

# Ein strategisches Verkehrsmodell von Europa (EURO9)

*Paul PFAFFENBICHLER & Günter EMBERGER*

Dipl.-Ing. Paul PFAFFENBICHLER, Dr. Günter EMBERGER; Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, TU Wien (TUW-IVV),  
Gußhausstraße 30/231, 1040 Wien; [pfafpa@e231ic11.tuwien.ac.at](mailto:pfafpa@e231ic11.tuwien.ac.at) bzw. [embegu@e231ic11.tuwien.ac.at](mailto:embegu@e231ic11.tuwien.ac.at)

## **KURZFASSUNG:**

Für das EU-Projekt SAMI wurde zur europaweiten Simulation verkehrspolitischer Maßnahmen ein Verkehrsmodell mit sehr kurzer Laufzeit benötigt. Aufgrund der vorhandenen Erfahrung mit strategischen Modellen (FATIMA, OPTIMA) wurde TUW-IVV mit dessen Entwicklung beauftragt. Wegen des hohen räumlichen Aggregationsgrades bei gleichzeitiger Berücksichtigung aller Modi (Straße, Schiene, Wasser, Luft) für Personen- und Güterverkehr waren zahlreiche innovative Ansätze wie etwa die verschachtelte Modellierung des inter- und intra-zonalen Verkehrs notwendig.

## **1 EINLEITUNG**

Verkehrsmodelle ermöglichen es Verkehrsplanern, Aussagen über zukünftige verkehrspolitische Maßnahmen zu treffen. Die Auswirkungen von Kostenmaßnahmen und Änderungen im Infrastrukturangebot (die zwei wichtigsten Stellgrößen der Verkehrspolitik) können mit solchen Verkehrsmodellen simuliert und bezüglich ihrer lokalen, regionalen und globalen Auswirkungen (wirtschaftlich und/oder ökologisch) hin optimiert werden.

Das hier vorgestellte Verkehrsmodell "EURO9" wurde für verkehrsrelevante Aussagen auf Europeaniveau entworfen und ist in der Lage die Wirkungen von Maßnahmenbündeln der europäischen Verkehrspolitik zu simulieren. Da auf Grund der wirtschaftlichen und geopolitischen Heterogenität die Verkehrspolitik in den einzelnen Regionen der Europäischen Gemeinschaft nicht die gleichen Ziele verfolgen muß und die verkehrspolitischen Ziele der Ost-Staaten nicht bzw. nur zum einem kleinen Teil direkt von der EU beeinflusst werden können, ist es notwendig ein "einfaches, schnelles" aber gut abbildendes Verkehrsmodell zur Verfügung zu haben. Im EU-Forschungsprojekt SAMI wurde ein solches Modell von TUW-IVV entwickelt. Dieses Modell (EURO9) ermöglicht es eine Vielzahl von Maßnahmenbündeln, deren verschiedene quantitative Ausprägungen und Zielvorstellungen für das Gesamtsystem Europa zu simulieren. Durch zielorientierte Iterationen ist es möglich, existierende optimale Maßnahmenräume aufzuspüren.

Technisch gesehen ist dem EURO9-Modell der Gravitationsansatz (Schnabel-Lohse,1997) zur Abbildung des inter-zonalen Verkehrs zugrunde gelegt, der intra-zonale Verkehr wurde, wie weiter unten im Text dargestellt, mittels des Verfahrens der Weglängenverteilung im Modell berücksichtigt.

