

## **Activity-based demand generation:**

### **Anwendung des Berliner Personenverkehrsmodells zur Erzeugung von Aktivitätenketten als Input für Multi-Agenten-Simulationen**

#### **Autoren:**

Dipl.-Ing. Jens Rümenapp

Gertz Gutsche Rümenapp GbR  
Stadtentwicklung und Mobilität  
Büro Berlin  
Postfach 120361  
10593 Berlin

Tel. +49 +30 / 617 494 30

Fax +49 +40 / 617 494 33

[ruemenapp@ggr-planung.de](mailto:ruemenapp@ggr-planung.de)

Dr.-Ing. Imke Steinmeyer

Technische Universität Berlin  
Institut für Land and Seeverkehr  
Sekt. SG 12, Salzufer 17-19  
10587 Berlin

Tel. +49 +30 / 314 29660

Fax +49 +30 / 314 26269

[steinmeyer@vsp.tu-berlin.de](mailto:steinmeyer@vsp.tu-berlin.de)

**Arbeitspapier, Stand Juli 2006  
(erweiterte Fassung Stand April 2007)**

## I INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Grundkonzepte des Berliner Personenverkehrsmodells</b> .....	<b>4</b>
2.1 Grundkonzept zur „Erklärung“ der Verkehrsentstehung .....	4
2.2 Beschreibung des Verkehrsverhaltens mittels verhaltensähnlicher, soziodemographischer Personengruppen .....	5
2.3 Zusammenfassung von Wegen zum Reisekonzept .....	5
<b>3. Ablaufstruktur des Berliner Personenverkehrsmodells</b> .....	<b>7</b>
3.1 Der Kernprozess der Verkehrsberechnung: Die Simulation von Hauptaktivitäten .....	9
3.2 Berechnung der Nebenaktivitäten – Überführung der Reisen in Einzelwege .....	13
3.3 Tageszeitliche Verteilung der Wege .....	16
3.4 Schnittstelle zur Ausgabe/Übergabe der Aktivitätenketten an Multi-Agenten-Simulationen .....	16
<b>4. Literaturverzeichnis</b> .....	<b>17</b>

## II ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2-1: Grundkonzept zur Verkehrsentstehung im Personenverkehr.....	4
Abb. 2-2: Zusammenfassung von Wegen zum „Reisekonzept“ .....	6
Abb. 3-1: Ablaufschema des erweiterten Berliner Personenverkehrsmodells .....	7
Abb. 3-2: Verkehrszelleneinteilung Berlin und Brandenburg .....	8
Abb. 3-3: Grundschemata zur Simulation von Hauptaktivitäten .....	9
Abb. 3-4: Implementierte Verkehrsmittel.....	10
Abb. 3-5: Implementierte soziodemographische Personengruppen.....	11
Abb. 3-6: Implementierte Aktivitätenkategorien .....	11
Abb. 3-7: Simulation der Nebenaktivitäten .....	14
Abb. 3-8: Lokalisierung der Nebenaktivitäten.....	15
Abb. 3-9: Reales Beispiel für die Lokalisierung der Nebenaktivitäten.....	15

# 1. EINLEITUNG

Verkehrsberechnungsmodelle, d.h. Verkehrsnachfrage- und / oder Umlegungsmodelle dienen zur Abschätzung des zukünftigen Verkehrsaufkommens sowie zur Abbildung der Effekte geplanter Maßnahmen im Bereich der Raum- und Verkehrsplanung. Je nach Aufgaben- und Fragestellung wurden in den vergangenen Jahrzehnten hierfür unterschiedliche Modellansätze entwickelt und in der Praxis eingesetzt.

Während beginnend in den 1950er- und 1960er-Jahren zunächst aggregierte Berechnungsmodelle im Vordergrund der Entwicklungen und praktischen Anwendungen standen, wurden Mitte der 1970er-Jahre erste sogenannte disaggregierte, aktivitätenorientierte Ansätze entwickelt. Durch die Verwendung von verhaltenshomogenen Gruppen sowie die Betrachtung des Verkehrs als Folge außerhäusiger Aktivitäten der Bevölkerung sind diese Modelle stärker am Verhalten der Verkehrsteilnehmer orientiert und damit besser in der Lage, die Wirkungen veränderter Bevölkerungs-, Raum- und Erreichbarkeitsstrukturen abzubilden. Entsprechende Modelle, wie bspw. das dieser Arbeit zugrunde liegende „Berliner Personenverkehrsmodell“ oder auch VISEM bzw. VISEVA (PTV), VENUS (IVV-Aachen), PSV (Softwarekontor), VSS (Hensel und Harloff), stellen den derzeitigen Stand der Technik bezüglich des praktischen Einsatzes von Verkehrsmodellen in Deutschland dar. Der Standard-Output dieser Modelle sind sogenannte Wege- bzw. Quelle-Ziel-Matrizen.

