

## ***FORSCHUNGSPROJEKT***

# ***„SITUATIONSANALYSE ÜBER DEN STAND DER SIMULATIONSMODELLE IM VERKEHRSWESEN“***

### ***- Abschlußbericht -***

- Auftraggeber: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie  
(Förderkennzeichen 19 K 9706 1)
- Projektträger: TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH, Köln
- Auftragnehmer: Bauhaus-Universität Weimar, Professur Verkehrsplanung und  
Verkehrstechnik
- Projektpartner: RWTH Aachen, Verkehrswissenschaftliches Institut  
University of London, Centre for Transport Studies  
Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Institut für Straßenbau und  
Verkehrsplanung

# Inhaltsverzeichnis

## **Abschlußbericht**

### **A Simulationsmodelle des Straßenverkehrs**

*Prof. Dr.-Ing. U. Brannolte, Professur Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Bauhaus-Universität Weimar*

<b>1 Überschrift 1. Hauptabschnitt</b> .....	A-1
1.1 Zwischenüberschrift .....	A-1
1.2 ...usw.	

### **B Simulationsmodelle des Schienenverkehrs**

*Prof. Dr.-Ing. W. Schwanhäußer, Verkehrswissenschaftliches Institut, RWTH Aachen*

<b>1 Einleitung</b> .....	B-1
<b>2 Ziele der Simulation des Betriebes von Schienenverkehrsmitteln</b> .....	B-2
<b>3 Fahrplanbearbeitung und -simulation</b> .....	B-3
<b>4 Simulation des Betriebsgeschehens</b> .....	B-5
<b>5 Modellierung der Infrastruktur der Systeme des Schienenverkehrs</b> .....	B-6
<b>6 Fahrzeiten und Belegungen</b> .....	B-8
<b>7 Verfahren der Betriebssimulation</b> .....	B-9
7.1 Allgemeines zu synchronen Simulationsverfahren .....	B-10
7.2 Detaillierte Betriebssimulation .....	B-11
7.2.1 Detaillierte synchrone Betriebssimulation .....	B-12
7.2.2 Detaillierte asynchrone Betriebssimulation .....	B-13
<b>8 Vorstellung der einzelnen Simulationsverfahren</b> .....	B-14
8.1 BEST .....	B-16
8.2 RWS .....	B-17
8.3 SABINE .....	B-19
8.4 SIMU VII .....	B-20
8.5 UX-SIMU .....	B-21
8.6 STRESI .....	B-22
8.7 NSIM .....	B-23
8.8 DISPOS .....	B-24
8.9 ETCS-Peternetz-Modell .....	B-25
<b>9 Situationsanalyse und Ausblick</b> .....	B-26

## C Angelsächsische Simulationsmodelle

*Dr.-Ing. U. Reiter, Centre for Transport Studies, University of London*

<b>1</b>	<b>Einleitung: Vorgehensweise</b>	C-1
<b>2</b>	<b>Quellen</b>	C-2
2.1	Die auf übersetzten Fragebogen gestützte Umfrage	C-2
2.2	Das SMARTEST-Projekt	C-3
2.3	Zusammenfassung	C-3
<b>3</b>	<b>Analyse</b>	C-4
3.1	Modellentwickler	C-4
3.2	Modellnutzung und -verfügbarkeit	C-5
3.3	Modelleinsatz	C-5
3.4	Hardwareanforderungen	C-6
3.5	Programmentwicklung	C-7
3.6	Repräsentation des Verkehrsflusses	C-8
3.6.1	Behandelte Netzelemente und Modellauflösung	C-8
3.6.2	Repräsentation von Aktionen und Interaktionen	C-9
3.6.3	Repräsentation verkehrsbeeinflussender Systeme	C-13
3.6.4	Modellklassifizierung	C-15
3.7	Zusammenfassung	C-17
<b>4</b>	<b>Untersuchung der Modelle im Einzelnen</b>	C-17
4.1	CARSIM	C-17
4.2	CORSIM	C-17
4.3	DRACULA	C-17
4.4	FRESIM	C-17
4.5	HUTSIM	C-17
4.6	INTEGRATION	C-17
4.7	MITSIM	C-18
4.8	NEMIS	C-18
4.9	PADSIM	C-18
4.10	PARAMICS	C-18
4.11	PHAROS	C-18
4.12	SHIVA	C-18
4.13	SIGSIM	C-18
4.14	SISTM	C-18
4.15	SITRAS	C-18
4.16	SMARTPATH	C-18
4.17	STEP	C-18
4.18	THOREAU	C-18
4.19	TRAFFICQ	C-18
4.20	TRAF-NETSIM	C-19
4.21	TRANSIMS	C-19
4.22	TRARR	C-19
4.23	TRGMSM-1	C-19
4.24	TRGMSM-2	C-19
4.25	SATURN	C-19
<b>5</b>	<b>Schrifttum</b>	C-19

**D Verkehrsnachfragemodelle**

*Prof. Dr.-Ing. K. W. Axhausen, Institut für Straßenbau und Verkehrsplanung, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck*

<b>1 Einleitung</b> .....	D-1
1.1 Anforderungen .....	D-1
Exkurs: Stand der Kunst.....	D-4
Exkurs: Stand der Technik .....	D-5
1.2 Zusammenfassung .....	D-8
<b>2 Software</b> .....	D-8
2.1 Übersicht.....	D-8
2.2 Verkehrserzeugung.....	D-9
2.3 Verkehrsverteilung .....	D-10
2.4 Verkehrsmittelwahl.....	D-11
2.5 Benutzerführung .....	D-12
<b>3 Ausblick</b> .....	D-12
Exkurs: Diskussionsergebnisse des Workshops .....	D-13
<b>4 Literatur</b> .....	D-14

## **Anlagenband I**

### **A Simulationsmodelle des Straßenverkehrs**

*Prof. Dr.-Ing. U. Brannolte, Professur Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Bauhaus-Universität Weimar*

- A1 Fragebogen zur Beurteilung von Simulationsmodellen des Straßenverkehrs**
- A2 Liste angeschriebener Modellentwickler bzw. -anwender**
- A3 Rücklauf Fragebögen**  
A3.1 - A3.44 (Übersicht siehe dort)
- A4 Analyse der Modelle**
  - A4.1 Analyse der Verkehrsflußmodelle
  - A4.2 Analyse der Nachfragemodelle
  - A4.3 Technische Analyse aller Modelle
  - A4.4 DemoverSIONen

## **Anlagenband II**

### **B Simulationsmodelle des Schienenverkehrs**

*Prof. Dr.-Ing. W. Schwanhäußer, Verkehrswissenschaftliches Institut, RWTH Aachen*

- B1 Fragebogen zur Beurteilung von Simulationsmodellen des Schienenverkehrs**
- B2 Liste angeschriebener Modellentwickler bzw. -anwender**
- B3 Rücklauf Fragebögen**  
B3.1 - B3.9 (Übersicht siehe dort)
- B4 Vergleichende Analyse der Fragebögen der Simulationsmodelle**

### **C Angelsächsische Simulationsmodelle**

*Dr.-Ing. U. Reiter, Centre for Transport Studies, University of London*

- C1 Fragebogen zur Beurteilung von Simulationsmodellen des Straßenverkehrs**
  - C1.1 E-Mail-Fragebogen
  - C1.2 WWW-Formular-Fragebogen
- C2 Listen angeschriebener Modelle**
- C3 Liste der von SMARTEST angeschriebenen Modelle**
- C4 Rücklauf Fragebögen**  
C4.1 - C4.23 (Übersicht siehe dort)