## **6 EINTEILUNG IN MODELLZONEN**

Die Zoneneinteilung erweist sich bei jeder Verkehrsmodellierung als ein Optimierungsproblem - je feiner die Zelleneinteilung gewählt wird, desto genauer können zwar Verkehrsbeziehungen abgebildet werden, jedoch steigt auch die Rechenzeit zumindest quadratisch mit der Zahl der Zellen an. Die erste Frage im EU-Projekt SAMI lautete daher: Wie groß ist die Anzahl der geographisch und wirtschaftlich einigermaßen homogenen Zonen, die verschiedene verkehrspolitische Zielvorstellungen haben könnten? Diese Frage wurde innerhalb des SAMI-Konsortiums ausführlich diskutiert. Das Ergebnis dieses Diskussionsprozesses sind die im folgenden vorgestellten Zonen. Das geographische Gebiet Europas wurde in 9 Zonen unterteilt (Abbildung 1): **North West** (Großbritannien, Irland, Island), **North** (Dänemark, Finnland, Norwegen, Schweden), **Other East** (Europäischer Teil der früheren Sowjetunion), **West** (Frankreich), **Central** (Belgien, Deutschland, Liechtenstein, Luxemburg, Holland, Österreich, Schweiz), **East** (Kroatien, Polen, Slowakei, Slowenien, Tschechien, Ungarn), **South West** (Spanien, Portugal, Andorra), **South** (Italien) und **South East** (Albanien, Bosnien Herzegowina, Bulgarien, Griechenland, Jugoslawien, Mazedonien, Rumänien und der Europäische Teil der Türkei).

