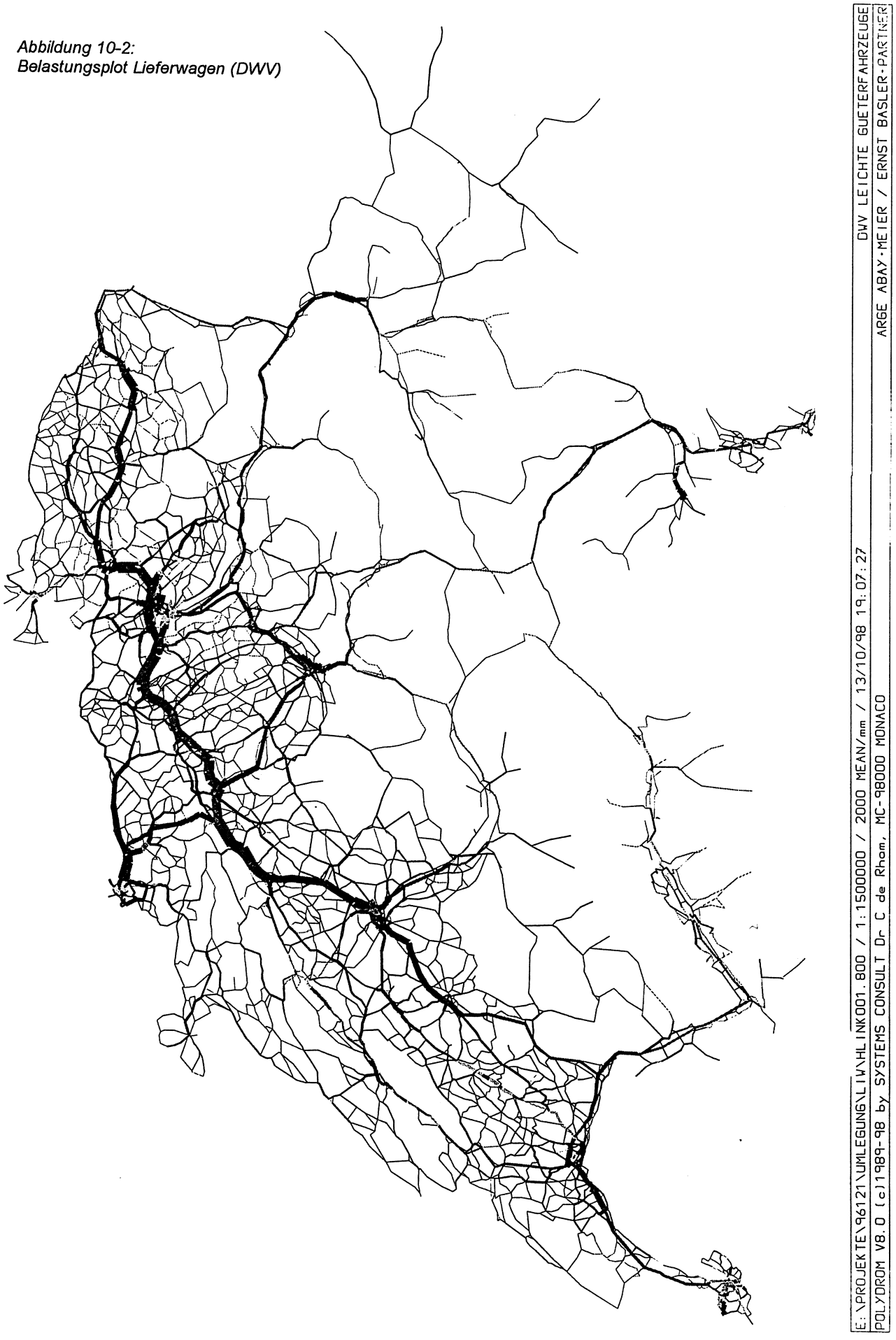


Tabelle 10-2:
Aufkommen und Fahrleistungen der Lieferwagen

Lieferwagen	Aufkommen in LIW/Tag	Fahrleistung in LIW-km/Tag	mittlere Distanz in km
Binnenverkehr CH	245'603	4'690'000	19

Die jährliche Fahrleistung der Lieferwagen beträgt im Modell 1'173 Millionen Fahrzeugkilometer, während der Vergleichswert in der GTS93 1'228 Millionen Fahrzeugkilometer beträgt. Dies ergibt eine Abweichung von -55 Mio Liw-km resp. -4.5 Prozent.

Bei den Lieferwagen wickelt sich 43 Prozent auf den Autobahnen und 57 Prozent auf den übrigen Strassen ab, was die typische Eigenschaft der Lieferwagen als Zulieferer in Agglomerationen verdeutlicht.

Die berechneten Belastungswerte auf der Strasse können mit den in Zählungen gemessenen Werten verglichen werden. Grundlage hierzu sind die vom Dienst GVF im POLYDROM-Format zur Verfügung gestellten UNO-Zählungen 1995 für Last- (Schwere Nutzfahrzeuge) und Lieferwagen für einen durchschnittlichen Werktag. Diese Zählungen sind allgemein anerkannt und die einzige Grundlage für eine Differenzierung nach Last- und Lieferwagen.

Die UNO-Zählungen 1995 wurden während 14 Stunden eines bestimmten Tages erhoben und danach anhand der Tages- und Jahresganglinien von vergleichbaren automatischen Ganzjahreszählern hochgerechnet. Dazu muss erwähnt werden, dass mit der 14-Stunden Zählung die frühen Morgenstunden, während denen ein beträchtlicher Teil des Schwerverkehrs abgewickelt wird, nicht gezählt werden und deshalb die hochgerechneten Werte mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind. Zudem ist es für die Personen, die die Zählungen durchführen, nicht einfach, die Fahrzeuge eindeutig in die einzelnen Klassen einzuordnen. Deshalb behaften vor allem die Zählungen der Lieferwagen, die besonders schwierig einzuordnen sind, die grösste Unsicherheit.

Die Differenz, die sich aus den jährlichen Unterschieden 1993 (Modell) zu 1995 (UNO-Zählungen) ergibt, ist nicht für die einzelnen Zählungen auszumachen. Einzige Vergleichsgrundlage für den Schwerverkehr sind die alljährlich erscheinenden Zählungen nach Längenklassen (LVC). Da bei diesen Zählungen aber nur nach Längenklassen unterschieden wird, ist es nicht möglich die Lieferwagen und die Lastwagen eindeutig zu bestimmen. Insbesondere für die Lieferwagen ist es nicht möglich, deren Anzahl aus den drei gemessenen Längenklassen zu ermitteln. Aber auch bei den Lastwagen kann die Anzahl nicht genau bestimmt werden, denn nicht nur die längste der Längenklassen der LVC-Zähler (über 12.5m) kann Lastwagen umfassen, sondern auch die mittlere (6.0 bis 12.5m). Die Unterschiede zwischen 1993 und 1995 dürften allerdings nicht grösser sein als die ohnehin zu erwartenden Ungenauigkeiten, die sich aufgrund der Hochrechnung ergeben. Die Kombination der Ungenauigkeiten ergibt allerdings vor allem bei den Lieferwagen eine grössere Unsicherheit bezüglich deren Repräsentativität.

Die Tabelle 10-3 zeigt den Vergleich zwischen den Modellwerten und den Zählungen an 20 charakteristischen Querschnitten im Strassennetz der Schweiz.

Tabelle 10-3:
Vergleich von UNO-Zählungen mit Modellwerten

		UNO-Zähler		Lastwagen			Lieferwagen		
				Belastung (DWV)		Abweichung	Belastung (DWV)		Abweichung
Strasse	ASB-Nr.	UNO-Nr.	Beschreibung	Zählwert	Modellwert	in %	Zählwert	Modellwert	in %
N1	93	ZH 700 N	Umfahrung Winterthur	6'863	7'759	13%	2843	2842	0%
N20	20	ZH 850 N	Umfahrung Zürich N, Affoltern	6'660	6'944	4%	5229	3593	-31%
N3	55	ZH 753 N	Richterswil	2'475	2'825	14%	1472	1380	-6%
N1	97	AG 971 N	Baden, Bareggtunnel	8'051	8'817	10%	4899	4414	-10%
T3	12	AG 70	Effingen	1'766	1'851	5%	684	645	-6%
N2	81	BL 705 N	Muttenz, Hard	11'618	10'344	-11%	5274	3617	-31%
N2	33	BL 766 N	Eptingen	6'925	6'471	-7%	2022	1852	-8%
N1	56	BE 944 N	Schönbühl, Grauholz	6'586	7'378	12%	3849	3491	-9%
N6	207	BE 754 N	Heimberg	2'024	2'592	28%	1516	1356	-11%
N2	159	LU 853 N	Emmenbrücke, Riffig	4'313	4'525	5%	2152	1248	-42%
N4	117	ZG 761 N	Hünenberg	2'937	3'455	18%	2274	1642	-28%
N2	156	NW 854 N	Seelisbergtunnel	2'786	2'542	-9%	509	426	-16%
N1	82	SG 154 N	Gossau	3'258	3'226	-1%	1879	1404	-25%
N7	122	TG 818 N	Frauenfeld	1'751	2'649	51%	716	1466	105%
N13	22	SG 216 N	Kriessern	1'780	1'830	3%	693	674	-3%
N3	53	GL 80 N	Kerenzerbergtunnel	1'845	2'292	24%	1034	924	-11%
N13	98	GR 250 N	Domat/Ems	1'435	1'483	3%	619	675	9%
N2	137	TI 860 N	Monte Ceneri Tunnel	3'350	3'544	6%	737	679	-8%
N2	150	UR 805 N	Gotthardtunnel	3'329	3'095	-7%	346	474	37%
N12	147	FR 808 N	Cont. de Bulle	1'915	3'895	103%	708	899	27%
N1	24	VD 4 N	Rolle	2'539	2'150	-15%	2203	1037	-53%
N9	165	VS 862 N	Martigny	1'605	1'716	7%	931	813	-13%
N5	121	NE 109 N	Colombier, Areuse	1'264	1'360	8%	1225	1006	-18%
T6	61	JU 999	Choindez	543	423	-22%	303	242	-20%

Die Modellbelastungswerte der Lastwagenumlegung stimmen grösstenteils gut mit den Zählwerten überein. Es gibt nur wenige Querschnitte mit mehr als 20 Prozent Abweichung. Ausnahmen sind die Querschnitte bei Bulle und Frauenfeld. Der Fehler bezüglich des Querschnittes bei Bulle entschärft sich, wenn der ganze Kordon zwischen Fribourg und Lausanne betrachtet wird, da auf der parallel verlaufenden T1 im Modell zu wenig Lastwagen verkehren. Die Abweichungen beim Querschnitt Frauenfeld sind auf einen Netzfehler zurückzuführen.

Die Modellbelastungswerte der Lieferwagenumlegung liegen meist etwas zu tief. Die Abweichungen sind generell grösser als bei den Lastwagen. Insbesondere die Querschnitte bei Frauenfeld, Bulle und am Gotthard sind nicht befriedigend.

Generell kann als Fazit geschlossen werden, dass die Umlegungsresultate der Lastwagen in Ordnung sind. Die Umlegungsresultate der Lieferwagen sind zwar befriedigend, die diversen bereits erwähnten Unsicherheiten behaften diese Resultate allerdings mit ein paar Fragezeichen. Vertiefte Untersuchungen wären in diesem Bereich auf jeden Fall angezeigt.

Eine weitere Analyse der Resultate zeigen die beiden Grafiken der Distanzklassenverteilungen für Last- und Lieferwagen. Der grösste Anteil der Fahrten liegt bei beiden Transportmitteln in den kurzen Distanzklassen zwischen 10 und 20 km. Bei den mittleren und langen Transportdistanzen über 25 km ist der Anteil der Lastwagen gegenüber den Lieferwagen erwartungsgemäss wesentlich grösser, was sich auch in der grösseren mittleren Transportdistanz von 34 km bei den Lastwagen gegenüber 19 km bei den Lieferwagen ausdrückt.

Abbildung 10-3:
Distanzklassenverteilung (5km-Intervall): 0-250 km, Aufkommen [Lastwagen/Jahr]

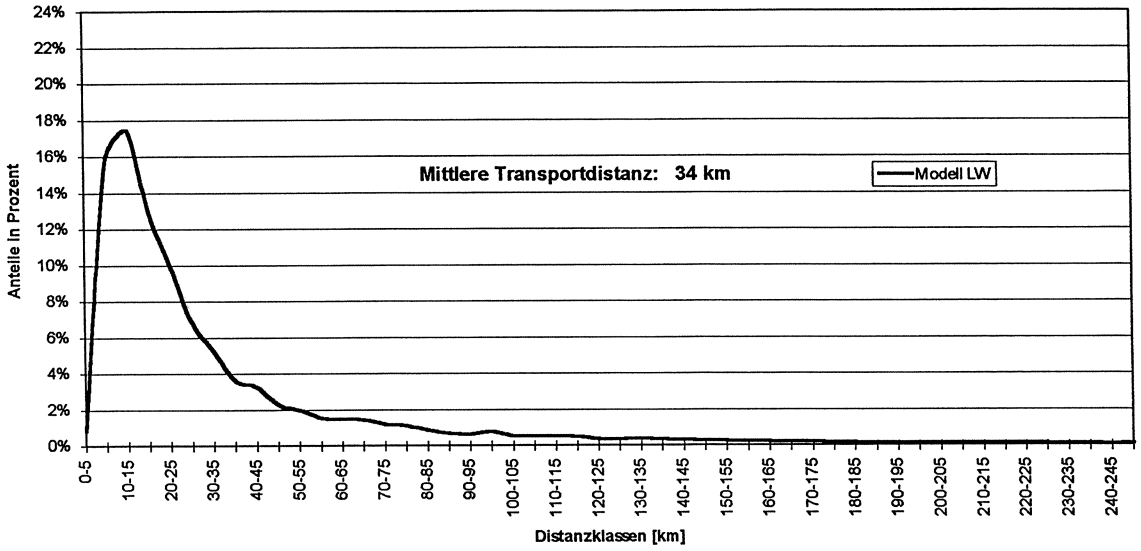
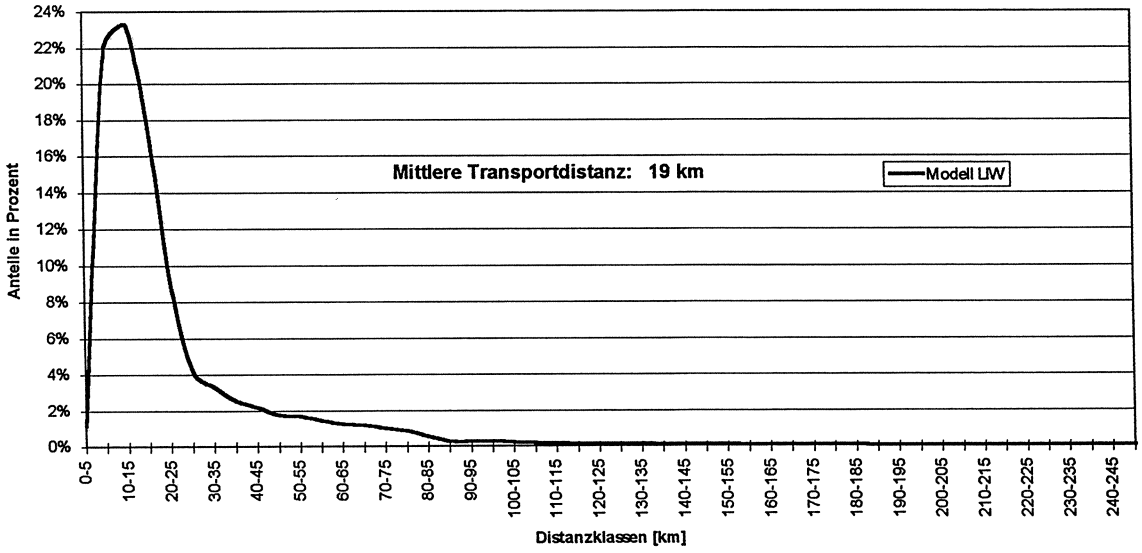


Abbildung 10-4:
Distanzklassenverteilung (5km-Intervall): 0-250 km, Aufkommen [Lieferwagen/Tag]



11 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Ziel des Forschungsauftrages war, auf der Grundlage der GTS93 ein massnahmensensitives und prognosefähiges Modell für den Strassengüterverkehr in der Schweiz (Binnenverkehr, Import, Export) zu entwickeln. Dabei verfolgte der Forschungsauftrag drei Ziele:

- Die **Ableitung von Gesetzmässigkeiten**
- Die **massnahmensensitive und prognosefähige Modellierung des Strassengüterverkehrs**
- Die modellmässige **Vervollständigung der (Stichproben-) Erhebung** GTS93

Bei der Modellierung des Strassengüterverkehrs stand der Bau des Potential- und Verteilmodells im Vordergrund. Sie wurden durch ein einfaches Umrechnungs- und Umlegungsmodell zum Gesamtmodell Strassengüterverkehr Schweiz ergänzt.