Ein alternativer Ansatz besteht in der einzelfallbezogenen Betrachtung als sogenannte Multi-Agenten-Simulationen. Im Unterschied zu den derzeit im praktischen Einsatz befindlichen Modellen werden hier Einzelpersonen betrachtet, deren Tagespläne im Netz abgebildet werden. Vor der agentenbasierten Betrachtung im Netz müssen diesen Personen oder Agenten Aktivitätenpläne zugewiesen, d.h. zunächst erzeugt werden. Hierzu können entweder eigens entwickelte Module dienen oder Ergebnisdaten aus bereits bestehenden aktivitätenorientierten Verkehrsnachfragemodellen genutzt werden. Dieser letztgenannte Weg wird im Folgenden am Beispiel des Berliner Personenverkehrsmodells näher dargestellt und erläutert.

Das Berliner Personenverkehrsmodell wurde Ende der 1970er Jahre von Prof. Eckhard Kutter und Mitarbeitern des Fachgebietes „Integrierte Verkehrsplanung“ der Technischen Universität Berlin für die Verkehrsentwicklungsplanung von Berlin (West) entwickelt. Die Basis für das Modell bildeten umfangreiche Analysen von Verkehrsverhaltensdaten [vgl. Kutter 1984]. Seit dieser Zeit wurde das Modell kontinuierlich weiterentwickelt und mehrfach anhand aktueller empirischer Daten grundlegend überarbeitet [vgl. Kutter/Mikota 1990a und b]. Die letzte grundlegende Überarbeitung erfolgte im Jahr 2002 auf der Basis der Daten der BVG Verkehrsbefragung Berlin-Brandenburg 1998 [vgl. Kutter u.a. 2002]. Das Modell wurde in der Praxis zuletzt im Rahmen der Verkehrsprognose 2015 eingesetzt, die die Grundlage für den Stadtentwicklungsplan (STEP) Verkehr Berlin „mobil 2010“ bildet [vgl. SenStadt 2003 und 2006]. Neben dem planungspraktischen Einsatz in Berlin wurde das Berliner Personenverkehrsmodell auch in einer Reihe von Forschungsprojekten u.a. in der Region Dresden / Oberer Elbraum eingesetzt [vgl. Kutter/Stein 1998, Kutter 2000]. Zuletzt wurde es im Rahmen des BMBF-Leitprojekts „intermobil Region Dresden“ für die Wirkungsabschätzung und Evaluation des Projekts verwendet. Das Modell wurde dabei mit neu entwickelten Modellen zur Simulation der Raumentwicklung (Bevölkerungsentwicklung, Standortwahl von Privathaushalten und Unternehmen) zu einer integrierten Simulation der Raum- und Verkehrsentwicklung zusammengefasst [vgl. Rümenapp/Gutsche/Kutter 2004 sowie Rümenapp 2005].

Aus Sicht der allgemeinen Modelltheorie ist das Berliner Personenverkehrsmodell zu den disaggregierten, verhaltens- bzw. aktivitätenorientierten Verkehrsnachfragemodellen zu zählen. Es simuliert mithilfe von Erwartungswerten das Verkehrsverhalten von Personenkategorien (verhaltenshomogene Gruppen) differenziert nach unterschiedlichen Aktivitäten und Verkehrsmitteln. Dabei berücksichtigt das Modellkonzept – im Gegensatz zu vergleichbaren Modellen – die bei der Erfassung des Verkehrsverhaltens durch Haushaltsbefragungen auftretenden Ungenauigkeiten und Fehler (insb. hinsichtlich der non-reported-trips) [vgl. hierzu speziell Kutter/Mikota 1990a].

Das Berliner Personenverkehrsmodell erzeugt standardmäßig verkehrsmittel- und aktivitätenspezifische Wege- bzw. Quelle-Ziel-Matrizen. Da modellintern jedoch komplette Aktivitätenketten für die einzelnen Personengruppen berechnet werden, ist es grundsätzlich in der Lage, auch derartige Aktivitätenketten als Input für Multi-Agenten-Simulationen bereitzustellen. Diese Schnittstelle wurde durch die Autoren im Zusammenhang mit der laufenden Entwicklung einer Multi-Agenten-Simulation Berlins am Fachgebiet Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik der Technischen Universität Berlin realisiert [vgl. Rieser u.a. 2006].