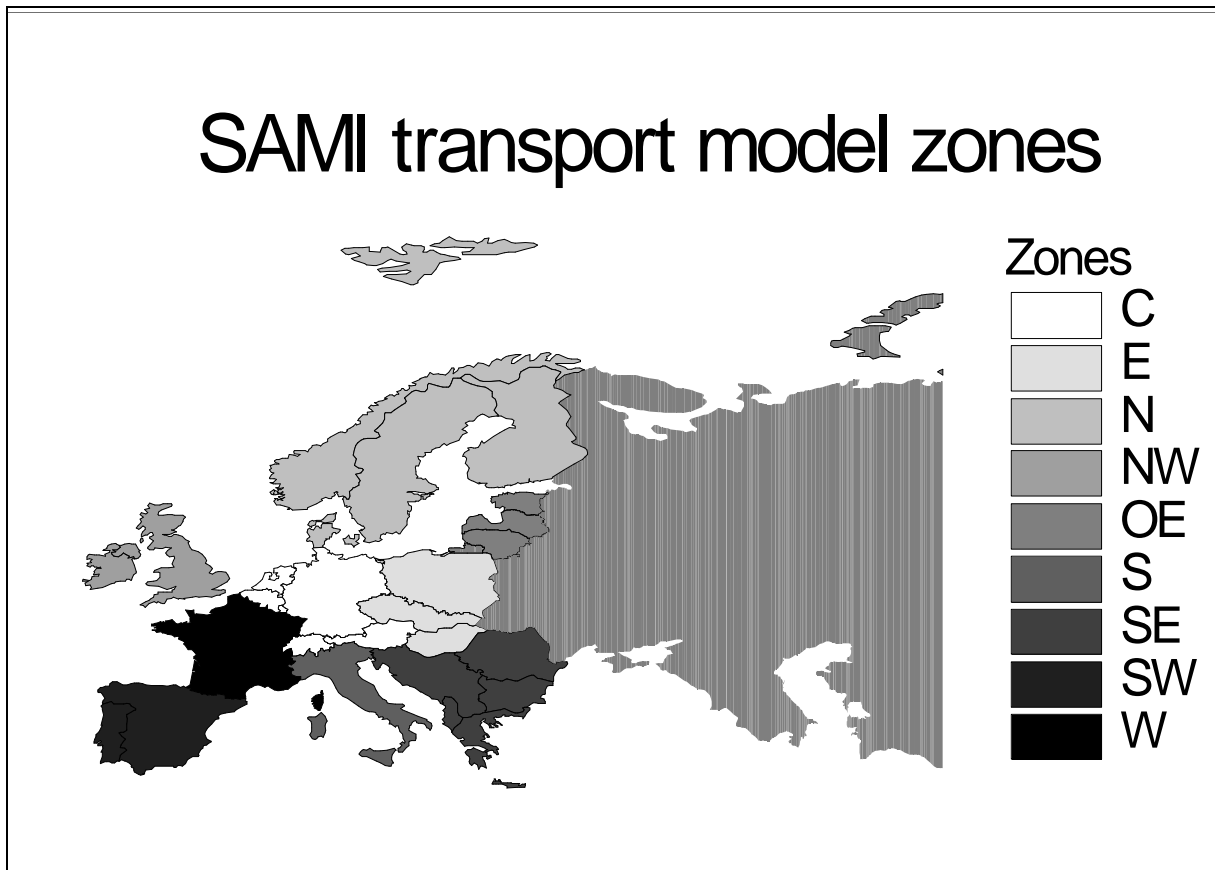


Abbildung 6: Einteilung der Zonen des strategischen Verkehrsmodells EURO9

### 7 VERTEILUNG DES QUELLPOTENTIALS

Das in einer Quelle vorhandene Potential an Wegen wird im Verkehrsmodell EURO9 mittels des in der folgenden Gleichung dargestellten Zusammenhanges gleichzeitig auf die möglichen Ziele und Verkehrsmittel aufgeteilt.

$$T_{ijmp} = T_{ip} * \frac{VW_{mp} * A_{jp} / GC_{ijmp}}{\sum_{jm} VW_{mp} * A_{jp} / GC_{ijmp}}$$

Gleichung 1

- $T_{ijmp}$  Fahrten von der Quelle i zum Ziel j mit dem Verkehrsmittel m und dem Zweck p
- $T_{ip}$  Potential an Fahrten in der Quelle i mit dem Zweck p
- $VW_{mp}$  Kalibrierungsfaktor für das Verkehrsmittel m und den Zweck p
- $A_{jp}$  Attraktivität des Zieles j für den Zweck p
- $GC_{ijmp}$  Generalisierte Kosten der Fahrt von der Quelle i zum Ziel j mit dem Verkehrsmittel m und dem Zweck p
- $p$  Zweck der Fahrt (Personentransport, Gütertransport)
- $m$  Verkehrsmittel
- $i$  Quelle
- $j$  Ziel

### 8 ROUTENWAHL

Die folgenden Städte wurden als Zentren dieser Zonen angenommen: London (NW), Stockholm (N), Moskau (OE), Paris (W), Köln (C), Budapest (E), Madrid (SW), Rom (S) und Athen (SE). Zwischen diesen Zentren wurden jeweils repräsentative Reiserouten angenommen. Sofern dies plausibel war wurde noch eine

mögliche Alternativroute angenommen. Ein Beispiel für eine derartige Routenwahl ist in Abbildung 7 dargestellt. Die Wahl der Route erfolgt im Modell EURO9 nach einer „Alles oder Nichts“-Logik. Es wäre jedoch leicht möglich auch die Wahl der Routen nach dem in Gleichung 1 beschriebenen Zusammenhang zu modellieren. Im Projekt SAMI wurde darauf aufgrund der äußerst beschränkten Ressourcen jedoch verzichtet.