Die drei Ziele wurden überwiegend erreicht. Die abgeleiteten Gesetzmässigkeiten des Strassengüterverkehrs und seine Modellierung sind im vorliegenden Forschungsbericht dokumentiert. Die vervollständigte Strassengüterverkehrsmatrix kann bei der Arbeitsgemeinschaft bezogen werden. Einschränkungen bestehen im Hinblick auf die Massnahmensenitivität des Strassengüterverkehrsmodells. Die folgende Tabelle zeigt, in welchen Einsatzbereichen die Teilmodelle eingesetzt werden können.

Tabelle 11-1:
Einsatzbereiche für das Strassengüterverkehrsmodell

Modellschritte	*was tun damit?*	*notwendige Vorarbeiten/Prognosen*
Potentialmodell	regionale Veränderung in der Arbeitsplatzstruktur abbilden für einen befristeten Zeitraum Anhaltswerte für das Güterverkehrsaufkommen errechnen	Produktivitätsprognosen Arbeitsplatzprognosen nach Branchen und Regionen
Verteilmodell	warengruppenspezifische Generierung einer Güterverkehrsnachfragematrix aus zuvor ermittelter zonaler Güterverkehrserzeugung und -anziehung Beurteilung der Auswirkungen von Angebotsveränderungen im Strassengüterverkehr auf die Quell-Ziel-Verteilung	Zustand Strassennetz für Prognose (Verkehrsangebot: Geschwindigkeitsfunktionen für LW- und Lieferwagenverkehr sowie Kostenfunktionen für das Strassennetz)
Umrechnungsmodell	Auswirkung von Änderungen in der Güterverkehrsnachfrage auf Fahrzeugebene abbilden	Definition verkehrspolitischer Massnahmen zur Auslastung Vorgaben zu Elastizitäten zwischen Tonnagen und Fahrtenzahlen (Transportketten) im Strassengüterverkehr erarbeiten
Umlegungsmodell	Darstellung sämtlicher Streckenbelastungen im Strassennetz Auswirkungen von nachfrageabhängigen Angebotsveränderungen darstellen	

Vor dem Umrechnungsmodell wird ein mit dem Verteilmodell verknüpftes Expansionsmodell eingeschaltet.
Das Umlegungsmodell dient zur groben Überprüfung der aus den vorigen Modellschritten ermittelbaren Fahrzeugbewegungen.

Die Tabelle vermittelt einen Eindruck der möglichen Einsatzbereiche, ohne diese abschliessend aufzuzählen. Weitere Anwendungen können möglich sein und sind im

Einzelfall zu prüfen. Die Dokumentation des Modells in den vorhergehenden Kapiteln bildet dafür die Grundlage.

Die GTS93 bildete die wichtigste Basis für die Ableitung der Gesetzmässigkeiten. Sie bestimmte deshalb den Aufbau des Modells bezüglich Anzahl Zonen und Waren- resp. Gütergruppen. Eine Zoneneinteilung der Schweiz in 106 MS-Regionen und sieben Gütergruppen (sie können aus den 10 NST/R-Kapiteln abgeleitet werden) war für das Verteilmodell möglich und sinnvoll. Die NOGA-Daten (Beschäftigtenzahlen) erlaubten für das Potentialmodell eine differenziertere Warengruppenunterscheidung (15 Warengruppen, die aus den 24 Eurostat-Warengruppen abgeleitet werden können).

Aus der Stichproben-Erhebung GTS93 können Wunschlinien auf verschiedenen Aggregationsniveaus abgeleitet werden (Anzahl Warengruppen, Anzahl Zonen). Diese Wunschlinien können jedoch erst auf höheren Aggregations-Niveaus als Näherung für die wirklichen Wunschlinien betrachtet werden (Problem der unechten Nullen). Eine Vervollständigung auf einem tieferen Niveau (mit einem mono-modalen Modell oder durch eine differenziertere Hochrechnung) ist dann notwendig, wenn sie als Grundlage für ein gesamtmodales Güterverkehrsmodell verwendet werden soll.

Der gewählte Modellaufbau mit fünf Teilmodellen (Potentialmodell, Verteilmodell, Expansionsmodell, Umrechnungsmodell und Umlegungsmodell) ermöglicht die gewünschte räumliche Disaggregation der Wunschlinien und erlaubt eine gute Nachbildung des Strassengüterverkehrs.

Die ausgewählten Erzeugungs- und Anziehungsfunktionen des Potentialmodells erklären das Güterverkehrsaufkommen der wichtigsten Warengruppen gut bis sehr gut. Ausnahmen sind der Versand der Warengruppe "feste mineralische Brennstoffe, rohes Erdöl, Mineralölerzeugnisse" und der Empfang der Warengruppe "Steine und Erden". Als erklärende Variablen enthalten die Funktionen Beschäftigte (differenziert nach verschiedenen Branchen). Die gefundenen Koeffizienten sind plausibel und signifikant, sie stellen jedoch eine Momentaufnahme dar. Die Prognosefähigkeit der Ansätze wird dadurch eingeschränkt. Alle Funktionen enthalten ein konstantes Glied, auch dieses schränkt die Prognosefähigkeit ein. Bei der Anwendung der Funktionen muss immer ihr Gültigkeitsbereich beachtet werden. Leider konnten keine Wirtschaftsvariablen als erklärende Variablen getestet werden, da diese nicht in der notwendigen räumlichen Disaggregation verfügbar sind. Sobald solche Variablen differenziert nach MS-Regionen verfügbar sind, sollten neue Ansätze getestet werden.

Für den Binnenverkehr, den Import und den Export konnten für sieben Gütergruppen Verteilfunktionen (Gravitationsansatz mit der Fahrzeit als Widerstand) aus der GTS93 abgeleitet werden. Die ermittelten Exponenten des Widerstands sind plausibel. Sie schwanken zwischen 1,7 und 2,2; bei der Gütergruppe V „Steine und Erden" mit einem grossen Anteil an kurzen Transporten beträgt der Exponent 3,7. Die Verteilung der Güterverkehrspotentiale erfolgt zwischen den 106 MS-Regionen. Demzufolge ist der Anteil des Zonnenbinnenverkehrs (MS-internen Verkehr) bei allen Gütergruppen sehr gross. Eine feinere Zoneneinteilung wäre wünschbar, war aber mit der zur Verfügung stehenden Datengrundlage (Stichprobe GTS93) nicht sinnvoll. Für den Import und den Export wurde der Grenzübertritt als zweiter Endpunkt des Transports betrachtet. Der Charakteristik des Import- und Exportverkehrs (längere Transportdistanzen) wurde mit eigens für diesen Verkehr kalibrierten Exponenten des Widerstandes Rechnung getragen.

Die Expansion der Wunschlinen zwischen den MS-Regionen auf Wunschlinen auf dem Niveau GVF-Zonen war notwendig. Die Aufteilungsfaktoren wurden aus den erklären-

den Variablen des Potentialmodells abgeleitet (gewichtetes Zusammenführen der Variablen der Erzeugung und der Anziehung) und für die Aufteilung des Versands und des Empfangs verwendet. Dadurch ergeben sich gewisse Ungenauigkeiten, die jedoch bei einer gesamtschweizerischen Anwendung nicht ins Gewicht fallen dürften. Für regionale Anwendungen sind vertieftere Untersuchungen angezeigt.

In einem einfachen Umrechungsmodell werden die Tonnenströme in Fahrzeugströme (Last- resp. Lieferwagen) umgerechnet. Das Modell und die ermittelten Gesetzmässigkeiten sind für gesamtschweizerische Anwendungen genügend detailliert. Für disaggregiertere Anwendungen (z.B. auf regionaler Ebene) müssen sie jedoch verfeinert werden. Allerdings ist es fraglich, ob alle dafür notwendigen Informationen aus der GTS93 ermittelt werden können.

Die Fahrzeugbewegungen werden entsprechend dem Bestweg (kürzeste Zeit) auf das Strassennetz umgelegt. Die Bestwegumlegung entspricht dem Charakter des Güterverkehrs und liefert im Kordon für die Lastwagen eine gute Übereinstimmung von Modellbelastungen und gezählten Fahrzeugen. Für den Lieferwagenverkehr sind weitere Untersuchungen angezeigt, um genauere Belastungsresultate liefern zu können. Für detailliertere Untersuchungen sollte auch der Modellansatz für die Lastwagen feiner kalibriert werden (differenzierte Geschwindigkeiten für Lastwagen, generalisierte Kosten als Widerstand etc.).

Bei den Lieferwagen wurde in der GTS93 - abweichend zu den schweren Nutzfahrzeugen - nur ein Fünftel des gesamten Bestandes erhoben. Erhöhte Amplituden und Schwankungen der Korrekturfaktoren für die Antwortneigungen deuten (in der GTS93) darauf hin, dass mit der gewählten Art und Weise der Erhebung die heterogenen Strukturen des Güterverkehrs mit Lieferwagen nicht vollumfänglich erfasst werden können. Diese Erkenntnis aus der GTS93 wird durch die Umlegungsergebnisse für die Lieferwagen bestätigt. Bei zukünftigen Gütertransporterhebungen sollte deshalb die Stichprobe bei den Lieferwagen erhöht werden.

In der Forschungsarbeit ist es gelungen, eine Wunschlinienmatrix für den Strassengüterverkehr (in Tonnen) zu generieren und ein Modell für den Strassengüterverkehr zu etablieren. Damit ist einerseits die Grundlage für die Ableitung eines gesamtmodalen Modells gegeben resp. liegt anderseits ein Modell für den Strassengüterverkehr vor, das als Hilfsmittel für die Beantwortung von übergeordneten Fragestellungen des Güterverkehrs verwendet werden kann.

Der vorliegende Forschungsbericht enthält alle abgeleiteten Gesetzmässigkeiten. Diese sind nicht an eine bestimmte Verkehrsmodellsoftware gebunden. Jeder Modellbauer kann mit ihnen sein eigenes Strassengüterverkehrsmodell etablieren. Der Dienst GVF stellt dafür - sofern bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind - ein gesamtschweizerisches Strassennetz zur Verfügung. Eine Strassengüterverkehrsmatrix auf der Basis Tonnen pro Jahr für sieben Gütergruppen und auf der räumlichen Aggregationsstufe MS-Region[30] kann auf elektronischem Datenträger bei der Forschungsstelle gegen eine Schutzgebühr bezogen werden.

---

[30] Vgl. dazu auch Tabelle 4-1.

12 Literaturverzeichnis

Abdelwahab, W. "A Simultaneous Decision-Making Approach to Model the Demand for Freight Transportation". Canadian Journal of Civil Engineering 17.6 (1991): 515-520.

Abdelwahab, W., und M. Sargious. "Modelling the Demand for Freight Transport". Journal of Transport Economics 26.1 (1992).

Anas, A. "Discrete Choice Theory, Information Theory and the Multinominal Logit and Gravity Models". Transportation Research 17B.1 (1983): 13-23.

Bundesamt für Statistik. Gütertransporte auf der Strasse, Erhebung 1993. Statistik der Schweiz, 11 Verkehr und Nachrichtenwesen. Bern: 1996.

Chiang, Y. S., P. O. Roberts und M. Ben-Akiva. "Short-Run Freight Demand Model: Joint Choice of Mode and Shipment Size". Transportation Research Record 828 (1982).

COWIconsult. Goods Transport in Danish towns. Potentials for Rationalisation of Transports and Reduction of Environmental Impact, Energy Consumption and Traffic Accidents. January 1994.

Eidg. Kommission für die Schweizerische Gesamtverkehrskonzeption. Gesamtschweizerisches Güterverkehrsmodell, Aktualisierung des Umrechnungs- und Umlegungsmodells Güterverkehr. GVK-CH, Auftrag Nr. 91. Bern: 1977.

Eidg. Kommission für die Schweizerische Gesamtverkehrskonzeption. Leitstudie GVK III. Teil, Güterverkehr und Überlagerungen mit dem Personenverkehr. Bern: 1976.

Erlander, Sven und Neil F. Stewart. The Gravity Model in Transportation Analysis: Theory and Extentions. Utrecht: VSP, 1990.

Feldner, Hans. "Methodische Untersuchungen über disaggregierte Modellansätze im Güterverkehr". Prognose im Güterverkehr: Kurs I/82. Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft, Reihe B: Seminar, B 63 (1982).

Feldner, Hans. Disaggregierte Modellanalyse der Güterverkehrsnachfrage zur Prognose der Auswirkungen verkehrspolitischer Massnahmen. Ottobrunn b. München, 1982.

Giannopoulos, G.A. "Freight Transport Demand: Some Approaches to Model Building". International Journal of Transport Economics 8.1 (1981).

Giannopoulos, G.A. "Modelling International Freight Transport for Greece". International Journal of Transport Economics 11.1 (1984).

Gwilliam, K. Ch., und P. J. Mackie. Economics and Transport Policy. London: Allen & Unwin, 1975.

Harker, Patrick T. Predicting Intercity Freight Flows. Diss. Univ. of Pennsylvania, 1983, Rev. Version. Utrecht: VNU Science Press, 1987.

Harker, Patrick.T. "Predictive Intercity Freight Models: State of the Art". Transportation Research 17A.6 (1983).

Hautzinger, Heinz. "Vorhersage überregionaler Ströme von Fahrzeugen des Güterverkehrs: Neue Modellansätze". Proceedings of the 9. Intern. Symposium on Transportation and Traffic Theory in Den Haag. Utrecht: VNU Science Press, 1984.

Herry/IPE/Kessel & Partner. Österreichischer Bundesverkehrswegeplan, R2-Güterverkehr in Österreich im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr.

Hidber, Carl, und C. Biniek. Ein systemdynamisches Simulationsmodell des alpenquerenden Güterverkehrs. Bericht des IVT der ETH Zürich. Zürich, 1987.

Hidber, Carl, und Eugen Meier. Eichung und Validation eines Umlegungsmodells für den Strassengüterverkehr: Bericht II der Studie Marc Aurelius. Schriftenreihe des IVT Nr. 62. Zürich: IVT, 1986.

Inaba, F.S., M. Genç, und N.E. Wallace. "From Disaggregate Mode-Destination-Quantity Decisions to Predictions of Aggregate Freight Flows". International Journal of Transport Economics 21.3 (1994).

Ingenieurgruppe IVV-Aachen. COST 321, Urban goods transport. Meeting of Working Group B on 14. June 1996 in Cologne.

Jeffs, V., und P. Hills. "Determinants of Modal Choice in Freight Transport: A Case Study". Transportation 17.1 (1990).

Jenni + Gottardi AG. Güterverkehrsmodell Kanton Zürich GüV-ZH. Juli 1998.

Laboratoire d'Economie des Transport, Lyon. An attempt at modelisation of goods transport in urban area. Unterlage zum COST-321-Meeting der Gruppe B in Brüssel vom 31.10.1996.

Lalwani, C. et al. "Modelling Freight Traffic". Longer Term Issues in Transport. Proceedings of a Research Conference, 1991, Aldershot (UK). pp 131-160.

Mäcke, Paul A. „Planungsmodell für den Güterverkehr". Prognose im Güterverkehr: Kurs I/82. Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft, Reihe B: Seminar, B 63 (1982).

Meier, Eugen. "Güterverkehr". Verkehrskonzepte und Standorttheorie, Vorlesungsskript am IVT der ETH Zürich (1994): Kap. 4 1-48.

Meimbresse, Bertram und Thomas Haupt, Norbert Bieling. „WIVER - Ein Berechnungsmodell für den städtischen und regionalen Wirtschaftsverkehr". Strassenverkehrstechnik 11/96.

Memmott, Frederik W. Application of Statewide Freight Demand Forecasting Techniques. National cooperative Highway Research Program: Report 260. Washington D.C.: Transportation Research Board, 1983.

PLANCO Consulting GmbH. Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen, Bewertungsverfahren für den Bundesverkehrswegeplan 1992. Bundesminister für Verkehr, Schriftenreihe Heft 72, 1993.

Prins, V. und Schultheis, M. "A Disaggregate Model of Intercity Freight Transport Demand". Control in Transportation Systems (1986). Proceedings of the 5th IFAC/IFIP/IFORS Conference, Vienna, Austria, 8-11 July 1986. pp 129-135.

Rapp, Matthias, und Beat Greuter. Bestimmungsgrössen der Verkersmittelwahl im Güterverkehr. SVI-Forschungsauftrag 6/86. Basel, 1988.

Ross, P. "Modeling Traffic Flow". Public Roads 1987/12, Vol 51. FHA, Washington D.C., pp 90-96.

Sammer, Gerd. Untersuchung zur Verkehrsmittelwahl im Personenverkehr. Bundesministerium für Bauten und Technik. Strassenforschung, Heft 179.