Im folgenden Beitrag werden die grundlegenden Konzepte und Besonderheiten des „Berliner Personenverkehrsmodell“ dargestellt. Darauf aufbauend werden der Modellablauf sowie die implementierte Schnittstelle zur Ausgabe der Aktivitätenketten näher erläutert.

## 2. GRUNDKONZEPTE DES BERLINER PERSONENVERKEHRSMODELLS

Das Berliner Personenverkehrsmodell basiert insbesondere auf den folgenden drei konzeptionellen Säulen:

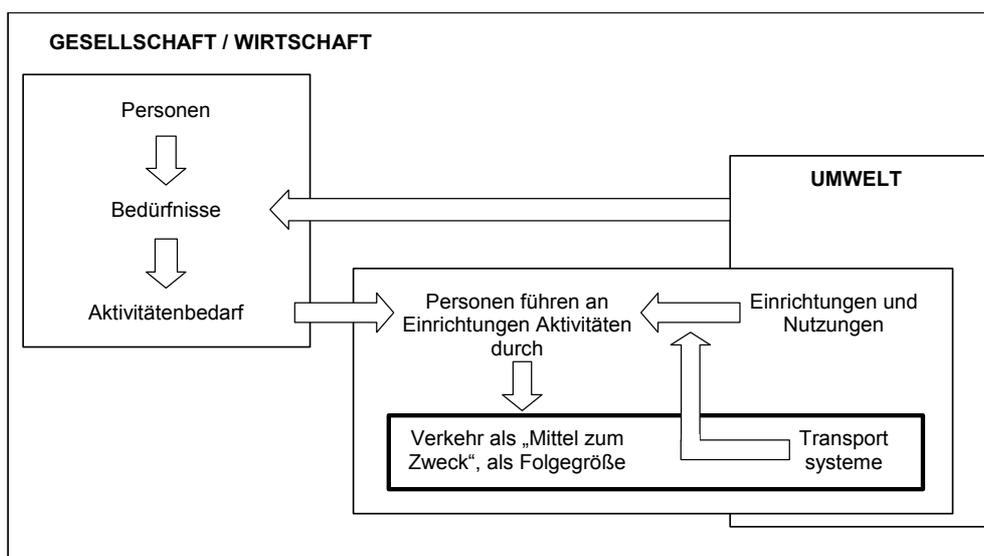
1. Verkehrsentstehung als Folge von ortsgebundenen, außerhäusigen Aktivitäten, die wiederum aus individuellen Bedürfnissen auf der einen und Möglichkeiten bzw. Gelegenheiten der Umwelt zur „Bedürfnisbefriedigung“ auf der anderen Seite resultieren und darüber determiniert werden.
2. Beschreibung des Verkehrsverhaltens mittels verhaltensähnlicher, soziodemographischer Personengruppen.
3. Reisekonzept: Zusammenfassung von Wegen zu Wegeketten.

Diese Grundkonzepte des Berliner Personenverkehrsmodells werden nachfolgend erläutert.

### 2.1. Grundkonzept zur „Erklärung“ der Verkehrsentstehung

Verkehr erfüllt zunächst vor allem Verbindungsfunktionen. Er ist im täglichen Leben vorrangig „Mittel zum Zweck“, um Tätigkeiten möglich zu machen. Hinter den realen Verkehrsvorgängen stehen folglich einerseits die individuellen Bedürfnisse der Menschen (Wünsche, gesellschaftliche und wirtschaftliche Notwendigkeiten / Zwänge), aus denen ein Bedarf nach ortsgebundenen Aktivitäten wie „Arbeiten“, „Ausbildung“, „Einkaufen“, etc. resultiert, und andererseits die Möglichkeiten bzw. Gelegenheiten der jeweiligen Umwelt zur „Bedürfnisbefriedigung“ (Nutzungen, Einrichtungen, Transportsysteme) (vgl. Abb. 2-1).

Abb. 2-1: Grundkonzept zur Verkehrsentstehung im Personenverkehr



Quelle: Darstellung in Anlehnung an Kutter 1984

Das Berliner Personenverkehrsmodell setzt das dargestellte inhaltliche Erklärungskonzept in einem operationablen Ablauf um. Das heißt, dass mithilfe von Rechenvorschriften Verkehrsvorgänge (als Folge von Aktivitäten) aus der Gegenüberstellung von Personen (mit ihrem individuellen Aktivitätenbedarf) und den Einrichtungen in ihrer Umwelt (an denen Aktivitäten ausgeübt werden können) abgeleitet werden. Ausgangsbasis für das Modell sind daher die zur Charakterisierung der Aktivitätenstruktur typischen Personengruppen („verhaltensähnliche Gruppen“) und auf der anderen Seite, d.h. der Angebotsseite, die den Personen zuordbaren Einrichtungen und Transportsysteme. Bei der Ableitung der Verkehrsvorgänge aus diesen Basisgrößen mithilfe von Rechenvorschriften, kommt den Personengruppen eine Schlüsselposition zu: Personen reagieren, aufgrund ihrer spezifischen sozialen Randbedingungen, individuell sehr verschieden auf die Angebote ihrer Umwelt und die Entfernungen zum Erreichen dieser Orte.