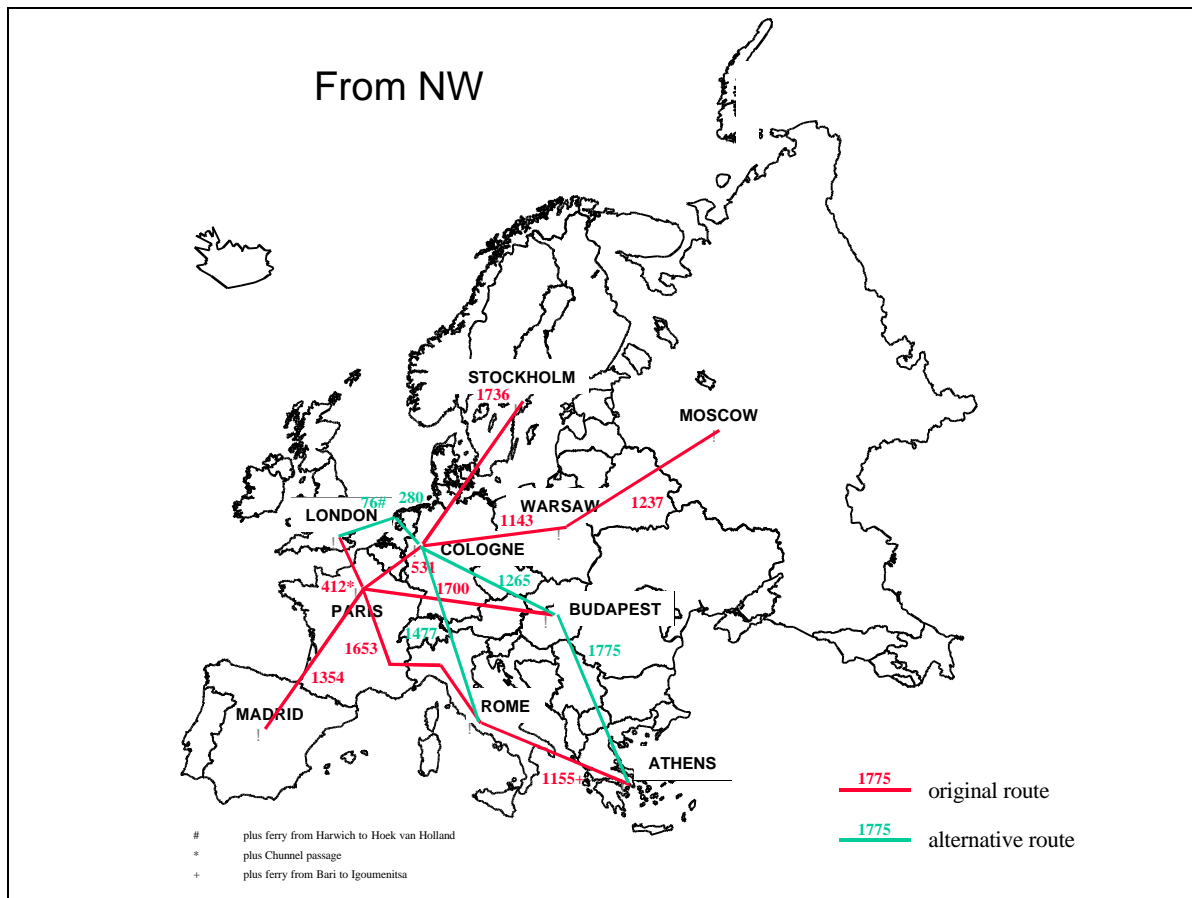


Abbildung 7: Beispiel für die Auswahl der repräsentativen Routen im Modell EURO9

## 9 BERÜCKSICHTIGTE VERKEHRSMITTEL UND -ZWECKE

An Verkehrsmitteln wurden im Modell EURO9 die folgenden Modi berücksichtigt:

Personenverkehr	Güterverkehr
Nicht motorisierte <sup>1</sup>	Strasse
Strasse	Schiene
Schiene <sup>2</sup>	Wasser
Luft	

Tabelle 1: Im Modell EURO9 berücksichtigte Modi

## 10 QUELLPOTENTIAL UND ZIELATTRAKTIVITÄT

In Tabelle 2 sind einige geographische und wirtschaftliche Eckdaten der modellierten Zonen angeführt. Diese dienen zur Bestimmung des Quellpotentials und der Zielattraktivität der Zellen. Für den Personenverkehr wurde das Quellpotential und die Zielattraktivität einer Zelle in etwa proportional der Einwohneranzahl angenommen. Für den Güterverkehr in etwa proportional dem Bruttoinlandsprodukt.