Sargious, M. und Tam, T. "Data Disaggregation Procedure for Calibrating a Logit Model for Intercity Goods Movement". Transportation Planning Technology 1985/12, Vol 10, London. pp 165-175.

Sonntag, Herbert, Bertram Meimbresse und Uwe Castendiek. "Anforderungen und Möglichkeiten des Wirtschaftsverkehrsmodells WIVER". Internationales Verkehrswesen 48.1/2 (1996): 28-34.

Sonntag, Herbert, Bertram Meimbresse, und Uwe Castendiek. Entwicklung eines Wirtschaftsverkehrsmodells für Städte. Hg. Bundesanstalt für Strassenwesen. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Heft V 33. Bremerhafen: Wirtschaftsverlag NW, 1996.

Spelthahn, Sabine, Ulrich Schlossberger und Ulrich Steger. Umweltbewusstes Transportmanagement. Bern: Haupt, 1993.

Switaiski, B., und P.A. Mäcke. Untersuchung der Verkehrsteilung im Güterverkehr zur Verbesserung und Quantifizierung vorliegender Modellansätze. Hg. Bundesminister für Verkehr. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 437. Bonn-Bad Godesberg, 1985.

Tae-Hoon, O. "Alternative Demand Models and their Elasticity Estimates": Journal of Transport Economics and Policy, 1989/05, vol 23, Bath. pp 163-187.

Tamen, O. und Willumsen, L. "Freight Demand Model Estimation from Traffic Counts". Transport Planning Methods. Proceedings of Seminar D held at the 16th PTRC Transport and Planning Summer Annual Meeting, University of Bath, England, From 12-16 September 1988. pp 253-265.

Tavasszy, Lorant A. "The Multimodal Distribution of Goods in Europe". Hg. Piet H.L. Bovy. Transportation Modelling for Tomorrow: Rudi-mental Contributions. Delft: University Press, 1996. 23-52.

Tavasszy, Lorant A. Characteristics and Capabilities of Dutch Freight Transportation System Models. Santa Monica, CA.: Rand, 1994

Visser, J.G.S.N., und A.J. van Binsbergen. Modelling freight transport in cities. TRAIL Research School Delft. Delft, May 1996.

Vörös, A. "New Developments in Freight Transportation Modelling on National and International Level". Hg. World Conference on Transport Research Society. Transport Policy, Management and Technology Towards 2001. Vol II, The Changing Transport Industry and Technological Innovation in Transport. Selected Proceedings of the Fifth Conference on Transport Research, Yokohama 1989. Ventura, CA: Western Periodical Co., 1989. 579-593.

Winston, C. "A Disaggregate Model of the Demand for Intercity Freight Transportation". Econometrica 49.4 (1981).

Winston, C. "The Demand for Freight Transportation: Models and Applications". Transportation Research 17A.6 (1983).

13 Abkürzungen, Begriffe

kursiv *Kursiv gesetzte Ausdrücke sind ebenfalls als definierte Begriffe zu finden.*

Bestimmtheitsmass R^2	Mass für die Güte einer Regressionsfunktion und liegt immer zwischen 0 und 1.
Binnenverkehr	*Verkehr*, der Quelle und Ziel im Bezugsgebiet hat. Für den Güterverkehr eines Landes umfasst er den *lokalen Güterverkehr* und den *Ueberlandverkehr.*
Durchschnittlicher Täglicher Verkehr (DTV)	Summe aller Fahrzeuge, die einen Strassenquerschnitt während eines Jahres durchfahren, dividiert durch 365.
Durchgangsverkehr	Gebietsfremder Verkehr, der weder Quelle noch Ziel im Bezugsgebiet hat.
Durchschnittlicher Werktagsverkehr (DWV)	Summe aller Fahrzeuge, die einen Strassenquerschnitt an den Werktagen (Montag bis Freitag) durchfahren, dividiert durch die Zahl der Werktage.
Export	Verladene Güter mit Beladeort in der Schweiz und Entladeort im Ausland.
Eurostat-Warengruppen	Siehe *Warenart.*
Fahrleistung	Summe der von Fahrzeugen gefahrenen Kilometern bezogen auf eine bestimmte Zeitspanne.
Fahrroute	Tatsächlich zurückgelegter Weg.
Fahrt, einfache	Die gesamte Ladung einer einzigen *Warengruppe* wird von einem Einladeort direkt zum Ausladeort transportiert.
Fahrt, zusammengesetzte	Einzelne Teilladungen, die zu mehreren *Warengruppen* gehören können, werden auf einer Tour von einem oder mehreren Einladenach verschiedenen Ausladeorten transportiert.
Gesamtgewicht, zulässiges	Das von Rechtes wegen höchstzulässige Gewicht des Fahrzeugs, mit Einschluss der Ladung (und der Insassen).
GTS93	Erhebung der Gütertransporte auf der Strasse 1993.
Gütergruppen	Siehe *Warenart.*

Güterverkehr	Raumüberbrückung oder Ortsveränderung von Gütern mit Hilfe von Verkehrsmitteln. Güterverkehr umfasst ausserbetriebliche Transporte und Warentransporte mit Fahrzeugen zum Endverbraucher (ohne Einkaufsverkehr).
Güterverkehr, lokaler	Transporte innerhalb eines zusammenhängenden Siedlungsgebietes (Ortschaft, Agglomeration).
GVF-Zone	Räumliche Einteilung der Schweiz in 1'113 Zonen, die sich aus einer oder mehreren Gemeinden zusammensetzen können.
"Haus-zu-Haus"-Verkehr	Direkter Verkehr vom Verlader zum Empfänger ohne Wechsel des Verkehrsmittels.
Import	Verladene Güter mit Beladeort im Ausland und Entladeort in der Schweiz.
Knotenpunktverkehr	Massentransport von Güterströmen vom Grossverlader oder Terminal zum Grossempfänger, bzw. Terminal.
Lastwagen	Nutzfahrzeug über 3,5 t *Gesamtgewicht*.
leichte Nutzfahrzeuge	Fahrzeuge mit einem *Gesamtgewicht* <3,5 Tonnen und einer *Nutzlast* >1 Tonne.
leistungsgewichtete Auslastung	Division der *Transportleistung* in tkm durch die zugehörige totale *Fahrleistung* in Fzkm.
Lieferwagen	Nutzfahrzeug bis 3,5 t *Gesamtgewicht*.
Lokalverkehr	Erhebungstechnische Bezeichnung der *GTS93*. Transporte innerhalb einer Ortschaft oder Stadt und der unmittelbar angrenzenden Vororte, die ein zusammenhängendes Siedlungsgebiet bilden.
mittlere Ladung pro Fahrzeugkilometer	Division der *Transportleistung* (tkm) durch die zugehörige *Fahrleistung* (km).
Modal Split	Siehe *Verkehrsteilung*.
MS-Region	Einteilung der Schweiz in 106 Regionen, die nach Grösse und Einwohnerzahl nicht allzu stark voneinander abweichen und in der Regel dem Einzugsgebiet eines kleinen zentralen Ortes entsprechen.
Netzelemente	Strecken, Knoten, Haltestellen oder andere Teile eines Netzes.

NOGA	Nomenclature Générale des Activités économique; eine hierarchisch gegliederte Systematik der Beschäftigten.
NST/R-Kapitel	Siehe *Warenart*.
Nutzlast	Differenz zwischen *zulässigem Gesamtgewicht* und Leergewicht.
Quellverkehr	*Verkehr*, dessen Quelle innerhalb eines gewählten Bezugsgebietes liegt und der davon ausströmt.
Sammel- und Verteilverkehr	Sammeln und Verteilen vieler kleiner Ladungseinheiten über alle Entfernungsbereiche.
schwere Nutzfahrzeuge	Fahrzeuge zum Gütertransport mit einem *Gesamtgewicht* <3,5 Tonnen und einer *Nutzlast* >1 Tonne.
Sendung	Gütermenge, die in einem Mal für einen Auftraggeber von einem Ladeplatz zu einem Löschplatz für einen Empfänger transportiert wird.
Simulation	Abstrahierende Darstellung von Sachverhalten, deren Zusammenhänge und Abläufe mittels mathematisch formulierter Modelle aufgezeigt werden können.
Transitverkehr	Das Bezugsland durchfahrender Verkehr, der weder Quelle noch Ziel innerhalb des Bezugslandes hat.
Transport	Siehe *Verkehr*.
Transportkette	Beim Güterverkehr versteht man unter der Transportkette die Folge von technisch und organisatorisch miteinander verknüpften Vorgängen, bei denen Güter von einer Quelle (Versender) zu einem Ziel (Empfänger) bewegt werden. Transportketten können definiert werden durch die Ein-, Um- und Ausladestellen sowie die verwendeten Verkehrsmittel.
Transportleistung	(Tonnenkilometer) Produkt aus transportiertem Gewicht und der Distanz zwischen Ein- und Ausladeort.
Überlandverkehr	Erhebungstechnische Bezeichnung in der GTS93. Transporte im *Binnenverkehr*, die über das für den Lokalverkehr umschriebene Gebiet hinausreichen.

Untersuchungsgebiet	Definiertes Gebiet, welches der Untersuchung zugrunde gelegt wird.
Verkehr	Ortsveränderung von Personen, materiellen Gütern oder Nachrichten, ungeachtet der Art der Fortbewegung. Alle eine Ortsveränderung einschliessenden Vorgänge im gesellschaftlichen System.
Verkehrserzeugung	Pro Zeiteinheit zu transportierende Personen oder Güter, die aus einem Bezugsgebiet stammen.
Verkehrsbeziehungen	(= Wunschlinien). Gerade Linien, die Quelle und Ziel der *Fahrten* untereinander verbinden.
Verkehrsaufkommen	Anzahl Personen, Güter (Tonnen) oder Fahrzeuge pro Zeiteinheit und betrachteten Durchflussquerschnitt.
Verkehrsleistung	Siehe *Transporleistung*.
Verkehrsteilung	(= Modal Split). Aufteilung von Fahrten oder *Verkehrsbeziehungen* auf verschiedene Verkehrsträger resp. Verkehrsmittel. Meistens bezeichnet der Modal Split den Anteil des öffentlichen Verkehrs.
Verkehrsumlegung	Belasten von Strassen mit *Verkehrsbeziehungen (Wunschlinien)*.
Verkehrsverteilung	Aufteilung des *Verkehrs* nach Quell- und Zielzonen.
VIS-/VTS-Warengruppen	Zusammenfassung der transportierten Waren zu 20 Warengruppen, die von den SBB verwendet wird (Verkaufsinformationssystem / Verkehrsträgerstatistik).
Warenart	Die transportierten Waren können auf verschiedene Arten strukturiert werden. In der GTS93 wurde eine Einteilung in 20 Eurostat-Warengruppen verwendet, die in die Klassifizierung entsprechend der revidierten Fassung der europäischen NST/R-Systematik (NST/R-Kapitel) übergeführt werden kann. Für das Potentialmodell werden die 20 Eurostat-Warengruppen zu 15 Warengruppen zusammengefasst. Die NST/R-Kapitel können zu sieben Gütergruppen zusammengefasst werden, die im Verteil-, Expansions- und Um-

	rechnungsmodell verwendet werden.
Warengruppe	Siehe *Warenart*.
Wunschlinien	Siehe Verkehrsbeziehungen.
Zielverkehr	*Verkehr*, dessen Ziel innerhalb des gewählten Bezugssystems liegt und der von aussen in dieses einströmt.

Anhänge

A Ausgewählte Modellansätze für die Verkehrserzeugung

B Ausgewählte Modellansätze für die Verkehrsanziehung

C Distanzklassenverteilung auf Basis MS-Regionen:
Vergleich Modell mit GTS93

D Distanzklassenverteilung auf Basis GVF-Zonen:
Vergleich Modell mit GTS93

Anhang A Ausgewählte Modellansätze für die Verkehrserzeugung

Nachfolgend werden die für die Verkehrserzeugung ausgewählten Modellansätze je Warengruppe dargestellt. Neben den Gleichungen sind auch die entsprechenden t-Statistiken aufgeführt. Alle aufgeführten Koeffizienten sind bei einer Vertrauensgrenze von 95% signifikant. Auch die Werte der Durbin-Watson Tests sind befriedigend.

Warengruppe 1: Getreide, Kartoffeln, Tiere, Zuckerrüben

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B1	Beschäftigte in der Landwirtschaft	15.456429	4.480	0.000
B35	Grosshandel mit Nahrungsmitteln	124.041871	13.155	0.000
	(Constant)	-18846.71796	-2.094	.0387

N of Cases =	106
Multiple R	.82846
R Square	.68635
Adjusted R Square	.68026
Durbin-Watson Test =	1.75980

Warengruppe 2: Holz

Alle Variablen logarithmiert: abhängige Variable: LV2 (Log Versand Holz)

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
LB11	Log Holzplatten, Holzwaren	.670541	7.881	0.000
LB2	Log Beschäftigte in der Holzwirtschaft	.327421	4.333	0.000
	(Constant)	2.449774	10.886	.0000

N of Cases =	100
Multiple R	.72135
R Square	.52035
Adjusted R Square	.51046
Durbin-Watson Test =	1.76313

Warengruppe 3: Spinnstoffe, Textilabfälle

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B7	Nahrungsmittel + Futtermittel	20.866613	3.246	.0016
B45	Grosshandel mit Altmaterial	959.011454	2.718	.0077
	(Constant)	24116.895669	4.307	.0000

N of Cases =	106
Multiple R	.47762
R Square	.22812
Adjusted R Square	.21313
Durbin-Watson Test =	1.49451

Warengruppe 4: Andere Nahrungs- und Futtermittel

Alle Variablen logarithmiert: ahängige Variable: LV4 (Log Versand Andere Nahrungs- und Futtermittel)

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
LB7	Log Nahrungsmittel + Futtermittel	.496680	7.698	.0000
LB35	Log Grosshandel mit Nahrungsmitteln	.367917	5.224	.0000
	(Constant)	3.059536	28.994	.0000

N of Cases =	106
Multiple R	.89292
R Square	.79730
Adjusted R Square	.79337
Durbin-Watson Test =	2.24443

Warengruppe 5: Feste und flüssige mineral. Brennstoffe

Es konnte keine Funktion gefunden werden.

Warengruppe 6: Eisen und andere Erze, Schrott

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B28	Rückgewinnung von Schrott	1076.174433	7.688	.0000
B44	Grosshandel mit sonst. Halbwaren	155.164109	2.773	.0066
	(Constant)	10453.155828	1.993	.0489

N of Cases =	106
Multiple R	.70459
R Square	.49644
Adjusted R Square	.48666
Durbin-Watson Test =	1.59796

Warengruppe 7: Eisen-Stahl

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B20	Roheisen, Stahl, NE-Metalle, Rohre	151.001270	8.376	.0000
B42	Grosshandel mit Eisenwaren	278.645248	7.193	.0000
	(Constant)	15876.148777	2.495	.0142

N of Cases =	106
Multiple R	.75976
R Square	.57724
Adjusted R Square	.56903
Durbin-Watson Test =	

Warengruppe 8: Zement, Kalk

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B17	Zement	1308.860181	2.084	.0397
B18	Erzeugnisse aus Beton und Zement	884.072243	3.246	.0016
B30	Hoch- und Tiefbau	77.037723	3.333	.0012
B41	Grosshandel mit Holz, Baustoff	635.785385	.439	.0165
B6	Gewinnung von Kies und Sand	1170.395823	2.080	.0401
	(Constant)	161585.25134	4.057	.0001

N of Cases =	106
Multiple R	.75616
R Square	.57178
Adjusted R Square	.55037
Durbin-Watson Test =	1.83368

Warengruppe 9: Steine, Erden

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B5	Gewinnung von Kalkstein, Gips	56982.000654	4.479	0000
B6	Gewinnung von Kies und Sand	3487.477184	2.663	.0090
B19	Bearbeitung von Natursteinen	5694.270291	6.925	.0000
B41	Grosshandel mit Holz, Baustoff	1706.932723	3.898	.0002
	(Constant)	383437.41073	4.757	.0000

N of Cases =	106
Multiple R	.79931
R Square	.63890
Adjusted R Square	.62460
Durbin-Watson Test =	1.59590

Warengruppe 10: Chemische Erzeugnisse

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B13	Beschäftigte in der chemischen Industrie	27.532688	10.058	.0000
B14	Gummi und Kunststoffwaren	66.329243	3.402	.0010
B39	Grosshandel mit Mineralöl	153.211304	2.226	.0282
	(Constant)	26614.088452	3.534	.0006

N of Cases =	106
Multiple R	.76752
R Square	.58908
Adjusted R Square	.57700
Durbin-Watson Test =	1.69625

Warengruppe 11: Zellstoffe, Altpapier

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B12	Holzstoff, Papier, Karton, Papierwaren	43.227774	6.267	.0000
B45	Grosshandel mit Altmaterial	704.664567	5.308	.0000
	(Constant)	4261.498560	2.088	.0393

N of Cases =	106
Multiple R	.67342
R Square	.45350
Adjusted R Square	.44288
Durbin-Watson Test =	2.21200

Warengruppe 12: Fahrzeuge, Maschinen

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B22	Maschinen, Werkzeugmasch., Landwirtmasch	32.390997	6.751	.0000
B33	Handel mit Automobilen	262.631163	3.908	.0002
B46	Grosshandel mit Maschinen	20.585256	2.706	.0080
	(Constant)	23700.244353	3.688	.0004

N of Cases =	106
Multiple R	.83869
R Square	.70340
Adjusted R Square	.69467
Durbin-Watson Test =	1.49679

Warengruppe 13: Metall- und Glaswaren

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B38	Grosshandel mit sonst. Verbrauchsgütern	19.054592	4.764	.0000
B15	Glas und Keramikwaren	133.958230	5.578	.0000
B40	Grosshandel mit Erzen, Metallen	89.476839	2.308	.0230
	(Constant)	10101.744301	3.327	.0012

N of Cases =	106
Multiple R	.77536
R Square	.60118
Adjusted R Square	.58945
Durbin-Watson Test =	1.52674

Warengruppe 14: Leder, Textilien

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B10	Ledererzeugung und Lederwaren	269.341753	2.093	.0388
B36	Grosshandel mit Textilien	763.612687	4.203	.0001
B37	Grosshandel mit Schuhen	722.036816	3.203	.0018
	(Constant)	69870.726740	4.691	.0000

N of Cases =	106
Multiple R	.65119
R Square	.42405
Adjusted R Square	.40711
Durbin-Watson Test =	1.32669

Warengruppe 15: Sonstige Waren

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B29	Abbruchgewerbe	3134.996184	4.499	.0000
B38	Grosshandel mit sonst. Verbrauchsgütern	146.772421	6.041	.0000
	(Constant)	93310.007566	3.681	.0004

N of Cases =	106
Multiple R	.73493
R Square	.54012
Adjusted R Square	.53119
Durbin-Watson Test =	1.58335

Anhang B Ausgewählte Modellansätze für die Verkehrsanziehung

Nachfolgend werden die für die Verkehrsanziehung (Empfang) ausgewählten Modellansätze je Warengruppe dargestellt. Neben den Gleichungen sind auch die entsprechenden t-Statistiken aufgeführt. Alle aufgeführten Koeffizienten sind bei einer Vertrauensgrenze von 95% signifikant. Auch die Werte der Durbin-Watson Tests sind befriedigend.

