



strasse route
und et
verkehr trafic



Güterverkehrsmodell Kanton Zürich
Modèles pour le transport des marchandises dans le
canton de Zurich
Giovanni Gottardi, Zürich
Stefan Bürgler, Zürich

Substanzerhaltung bedingt auch vermehrt Forschung
Le maintien de la valeur implique des travaux de
recherche accrues
*Hermann W. Fritz, Mitglied der erweiterten Geschäfts-
leitung der EMPA, Dübendorf*

Güterverkehrsmodell Kanton Zürich

Giovanni Gottardi, Dr. sc. techn. ETH/SIA/SVI, Jenni + Gottardi AG, Zürich
 Stefan Bürgler, dipl. Ing. ETH/SVI, Jenni + Gottardi AG, Zürich

Mit der Erarbeitung eines Güterverkehrsmodells für den Kanton Zürich (GüV-ZH) wird für die Planung und den Betrieb des übergeordneten Strassennetzes ein massnahmensensitives Lastwagenmodell bereitgestellt. Für die ganze Schweiz (übergeordneter Verkehr), speziell aber für den Kanton Zürich, sind dazu verhaltensorientierte Modellansätze zu entwickeln. Basis dazu sind bekannte Gesetzmässigkeiten des Güterverkehrs, welche anhand empirischer Daten kalibriert werden. G. G./St. B.

Wozu ein Güterverkehrsmodell?

Das vorhandene Verkehrsmodell für den Kanton Zürich KVM-ZH [1], das insbesondere den werktäglichen Personenverkehr abdeckt, enthält im jetzigen Zustand lediglich eine Lastwagenmatrix aus früheren Güterverkehrserhebungen, die aufgrund aktueller Lastwagenzählungen korrigiert wurde. Diese Matrix weicht stark von den realen Verhältnissen ab und darf nur mit Vorbehalt als Basis für eine Prognose verwendet werden. Im weiteren werden diese Lastwagenströme nicht wie im Personenverkehrsmodell erklärt und können somit modellmässig nicht auf bestimmte Massnahmen reagieren.

Das Güterverkehrsmodell für den Kanton Zürich GüV-ZH soll diese Lücken des Personenverkehrsmodells schliessen, um damit auch Aussagen zu Auswirkungen von Massnahmen im Bereich des Güterverkehrs machen zu können.

Grundlagen

Das Güterverkehrsmodell basiert – analog dem schon bestehenden Personenverkehrsmodell – auf empirisch abgestützten Verhaltenstheorien und Gesetzmässigkeiten (z. B. Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens vom Umfang der Wirtschaftstätigkeit in einzelnen Branchen) [2]. Für die Bestimmung der Modellvariablen und die Eichung der Modellparameter sowie die Plausibilisierung der Modellergebnisse sind entsprechende Daten erforderlich.

Dazu kommt, dass im Güterverkehr «Einzelereignisse» wie grosse Verkehrserzeuger oder einzelne logistische Knoten die räumliche und zeitliche Verteilung der Verkehrsmengen entscheidend beeinflussen. Die Entstehung und der Umfang dieses Verkehrs können auch über statistisch abgesicherte allgemeine Gesetzmässigkeiten nur ungenügend erklärt und ermittelt werden.

Aus diesem Grunde wurden grosse singuläre Verkehrserzeuger (Produktions- und Abbaustätten und grosse Lagerhäuser transportintensiver Branchen) und die wichtigsten transportlogistischen Knoten (Güterverkehrszentren, Güterbahnhöfe, Terminals für den kombinierten Verkehr, Speditionshöfe, Grossverteiler usw.) im Grossraum Zürich bezüglich Versand und Empfang von Gütern sowie Last- und Lieferwagenfahrten befragt. Die Befragung erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit oder Repräsentativität. Ihr Ziel ist, ein möglichst grosses Güterverkehrsaufkommen, das bei wenigen bedeutenden Erzeugern und Verteilern anfällt, zu erfassen und in Form gezielter Anpassungen des über stochastische Gesetzmässigkeiten ermittelten Verkehrs ins Güter-