### **D Verkehrsnachfragemodelle**

*Prof. Dr.-Ing. K. W. Axhausen, Institut für Straßenbau und Verkehrsplanung, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck*

- D1 Anbieter**

## **Anlagenband III**

### **E Workshops im Rahmen des Projektes**

*Prof. Dr.-Ing. U. Brannolte, Professur Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Bauhaus-Universität Weimar*

- E1 Dokumentation Workshop „Simulationsmodelle“**
- E2 Dokumentation Workshop „Nachfragemodelle“**

## Verzeichnis der Abbildungen, Tabellen, Abkürzungen

### Abbildungen

Abb. A1	...	
Abb. B1	Beispiel für einen Bildfahrplan bzw. eine „betriebliche Übersicht“ .....	B-4
Abb. D1	Entscheidungshierarchie TRAM .....	D-7

### Tabellen

Tab. A1	...	
Tab. B1	Ziele der betrachteten Simulationsmodelle für den Schienenverkehr .....	B-15
Tab. C1	Übersicht über die in die Analyse einzubeziehenden Modelle.....	C-3
Tab. C2	Nutzung der untersuchten Modelle .....	C-5
Tab. C3	Einsatzfelder der untersuchten Modelle.....	C-5
Tab. C4	Hardwareanforderungen.....	C-6
Tab. C5	Behandelte Netzelemente .....	C-8
Tab. C6	Nachbildung der Netzelemente.....	C-9
Tab. C7	Nachbildung von Aktionen/Interaktionen.....	C-10
Tab. C8	Nachgebildete Verkehrsmittel.....	C-12
Tab. C9a	Repräsentierte Objekte und Begleitumstände .....	C-13
Tab. C9b	Zuordnung der Objekte zu den Modellen.....	C-13
Tab. C10a	Verkehrsbeeinflussende Systeme .....	C-14
Tab. C10b	Zuordnung der verkehrsbeeinflussenden Systeme zu den Modellen .....	C-14
Tab. C11	Modellklassifikation: Zeitbezug .....	C-15
Tab. C12	Modellklassifikation: Raumbezug.....	C-15
Tab. C13	Modellklassifikation: Verhaltensbeschreibung.....	C-16
Tab. C14	Modellklassifikation: Flexibilität der Anwendung .....	C-16
Tab. D1	Software: Verkehrserzeugung .....	D-10
Tab. D2	Software: Verkehrsverteilung.....	D-10
Tab. D3	Software: Verkehrsmittelwahl .....	D-11
Tab. D4	Software: Benutzerführung.....	D-12

### Abkürzungen (Abschnitt D)

AMOS	<i>Activity-Mobility-Simulator</i>
CATS	<i>Chicago Area Transport Study</i>
DOS	<i>Disk operating system</i>
DRIVE	Verkehrstelematikforschungsprogramme der CEC (1989-1994)
FHWA	<i>US Federal Highway Administration</i>
ÖV	Öffentlicher Verkehr
SP	<i>stated preference</i>
TRAM	<i>Traffic restraint analysis model</i>
TRANSIMS	<i>Transport Simulation System</i>
UTPS	<i>Urban Transportation Planning Software</i>

## D Verkehrsnachfragemodelle

*Prof. Dr.-Ing. K. W. Axhausen  
Institut für Straßenbau und Verkehrsplanung  
Leopold-Franzens-Universität Innsbruck*

### 1 Einleitung

#### 1.1 Anforderungen

Verkehrsnachfragemodelle sind ein Produkt des amerikanischen Stadtautobahnbaus der 50'iger Jahre (siehe insbesondere CATS, 1960 oder deren Vorgängerstudie in Southeast Michigan um Detroit). Die Interessenschwerpunkte und die technischen Rahmenbedingungen dieser Zeit prägten das Vorgehen und die Struktur der Modelle. Die Methoden und auch deren implizite Strukturen wurden dann in Europa und auch Deutschland weitgehend unverändert übernommen. Die einzig wesentliche methodische Veränderung der Verfahren in der weltweiten Standardpraxis war die Einführung disaggregierter Entscheidungsmodelle für die Verkehrsmittelwahl, obwohl diese Veränderung in Deutschland weitgehend nicht mitvollzogen wurde, da es sich seit der Mitte der 60'iger Jahre von der internationalen Entwicklung weitgehend abgekoppelt hatte.

Die Standardmodelle (siehe unten) finden sich nun heute in einer Lage, in der sie die Anforderungen der Politik in vielen Fällen nicht mehr angemessen erfüllen können, da in den letzten Jahren Instrumente und Maßnahmen hinzugekommen sind, die mit ihnen nicht mehr konsistent abbildbar sind, unter anderem:

- Information vor und während der Fahrt
- Straßengebühren
- Probleme des induzierten Verkehrs
- „Weiche“ Maßnahmen im ÖV
- Härtere Parkraumbewirtschaftung

Die Forschung und Entwicklung von Modellen, die diesen Anforderungen voll genügen, sind seit Ende der 80'iger Jahre im Gang (z.B. Initiativen in den DRIVE-Forschungsprogrammen der EU), aber diese Anstrengungen haben noch zu keinem neuen Standard geführt, der als Software und Methodenbündel weite Verbreitung hätte finden können. Diese Lücke zwischen altem Standard und seinem Abbildungsbereich und noch fehlendem neuen Standard führt zu einer starken Verunsicherung in der Anwendung bis hin zum vollkommenen Verzicht auf quantitative Methoden und einer rein qualitativen Betrachtung.

Die Aufgabe eines Verkehrsmodells ist die Vorhersage (Reproduktion der status-quo) der Verkehrsnachfrage differenziert nach:

- Ort (Strecke, Linienabschnitt, Radwegabschnitt, Blockkante)
- Route (Weg)
- Zeitpunkt
- Art des Parkstands
- Ort des Parkstands
- Art der Parkstandssuche
- Parkstandssuche
- Verkehrsmittel (oder Verkehrsmittelkombination)
- Ziel
- Quelle
- Abfahrtszeit
- Geplante Anfangszeit der Aktivität
- Dauer der Aktivität
- Zweck der Aktivität am Ziel
- Aktivitätenprogramm (Wegekette)
- Person, die differenziert sein kann nach, z.B.:
  - Alter
  - Geschlecht
  - Berufstätigkeit (Art und Umfang)
  - Bildungsniveau
  - Zeitrestriktionen
  - Führerscheinbesitz (nach Klassen)
  - Fahrzeug-Verfügbarkeit (nach Typ: Kfz-Typen, Motorrad, Fahrrad)
  - Fahrzeug-Besitz (nach Typ: Kfz-Typen, Motorrad, Fahrrad)
  - Besitz einer Monats- oder Jahreskarte für den ÖV
  - Einkommen
  - Parkstandsverfügbarkeit bei der Arbeit nach Fahrzeugtyp
  - Parkstandsverfügbarkeit zu Hause nach Fahrzeugtyp
  - Verfügbarkeit von Informationsquellen
  - Informationsstand
  - Vorwissen und Erfahrungen
- Haushalt, der differenziert sein kann nach, z.B.:
  - Struktur
  - Wohnstandort
  - Art und Größe der Wohnung
  - Arbeitsplätze der Mitglieder
  - Haushaltseinkommen
  - Alter des Haushalt

unter Berücksichtigung des Angebots an Aktivitätenmöglichkeiten, der Verkehrsnetze und ihrer generalisierten Kosten unter Last (z.B. Rüst-, Zugangs-, Warte-, Umsteige-, Fahrt-, Such- und Abgangszeiten, Reisekomfort, Kosten unter Berücksichtigung kurz-, mittel- und langfristiger Kostenelemente).