Warengruppe 1: Getreide, Kartoffeln, Tiere, Zuckerrüben

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B35	Grosshandel mit Nahrungsmitteln	144.625760	17.122	.0000
	(Constant)	12068.761293	2.268	.0254

N of Cases =	106
Multiple R	.85915
R Square	.73814
Adjusted R Square	.73562
Durbin-Watson Test =	1.68240

Warengruppe 2: Holz

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B11	Holzplatten, Holzwaren	89.259282	4.288	.0000
B12	Holzstoff, Papier, Karton, Papierwaren	80.534480	3.503	.0007
	(Constant)	23806.249690	2.762	.0068

N of Cases =	106
Multiple R	.63831
R Square	.40745
Adjusted R Square	.39594
Durbin-Watson Test =	2.10038

Warengruppe 3: Spinnstoffe, Textilabfälle

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B7	Nahrungsmittel + Futtermittel	26.981158	4.196	.0001
B45	Grosshandel mit Altmaterial	993.430840	2.815	.0058
	(Constant)	20303.501220	3.625	.0005

N of Cases =	106
Multiple R	.54091
R Square	.29258
Adjusted R Square	.27884
Durbin-Watson Test =	1.44771

Warengruppe 4: Andere Nahrungs- und Futtermittel

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B35	Grosshandel mit Nahrungsmitteln	182.378481	3.129	.0023
B47	Detailhandel mit Nahrungsmitteln	143.663942	6.427	.0000
	(Constant)	36370.914145	2.015	.0465

N of Cases =	106
Multiple R	.89326
R Square	.79792
Adjusted R Square	.79400
Durbin-Watson Test =	1.95920

Warengruppe 5: Feste und flüssige mineral. Brennstoffe

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B39	Grosshandel mit Mineralöl	522.238813	5.737	.0000
B34	Beschäftigte bei Tankstellen	2087.997901	12.111	.0000
	(Constant)	39790.384950	4.713	.0000

N of Cases =	106
Multiple R	.87724
R Square	.76955
Adjusted R Square	.76508
Durbin-Watson Test =	2.00233

Warengruppe 6: Eisen und andere Erze, Schrott

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B28	Rückgewinnung von Schrott	1145.816533	8.967	.0000
	(Constant)	13388.705905	2.573	.0115

N of Cases =	106
Multiple R	.66032
R Square	.43602
Adjusted R Square	.43060
Durbin-Watson Test =	1.64091

Warengruppe 7: Eisen-Stahl

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B21	Metallwaren	45.284937	7.657	.0000
B30	Hoch- und Tiefbau	21.127414	7.471	.0000
	(Constant)	-12160.70454	-2.002	.0479

N of Cases =	106
Multiple R	.84842
R Square	.71981
Adjusted R Square	.71437
Durbin-Watson Test =	1.25892

Warengruppe 8: Zement, Kalk

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B18	Erzeugnisse aus Beton und Zement	659.892549	3.085	.0026
B30	Hoch- und Tiefbau	110.585672	5.959	.0000
B41	Grosshandel mit Holz, Baustoff	602.942279	2.950	.0039
	(Constant)	193554.55420	6.364	.0000

N of Cases =	106
Multiple R	.81358
R Square	.66190
Adjusted R Square	.65196
Durbin-Watson Test =	1.56365

Warengruppe 9: Steine, Erden

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B17	Zement	4699.960140	2.469	.0152
B30	Hoch- und Tiefbau	214.105244	3.011	.0033
B41	Grosshandel mit Holz, Baustoff	1787.926830	2.272	.0252
	(Constant)	468854.11962	4.100	.0001

N of Cases =	106
Multiple R	.62855
R Square	.39508
Adjusted R Square	.37729
Durbin-Watson Test =	1.56836

Warengruppe 10: Chemische Erzeugnisse

	Erklärende Variablen	*Koeffizient*	*T*	*Sig T*
B13	Beschäftigte in der chemischen Industrie	36.261166	19.262	.0000
B14	Gummi und Kunststoffwaren	51.172473	3.596	.0005
B7	Nahrungsmittel + Futtermittel	33.769678	5.342	.0000
	(Constant)	18212.537799	3.420	.0009

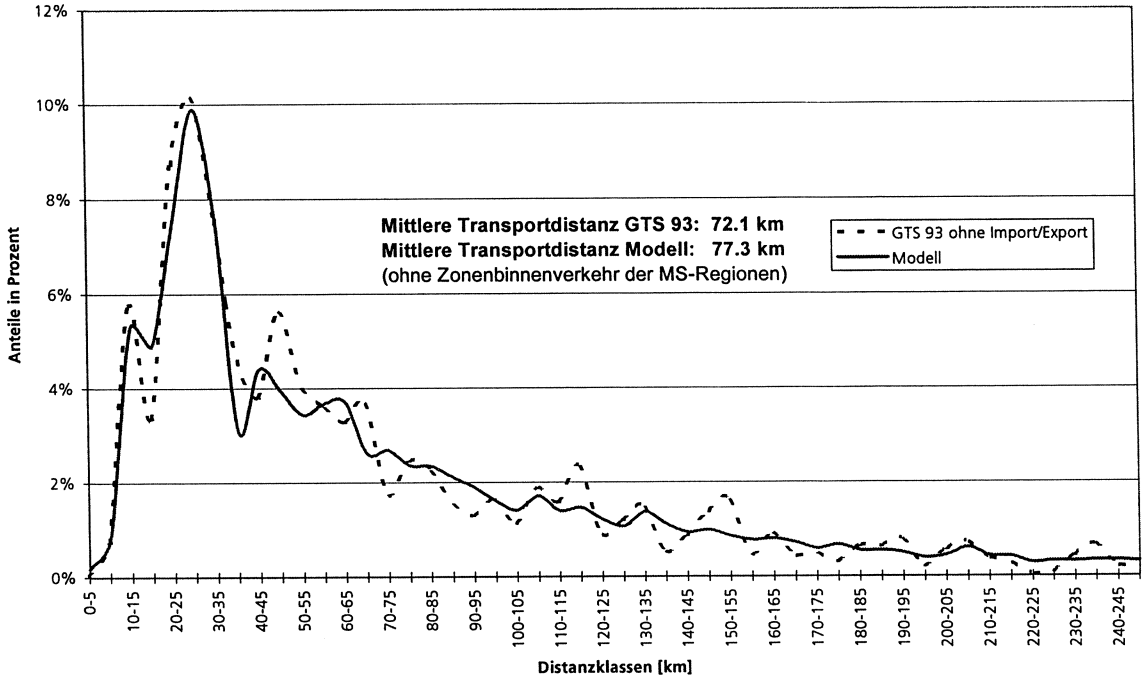
N of Cases =	106
Multiple R	.92650
R Square	.85841
Adjusted R Square	.85425
Durbin-Watson Test =	2.03351

Anhang C Distanzklassenverteilung auf Basis MS - Regionen: Vergleich Modell mit GTS93

C1 Binnenverkehr CH

Gütergruppe I: Land- und Forstwirtschaft Gamma = 1.7

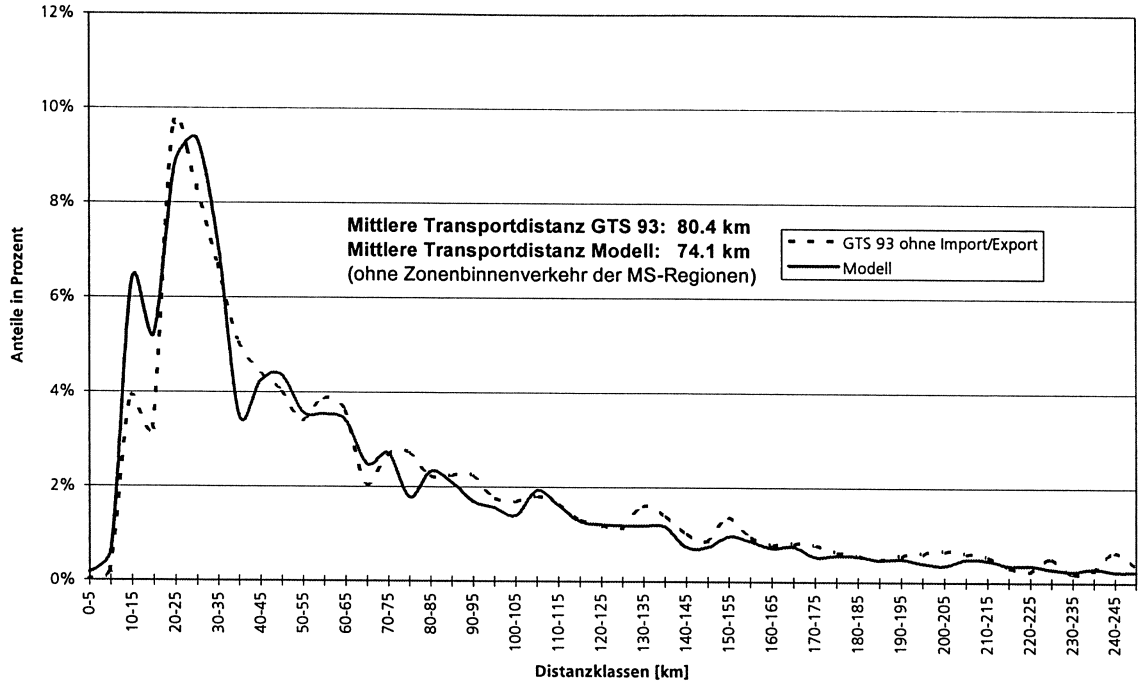
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe II: Nahrungs- und Futtermittel

Gamma = 1.8

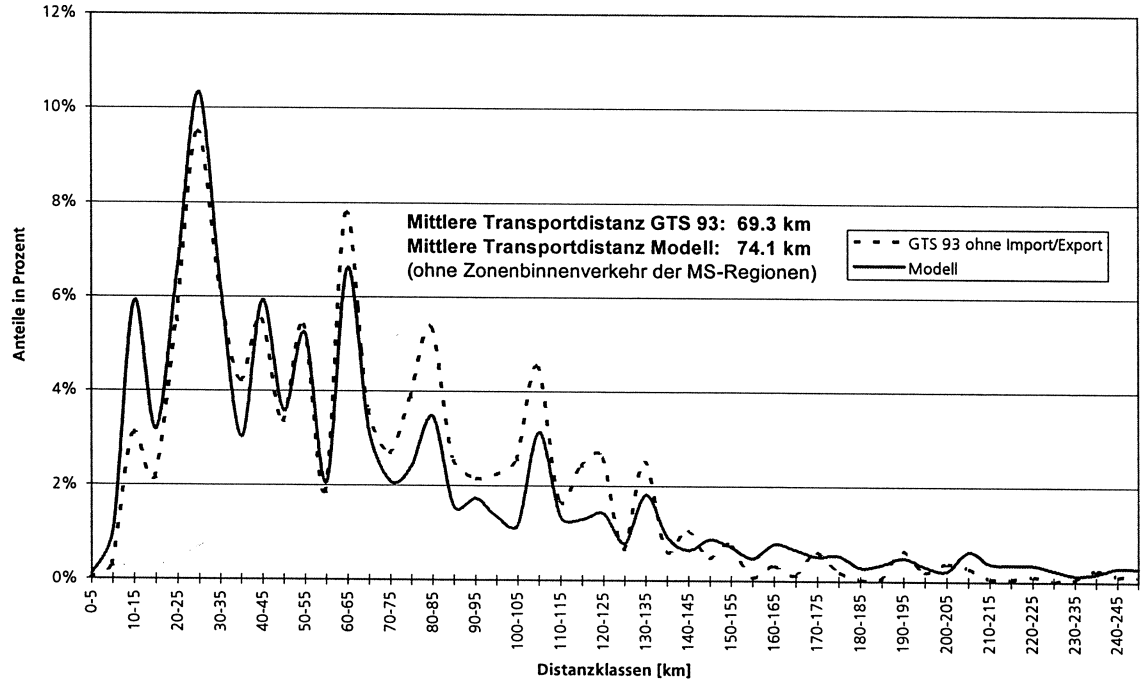
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe III: Brenn- und Treibstoffe

Gamma = 2.2

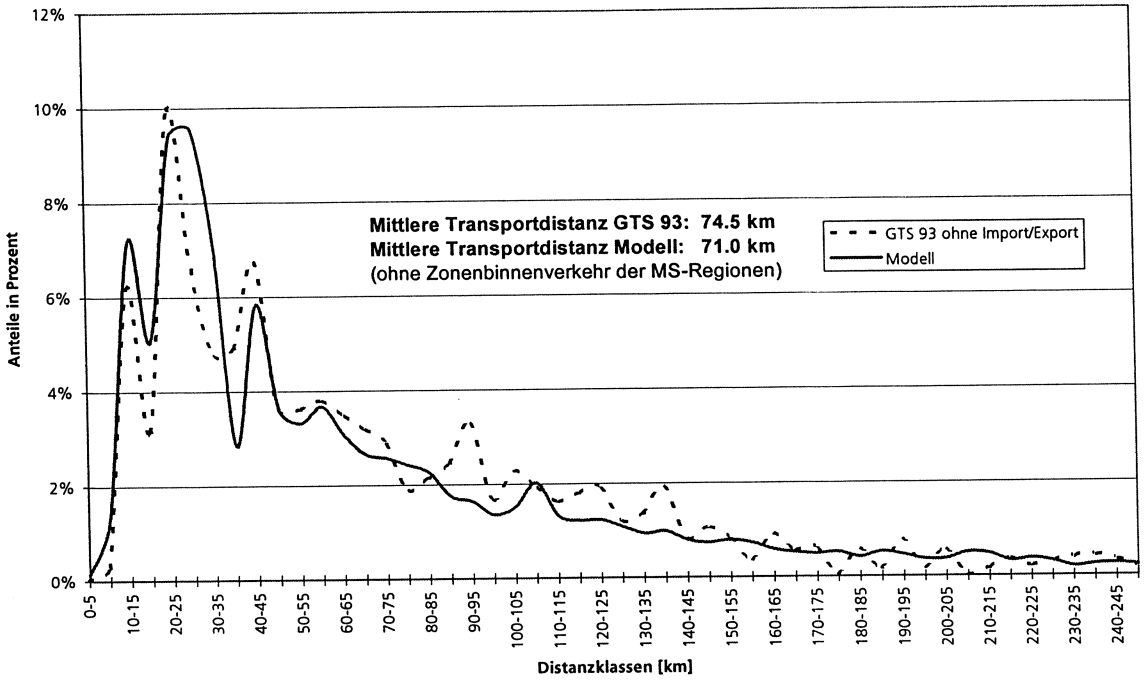
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe IV: Erze, Eisen, Metalle