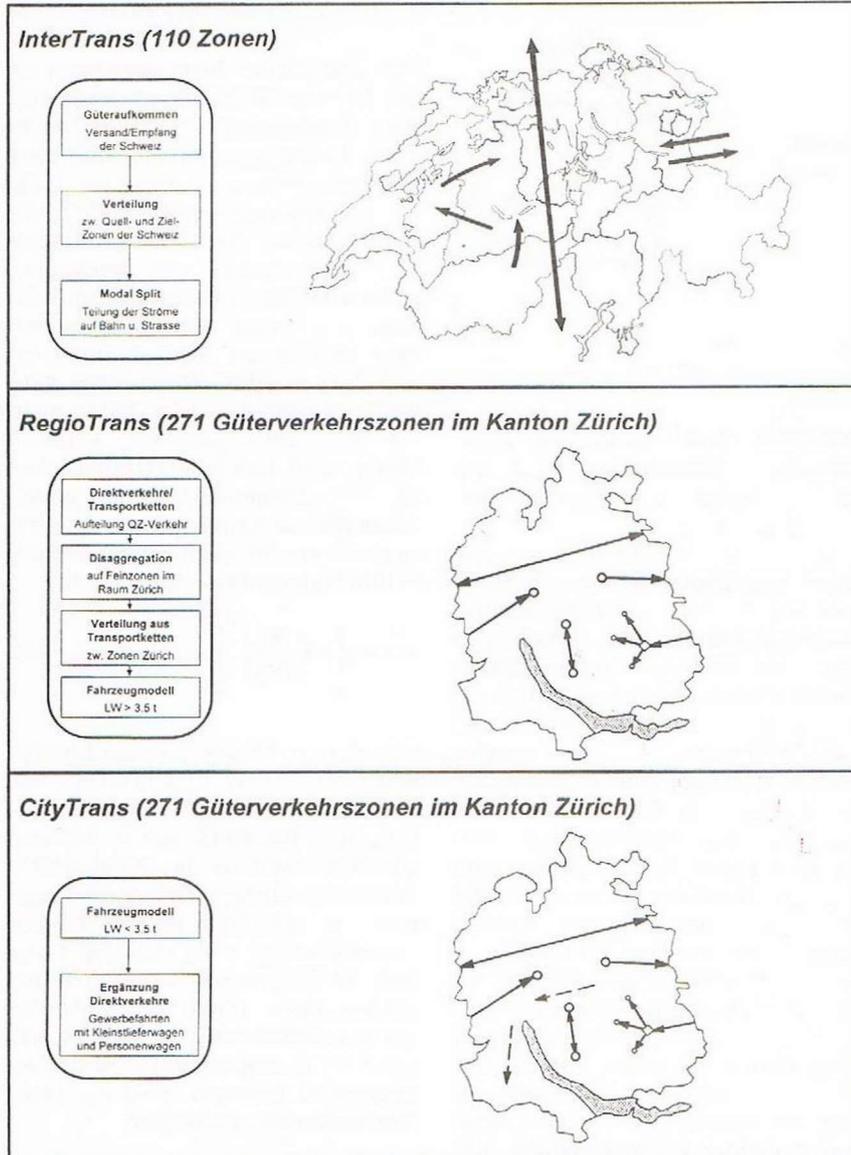
verkehrsmodell zu integrieren. Die erhobenen Gütermengen und ihre Verteilung werden direkt in das Güterverkehrsmodell integriert und als bekannte Grössen mit berücksichtigt. Weitere Grundlagen bilden Siedlungs- und Wirtschaftsdaten des Bundesamtes für Statistik, diverse Auswertungen der Gütertransportstatistik GTS 93, Angaben zu Verkehrsströmen im schweizerischen Binnen-Bahnverkehr sowie Daten zum grenzüberschreitenden Güterverkehr der eidgenössischen Oberzolldirektion.

Modellaufbau

In der Regel wird der Binnenverkehr eines Modellgebietes (hier der Kanton Zürich) mit den Gesetzmässigkeiten direkt abgebildet, während der Aussenverkehr, das heisst der Ziel-, Quell- und Durchgangsverkehr, aus einem übergeordneten Modell übernommen wird. Mangels vorhandener Modellabbildungen der gesamtschweizerischen Güterverkehrsströme ist in einem ersten Schritt ein Modellgebiet Schweiz zu betrachten, um den Aussenverkehr des Kantons Zürich abzubilden.