Im vorhergesagten Zustand sollten die Annahmen und die Ergebnisse in sich konsistent sein, zum Beispiel die Annahmen über die generalisierten Kosten und die berechneten generalisierten Kosten. Neben der Konsistenz können oder sollten die Ergebnisse einer normativen Systembeschreibung mit bekannten Eigenschaften, wie zum Beispiel dem Wardropschen Nutzergleichgewicht genügen, obwohl dies vom gewählten Zeithorizont abhängt (Wardrop, 1952)

Der gewählte Zeithorizont sollte dem Zielzeitpunkt der Untersuchung angemessen sein. Idealtypisch kann hier unterschieden werden zwischen Zeithorizonten, die sich konzentrieren auf:

- *Unmittelbare* Wirkungen, wie Wegewahl bei zufälligen Staus
- *Mittelfristige* Wirkungen auf das Aktivitätensystem
- *Langfristige* Wirkungen auf die sozio-ökonomischen Zustände des Planungsraums

Jeder dieser Zeithorizonte impliziert verschiedene Parametersätze des Modells.

Neben dem Endzustand sollte das Modell auch Aussagen über die Entwicklung zu diesem Endzustand machen, da der Entwicklungspfad entscheidend für die Bewertung einer Maßnahme sein kann.

Die absolute Anzahl der Haushalte nach Typ und Personen nach Typ, die Netze und das System der Aktivitätsmöglichkeiten (Ort, Anzahl und Art der Wohnungen, Arbeitsplätze, Schulplätze, Freizeit- und Einkaufsmöglichkeiten etc.) werden dem Verkehrsmodell extern vorgegeben. Integrierte Modelle der Flächennutzung und des Verkehrs integrieren diese Elemente in ein Gesamtmodell. Bestimmte Aspekte der Beschreibung der Personen und Haushaltstypen werden aber in Verkehrsmodelle integriert, z.B. Pkw- oder Führerscheinbesitz, oder Wahl des Wohnorts.

Dem hier beschriebenen Anforderungskatalog wird kein dem Autor bekanntes Softwareprodukt gerecht und für viele, auch heute noch relevante, Anwendungen brauchen sie ihm auch nicht gerecht zu werden. Die ursprünglichen Entwickler und die meisten heute verfügbaren und weit verbreiteten Standardprodukte konzentrieren sich auf:

- Route (Weg)
- Verkehrsmittel (oder Verkehrsmittelkombination)
- Ziel
- Quelle
- Zweck der Aktivität am Ziel
- Personentypen (oft frei wählbar)

wobei die Produkte die Berechnung der Nachfrage in die folgenden Teilschritte zerlegen und sequentiell abarbeiten:

- *Erzeugung* zur Berechnung der Nachfrage an Quelle und Ziel
- *Verteilung* zur Zuordnung der Nachfrage zwischen Quelle und Ziel
- *Verkehrsmittelwahl* zur Aufteilung der Nachfrage auf die verfügbaren Verkehrsmittel
- *Umlegung* zur Berechnung der Wegewahl

Diese Wahl der Teilschritte ist zwar in sich logisch, aber willkürlich, wie eine große Zahl alternativer Aufteilungen beweist. Diese Aufteilung reflektiert die theoretischen und praktischen Ressourcen am Ende der 50'iger Jahre, die es ermöglichten diese Schritte auf jeweils einer eigenen, nicht notwendigerweise konsistenten, theoretischen Grundlage zu implementieren. Die Tradierung dieser Entscheidungen durch vorhandene Software, Daten und Expertise hat dazu geführt, daß sie noch heute relevant sind. In der Praxis der Anwendung hat sich insbesondere der vierte Schritt verselbstständigt, so daß heute oft Umlegung und Verkehrsnachfragemodelle (Erzeugung, Verteilung und Verkehrsmittelwahl) unterschieden werden, obwohl sie nur unter starken Vereinfachungen trennbar sind. Die Gründe für diese Verselbständigung sind vielfältig, aber wesentlich waren die Kosten der Anwendung der Verkehrsnachfragemodelle, die Vernachlässigung der Rückkopplung zwischen Gesamtnachfrage und generalisierten Kosten, die Verfügbarkeit von Ansätzen zur Hochrechnung und Aktualisierung von Quelle-Ziel-Matrizen ohne Nachfragerechnung, die Verfügbarkeit von Methoden zur Berechnung von Matrizen aus Zählungen ohne Nachfragerechnung und letztlich unterschiedliche Anwendergruppen in den Verwaltungen und Beratungsbüros.

Ziel dieses Kapitels ist es, den *Stand der Anwendung* der Verkehrsnachfragemodellierung in Deutschland anhand der hier verfügbaren und gängigen Softwarepakete zu beschreiben. Es werden darüberhinaus zum Vergleich noch einige Produkte vorgestellt, die im UK und in den USA weitverbreitet sind, auch wenn sie in Deutschland bisher wenig Anwender gefunden haben.

Es werden die Modelle nicht im Detail vorgestellt, die dem *Stand der Kunst* oder *der Technik* entsprechen, da sie nicht frei verfügbar sind und immer mit der Beratungsleistung des Entwicklers zusammen erworben werden müssen. Zwei kurze Exkurse sollen aber eine beispielhafte Übersicht geben. Modelle des Standes der Kunst sind Modelle, für die Theorie neu entwickelt worden ist und für die, wenn überhaupt, erst einige Versuchsanwendungen vorliegen. Die Modelle des Standes der Technik sind Modelle, die die bekannte neuere und neuste Theorie umsetzen und mit denen schon mehrfach praktische Planungserfahrung gewonnen worden ist.

### **Exkurs: Stand der Kunst**

Das Modell *TRANSIMS*, das im Moment für die *Federal Highway Administration* (FHWA) an den Los Alamos National Laboratories entwickelt wird, ist ein gutes Beispiel für ein Modell, das versucht in seinen wesentlichen Teilen an der Spitze der Forschung zu sein. Der Anstoß für die Entwicklung kam direkt oder indirekt aus der gesetzlichen Überprüfbarkeit verkehrsplanerischer Zahlen im Rahmen der Einhaltung der Luftreinhaltungsgesetzgebung (Garrett und Wachs, 1996) in den USA. Hier wurde deutlich, daß der Stand-der-Anwendung in den USA, der Anfang der 90'iger Jahre noch weitgehend durch das Paket UTPS aus den 70'iger Jahren definiert wurde (Papacostas und Prevedouros, 1993 oder ITE, 1994), den Anforderungen nicht mehr entsprach<sup>3</sup>. Das Modell, das sich noch in der Entwicklung befindet,

---

<sup>3</sup> TRANSIMS ist ein Teil des Versuch der FHWA die verkehrsplanerische Praxis methodisch umfassend zu modernisieren. Die anderen Teile konzentrieren sich auf die Verbesserung der Datenlage, die ad-hoc Verbesserung der bestehenden Modelle und eine verbesserte Ausbildung der Praktiker.

versucht auf der Grundlage einer mikroskopischen Simulation des Verkehrsflusses (siehe Nagel, 1995, für die theoretischen Grundlagen der zellularen Automaten als Modell des Verkehrsflusses) und einer mikroskopischen Nachbildung der Aktivitätenketten der Bevölkerung einer Region die Umweltbelastung räumlich-zeitlich genau zu beschreiben. Das Modell versucht dabei, den Gleichgewichtszustand des Gesamtsystems durch Iteration zu finden. Das Nachfragemodell umfasst alle vier Stufen des klassischen Ansatzes plus die wesentlichen neueren Anforderungen (Zeitpunkt und Dauer der Aktivitäten, detaillierte sozio-demographische Beschreibung der Personen) baut dabei aber im wesentlichen auf bekannten Ideen auf, um die bekannten Rand- und gemeinsamen Verteilungen der Variablen zu bestimmen. Zur Berechnung der Wegewahl wird eine Heuristik verwendet, die die Suche und Entscheidung für einen Weg beinhaltet (Barrett, Berkgigler, Smith, Loose, Beckmann, Davis, Roberts und Williams, 1995). Teile von TRANSIMS werden im Moment zum ersten Mal mit einem Ausschnitt aus dem Netz von Dallas/Fort Worth getestet. Siehe DYNASMART für einen alternativen Ansatz zur Berechnung dynamischer Gleichgewichte in Netzen (Mahmassani, Peeta, Hu und Rothery, 1993).