	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Einwohner (1.000)	BIP [Mrd. \$]	BIP [\$ je Einwohner]
--	---------------------------	-------------------	---------------	-----------------------

<sup>1</sup> Nur in der kürzesten Entfernungsklasse des intra-zonalen Verkehrs

<sup>2</sup> Beinhaltet intra-zonal den ÖPNV

NW	417.210	61.560	1.100	17.900
N	1.155.082	23.300	660	28.300
W	543.965	57.400	1.320	23.000
C	556.788	122.021	2.970	24.300
E	610.396	71.170	220	3.100
SW	591.160	48.957	770	15.700
S	301.302	57.000	1.320	23.200
SE	711.978	83.680	330	3.900
OE	6.288.900	274.580	550	2.000
Gesamt	11.176.781	799.668	9.240	11.600

Tabelle 2: Geographische und wirtschaftliche Eckdaten der Zonen des Modells EURO9

### 11 MODELLIERUNG DES INTRA-ZONALEN VERKEHRS

Da sich der Großteil des Verkehrsgeschehens innerhalb der modellierten Zonen abspielt, war es notwendig diese detaillierter zu behandeln. Innerhalb der Zonen wird der Verkehr in verschiedene Entfernungsklassen aufgeteilt. Im Modell EURO9 wurde der Anteil der einzelnen Verkehrsklassen am Verkehrsaufkommen als konstant angenommen. Um dem Prinzip der Zeitkonstanz im Verkehrssystem Rechnung zu tragen, wird die durchschnittlich zurückgelegte Distanz der einzelnen Entfernungsklassen als variabel angenommen (Emberger, Pfaffenbichler, 1999). Kapazitätserhöhungen, welche durch eine Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeit gekennzeichnet sind, erhöhen proportional die Länge der durchschnittlich zurückgelegten Wege. Die Verkehrsmittelwahl erfolgt intra-zonal nach einem Verkehrswertansatz (Mai, 1974).

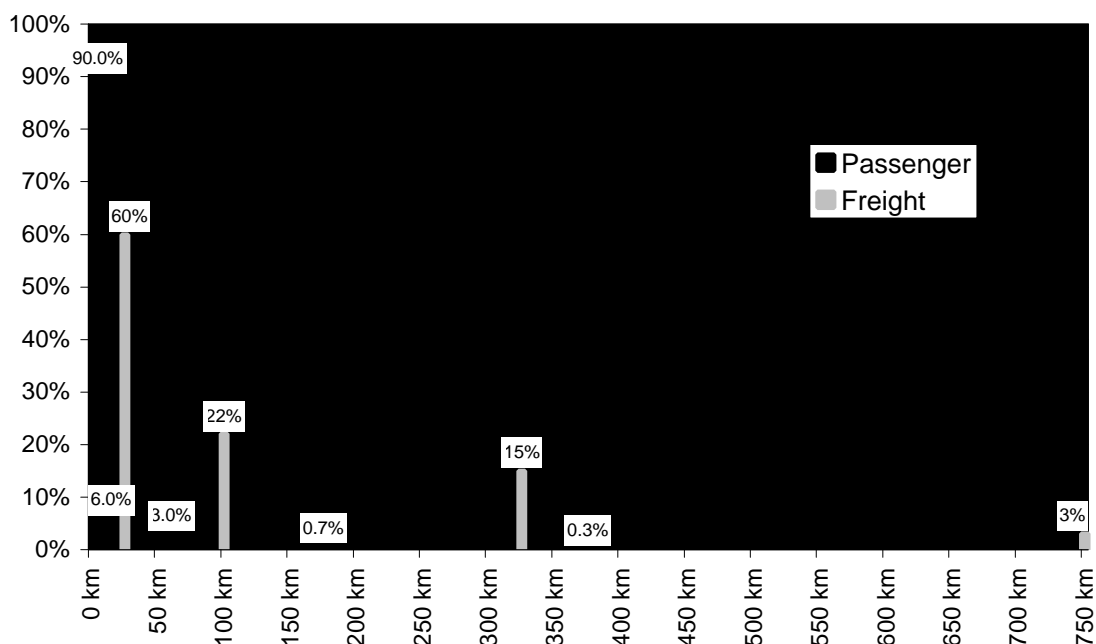


Abb. 8: Aufteilung des intra-zonalen Verkehrs auf Entfernungsklassen im Basisszenario d. Verkehrsmodells EURO9