Das Güterverkehrsmodell für den Kanton Zürich baut auf den drei Modelllinien InterTrans, RegioTrans und CityTrans auf (Abbildung 1). Je nach Modellschritt ist die Unterteilung in Verkehrszonen unterschiedlich fein. Die modellmässige Abbildung der gesamten Schweiz umfasst 110 Zonen, welche mit Ausnahme des Grenzgebietes zwischen

Suite à l'élaboration d'un modèle de transport des marchandises pour le canton de Zurich, on disposera d'un modèle réagissant aux mesures pour la planification et l'exploitation du réseau routier au niveau supérieur. Il convient dès lors de développer pour toute la Suisse (trafic au niveau supérieur) et en particulier pour le canton de Zurich des ébauches de modèles axés sur le comportement. Pour ce faire, on se basera sur les règles logiques du transport des marchandises que l'on mesurera au moyen de données empiriques.



1: Aufbau der Modelllinien Inter-, Regio- und CityTrans.

den Kantonen Zürich und Aargau den 106 MS-Regionen (MS = Mobilité spatiale) der Schweiz entsprechen. Das Modellgebiet Zürich wird in 271 Güterverkehrszonen aufgeteilt. Die feinste Zonenunterteilung, auf deren Basis die Verkehrsbelastungen auf dem Strassennetz bestimmt werden, entspricht mit 815 Zonen derjenigen des Personenverkehrsmodells KVM-ZH.

Modelllinie InterTrans (Schweiz)

Aufkommen, Zielwahl und Transportmittelwahl

In einem ersten Modellschritt werden die Güterverkehrsaufkommen

auf Strasse und Schiene für 110 Zonen der Schweiz, differenziert nach Versand bzw. Empfang und nach den 10 NST/R-Güterarten [3], erzeugt. Von diesem Verkehrsaufkommen wird der Nahverkehr abgetrennt und in einem späteren Modellschritt beim RegioTrans wieder in den Berechnungsgang eingefügt. Als Nahverkehr wird derjenige Anteil des InterTrans-Verkehrs bezeichnet, der nicht durch die Bahn konkurrenziert wird, das heisst der vollständig auf der Strasse transportiert wird. Das Zielwahlmodell stellt den Zusammenhang her zwischen den zonalen Güterverkehrsaufkommen, der Attraktivität der Zielorte und dem notwendigen Transportaufwand. Dabei besteht je ein Ziel-

wahlmodell für den Fernverkehr und für den Nahverkehr. Beim Fernverkehrsmodell ergibt sich die Matrixstruktur, die den Transportaufwand der einzelnen Fahrbeziehungen abbildet, aus:

$$\text{Matrix (i, j)} = \exp(-\alpha_{GK} * \text{Genkost (i, j)})$$

Matrix (i, j):
Matrix, die den Transportaufwand zwischen einem Fahrtursprung i und einem Fahrtziel j abbildet

α_{GK} :
Parameter für den Transportwiderstand

Genkost (i, j):
Generalisierte Kosten

das heisst, es muss eine Matrix mit generalisierten Kosten bestimmt werden.

Diese Generalisierten Kosten werden folgendermassen berechnet:

$$\text{Genkosten} = (\text{GewichtStrasse} * \text{KostenStrasse} + \text{GewichtBahn} * \text{KostenBahn}) / \text{Norm}$$

GewichtStrasse bzw. Bahn:
 $\exp(-\theta_{\text{Strasse/Bahn}} * \text{Kosten Strasse/Bahn})$

KostenStrasse bzw. Bahn:
Entfernung Strasse/Bahn * Fr./km für die jeweilige Entfernung Strasse/Bahn

Norm:
GewichtStrasse + GewichtBahn

$\theta_{\text{Strasse/Bahn}}$:
Modalsplitparameter für Strasse bzw. Bahn (güterbereichs- und entfernungsabhängig)