Die anderen Entwicklungen, die den Stand der Kunst definieren, drehen sich um die Modellierung des Verkehrsverhaltens als Ausdruck von Aktivitätsprogrammen, d.h. der Entstehung von Aktivitätsbedarf über die Zeit und der Formulierung von Aktivitätsprogrammen und -ketten in allen Details. Hier werden Ideen aufgegriffen, die in den 70'iger und 80'iger Jahren zum erstenmal formuliert wurden, dann aber im wesentlichen nicht weiter verfolgt wurden (Hägerstrand, 1970; Jones, Clarke, Dix und Heggie, 1981; Zumkeller, 1989 oder Übersicht in Axhausen und Herz, 1989). Zentrales Interesse dieser Modellbildung ist die Suche nach einem besseren Verständnis der Variabilität des Verkehrsverhaltens und seiner Vorhersagbarkeit (siehe Herz, 1983 oder Jones und Clarke, 1988 für frühe Arbeiten). Der Sammelband von Ettema und Timmermans (1997) dokumentiert den Stand der Arbeiten, die sich konzentrieren auf neue Methoden der Datensammlung und neue Modellbildung unter Heranziehung von Ansätzen der *hazard*-Modelle, der *structural equation*-Modelle, der *neural-networks*, der *fuzzy logic* und der *logit*-Modelle. Aus diesem Umkreis ist der praktischen Anwendung am nächsten das Modellsystem *AMOS (Activity-Mobility-Simulator)* von Kitamura und Kollegen (Siehe Kitamura, Pas, Lula, Lawton und Benson, 1996, für den Stand des Modells etwa 1995), das auf der Grundlage von *stated preference (SP)*-Daten zu verkehrspolitischen Maßnahmen mit Hilfe von Neuronalen Netzen und Logit-Modellen komplexe Verhaltensänderungen vorhersagt. Das Modell ist inzwischen in Teilen im Großraum Washington, D.C. angewandt worden.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Modelle des Standes-der-Kunst in der Hauptsache versuchen, die Verhaltensänderungen der Verkehrsteilnehmer im Kontext des gesamten Aktivitätenprogramms des Tages zu beschreiben und zu erklären.

### **Exkurs: Stand der Technik**

Die wesentliche Innovation der Verkehrsnachfragemodellierung im Rahmen ihres bestehenden Ansatzes war die Einführung statistischer Entscheidungsmodelle am Ende der 70'iger Jahre (siehe Ben-Akiva und Lerman, 1985). Diese Modelle ersetzen im angelsächsischen Raum die

bisherigen Modelle, auch in der Anwendung, praktisch vollständig (siehe Hutchinson, 1974 für den status-quo ante). Diese Modelle zeichnen sich nicht so sehr durch eine höhere Abbildungsgenauigkeit aus, als vielmehr durch eine solide Verhaltensgrundlage (Nutzenmaximierung), eine Einbettung in die allgemeine mikroökonomische Theorie der Nachfrage (siehe zum Beispiel Deaton und Muellbauer, 1996 oder Becker, 1976), Flexibilität in der Art und Anzahl der Einflußgrößen, eine saubere Abbildung des modellierten Objekts und statistisch saubere Verfahren zur Schätzung ihrer Parameter (Prinzip der *maximum likelihood*, Signifikanz-Tests für die Gleichung und die einzelnen Parameter, Gütemaße) und die Möglichkeit komplexere Modelle abzuleiten. Zudem waren die Verfahren deutlich sparsamer in ihren Datenanforderungen (Anzahl, nicht Qualität).

Diese komplexeren Modelle (*nested logit*- oder verschachtelte-Logit-Modelle) erlauben es über mehrere Entscheidungsebenen hinweg konsistente Parameter für die Einflußgrößen zu schätzen und zu beurteilen<sup>4</sup>, zum Beispiel Modelle der Ziel- und Verkehrsmittelwahl, des Pkw-Besitzes und des Aktivitätenprogramms etc.). Standardsoftware für die Schätzung solcher Modelle ist inzwischen leicht zugänglich<sup>5</sup>.

Die Modelle des Standes der Technik kombinieren mehrstufig verschachtelte Modelle entweder mit Software zur Enumeration des neuen Verhaltens von gegebenen oder erzeugten Stichproben oder mit einem inkrementellen aggregierten Ansatz auf der Grundlage der bestehenden Verhaltensmuster.

Das Modell, das Ben-Akiva, Bowman und Gopinath (1996) beschreiben, ist ein gutes Beispiel für den ersten Typ. Hier reicht der Entscheidungsbaum von der Verkehrsmittelwahl, über die Zielwahl, die Wahl der Tageszeit, die Wahl der Tour (Teil der Aktivitätenkette) bis zur Wahl des Aktivitätenprogramms. Das Modell deckt alle Teile des traditionellen Ansatzes und mehr ab, stellt sicher, daß die Wechselwirkungen zwischen den Ebenen konsistent abgebildet werden und produziert interpretierbare Parameter und Gütemaße für das Modell. Ähnliche Modelle werden angewandt in Stockholm, Oslo, verschiedenen amerikanischen Städten und vor allem als nationale Modelle in den Niederlanden und in Norwegen. Die Theorie dieser Modelle ist vollständig ausgearbeitet und steht zur Verfügung. Die Komplexität der Anwendung bei drei- und mehrstufigen Ansätzen bedingt jedoch, daß bisher nur eine relativ kleine Anzahl von Firmen in der Lage ist, diese Modelle erfolgreich zu schätzen und für die praktische Anwendung zu implementieren.

Die prominentesten Beispiele für den zweiten Modelltyp sind die Produkte von MVA (Woking) und Marcel Enchenique und Partner (Cambridge), zum Beispiel die Implementierung APRIL für London oder das Produkt TRAM (*traffic restraint analysis model*) (Bates, Williams, Coombe und Leather, 1996 und Bates, Skinner, Scholefield und Bradley, 1997).

---

<sup>4</sup> Ein anderer wichtiger Ansatz der Weiterentwicklung der Logit-Modelle ist der Ansatz von Gaudry, dessen Modellform asymmetrische Formen und *captivity* besser abbildet. Standardsoftware ist auch für diesen Ansatz vorhanden (Gaudry, Jara-Diaz und Ortuzar, 1989)

<sup>5</sup> Beispiele sind ALOGIT von Hague Consulting Group (Den Haag), LIMDEP von Econometric Software (Bellport, NY) oder HIELOW von STRATEC (Brüssel).