### 12 KALIBRIERUNG DES MODELLS EURO9

Im Rahmen des EU-Projektes SAMI war es nicht möglich eine genaue Kalibrierung des Modells EURO9 durchzuführen. Es wurde lediglich eine ungefähre Kalibrierung unter Verwendung einiger statistischer Eckdaten durchgeführt (EU transports in figures, statistical pocketbook, DG VII, 2<sup>nd</sup> issue, 1997).

Der jährlich innerhalb der EU15 transportierte Gütermenge wurde mit etwa 12.500 Mio. Tonnen angenommen. Der Transportaufwand beträgt etwa 1,8 Mrd. Tonnenkilometer. Das entspricht etwa 4.900 Tonnenkilometer je Einwohner. Der jährliche Transportaufwand im Personenverkehr beträgt etwa 4.500 Mio. Personenkilometer. Das ergibt etwa 12.000 Personenkilometer je Einwohner und Jahr.

In den ost- und mitteleuropäischen Ländern (CEEC<sup>3</sup>) beträgt der jährliche Transportaufwand im Güterverkehr etwa 320 Mrd. Tonnenkilometer. Das entspricht etwa 2.700 Tonnenkilometer je Einwohner und Jahr. Für den Personenverkehr lagen keine entsprechenden Daten vor. Es wurde angenommen, dass die jährlich zurückgelegten Personenkilometer je Einwohner etwas unter jenen der EU15 liegen.

Über die restlichen Staaten wie Russland, Türkei, etc. liegen keine Daten vor. Es wurde angenommen, dass der Transportaufwand und der Modal Split etwa jenem der CEEC-Länder entspricht.

			Strasse	Schiene	Wasser	Luft
EU15	Güter	Tonnen	86%	7%	7%	
		Tonnenkilometer	60%	12%	28%	
	Personen	Personenkilometer	80%	14%		6%
CEEC	Güter	Tonnenkilometer	44,5%	52,7%	2,8%	

Tabelle 3: Modal Split EU15 und CEEC

### 13 MODELLIERTE VERKEHRSPOLITISCHE MAßNAHMEN

An verkehrspolitischen Maßnahmen können im Modell EURO9 Kosten- und/oder Kapazitätsänderungen abgebildet werden. Kapazitätsänderungen bewirken Änderungen in den Reisezeiten. Zum einen durch eine Beeinflussung der Reisegeschwindigkeit, zum anderen durch eine Beeinflussung z.B. der Be- und Entladezeiten im Güterverkehr, der Check-In-Zeiten im Flugverkehr oder der Grenzwarzeiten.

Es können also 2 Maßnahmen<sup>4</sup> je Zone und Verkehrsmittel<sup>5</sup> modelliert werden. Bei 9 Zonen und 6 Verkehrsmitteln<sup>6</sup> ergibt das theoretisch 108 Eingabemöglichkeiten. Da auch die Fährverbindungen als Bestandteil der Strassen- bzw. Schienenverbindungen separat beeinflusst werden können und da die Beeinflussung der Strassenkapazität sowohl auf den Güter- als auch den Personenverkehr wirkt, besteht im Modell EURO9 die Möglichkeit 113 Einzelmaßnahmen abzubilden (Abbildung 9).