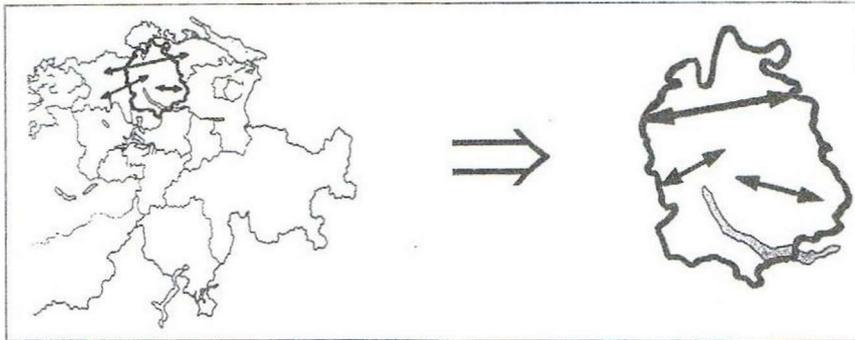
Beim Nahverkehrsmodell errechnet sich diese Struktur aus:

$$\text{Matrix (i,j)} = \exp(-0,5 * (\text{Entfernung (i, j)/mT})^2)$$

mT = mittlere Entfernungen der einzelnen Güterarten

das heisst, es muss eine Entfernungsmatrix vorliegen.

Als Erklärungsvariablen für die Zielattraktivität dienen Nettoproduktionswerte nach Güterarten und die Bevölkerungsmengen in den Zonen. Mit Hilfe eines Transportmittelwahlmodells (Modal Split) werden die Transportströme des Fernverkehrs aufgeteilt. Die Form des Ver-



2: Ausschneiden des Modellgebietes Zürich.

kehrsmittelwahlmodelles entspricht einem Logit-Typ; die Parameterschätzung basiert auf einer Analyse erhobener Güterströme auf Strasse und Schiene mit dem Maximum-Likelihood-Verfahren. Erklärende Variablen sind die Transportkosten und -zeiten auf den beiden Verkehrsmitteln.

Als Ergebnis dieser Modellschritte liegen für jede Verkehrsbeziehung (110x110 Beziehungen) und jede Güterart die Güterverkehrsmengen in Tonnen pro Jahr für die Bahn und die Strasse vor.

Import-/Export- und Transitströme Schweiz

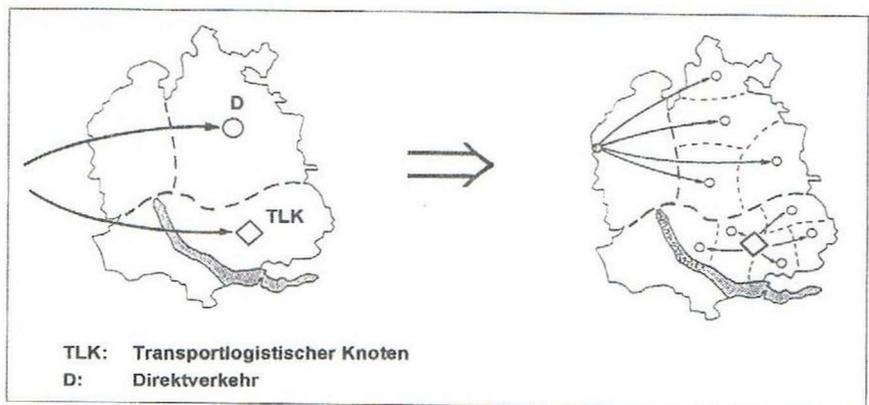
Mit der Modelllinie InterTrans werden diejenigen Verkehrsbeziehungen berechnet, für die sowohl Fahrtanfang wie auch Fahrtende innerhalb der Schweiz liegen (Binnenverkehr Schweiz). Der über die Schweiz hinausreichende Aussenverkehr, das heisst Ziel-, Quell- und Transitverkehr der Schweiz, wird aus Datenmaterial der Eidgenössischen Oberzolldirektion abgeleitet. Zu diesem Zweck werden im gesamtschweizerischen Modell die Routen bestimmt, auf welchen die entsprechenden Verkehrsbeziehungen die Schweiz betreten bzw. verlassen. Die Verkehrsbeziehungen werden ab diesen Grenzpunkten dem schweizerischen Binnenverkehr überlagert.