Bei TRAM umfassen die Entscheidungsbäume (siehe Abbildung D1):

- Wegezanzahl
- Zielwahl
- Verkehrsmittelwahl
- Wahl der Abfahrtszeit

und

- Wahl des Parkstandstyps
- Wahl des Parkstandsortes
- Wahl des Verkehrsmittels für den Zugang zum Ziel

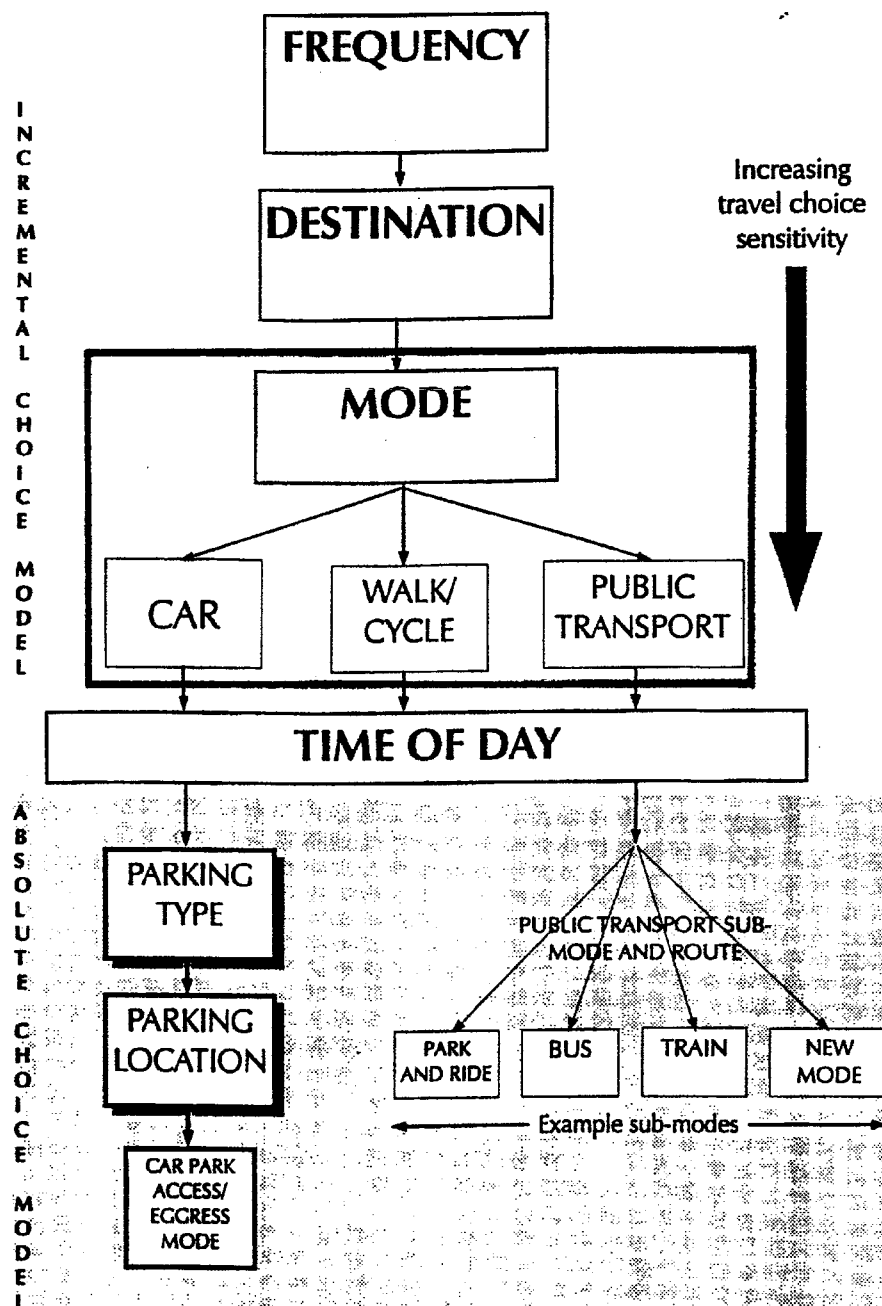


Abb. D1 Entscheidungshierarchie TRAM, Quelle: Bates et al. (1997), 136.

Dieses Model liegt für eine Reihe von Marktsegmenten vor, die mit Hilfe von u.a. Wegezweck, Pkw-Besitz, Einkommensgruppe und Abfahrtszeitraum bestimmt werden.

Die deutschen Wegekettensmodelle, wie VISEM (Fellendorf, Haupt, Heidl und Scherr, 1997) oder die Software von INOVAPLAN (Zumkeller, 1989), verbessern ebenfalls die Konsistenz der Abbildung, aber als sequentielle Modelle erreichen sie nicht denselben Grad an Konsistenz, insbesondere bei der Schätzung der Parameter. Sie verbessern die deutsche Praxis, aber definieren in sich nicht den Stand der Technik.

## **1.2 Zusammenfassung**

Die Standardprodukte der Verkehrsnachfragemodellierung reflektieren im wesentlichen die Anforderungen und den Wissensstand der 70'iger Jahre. Die wissenschaftlichen und verkehrspolitischen Entwicklungen seit dieser Zeit haben noch nicht in größerem Umfang Eingang in die planerische Modellpraxis gefunden. Diese Lücke zwischen dem Stand-der-Anwendung und dem Stand-der-Technik und der Kunst ist das Result der Lücke zwischen verkehrspolitischer Diskussion und verkehrspolitischer Praxis, in der die tatsächlich implementierten Maßnahmen, in der Tat, noch mit dem Stand-der-Anwendung abbildbar sind. Zudem hat in Deutschland die Standardisierte Bewertung (Heimerl und Infraplan, 1988) im wichtigen Bereich der Infrastrukturplanung für den ÖV die Modellentwicklung eingefroren. Das Nachfragemodell der Standardisierten Bewertung ist extrem problematisch, aber es läßt den Anwender, insbesondere den ÖV-Betrieb, durch seine Zahlen dazu ein, auf eine präzise, lokal parametrisierte und formulierte Nachfrageabschätzung zu verzichten. Die Trennung von Fahrweg und Betrieb sollte diese Blockade aufheben, da die Betreiber bessere Nachfrageschätzungen benötigen werden.

## **2 Software**

### **2.1 Übersicht**

Die Softwarepakete für die Verkehrsnachfragemodellierung decken alle die drei ersten Schritte des Standardalgorithmus ab, wobei sie die drei Schritte in jeweils eigener Art formulieren. Die drei folgenden Abschnitte diskutieren jeweils das Angebot der verschiedenen Pakete in ihren wesentlichen Aspekten, während ein weiterer Abschnitt auf die Benutzerschnittstellen eingeht.

Da die verwendeten Verfahren in den einschlägigen Lehrbüchern ausführlich dargestellt werden, wird hier auf eine vertiefte Diskussion verzichtet (siehe vorallem Ortuzar und Willumsen, 1994 und Schnabel und Lohse, 1997, aber auch Hutchinson, 1974; Mannering and Kilareski, 1990; Papacostas und Prevedouros, 1993; Mensebach, 1994; Wermuth, 1994; Institute of Transportation Engineers, 1994; oder Oppenheim, 1995).