## **2.2. Beschreibung des Verkehrsverhaltens mittels verhaltensähnlicher, soziodemographischer Personengruppen**

Das Verkehrsmodell soll das Verhalten von Personen in (und mithilfe von) Einrichtungen ihrer Umwelt nachvollziehen. Die agierenden Personen mit ihrem individuellen Verhalten bilden damit die Grundgröße der Verkehrssimulation. Dabei spiegeln Kenngrößen der Altersstruktur und der sozialen Schichtung der Bevölkerung die zahlreichen gesellschaftlichen Zwänge und Regelungen wider, denen einzelne Personen und Gruppen aus dieser Bevölkerung bei Ausübung ihres Tagesablaufs unterliegen und die damit in der Folge Auswirkungen auf das Verkehrsverhalten haben. Zwar sind solche Kenngrößen kaum „verhaltensklärend“, aber bei der Beschreibung von Verhaltensäußerungen haben Segmentierungen anhand solcher Kenngrößen zumindest den Effekt der Reduktion von Varianz. In zahlreichen Untersuchungen konnte diesbezüglich nachgewiesen werden [vgl. z.B. Kutter 1972, Holzapfel 1980, Schmiedel 1983], dass insbesondere die folgenden zwei Faktoren „varianzerklärend“ sind:

- die Bindung der Person an Arbeit, Ausbildung oder Haushalt und
- der persönliche Zugriff auf einen Pkw.

## **2.3. Zusammenfassung von Wegen zum Reisekonzept**

Der Großteil der im Rahmen von Haushaltsbefragungen ermittelten Reisen bzw. Wegeketten ist nur durch eine einzige Aktivitäten bzw. einen einzigen Tätigkeitsort gekennzeichnet (70-80%). Das heißt, die Reisen entsprechen dem Schema

### Wohnung–Tätigkeitsort–Wohnung.

Der Rest der Wegeketten setzt sich aus komplexen Tätigkeiten- und Ortsveränderungsfolgen zusammen. Tätigkeiten und Wege in solchen komplexen Reisen sind demnach seltener und werden mit einer geringeren statistischen Sicherheit erfasst. Darüber hinaus ist damit zu rechnen, dass bei der Erfassung komplexer Reisen mit den derzeit üblichen Erhebungsmethoden hohe Ungenauigkeiten auftreten.<sup>1</sup>

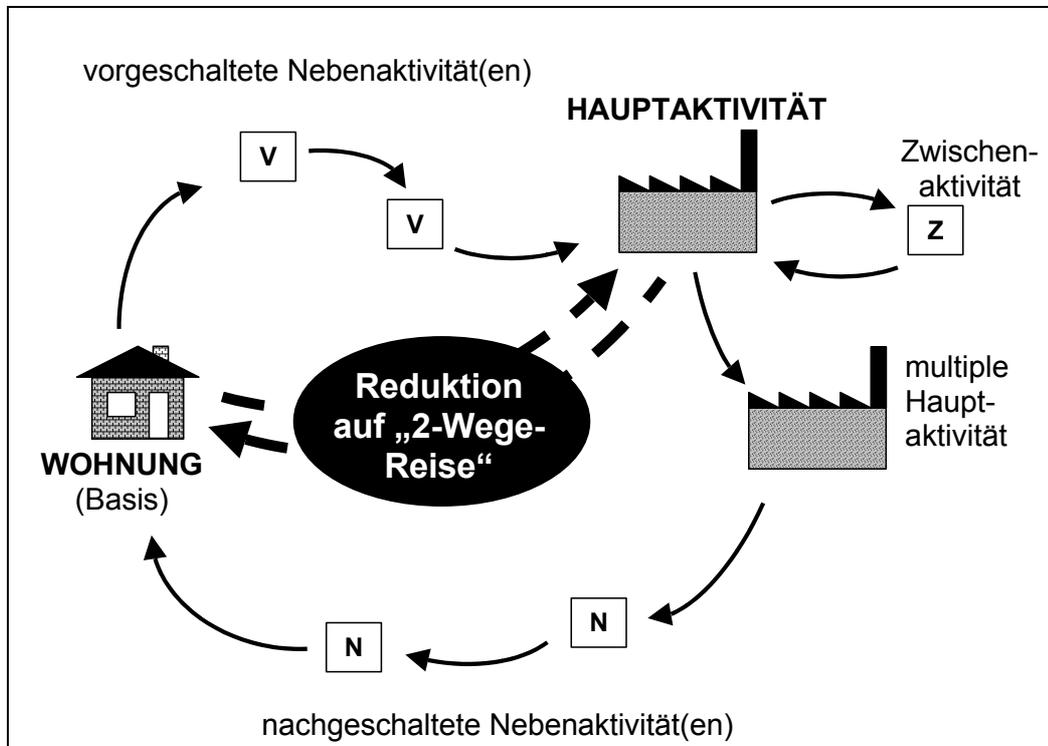
Gegenüber Einzelwegen werden Reisen bei Haushaltsbefragungen (bspw. KontiV/MiD, SrV) mit einer deutlich höheren Sicherheit erfasst. Zudem planen Menschen ihre Ortsveränderungen in der Regel in Form von Reisen. Zielwahl- und Verkehrsmittelentscheidungen werden im Allgemeinen im Zusammenhang mit der gesamten Wegekette getroffen. (Einzel-)wege sind an sich Kunstgebilde der Modellierung, da einem Hinweg von der Wohnung in der Realität immer ein Rückweg zurück zur Wohnung gegenüber steht. Auch ein Fahrzeug muss im Allgemeinen immer „zurückgeführt“ werden.