Gamma = 1.8

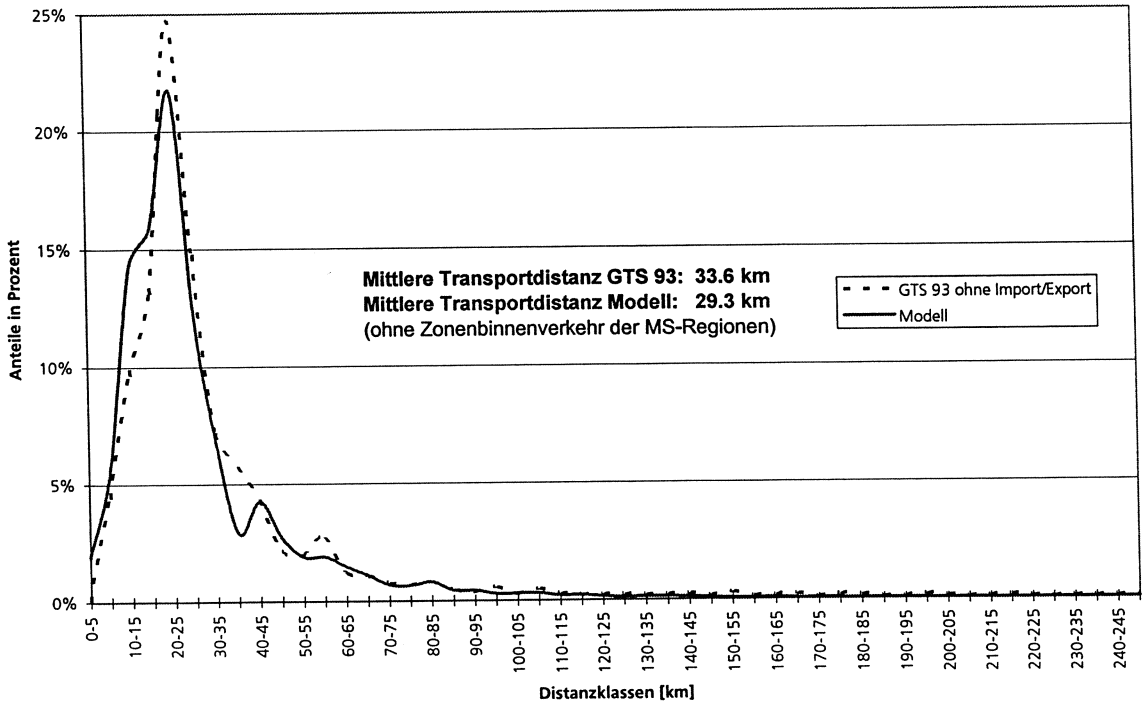
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe V: Steine, Erden, Baustoffe

Gamma = 3.7

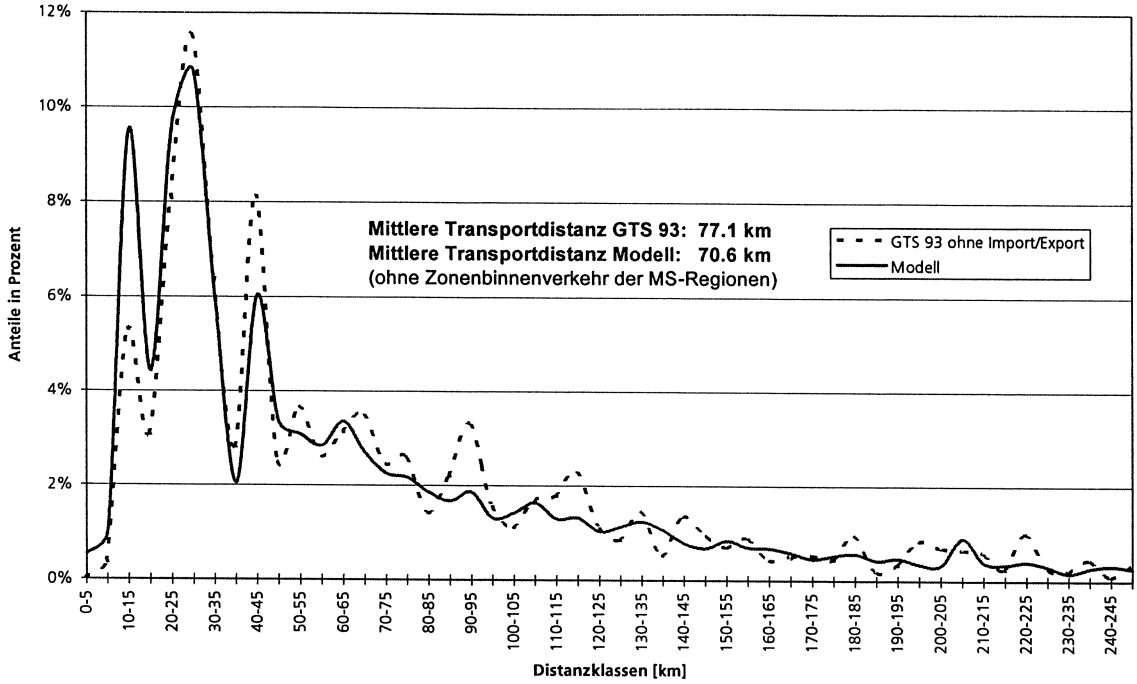
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe VI: Chemie, Dünger

Gamma = 1.7

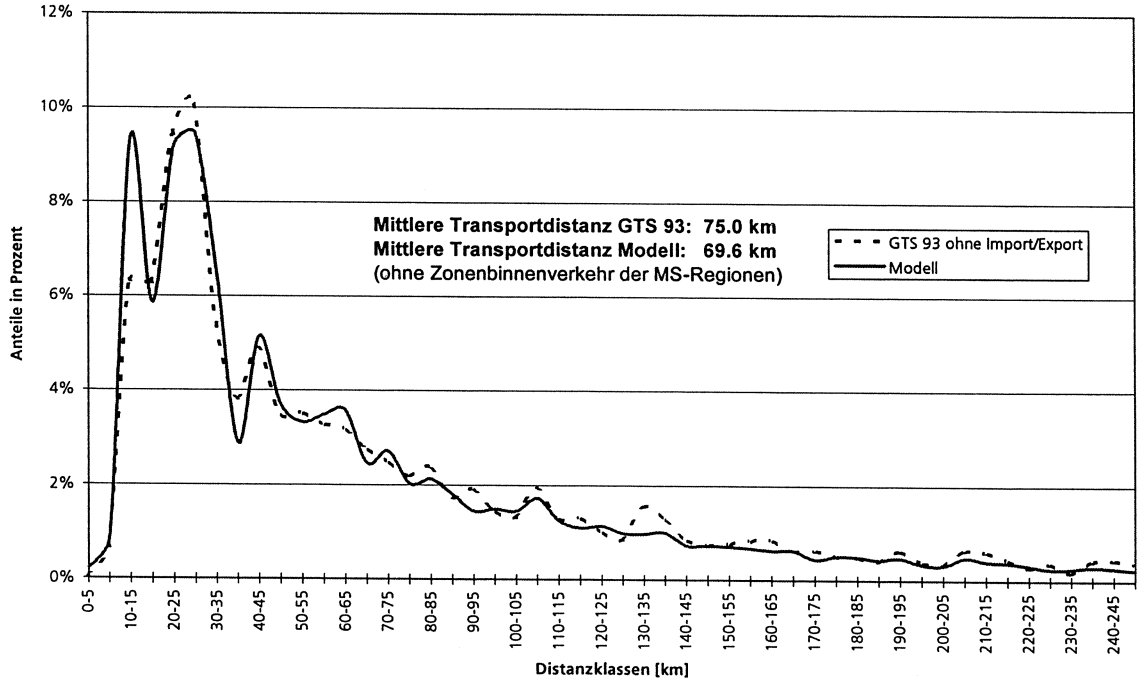
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe VII: Sonstige Waren

Gamma = 1.8

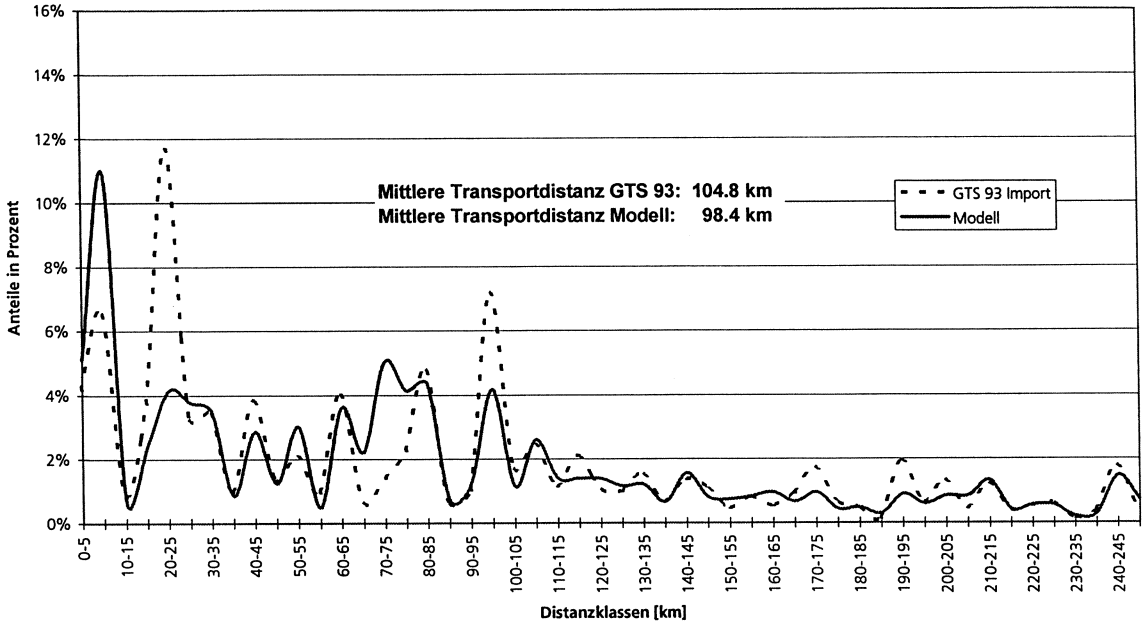
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



C2 Import

Gütergruppe I: Land- und Forstwirtschaft Gamma = 1.3

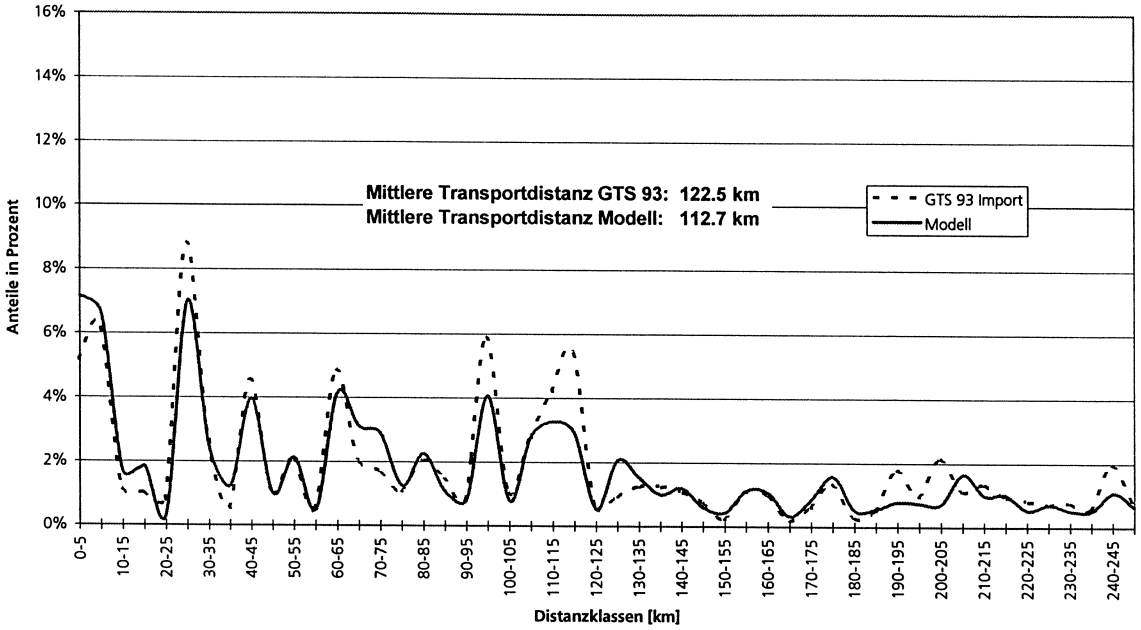
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe II: Nahrungs- und Futtermittel

Gamma = 1.3

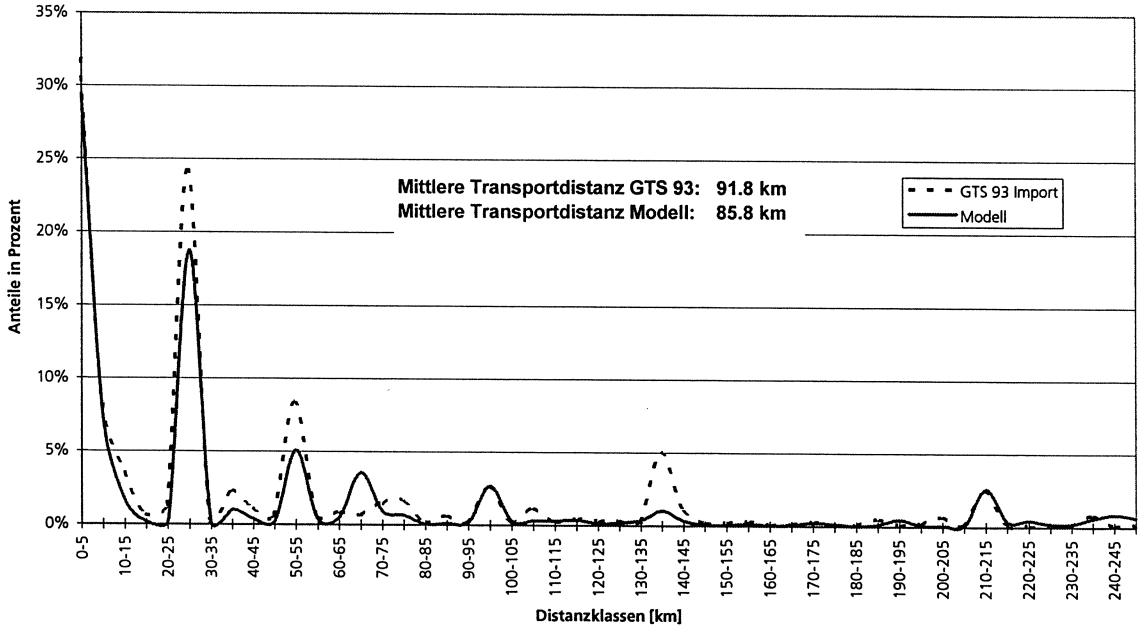
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe III: Brenn- und Treibstoffe

Gamma = 1.2

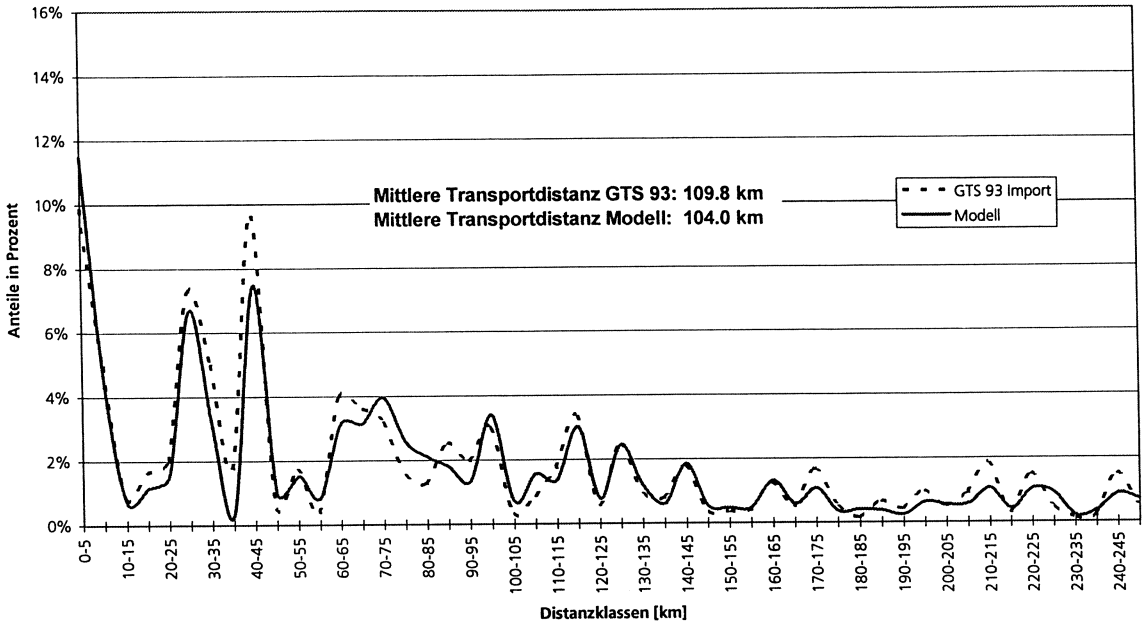
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe IV: Erze, Eisen, Metalle