Modelllinie RegioTrans (Kanton Zürich)

In der Modelllinie RegioTrans werden die InterTrans-Güterströme nur noch im Modellgebiet Zürich betrachtet. In der Folge werden die Verkehrsbeziehungen, die das Mo-

dellgebiet Zürich schneiden (Aussenverkehr Zürich), nur noch bis bzw. ab diesen Schnittpunkten betrachtet (Abbildung 2).

In einem nächsten Schritt wird der Quell- und Zielverkehr des Modellgebietes Zürich in Direktverkehre zwischen Sender und Empfänger und in Verkehre über transportlogistische Knoten (TLK), also Güterverteilzentren, Speditionen usw. aufgeteilt (Abbildung 3 links). Der folgende Schritt umfasst die Verteilung der Aufkommen im Direktverkehr auf die 271 Güterverkehrszonen des Modellgebietes Zürich sowie eine analoge Verteilung der Verkehre, die über transportlogistische Knoten abgewickelt werden (Abbildung 3 rechts). Die Aufteilung erfolgt mit Hilfe von Strukturgewichten, Kenntnissen über Gleisanschlüsse sowie Lage und Kapazitäten von logistischen Knoten. Das Güteraufkommen transportlogistischer Knoten und sonstiger herausragender singulärer Verkehrserzeuger wurde durch die oben beschriebene Befragung erhoben und wird direkt in Form von Tonnagen pro Güterart ins Modell eingespeist.



3: Verteilung der Direktverkehre und der Verkehre über transportlogistische Knoten auf die Feinzonen des Modellgebietes Zürich.

Lastwagenströme RegioTrans

Das Ziel dieses Modellschrittes ist die Erzeugung von Lastwagenströmen (Lastwagen > 3,5 t) mit Hilfe eines Lastwagenmodells, das über gutartspezifische Auslastung beladener Fahrzeuge und Leerfahrtenanteile sowie den Paarigkeitsgrad von Güterströmen die Lastwagenströme bildet. Angewendet wird ein Fahrzeugmodell, bei dem neben den Lastfahrten auch Leerfahrten simuliert werden. Die Leerfahrtenwahrscheinlichkeit wird dabei nicht als Konstante gesehen, sondern hängt vom Grad der Unpaarigkeit der Transportströme ab. Ein geeignetes Modell für die Berechnung der relationsspezifischen Leerfahrtenwahrscheinlichkeit hat die Form

$$p_i = \exp \left[-\lambda \left(\frac{M_{ij}}{M_{ji}} \right)^2 \right]; \quad (0 < \lambda \leq \lambda_0 \text{ mit } \lambda_0 = 2.46)$$

mit M_{ij} bzw. M_{ji} als Transportmenge von i nach j bzw. j nach i . Der freie Parameter λ ist dabei so anzupassen, dass die empirisch ermittelten Leerfahrtenanteile je Güterbereich durch das Modell reproduziert werden. Im weiteren ist im Modell berücksichtigt, dass die Unpaarigkeit der Ströme bei längeren Transportdistanzen durch Frachtakquisition im Umkreis des Quell- bzw. Zielortes der Fracht verringert wird. Entsprechend geringer wird die Leerfahrtenwahrscheinlichkeit.

Modelllinie CityTrans

Die Modelllinie CityTrans umfasst die vom Modellschritt RegioTrans

erzeugten Güterverkehrsströme, die mit Fahrzeugen unter 3,5 Tonnen Gesamtgewicht (Lieferwagen und Gütertransporte in Personenwagen) transportiert werden. Dieser Modellschritt erzeugt für Fahrzeuge unter 3,5 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht die Fahrzeugströme zwischen transportlogistischen Knoten und Zonen im Modellgebiet Zürich sowie im Binnenverkehr innerhalb des Modellgebietes Zürich.