Die Auswahl der berücksichtigten Software besteht aus zwei Gruppen:

- Software, die am deutschen Markt aktiv vertrieben und eingesetzt wird:
  - PSV (Softwarekontor, Aachen)
  - TRIPS (MVA, Working über ASA Concept, Frankfurt)
  - VENUS (IVV, Aachen)
  - VISEM (PTV System, Karlsruhe)
  - VSS (Hensel und Harloff, Aachen)
- Software, die im UK und in den USA aktiv vertrieben und im größeren Maßstab eingesetzt wird, aber in Deutschland noch keinen Markt gefunden hat:
  - EMME/2 (INRO, Montreal über Rapp, Basel)
  - MinUTP (Seiders Group, Palo Alto über Hague Consulting Group, Den Haag)
  - QRS II (AJH Associates, Milwaukee)
  - TModel (TModel Corp, Vashon)
  - TransCAD (Caliper, Boston)
  - Urban/Sys (Urban Analysis Group, Danville)

Weitere Softwarepakete sind vorhanden, wie zum Beispiel die Software von INOVAPLAN und anderen Ingenieurbüros, wie CAD-T, QView, UFOSNet, die aber entweder noch keine große Verbreitung gefunden haben, oder nicht aktiv vertrieben werden.

## 2.2 Verkehrserzeugung

Die erste Stufe des Standardalgorithmus berechnet die Anzahl der Wege, die in einer Zelle beginnen und enden. Drei Ansätze kommen normalerweise zum Einsatz:

- *Aggregierte Regressionsansätze*, die für die Zelle als Ganzes die Anzahl der Wege (nach Wegezweck) als Funktion ihrer Eigenschaften berechnen (Anzahl Personen, Anzahl Pkw, Anzahl Arbeitsplätze etc.)
- *Kreuzklassifikationsansätze* (Wooton und Pick, 1967) berechnen die Wegeanzahl getrennt nach Personengruppen und Wegezwecken, die mit Hilfe einer Reihe von Variablen definiert werden, z.B. Pkw-Besitz, Alter, Einkommen. Der deutsche Ansatz der verhaltenshomogenen Personengruppen ist verwandt.

Die *Wegekettensätze* verfeinern die Kreuzklassifikation, da sie nicht Wege sondern Anzahl Wegekettensätze berechnen, aus denen erst in einem zweiten Schritt Wege abgeleitet werden.

- *Erzeugungsraten* (Institute of Transportation Engineers, 1995) werden vor allem zur Berechnung der Anzahl der endenden Wegen verwendet, die als Produkt einer Anzahl Wege pro Aktivitätsmöglichkeit (Anzahl Arbeitsplätze, Ladenfläche etc.) und der Anzahl der Aktivitätsmöglichkeiten in der Zelle berechnet werden.

Tabelle D1 zeigt die Ansätze, die die verschiedenen Modelle zur Verfügung stellen.

	EMME/ 2	Min- UTP	QRS II	PSV	TModel	Trans- CAD	TRIPS	Urban/ Sys	VENUS	WISEM	VSS
<i>Ansätze</i>											
Lineare Regression (aggregiert)	✓ <sup>6</sup>	✓	✓		✓	✓	✓	✓			
Kreuzklassifikation (disaggregiert)	✓ <sup>6</sup>	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Wegekette (disaggregiert)										✓	
Erzeugungsraten	✓ <sup>6</sup>	✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓
<i>Grenzen</i>											
Anzahl Wegezwecke	?	10	?	?	∞	∞	20	15	5	8	12
Anzahl Gruppen	?	-	?	?	-	∞	-	-	3	∞	4
Anzahl Zonen	4000	3000+	2400	?	1000+	∞	10000	9000	?	3000	800

Tab. D1 Software: Verkehrserzeugung

### 2.3 Verkehrsverteilung

Die Stufe der Verkehrsverteilung verknüpft die erzeugten Wege mit den Aktivitätsmöglichkeiten als Funktion des Raumwiderstands. Das Gravitationsmodell wird als Grundansatz, aber in verschiedenen Formulierungen, von allen Modellen angeboten. Eine Reihe von Modellen bietet zusätzlich standardmäßig ein Logit-Modell der Zielwahl an (siehe Tabelle D2).

	EMME/ 2	Min- UTP	QRS II	PSV	TModel	Trans- CAD	TRIPS	Urban/ Sys	VENUS	WISEM	VSS
<i>Ansätze</i>											
Gravitation (ungekoppelt)	✓ <sup>6</sup>	✓								✓	
Gravitation (2D)	✓ <sup>6</sup>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Gravitation (3D)	✓ <sup>6</sup>					✓					
Logit	✓ <sup>6</sup>	✓ <sup>7</sup>	✓ <sup>7</sup>			✓	✓				
OD-Schätzung mit Zählungen					✓	✓				✓	
<i>Elemente d. Widerstandsfunktion</i>											
Wegedauer	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Wegedistanzen	✓	✓			✓	✓	✓			✓	
<i>Grenzen</i>											
Anzahl Zonen	4000	3000+	2400		1000+	∞	10000	9000		3000	1300

Tab. D2 Software: Verkehrsverteilung

<sup>6</sup> Alle Modelle können mit einer eigenen Matrixsprache implementiert werden.

<sup>7</sup> Externe Tabellenkalkulationsmodelle



Zusätzlich integrieren manche Pakete Modelle zur Berechnung von Verkehrsverteilungsmatrizen auf der Grundlage von Zählungen. Teilweise ist diese Funktionalität in dem zugehörigen Umlegungsmodell angesiedelt.

## 2.4 Verkehrsmittelwahl

Im letzten Teilschritt werden die erzeugten Matrizen auf die verschiedenen vorhandenen Verkehrsmittel verteilt, wobei die Modelle in der Regel erlauben, verschiedenen Fahrtzwecken und Benutzergruppen getrennte Parametersätze zuzuordnen.

Die deutschen Modelle verwenden in der Regel noch sequentielle Ansätze, in denen empirisch abgeleitete Teilungskurven verwendet werden, während die angloamerikanischen Ansätze alle mit multinomialen oder geschachtelten Logit-Modellen arbeiten. Standardparametersätze werden den Anwendern normalerweise zur Verfügung gestellt.

Tabelle D3 gibt eine Übersicht über die verfügbaren Ansätze.

	EMME/ 2	Min- UTP	QRS II	PSV	TModel	Trans- CAD	TRIPS	Urban/ Sys	VENUS	WISEM	VSS
<i>Ansätze</i>											
Multinomiales Logit	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	
Geschachteltes Logit	✓	✓				✓	✓	✓			
Teilungskurven						✓			✓		✓
Inkrementelles Logit					✓	✓	✓				
<i>Eigenschaften</i>											
Anzahl Verkehrsmittel					9				2	∞	4
P+R-Modellierung	✓		✓			✓					✓
<i>Generalisierte Kosten enthalten u.a.</i>											
Reisezeit (-verhältnisse)	✓	✓	✓		✓				✓	✓	✓
Entfernung	✓	✓								✓	
Kosten	✓	✓	✓	✓						✓	
Parkgebühren	✓	✓		✓							
Parkplatzsuchzeiten	✓	✓		✓					✓		
Erschließungsqualität ÖV	✓	✓	✓		✓				✓		✓
Wartezeiten	✓	✓	✓	✓							✓

**Tab. D3** Software: Verkehrsmittelwahl

## 2.5 Benutzerführung

Die relativ geringe Differenzierung der methodischen Ansätze des Standes der Anwendung im Vergleich zum Stand der Technik oder der Kunst hat dazu geführt, daß alle Anbieter im großem Umfang in die Benutzeroberflächen und Hilfswerkzeuge investiert haben, um ihr Produkt zu differenzieren. Die wesentlichen Hilfswerkzeuge sind Programme zur Manipulation von Matrizen (Algebra, Komprimierung, Teilung, Logische Verknüpfungen etc.).