Gamma = 1.1

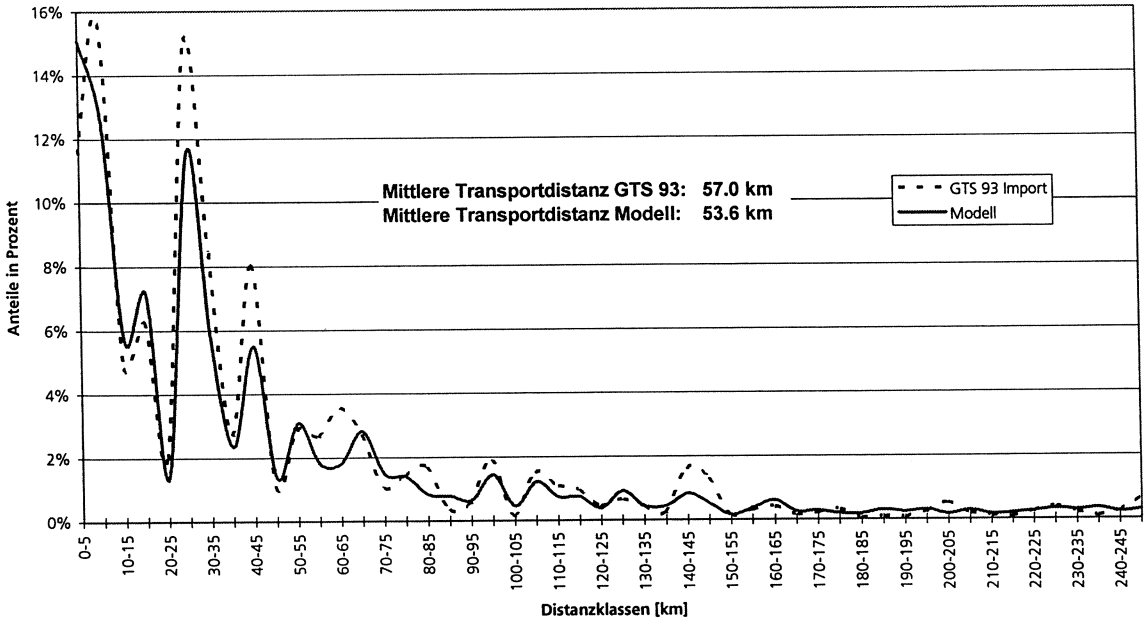
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe V: Steine, Erden, Baustoffe

Gamma = 1.9

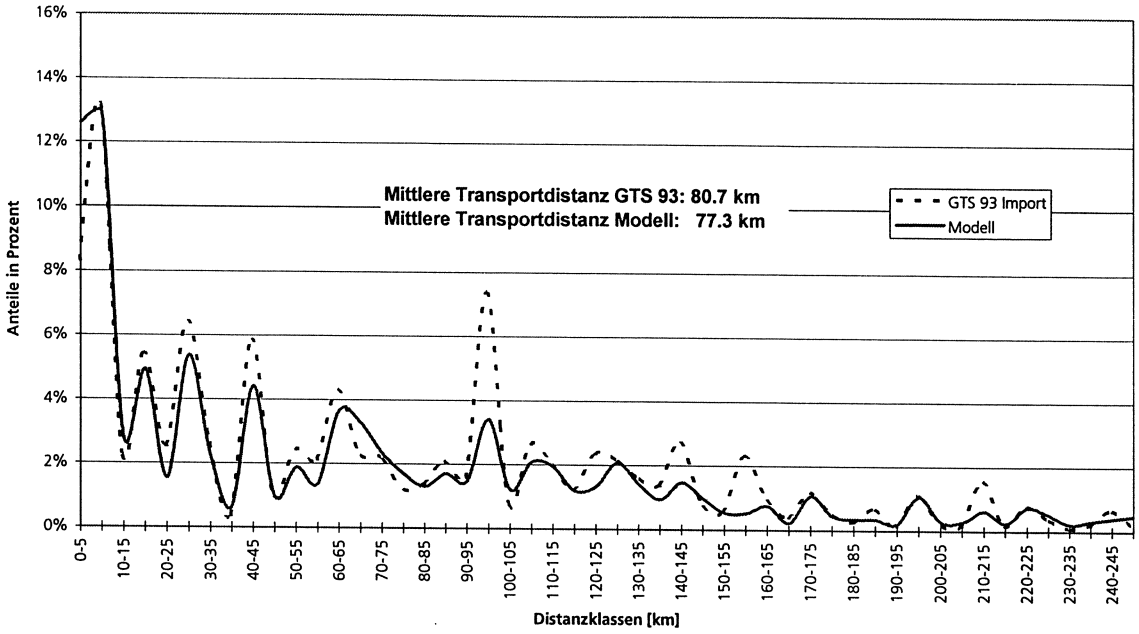
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe VI: Chemie, Dünger

Gamma = 1.4

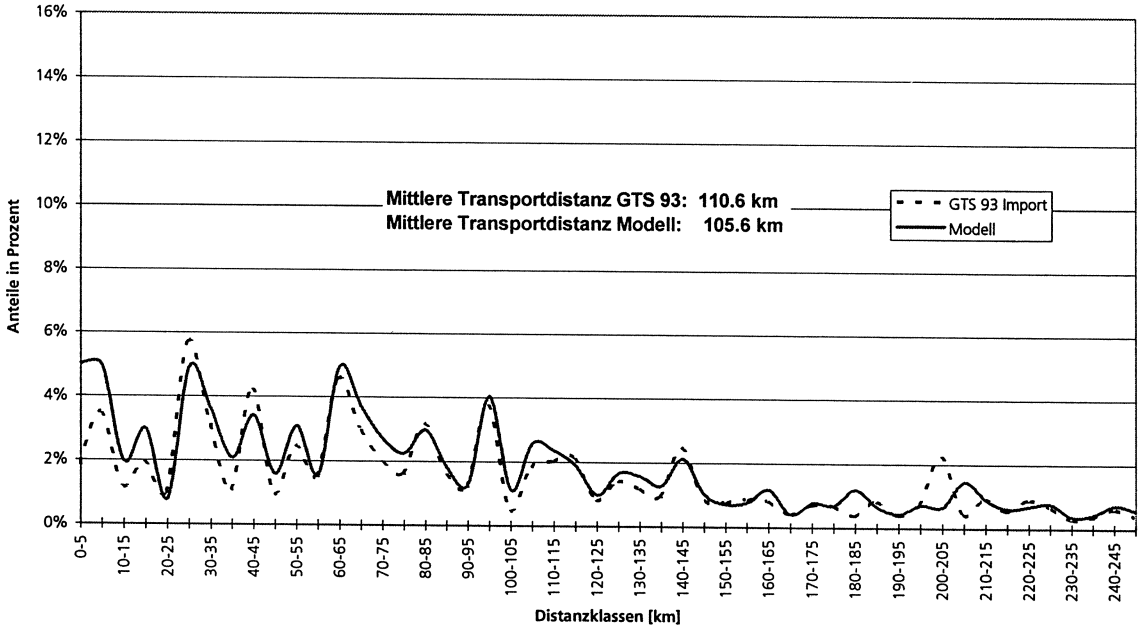
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe VII: Sonstige Waren

Gamma = 1.3

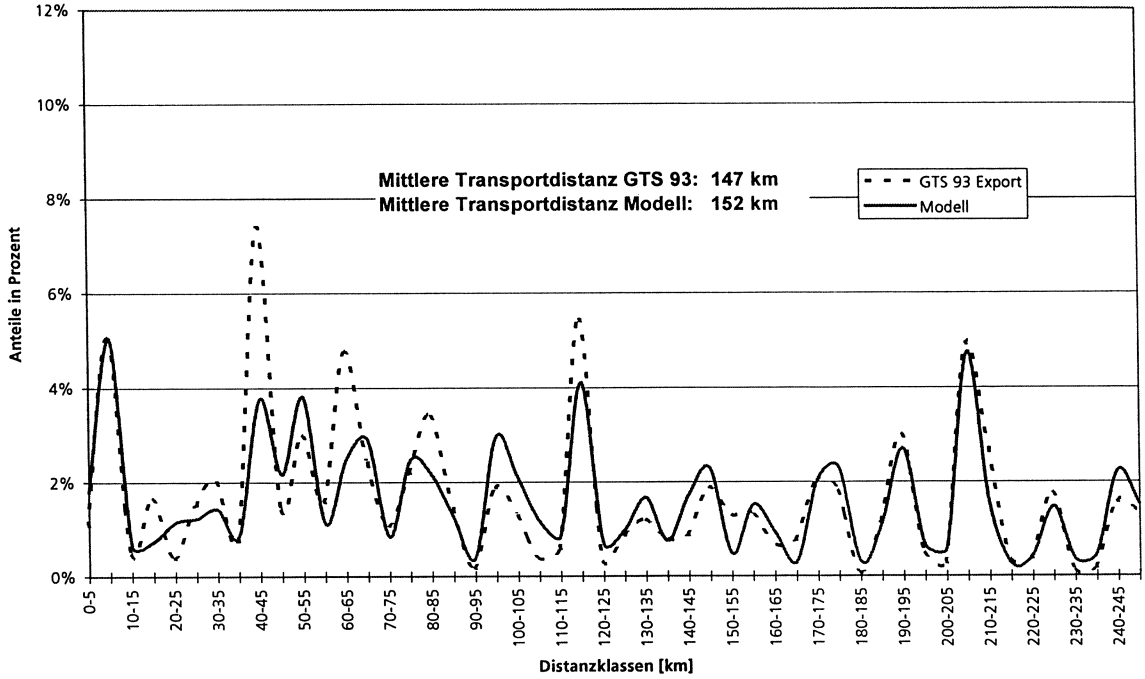
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



C3 Export

Gütergruppe I: Land- und Forstwirtschaft Gamma = 1.5

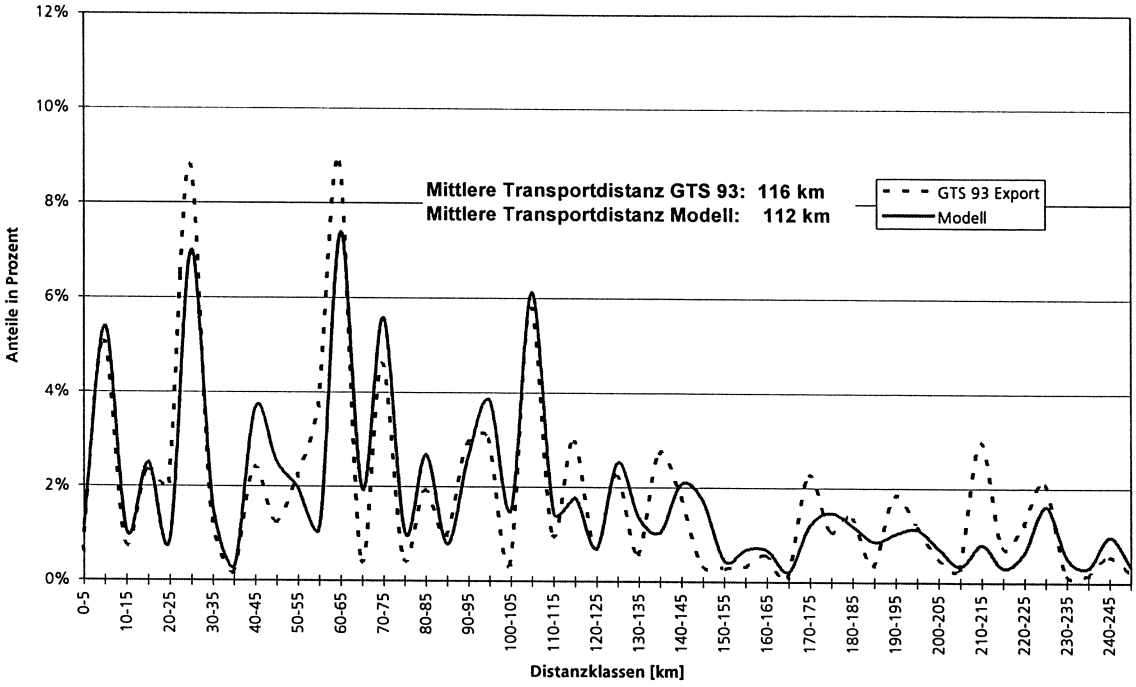
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe II: Nahrungs- und Futtermittel

Gamma = 1.3

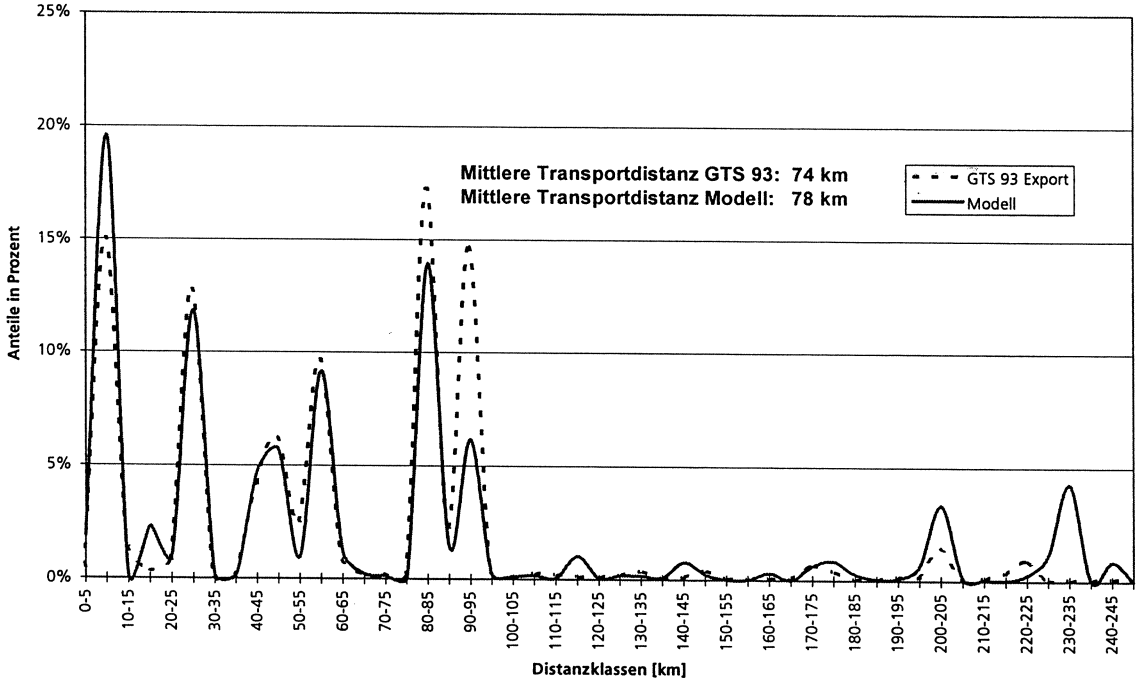
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe III: Brenn- und Treibstoffe