---

<sup>1</sup> Neuere, teilweise computerunterstützte Erhebungsmethoden bzw. neuere Befragungsinstrumente sind in der Lage, diesem Problem Rechnung zu tragen und den Tagesablauf vollständig(er) zu erfassen.

Für das hier beschriebene Personenverkehrsmodell werden die Wegeketten zu „2-Wege-Reisen“ mit einer Hauptaktivität zusammengefasst (s. Abb. 2-2), wobei der Ausgangs- und Endpunkt für diese Reisen per Definition immer die Wohnung der jeweils betrachteten Person ist. Die übrigen Aktivitäten innerhalb der Wegeketten (Nebenaktivitäten) werden der Hauptaktivität vor-, zwischen- und nachgeschaltet.

Abb. 2-2: Zusammenfassung von Wegen zum „Reisekonzept“



Die Bestimmung der jeweiligen Hauptaktivität innerhalb einer Reise bzw. Wegekette ergibt sich aus den folgenden definierten „Wertigkeiten“ von Aktivitäten untereinander:

- Sofern die Aktivitäten „Arbeit“ oder „Schule“ in einer Wegekette vorhanden sind, stellen diese Zwecke immer die Hauptaktivität dar.
- Die Aktivität „Freizeit“ kommt vor der Aktivität „Einkauf“, wobei die Hauptaktivität jeweils die zeitlich am weitesten vom Wohnort entfernte Aktivität darstellt.