Oberflächen unter Windows oder ähnliche graphische Oberflächen unter DOS sind inzwischen die Regel. Die Programme unterscheiden sich hinsichtlich der Integration der Oberflächen mit den Berechnungsprogrammen. Die Pakete, die von älteren *mainframe*-Paketen abgeleitet worden sind, haben in der Regel getrennte Visualisierungssoftware, während die jüngeren Pakete eine einheitliche Oberfläche bieten. Das System PSV ist hier eine Ausnahme.

Ein wesentliches Element der Benutzeroberfläche ist eine Makrosprache zur Automatisierung der Abläufe und zur Dokumentation der Arbeit. Hier sticht vor allem das entsprechende TRIPS-Modul hervor, das den gesamten Arbeitsprozess steuern und dokumentieren kann.

Tabelle D4 gibt eine Übersicht über die Pakete.

	EMME/ 2	Min- UTP	QRS II	PSV	TModel	Trans- CAD	TRIPS	Urban/ Sys	VENUS	WISEM	VSS
<i>Benutzeroberfläche</i>											
keine graphische Oberfläche											✓
Integrierte DOS-Oberfläche	✓							✓		✓	
Integrierte WINDOWS-Oberfläche			✓			✓					
Einzelmodelle mit graph. Oberflächen		✓		✓	✓		✓		✓		
Makrosprache o.ä.	✓	✓	✓			✓	✓			✓	
<i>Verbreitung</i>											
Anzahl Anwender	500+	500+	800+		500+	800+	500+	600+		90+	30
Entwicklungsdauer (Jahre)	14	15	9		15	8	20+	13		10+	25+

Tab. D4 Software: Benutzerführung

## 3 Ausblick

Die Beschreibung des Stands der Anwendung hat deutlich gemacht, daß es eine substantielle Lücke zwischen diesem und dem Stand der Kunst gibt. Die Standardmodelle, die hier zur Verfügung gestellt werden, können in vielen Fällen noch ohne Probleme angewandt werden, aber in dem Umfang in dem sich die verkehrsplanerische Praxis und nicht die verkehrsplanerische Forschung mit den oben erwähnten Maßnahmen regelmäßig außereinandersetzen muß, müssen auch die Modelle und die Software aktualisiert und modernisiert werden.

Die folgenden Schritte sind in Reaktion auf entsprechende Maßnahmen denkbar oder notwendig:

- *Verschachtelte oder asymmetrische Logit-Modelle der Verkehrsmittelwahl* (Weiche Maßnahmen im ÖV, Preisgestaltung im IV und ÖV etc.)
- *Komplexe Logit-Modelle der Verkehrsnachfrage* (Spitzenstundenpreise im IV und ÖV, Informationssysteme, Änderung der Besteuerung der Verkehrsteilnahme)
- *Integration von Umlegung und Verkehrsnachfrageberechnung* (Beeinflussung der Gesamtnachfrage, Fragen der vertikalen und horizontalen Gleichheit)
- *Modelle der Zeitplanung* (Entwicklung von Märkten und Nachfrage, Prozesse des Lernens und der Verhaltensänderung)
- *Integration mit GIS* (Kurzfristige Steuerung der Verkehrsnachfrage, Verbesserung der gemeinsamen Verkehrs- und Raumordnungspolitik)

Angesichts des großen Angebots an Software und Softwareanbietern ist es nicht notwendig, die Entwicklung von Standardsoftware als solcher zu fördern, wie das die FHWA in der Vergangenheit mit UTPS getan hat. Es wäre vielmehr sinnvoll, durch speziell geförderte Untersuchungen mit einheitlichen Pflichtenheften einen Markt für diese moderne Software zu schaffen.

### **Exkurs: Diskussionsergebnisse des Workshops**

Die lebhafte Diskussion der Vorträge auf dem Workshop, der im Rahmen des Projektes zu diesem Thema organisiert worden war, konzentrierte sich vor allem auf praktische Fragen der Anwendungspraxis und deren Verbesserung. Hier wurde Handlungsbedarf vor allem in folgenden Feldern gesehen:

- *Schnittstellen zu GIS-Systemen*: Die schnell wachsende Verbreitung von GIS-Software und GIS-Datenbanken bei den öffentlichen Händen führt zu wachsenden Ansprüchen an Daten und Ergebnisaustausch.
- **Fehlen von Datengrundlagen**: Es wurde betont, daß in vielen Bereichen empirisch abgeleitete Vergleichsdaten fehlen, die auf deutsche Verhältnisse anwendbar sind, z.B.:
  - Zeitkostensätze
  - Beurteilungen von Umweltwirkungen
  - Elastizitäten
  - Verkehrserzeugungraten, insbesondere für kommerzielle Flächennutzungen
  - Daten zum Güter- und Wirtschaftsverkehr
  - Fehlen eines nicht-kommerziellen Datenarchivs
- *Verbesserung der Modelle unter den Rahmenbedingungen der Deregulierung*: Die vorgestellten Modelle aus dem kommerziellen Bereich (Güterverkehr und insbesondere Luftverkehr) waren deutlich komplexer als die Modelle aus dem Bereich Stadtverkehr. Hier deuten sich Entwicklungsnotwendigkeiten für den Stadtverkehr unter Deregulierung an.

#### 4 Literatur

- Axhausen, K.W. and R. Herz (1989) Simulating Activity Chains: A German Approach, *ASCE Journal of Transportation Engineering*, **115** (3) 316-325.
- Barrett, C., K. Berkgigler, L. Smith, V. Loose, R. Beckmann, J. Davis, D. Roberts, D. und M. Williams (1995) An operational description of TRANSIMS, Working paper, Los Alamos National Laboratories, Los Alamos.
- Bates, J., A. Skinner, G. Scholefield and R. Bradley (1997) Study of parking and traffic demand: 2. A traffic restraint analysis model (TRAM), *Traffic Engineering and Control*, **38** (5) 135-141.
- Bates, J., I. Williams, D. Coombe und J. Leather (1996) The London Congestion Charging Programme: 4. The transport models, *Traffic Engineering and Control*, **37** (5) 334-339.
- Becker, G. (1976) *The Economic Approach to Human Behaviour*, University of Chicago Press, Chicago.
- Ben-Akiva, M. und J.L. Bowman und D. Gopinath (1996) Travel demand model system for the information era, *Transportation*, **23** (3) 241-266.
- Ben-Akiva, M.E. und S. Lerman (1995) *Discrete Choice Modelling*, MIT Press, Cambridge.
- Chicago Area Transportation Study (1960) *Chicago Area Transportation Study: Data Projections*, **2**, Chicago Area Transportation Study, Chicago.
- Ettema, D.F. und H.J.P. Timmermans (Hrsg.) (1997) *Activity-based approaches to travel analysis*, Pergamon, Oxford.
- Fellendorf, M., T. Haupt, U. Heidl und W. Scherr (1997) PTV Vision: Activity-based demand forecasting in daily practise, in D.F. Ettema und H.J.P. Timmermans (Hrsg.) *Activity-based approaches to travel analysis*, 55-73, Pergamon, Oxford.
- Garrett, M. und M. Wachs (1996) *Transportation Planning on Trial: The Clean Air Act and Travel Forecasting*, Sage, New York.
- Gaudry, M.J.J., S.R. Jara-Diaz und J. de D. Ortuzar (1989) Value of time sensitivity to model specification, *Transportation Research*, **23B** (2) 151-158.
- Hägerstrand, T. (1970) What about people in Regional Science?, *Papers of the Regional Science Association*, **24**, 7-21.
- Heimerl, G und Intraplan (1988) *Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs*, Stuttgart und München.
- Herz, R. (1983) Stability, variability and flexibility in everyday behaviour, in S. Carpenter und P.M. Jones (Hrsg.) *Recent Advances in Travel Demand Analysis*, Gower, Aldershot.
- Hutchinson, B.G. (1974) *Principles of Urban Transport Systems Planning*, Scripta Book Company, Washington, D.C.
- Institute of Transportation Engineers (1994) *Transportation Planning Handbook*, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Institute of Transportation Engineers (1995) *Trip Generation*, Institute of Transportation Engineers, Washington, D.C.