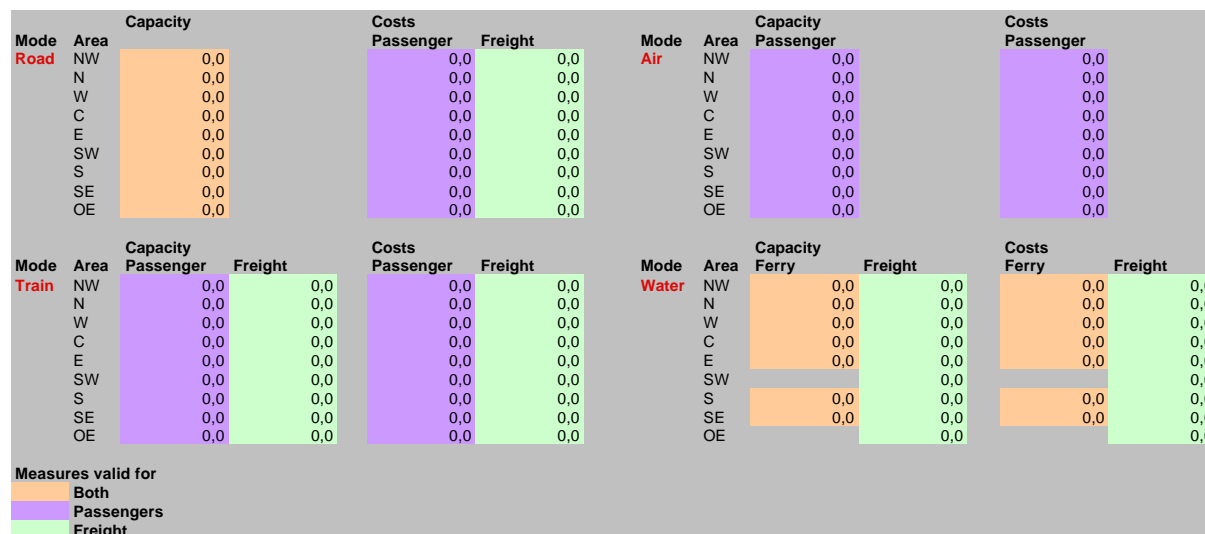


Abbildung 9: Maßnahmen Input Verkehrsmodell EURO9

3 Central and Eastern European Countries: Bulgarien, Tschechien, Estland, Ungarn, Litauen, Lettland, Polen, Rumänien, Slowenien und Slowakei.

4 Kosten bzw. Kapazität

5 Der nicht motorisierte Verkehr kann im Modell EURO9 nicht direkt beeinflusst werden.

6 Personenverkehr: Strasse, Schiene, Luft; Güterverkehr: Strasse, Schiene, Wasser

## 14 OUTPUTDATEN DES MODELLS EURO9

Das Modell EURO9 berechnet pro Simulationslauf folgende verkehrsrelevanten Outputdaten (getrennt nach Quell-Ziel-Relation, Verkehrsmittel und Personen- bzw. Güterverkehr):

- ?? Die Zahl der Wege,
- ?? die Personen- bzw. Tonnenkilometer,
- ?? den Modal Split (sowohl nach Personen und Tonnen, als auch Personen- und Tonnenkilometer),
- ?? die Fahrzeugkilometer,
- ?? den Verbrauch an fossilen Treibstoffen und
- ?? die atmosphärischen Emissionen (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, CO, SO<sub>2</sub>, Partikel).

Diese Indikatoren können für nachgeschaltete Bewertungsverfahren (Kosten/Nutzenanalyse, Multicriteria-Analyse, usw.) als Inputdaten verwendet werden.

## 15 SENSITIVITÄTSANALYSE

Eine Sensitivitätsanalyse zeigte, dass das Verhalten des Modells EURO9 bezüglich der modellierten Maßnahmen qualitativ korrekt ist. Es erscheint grundsätzlich möglich, das Modell EURO9 als ernstzunehmendes strategisches Verkehrsmodell zu verwenden. Dies würde natürlich einigen Arbeitsaufwand zur Verbesserung der dem Modell zugrundeliegenden Datenbasis und eine genauere Kalibrierung voraussetzen.