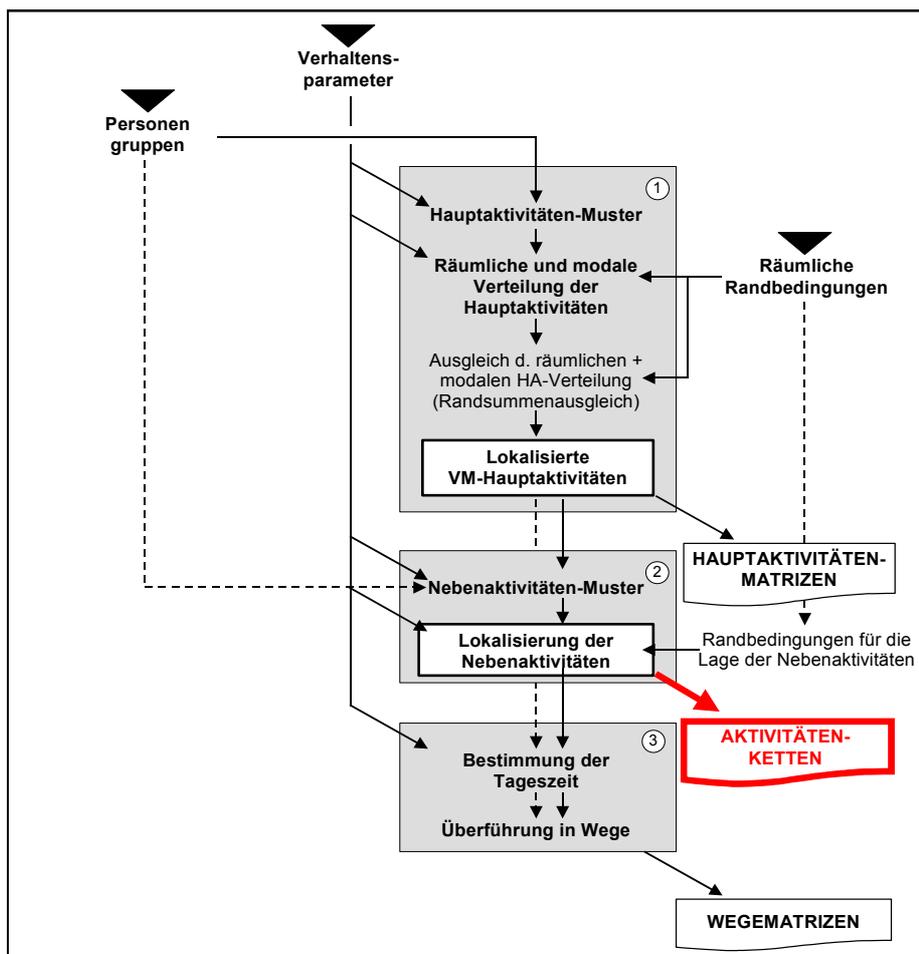
### 3. ABLAUFSTRUKTUR DES BERLINER PERSONENVERKEHRSMODELLS

Aufbauend auf den dargestellten Grundkonzepten ist das Berliner Personenverkehrsmodell in drei Teilberechnungsmodulen gegliedert, die für alle Kombinationen aus Personengruppen und Aktivitätenkategorien separat durchlaufen werden (vgl. Abb. 3-1). Die einzelnen Module sind wie folgt zu charakterisieren:

- ① Kernprogramm ist die Lokalisierung der Hauptaktivitäten nach dem bereits beschriebenen Konzept. Art und Lage der Hauptaktivität sowie das verwendete Verkehrsmittel sind Determinanten für die anschließende Berechnung der Nebenaktivitäten.
- ② Im Programm „Nebenaktivitäten“ werden weitere Aktivitäten sowie ggf. Verkehrsmittelwechsel im Verlauf einer Reise ausgehend von den Bezugspunkten Wohnung und Ort der Hauptaktivität bestimmt. Dieses nachträgliche „Einpassen“ ist in Bezug auf die Konsistenz der Verkehrsmittelwahl und die Berücksichtigung zeitlicher Limitierungen aus Art und „Zeitlage“ der Hauptaktivität wichtig.
- ③ Entsprechend dem Grundprinzip „Verkehr als Folge“ werden abschließend die Ortsveränderungen selbst – unter Berücksichtigung der zeitlichen Lage der Aktivitäten im Tagesablauf – in Wegematrizen zusammengestellt.

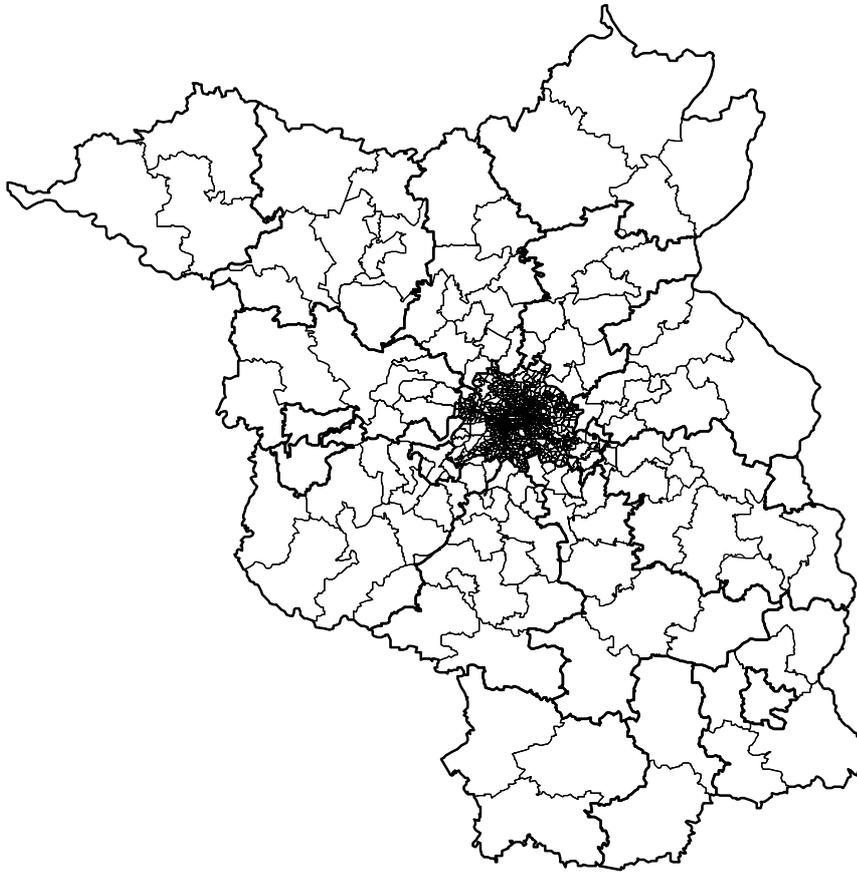
Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde dieser bestehende Modellablauf um eine zusätzliche Schnittstelle zur Ausgabe der berechneten Aktivitätenketten erweitert (siehe rote Hervorhebung in Abb. 3-1).