- Jones, P.M. und M. Clarke (1988) The significance and measurement of variability in travel behaviour, *Transportation*, **15** (1) 65-87.
- Jones, P.M., M. Clarke, M. Dix und I. Heggie (1981) *Understanding Travel Behaviour*, Gower, Aldershot.
- Kitamura, R., E.I. Pas, C.V. Lula, K. Lawton und P.E. Benson (1996) The sequenced activity mobility simulator (SAMS): an integrated approach to modelling transportation, land use and air quality, *Transportation*, **23** (3) 267-291.
- Mahmassani, H., S. Peeta, T-Y. Hu und R. Rothery (1993) Effect of real-time information on network performance under alternative dynamic assignment rules, *Proceedings of the 21st PTRC Summer Annual Meeting*, **D**, 25-47, Manchester, September 1993.
- Mannering, F.L. und W.P. Kilareski (1990) *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis*, Wiley and Sons, New York.
- Mensebach, W. (1994) *Straßenverkehrstechnik*, 3. Auflage, Werner-Verlag, Düsseldorf.
- Nagel, K. (1995) *High-speed Microsimulations of Traffic Flow*, Dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Universität zu Köln, Köln.
- Oppenheim, N. (1995) *Urban Travel Demand Modelling*, Wiley and Sons, New York.
- Ortuzar, J. de D. und L.G. Willumsen (1994) *Modelling Transport*, Wiley and Sons, New York.
- Papacostas, C.S. und P.D. Prevedouros (1993) *Transportation Engineering and Planning*, Prentice-Hall International, Englewood Cliffs.
- Schnabel, W. und D. Lohse (1997) *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung*, **II**, Verlag für Bauwesen, Berlin.
- Wardrop, J.G. (1952) Some theoretical aspects of road traffic research, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **2**, pp 325-378.
- Wermuth, M. (1994) Modellvorstellungen zur Prognose, in G. Steierwald und H.-D. Künne (Hrsg.) *Stadtverkehrsplanung*, 221-274, Springer, Heidelberg.
- Wooton, H.J. und G.W. Pick (1967) A model for trips generated by households, *Journal of Transport Economics and Policy*, **1** (2) 137-153.
- Zumkeller, D. (1989) Ein sozialökologisches Verkehrsmodell zur Simulation von Maßnahmewirkungen, *Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen*, **46**, Institut für Stadtbauwesen, TU Braunschweig, Braunschweig.

## ***FORSCHUNGSPROJEKT***

# ***„SITUATIONSANALYSE ÜBER DEN STAND DER SIMULATIONSMODELLE IM VERKEHRSWESEN“***

### ***- Anlagenband II -***

- Auftraggeber: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie  
(Förderkennzeichen 19 K 9706 1)
- Projektträger: TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH, Köln
- Auftragnehmer: Bauhaus-Universität Weimar, Professur Verkehrsplanung und  
Verkehrstechnik
- Projektpartner: RWTH Aachen, Verkehrswissenschaftliches Institut  
University of London, Centre for Transport Studies  
Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Institut für Straßenbau und  
Verkehrsplanung

## Inhaltsverzeichnis

### B Simulationsmodelle des Schienenverkehrs

*Prof. Dr.-Ing. W. Schwanhäußer, Verkehrswissenschaftliches Institut, RWTH Aachen*

<b>B1 Fragebogen zur Beurteilung von Simulationsmodellen des Schienenverkehrs</b>	B1-1
<b>B2 Liste angeschriebener Modellentwickler bzw. -anwender</b>	B2-1
<b>B3 Rücklauf Fragebögen</b>	B3-1
B3.1 BEST	B3-3
B3.2 RWS	B3-12
B3.3 SABINE	B3-21
B3.4 SIMU VII	B3-30
B3.5 UX-SIMU (incl. Liste der Referenzprojekte)	B3-39
B3.6 STRESI	B3-51
B3.7 NSIM (incl. Liste der Referenzprojekte)	B3-60
B3.8 DISPOS (incl. Veröffentlichungsliste)	B3-78
B3.9 ETCS	B3-90
<b>B4 Vergleichende Analyse der Fragebögen der Simulationsmodelle</b>	B4-1

### C Angelsächsische Simulationsmodelle

*Dr.-Ing. U. Reiter, Centre for Transport Studies, University of London*

<b>C1 Fragebogen zur Beurteilung von Simulationsmodellen des Straßenverkehrs</b>	C1-1
C1.1 E-Mail-Fragebogen	C1-2
C1.2 WWW-Formular-Fragebogen	C1-5
<b>C2 Listen angeschriebener Modelle</b>	C2-1
<b>C3 Liste der von SMARTEST angeschriebenen Modelle</b>	C3-1
<b>C4 Rücklauf Fragebögen</b>	C4-1
4.1 CARSIM	C4-3
4.2 CORSIM	C4-6
4.3 DRACULA	C4-9
4.4 HUTSIM	C4-12
4.5 MITSIM	C4-17
4.6 PARAMICS	C4-22
4.7 SIGSIM	C4-26
4.8 SISTM	C4-32
4.9 SITRAS	C4-36
4.10 SMARTPATH	C4-40
4.11 THOREAU	C4-42
4.12 TRAFFICQ	C4-49
4.13 TRARR	C4-51
4.14 TRGMSM-1	C4-54
4.15 TRGMSM-2	C4-56
4.16 FOSIM	C4-58
4.17 CONTRAM	C4-60
4.18 SATURN	C4-67
4.19 METANET	C4-70

4.20	METROPOLIS .....	C4-72
4.21	INMOST .....	C4-74
4.22	IRENE .....	C4-76
4.23	POLYDROM / POLYTOX .....	C4-78

## **D Verkehrsnachfragemodelle**

*Prof. Dr.-Ing. K. W. Axhausen, Institut für Straßenbau und Verkehrsplanung, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck*

<b>D1</b>	<b>Anbieter .....</b>	<b>D1-1</b>
-----------	-----------------------	-------------



## Anlage D1

### **Anbieter**

<b>Produkt</b>	<b>Anbieter</b>	<b>Fax</b>	<b>WWW-Seite</b>
EMME/2	INRO Consultants	+1-514-369 2026	<a href="http://www.inro.ca">http://www.inro.ca</a>
MinUTP	Seiders Group	+1-415-321 2294	<a href="http://www.minutp.com">http://www.minutp.com</a>
QRS II	AJH Associates	+1-414-963 0686	-
PSV	Software Kontor	+1-241-901 9471	<a href="http://www.aachen-online.de/psv">http://www.aachen-online.de/psv</a>
TModel2	TModel Corporation	+1-206-463 5055	<a href="http://www.tmodel.com">http://www.tmodel.com</a>
TransCAD	Caliper Corporation	+1-617-527 5113	<a href="http://www.caliper.com">http://www.caliper.com</a>
TRIPS	MVA	+44-1483-755 207	-
URBAN/SYS	Urban Analysis Group	+1-510-838 1372	-
VENUS	IVV	+1-241-53 16 22	-
VISEM	PTV System	+49-721-9651 399	-
VSS	Harloff-Hensel Stadtplanung	+49-241-474 54 33	-