Gamma = 1.5

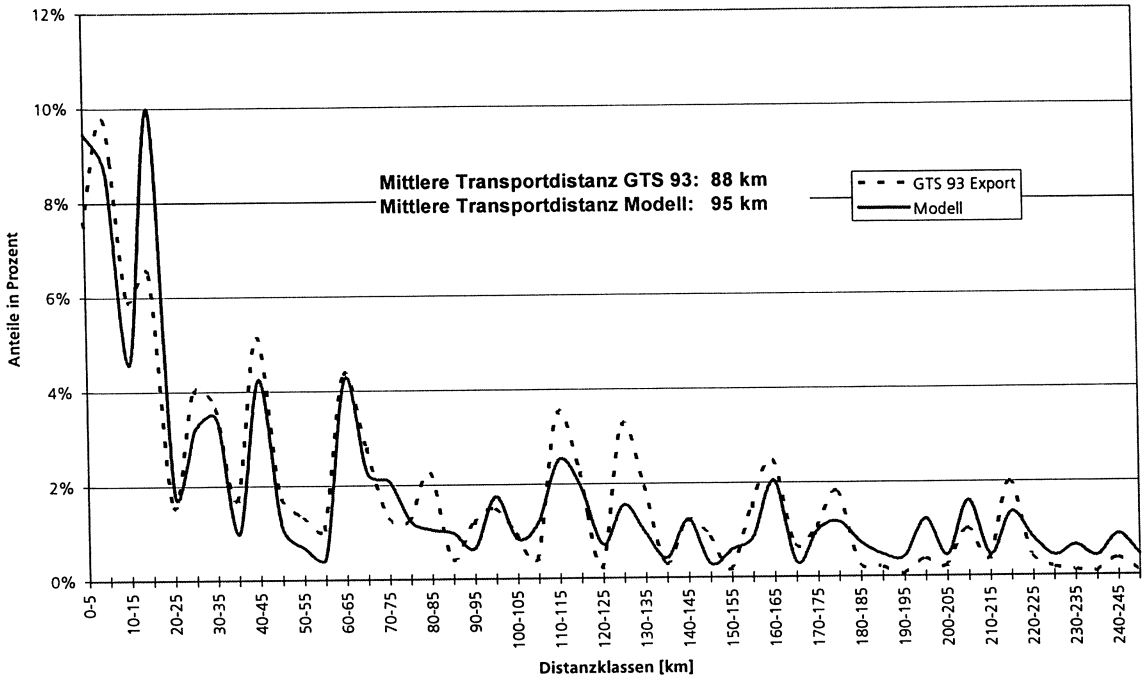
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe IV: Erze, Eisen, Metalle

Gamma = 1.1

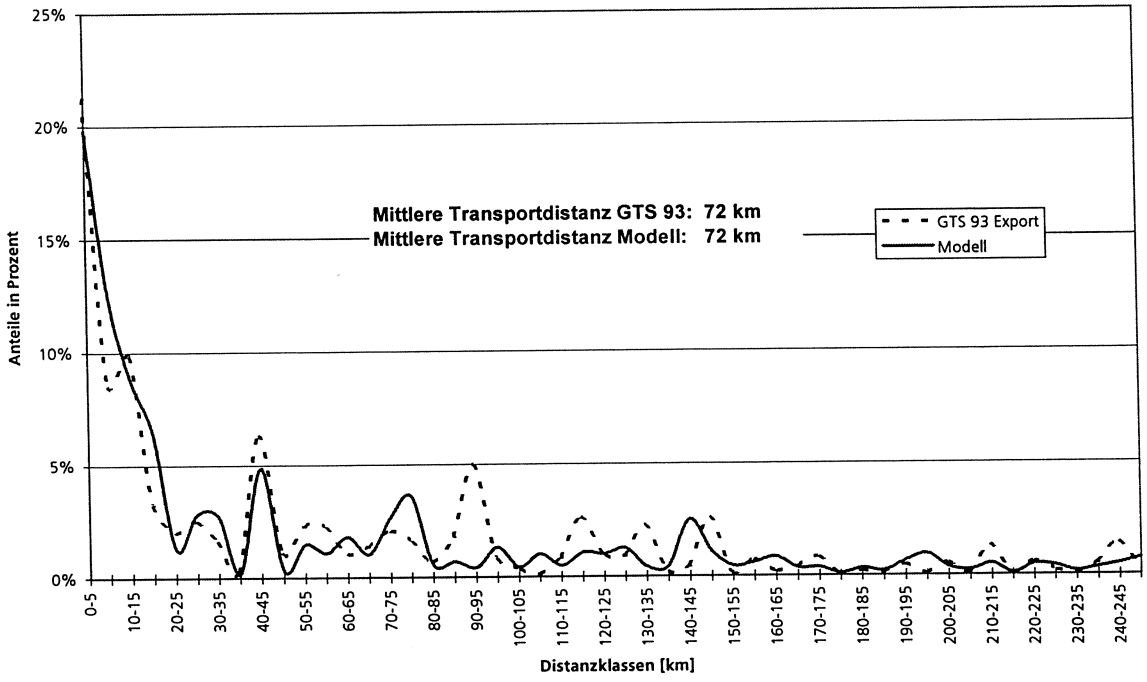
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe V: Steine, Erden, Baustoffe

Gamma = 1.3

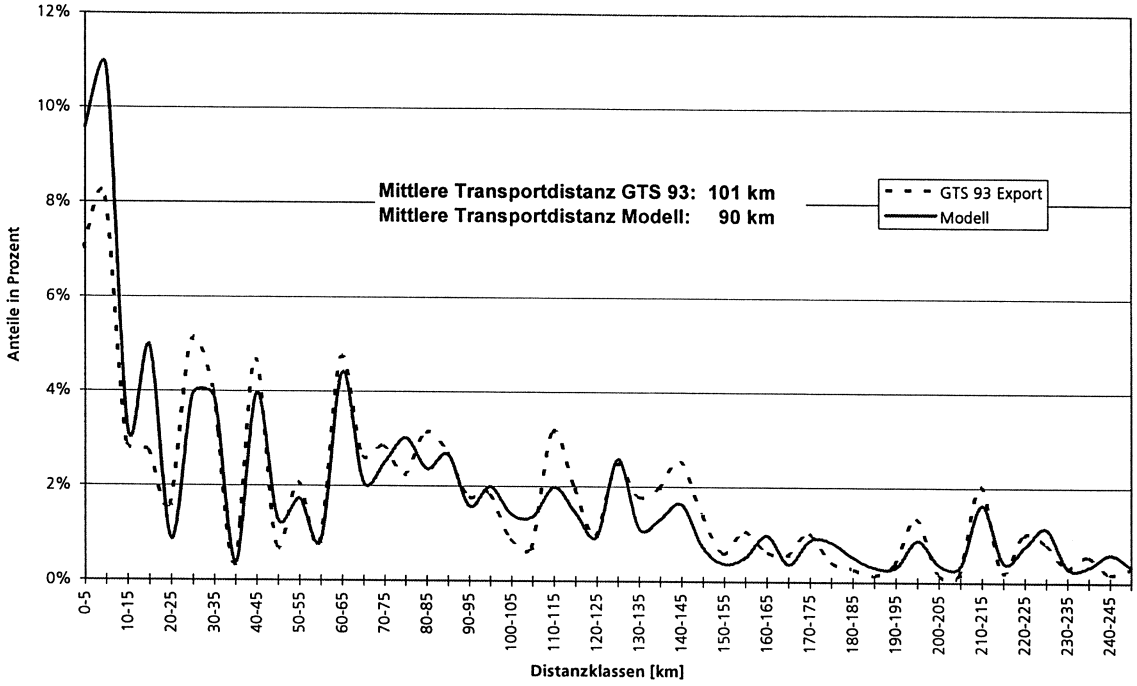
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe VI: Chemie, Dünger

Gamma = 1.3

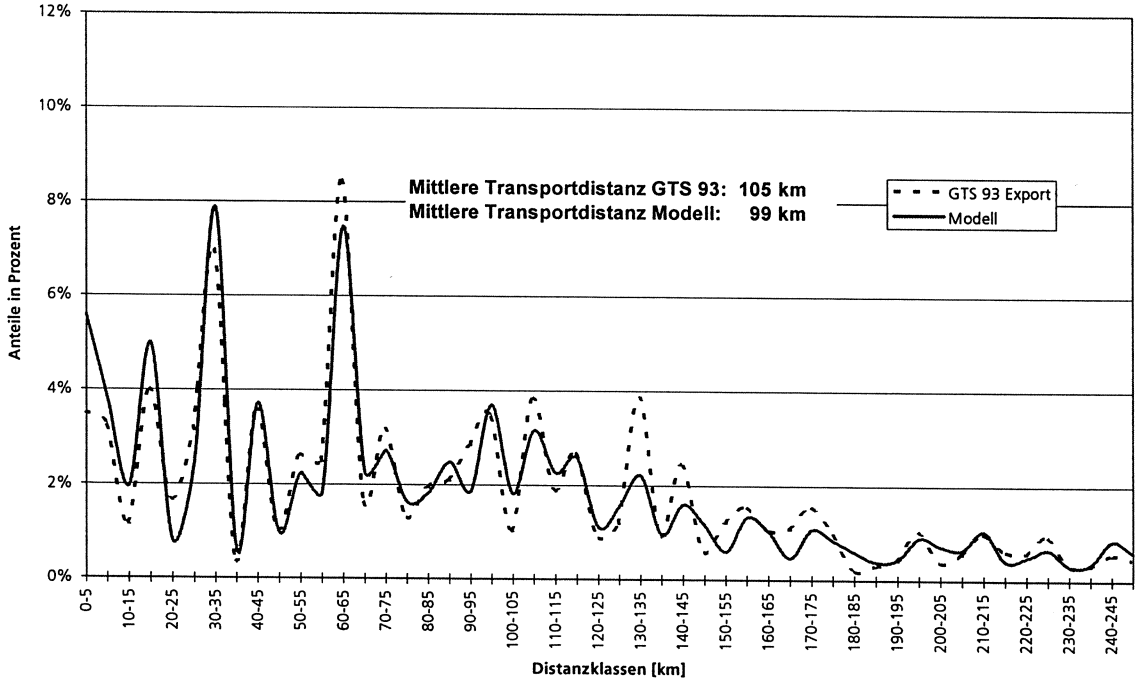
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe VII: Sonstige Waren

Gamma = 1.3

Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]

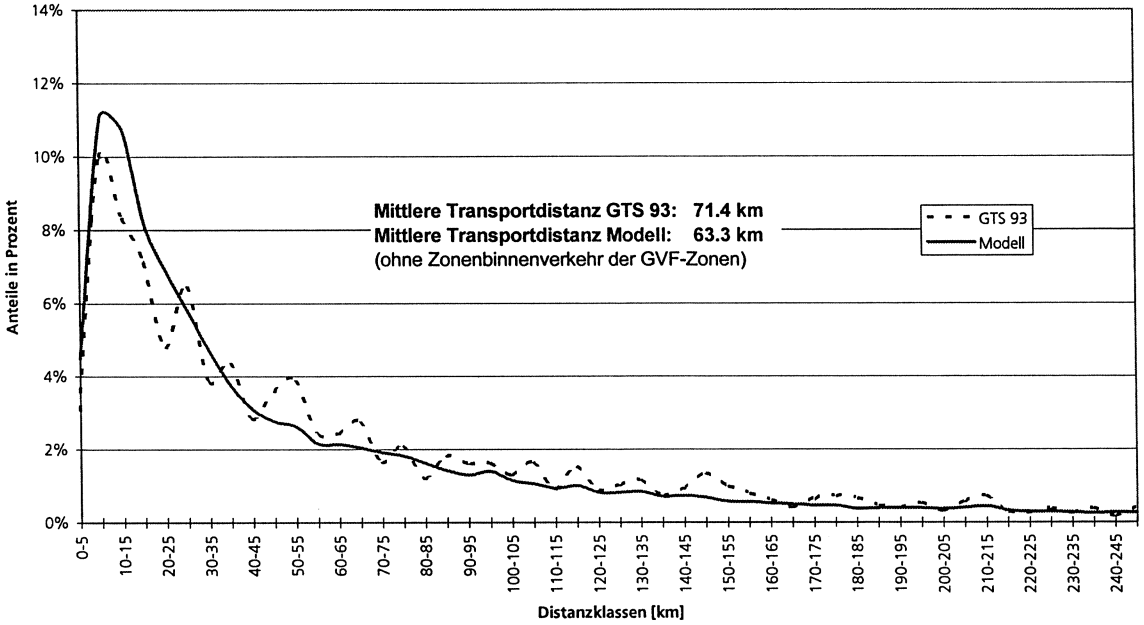


Anhang D Distanzklassenverteilung auf Basis GVF - Zonen: Vergleich Modell mit GTS93

Gesamtverkehr (Binnen-, Import-, Export- und Transitverkehr)

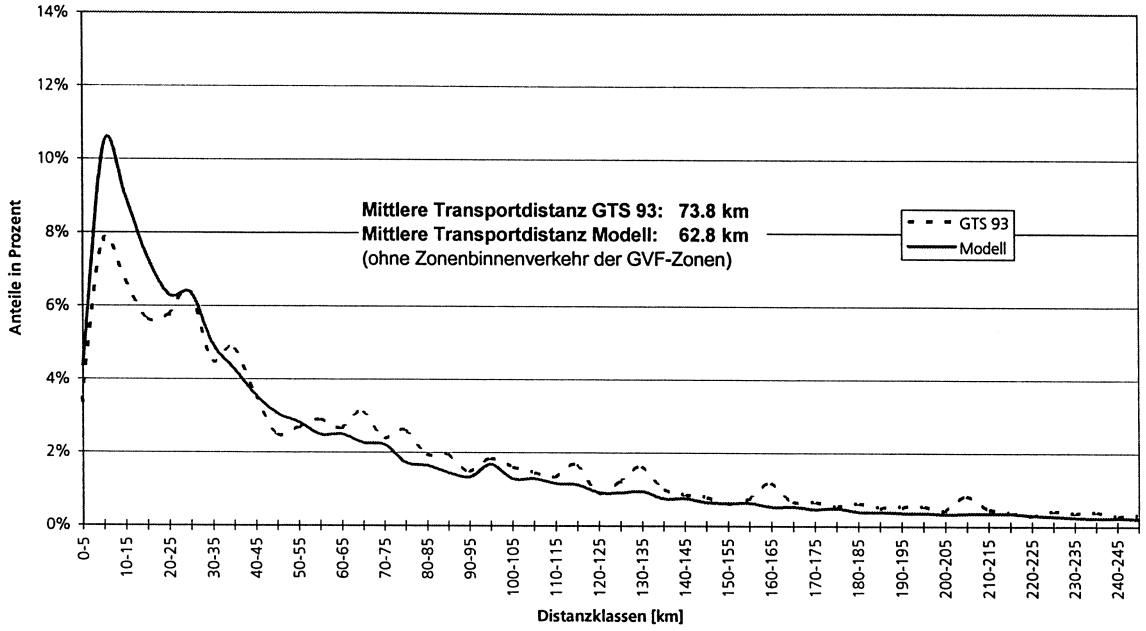
Gütergruppe I: Land- und Forstwirtschaft Gamma = 1.7

Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



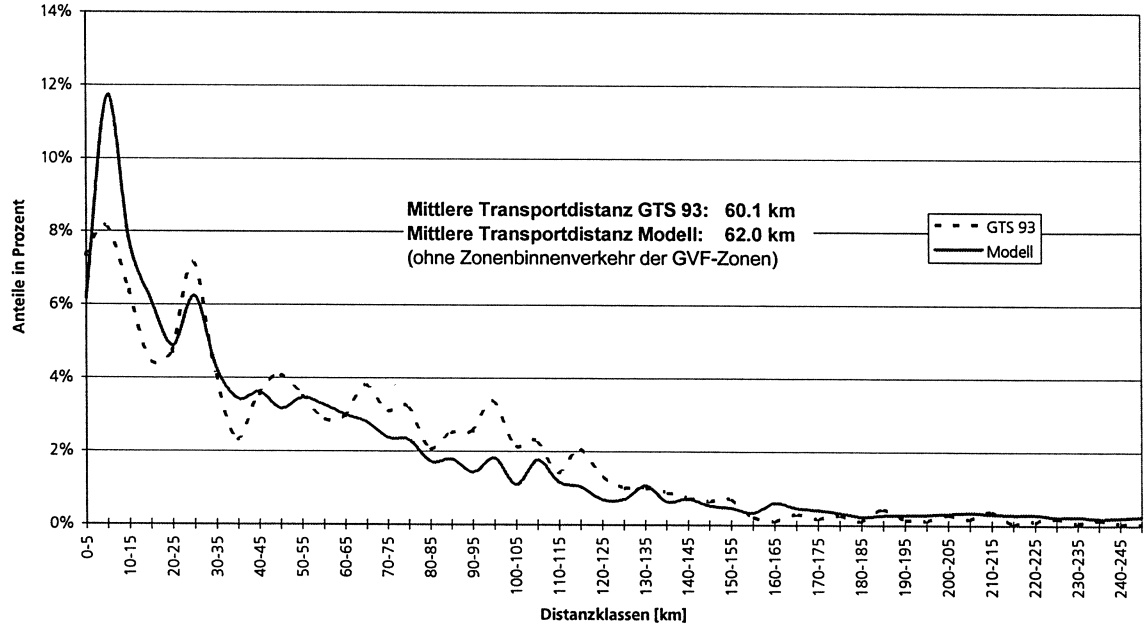
Gütergruppe II: Nahrungs- und Futtermittel — Gamma = 1.8

Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



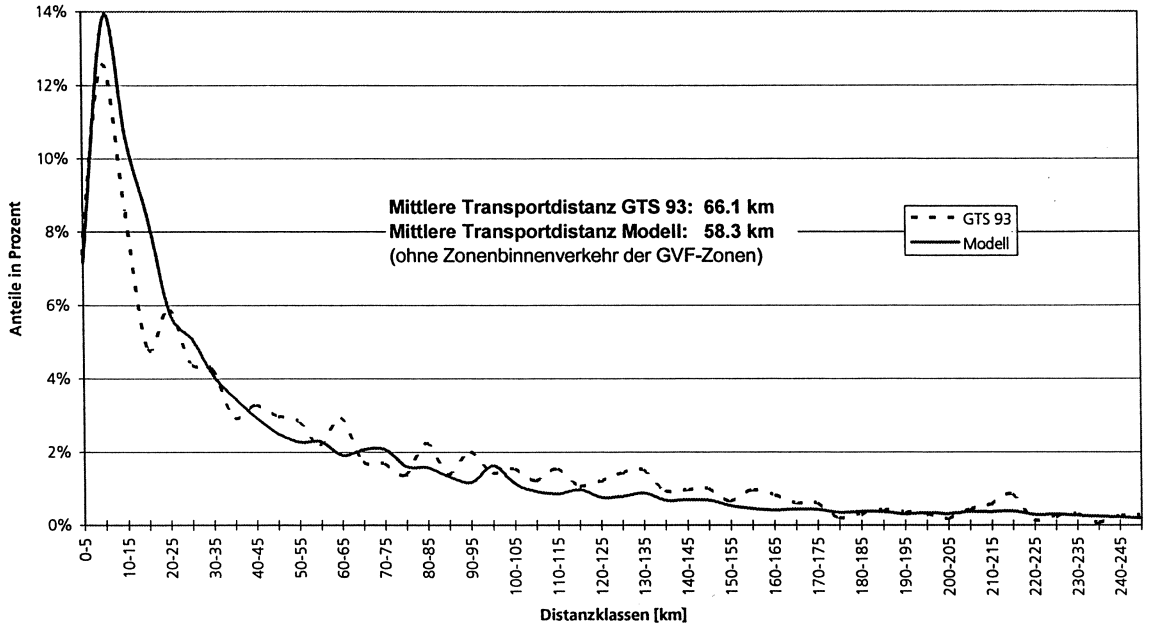
Gütergruppe III: Brenn- und Treibstoffe — Gamma = 2.2

Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



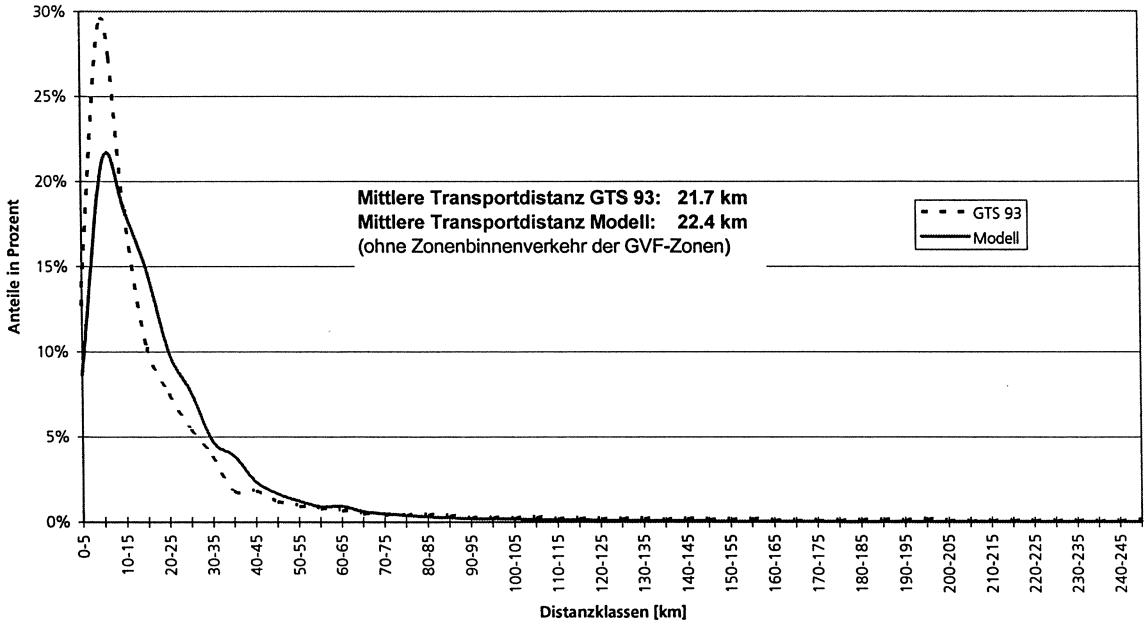
Gütergruppe IV: Erze, Eisen, Metalle Gamma = 1.8

Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe V: Steine, Erden, Baustoffe Gamma = 3.7

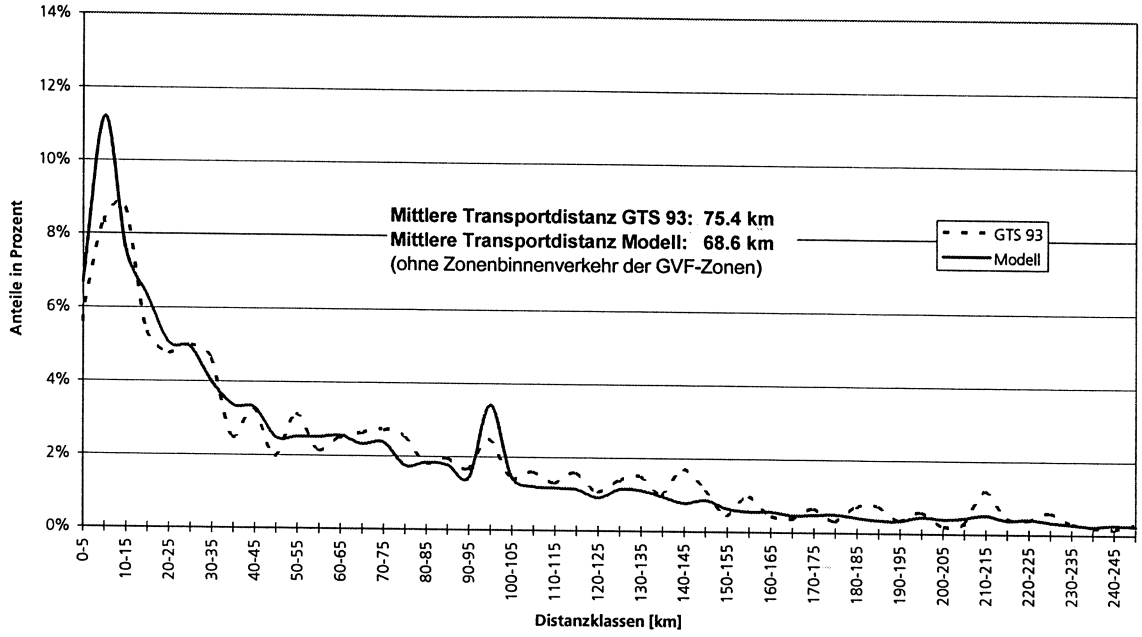
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe VI: Chemie, Dünger

Gamma = 1.7

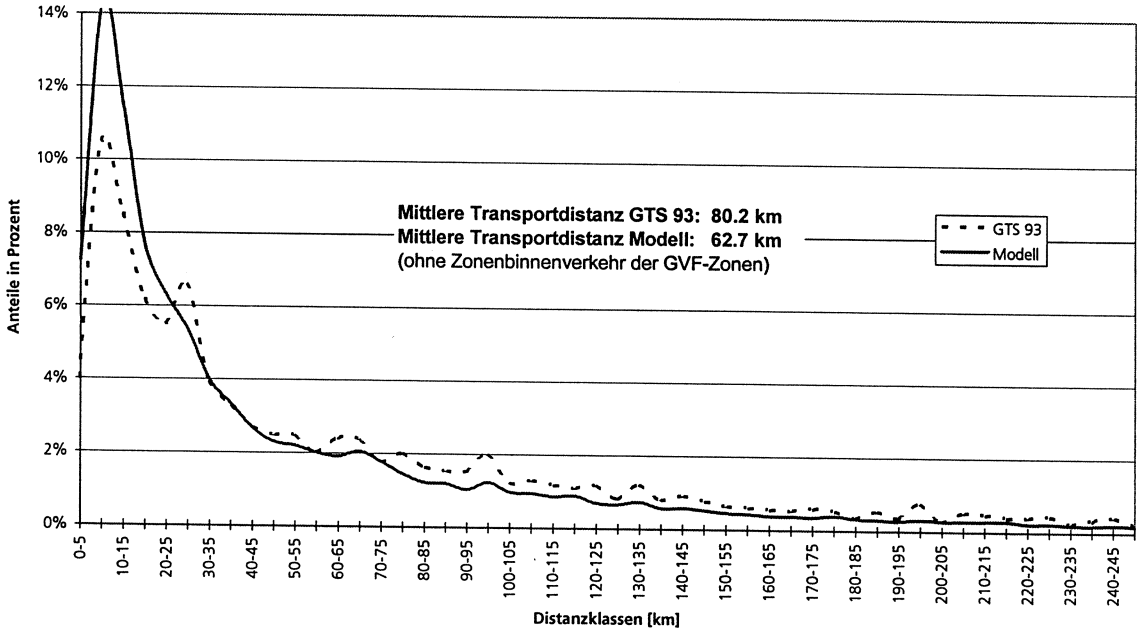
Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Gütergruppe VII: Sonstige Waren

Gamma = 1.8

Distanzverteilung (5km-Intervall): 0 - 250 km, Aufkommen [t/a]



Forschungsberichte auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI)
Rapports de recherche sur proposition de l'Association suisse des ingénieurs en transports
(erschienen im Rahmen der Forschungsreihe des UVEK / parus dans le cadre des recherches du DETEC)

1980 **Velo- und Mofaverkehr in den Städten**
(R. Müller)

1980 **Anleitung zur Projektierung einer Lichtsignalanlage**
(Seiler Niederhauser Zuberbühler)

1981 **Güternahverkehr, Gesetzmässigkeiten**
(E. Stadtmann)

1981 **Optimale Haltestellenabstände beim öffentlichen Verkehr**
(Prof. H. Brändli)

1982 **Entwicklung des schweizerischen Strassenverkehrs ***
(SNZ Ingenieurbüro AG)

1983 **Lichtsignalanlagen mit oder ohne Uebergangssignal Rot-Gelb**
(Weber Angehrn Meyer)

1983 **Güternahverkehr, Verteilungsmodelle**
(Emch + Berger AG)

1983 **Parkraumbewirtschaftung als Mittel der Verkehrslenkung ***
(Glaser + Saxer)

1984 **Le rôle des taxis dans les transports urbains (franz. Ausgabe)**
(Transitec)

1984 **Park and Ride in Schweizer Städten ***
(Balzari & Schudel AG)

1986 **Verträglichkeit von Fahrrad, Mofa und Fussgänger auf gemeinsamen Verkehrsflächen ***
(Weber Angehrn Meyer)

1987 **Verminderung der Umweltbelastungen durch verkehrsorganisatorische und -technische Massnahmen ***
(Metron AG)

1987 **Provisorischer Behelf für die Umweltverträglichkeits-Prüfung von Verkehrsanlagen ***
(Büro BC, Jenni + Gottardi AG, Scherrer)

1988 **Bestimmungsgrössen der Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr ***
(Rapp AG)

1988 **EDV-Anwendungen im Verkehrswesen**
(IVT, ETH Zürich)

1988 **Forschungsvorschläge Umweltverträglichkeitsprüfung von Verkehrsanlagen**
(Büro BC, Jenni & Gottardi AG, Scherrer)

1989 **Vereinfachte Methode zur raschen Schätzung von Verkehrsbeziehungen ***
(P. Widmer)

1990 **Planungsverfahren bei Ortsumfahrungen**
(Toscano-Bernardi-Frey AG)

1990 **Anteil der Fahrzeugkategorien in Abhängigkeit vom Strassentyp**
(Abay & Meyer)

1991 **Busbuchten, ja oder nein?***
(Zwicker und Schmid)

1991 **EDV-Anwendung im Verkehrswesen, Katalog 1990**
(IVT, ETH Zürich)

1991 **Mofa zwischen Velo und Auto**
(Weber Angehrn Meyer)

1991 **Erhebung zum Güterverkehr**
(Abay & Meier, Albrecht & Partner AG, Holinger AG, RAPP AG, Sigmaplan AG)

1991 **Mögliche Methoden zur Erstellung einer Gesamtbewertung bei Prüfverfahren**
(Basler & Partner AG)

1992 **Einsatzkonzepte und Integrationsprobleme der Elektromobile***
(U. Schwegler)

1992 **UVP bei Strassenverkehrsanlagen, Anleitung zur Erstellung von UVP-Berichten***
(Büro BC, Jenni & Gottardi AG, Scherrer)
erschienen auch als Mitteilungen zur UVP Nr. 7/Mai 1992 des BUWAL

1992 **Von Experten zu Beteiligten - Partizipation von Interessierten und Betroffenen beim Entscheiden über Verkehrsvorhaben**
(J. Dietiker)

1992 **Fehlerrechnung und Sensitivitätsanalyse für Fragen der Luftreinhaltung: Verkehr - Emissionen - Immissionen ***
(INFRAS)

☞

1993 **Indikatoren im Fussgängerverkehr ***
(RAPP AG)

1993 **Velofahren in Fussgängerzonen**
(P. Ott)

1993 **Vernetztes bzw. ganzheitliches Denken bei Verkehrsvorhaben**
(Jauslin + Stebler, Rudolf Keller AG)

1993 **Untersuchung des Zusammenhanges von Verkehrs- und Wanderungsmobilität**
(synergo, Jenni + Gottardi AG)

1993 **Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von flexiblen Nutzungen im Strassenraum**
(Sigmaplan AG)

1993 **EIE et infrastructures routières, Guide pour l'établissement de rapports d'impact**
(Büro BC, Jenni + Gottardi AG, Scherrer)
erschienen als Mitteilungen zur UVP Nr. 7(93) / Juli 1993 des BUWAL/parus comme informations concernant l'étude de l'impact sur l'environnement EIE No. 7(93) / juillet 1993 de l'OFEFP

1993 **Handlungsanleitung für die Zweckmässigkeitsprüfung von Verkehrsinfrastruktur projekten, Vorstudie**
(Jenni + Gottardi AG)

1994 **Leistungsfähigkeit beim Fahrstreifenabbau auf Hochleistungsstrassen**
(Rutishauser, Mögerle, Keller)

1994 **Perspektiven des Freizeitverkehrs, Teil 1: Determinanten und Entwicklungen***
(R + R Burger AG, Büro Z)

1995 **Verkehrsentwicklungen in Europa, Vergleich mit den schweizerischen Verkehrsperspektiven**
(Prognos AG / Rudolf Keller AG)
erschienen als GVF-Auftrag Nr. 267 des GS EVED Dienst für Gesamtverkehrsfragen / paru au SG DFTCE Service d'étude des transports No. 267

1996 **Einfluss von Strassenkapazitätsänderungen auf das Verkehrsgeschehen**
(SNZ Ingenieurbüro AG)

1997 **Zweckmässigkeitsbeurteilung von Strassenverkehrsanlagen ***
(Jenni + Gottardi AG)

1997 **Verkehrsgrundlagen für Umwelt- und Verkehrsuntersuchungen**
(Ernst Basler + Partner AG)

1998 **Entwicklungsindices des Schweizerischen Strassenverkehrs ***
(Abay + Meier)

1998 **Kennzahlen des Strassengüterverkehrs in Anlehnung an die Gütertransportstatistik 1993**
(Albrecht & Partner AG / Symplan Map AG)

1998 **Was Menschen bewegt. Motive und Fahrzwecke der Verkehrsteilnahme**
(J. Dietiker)

1998 **Das spezifische Verkehrspotential bei beschränktem Parkplatzangebot ***
(SNZ Ingenieurbüro AG)

1998 **La banque de données routières STRADA-DB somme base de modèles de trafic**
(Robert-Grandpierre et Rapp SA / INSER SA / Rosenthaler & Partner AG)

1998 **Perspektiven des Freizeitverkehrs. Teil 2: Strategien zur Problemlösung**
(R + R Burger und Partner, Büro Z)

1998 **Kombinierte Unter- und Überführung für FussgängerInnen und VelofahrerInnen**
(Büro BC / Pestalozzi & Stäheli)

1998 **Kostenwirksamkeit von Umweltschutzmassnahmen**
(INFRAS)

1998 **Abgrenzung zwischen Personen- und Güterverkehr**
(Prognos AG)

1999 **Gesetzmässigkeiten im Strassengüterverkehr und seine modellmässige Behandlung**
(Abay & Meier / Ernst Basler + Partner AG)

Die Berichte können bezogen werden bei / Les rapports peuvent être commandés au:

SVI Sekretariat, Postfach 421, 8034 Zürich
Telefon: 01 984 18 84, Telefax 01 984 25 65
E-Mail: ganz2@swissonline.ch

* vergriffen: Diese Exemplare können auf Wunsch nachkopiert werden /
épuisé: Selon désir, ces rapports peuvent être copiés.