Abb. 3-1: Ablaufschema des erweiterten Berliner Personenverkehrsmodells



Die Basis für sämtliche Berechnungen bildet die Einteilung des Untersuchungsraumes in Verkehrszellen. Die Berliner Anwendung des Personenverkehrsmodells umfasst dabei die Stadt Berlin aufgeteilt 881 Verkehrszellen sowie das gesamte Land Brandenburg gegliedert in 124 Verkehrszellen (vgl. Abb. 3-2).

*Abb. 3-2: Verkehrszelleneinteilung Berlin und Brandenburg*



Diese Einteilung ermöglicht zumindest eine differenzierte Abbildung des Verkehrsgeschehens in Berlin sowie zwischen Berlin und dem unmittelbaren Umland. Die Verkehre zwischen den übrigen Städten und Gemeinden Brandenburgs können hingegen nur sehr grob abgebildet werden. Zwar ließe das Modell eine entsprechende weitergehende Differenzierung ohne Weiteres zu, dies war jedoch bisher aus unterschiedlichen Gründen nicht umsetzbar.

Nachfolgend werden die einzelnen Teilmodule des Personenverkehrsmodells sowie die im Rahmen dieser Arbeit vorgenommene Erweiterung des Modells im einzelnen dargestellt und erläutert.

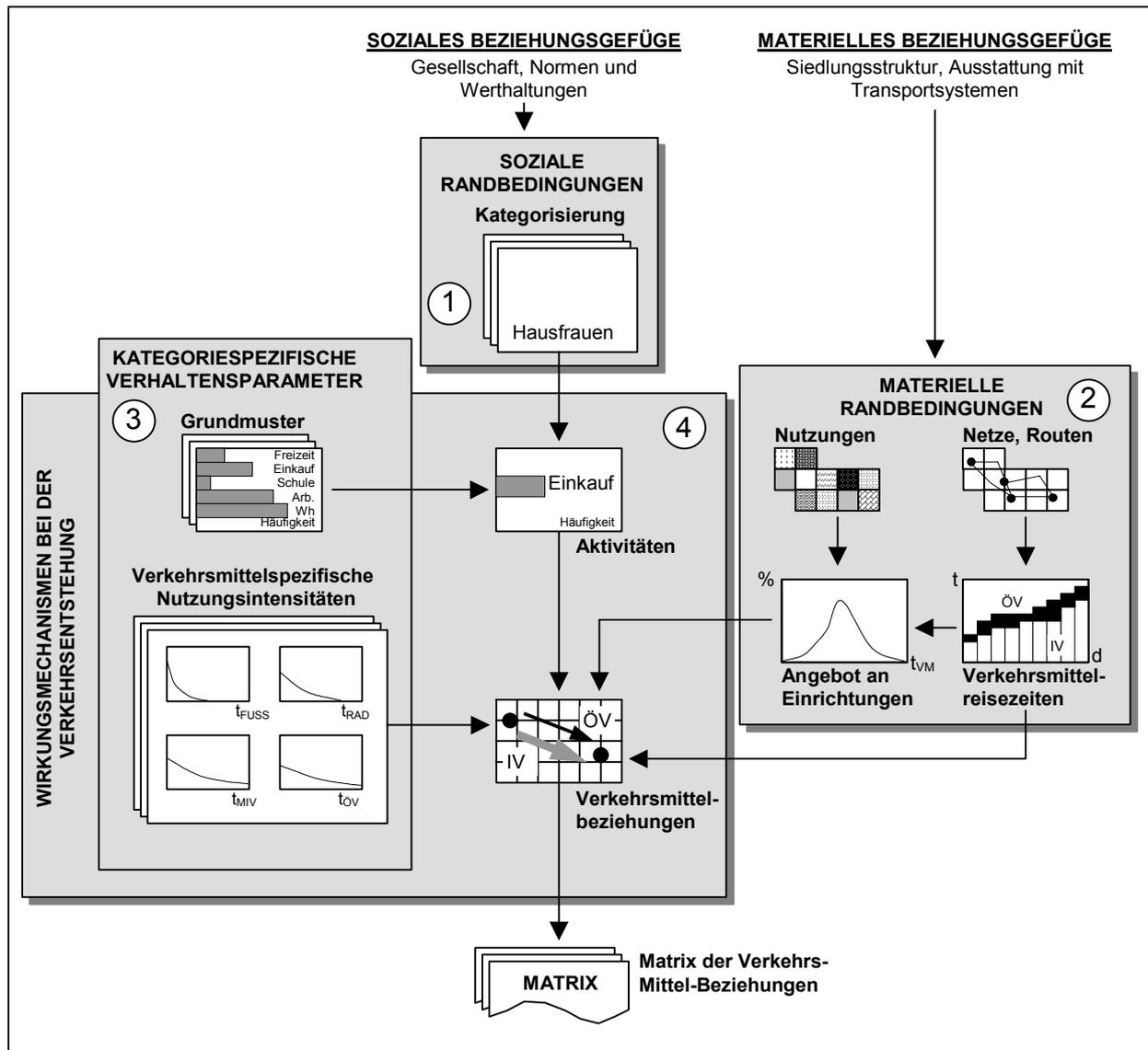
### 3.1 Der Kernprozess der Verkehrsberechnung: Die Simulation von Hauptaktivitäten