## 16 BEISPIELHAFTE ERGEBNISSE DER MODELLRECHNUNGEN

Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft die Ergebnisse der Modellrechnungen für den gesamteuropäischen Modal Split (Pkm, tkm) für zwei Szenarien. Das Szenario „Liberalisierung und TEN Netz 2015“ ist gekennzeichnet durch:

- ?? eine Kostenerhöhung im Strassenverkehr auf kurzen Distanzen (Personen- und Güterverkehr),
- ?? eine Kostenreduktion im Strassengüterverkehr auf langen Distanzen,
- ?? eine Kostensteigerung im Schienenverkehr (Personen- und Güterverkehr),
- ?? eine Kostenreduktion im Flugverkehr,
- ?? eine Kostenreduktion in der Seeschifffahrt,
- ?? eine Kostenerhöhung der Binnenschifffahrt,
- ?? eine Kapazitätserhöhung im Strassenverkehr und
- ?? eine Kapazitätserhöhung im Schienenverkehr.

Mode	Anteil Personenkilometer		Anteil Tonnenkilometer	
	Basisszenario 1995	Liberalisierung und TEN Netz 2015	Basisszenario 1995	Liberalisierung und TEN Netz 2015
Strasse	69,7%	70,8%	54,5%	58,4%
Schiene	26,0%	24,4%	15,4%	15,8%
Luft	4,3%	4,8%	-	-
Wasser	-	-	30,2%	25,9%

Tabelle 4: Ergebnisse des Verkehrsmodells EURO9 für das Basisszenario 1995 und das Szenario „Liberalisierung und TEN Netz 2015“

## 17 ZUSAMMENFASSUNG

Das in diesem Papier vorgestellte Verkehrsmodell beschreitet neue Wege bei der Modellierung strategischer verkehrspolitischer Maßnahmen. Durch die sehr kurze Laufzeit für die einzelnen Simulationsläufe, begründet durch die Kombination des Gravitationsansatzes für inter-zonalen Verkehrs mit dem Ansatz der

Weglängenverteilung zur Abbildung des intra-zonalen Verkehrs, können verschiedenste verkehrspolitische Maßnahmenbündel hinsichtlich ihrer quantitativen Auswirkungen und ihrer geographischen Verteilung in Europa untersucht werden. Durch die automatisierte Eingabe der Inputparameter (Kosten- und Kapazitätsveränderungen) können durch einen zielorientierten, mehrdimensionalen Vollflächenscan (Emberger, 1998) optimale Maßnahmenräume ermittelt werden.

Hauptanwendungsgebiet eines genauer kalibrierten Modells EURO9 könnte somit die Voroptimierung hochdimensionaler Probleme sein. Der so gefundene annähernd optimale mehrdimensionale Maßnahmenraum könnte dann mit detaillierteren Modellen (STREAMS, etc.) weiter untersucht werden.

## 18 LITERATUR

- Emberger G. (1998), Vorstellung einer Methode zum Lösen komplexer Optimierungsprobleme, Tagungsband zur CORP 1998 – Fachkonferenz für computerunterstützte Raumplanung an der TU Wien, 13. Feber 1998
- Emberger G., Pfaffenbichler P. (1999), “Kritische Betrachtung Rechnergestützter Verkersplanung”, Tagungsband zur CORP 1999 – Fachkonferenz für computerunterstützte Raumplanung an der TU Wien, 12. Feber 1999
- EU transport in figures (1997), Statistical pocketbook, Eurostat, DG VII, 2<sup>nd</sup> issue, 1997
- Mai B. (1974), Die Reiseweite im Stadt-Umland-Verkehr und ihr Einfluß auf Verkehrsaufkommen und Verkehrswegenetze, DDR Verkehr, Zeitschrift für komplexe Fragen der Leitung und Planung des Verkehrswesens, Heft 9, 1974
- SAMI** - Strategic Assessment Methodology for the Interaction of CTP Instruments - EU-Forschungsprojekt, für nähere Informationen : <http://www.cordis.lu>
- Schnabel, Lohse (1997): Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1997
- STREAMS** - Strategic Transport Research for European Member States - EU-Forschungsprojekt, für nähere Informationen : <http://www.cordis.lu>