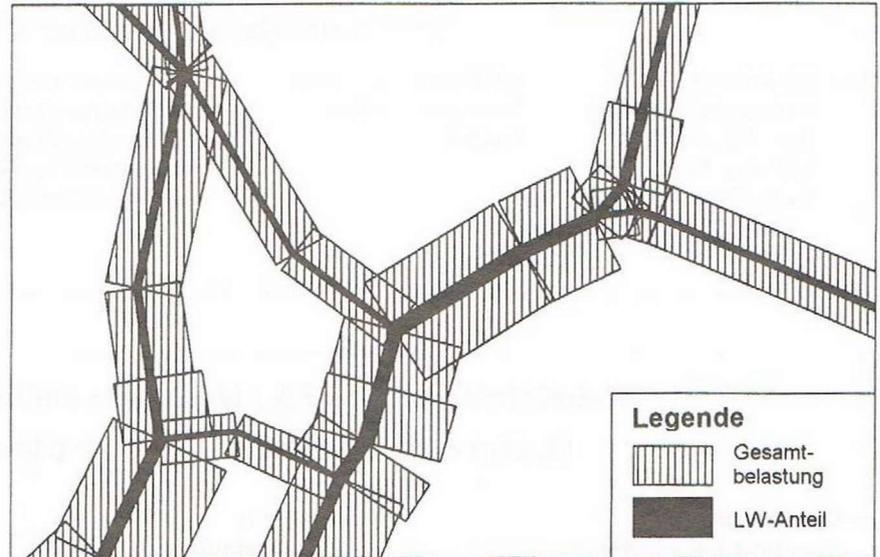
Nebst diesem Teil des CityTrans wird zusätzlich derjenige Verkehr modelliert, der nicht an Mengenaufkommen gebunden ist. Dieser umfasst Gewerbeverkehr mit Kleinstlieferwagen und Liefer-/Personenwagen. Es handelt sich dabei im wesentlichen um Verkehre, die tonnagemässig nicht erfasst sind, die aber aufgrund von Fahrzeugbeständen und Fahrleistungen ein nicht zu vernachlässigendes Gewicht haben.

Ergebnisse und Genauigkeiten

Das Güterverkehrsmodell liefert für den Ist-Zustand die folgenden Ergebnisse:

- Güteraufkommen nach Zone und Güterart
- Güterströme, getrennt nach Strasse und Schiene
- Belastungen des Strassennetzes durch den Schwerverkehr
- Schwerverkehrsanteile auf dem Strassennetz

Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt aus dem Güterverkehrsmodell. Gezeigt wird pro Teilstrecke die gesamte Belastung in Motorfahrzeugen und der Anteil der Lastwagen. Unter entsprechenden Annahmen der Siedlungsentwicklung, der Produktivitätssteigerung und der zukünftigen



4: Motorfahrzeugbelastung und Anteil der Lastwagen.

tigen Verkehrsinfrastruktur wurde auch eine Trendprognose für das Jahr 2010 gerechnet.

Erreichte Genauigkeiten

Eine gesamthafte und gleichzeitig bewertende Darstellungsart ergibt sich aus dem Vergleich der absoluten und relativen Abweichungen der Zählstellen auf dem Strassennetz des Modellgebietes. Mit der auch beim Personenverkehrsmodell angewendeten Qualitätsbeurteilung liegen 51% der Modellergebnisse im Bereich «sehr gut», 21% im Bereich «gut», 17% im Bereich «befriedigend» und 11% im Bereich «unbefriedigend».

Schlussbemerkung

Das Güterverkehrsmodell für den Kanton Zürich ist ein in dieser Form

erstmals entwickeltes Arbeitsinstrument, das für diverse Fragestellungen im Rahmen des Güterverkehrs eingesetzt werden und planerische Entscheide unterstützen kann. Die Komplexität des Modells darf wie beim Personenverkehrsmodell jedoch nicht unterschätzt werden und stellt für einen effizienten Einsatz hohe Anforderungen.

Literatur

- [1] Jenni + Gottardi AG: Verkehrsmodell Kanton Zürich KVM-ZH, 1996.
- [2] Kessel und Partner, Freiburg i. Br.: Güterverkehrsprognose 2010 für Deutschland, Forschungsbericht FE-Nr. 90299/90 des Bundesministers für Verkehr, 1991.
- [3] Nomenclature uniforme de marchandise pour les statistiques de transport, revidiert; 175 Güterpositionen, zusammengefasst in 10 Kapiteln.