Ausgehend von den im vorherigen Abschnitt dargestellten Grundkonzepten bildet die Simulation von Hauptaktivitäten den Kernprozess des Verkehrsmodells. Das Grundprinzip dieser Simulation kann mit der Kurzformel

**„Personen mit spezifischen sozialen Randbedingungen reagieren  
auf spezifische Angebote in ihrer Umwelt“**

beschrieben werden. Das „Reagieren“ erfolgt im Modell in einer Kombination gruppenspezifischer Verhaltensparameter durch die Rechenvorschrift, die die reale Verkehrsentstehung logisch richtig nachvollziehen soll (s. nachstehende Abbildung).

Abb. 3-3: Grundschemata zur Simulation von Hauptaktivitäten



Quelle: Darstellung in Anlehnung an Kutter 1984

- Soziale Randbedingungen werden berücksichtigt, indem einerseits Verhaltensparameter auf soziodemographische Gruppen bezogen sind und andererseits alle Simulationsschritte gruppenspezifisch durchgeführt werden. Wesentliche Kriterien für die Einteilung in Bevölkerungsgruppen sind die Bindung an bestimmte Tätigkeiten und die persönliche Pkw-Verfügbarkeit, die maßgebend ist für die persönliche Erreichbarkeit und Möglichkeiten („Wahlfreiheit“) bei der Verkehrsmittelwahl.

- Die *materiellen Randbedingungen* umfassen Flächenuntergliederungen (z.B. 1004 Teilverkehrszellen in Berlin-Brandenburg), die Spezifizierung der Nutzungsgelegenheiten für die 16 Aktivitätenkategorien sowie Angaben über sämtliche auftretenden Zeitdistanzen in den verfügbaren Verkehrssystemen (ÖPNV, Individualverkehr, Fußwege). Die Kombination der Flächennutzungen mit den Zeitdistanzen ermöglicht die Ermittlung standortspezifischer „Gelegenheiten-Dichten“, die die maßgebende Basis für das räumliche Verhalten bilden.
- *Verhaltensparameter* stellen die Verbindung her zwischen den Input-Größen als Variablen und dem „Rechenkonzept“ (Modellalgorithmus). Hierzu gehören z.B. die Muster für die Häufigkeit von Aktivitäten, Zeitdistanzempfindlichkeiten oder die Präferenzen bei der Verkehrsmittelwahl. Im gruppenspezifischen Modellkonzept beziehen sie sich grundsätzlich auf die agierenden Personen. Ein Beispiel hierfür bilden die sog. „Nutzungsintensitäten“, die die personengruppenspezifische Annahme-Wahrscheinlichkeit von Einrichtungen in Abhängigkeit von der Lage des Wohnstandorts abbilden [vgl. hierzu Kutter 1984, S. 90].
- Der *eigentliche Modellalgorithmus* kann mit der Kurzformel „Personen, limitiert durch Vereinbarungen und Zwänge, reagieren auf materielle Angebote“ beschrieben werden. Wesentliche Merkmale dieser Mechanismen des Reagierens sind die Tätigkeitenorientierung – Verkehr wird grundsätzlich als Folgeerscheinung berechnet –, die integrative Behandlung von Verkehrsaufteilung und Zielwahl, sowie die Ausnutzung der Möglichkeiten der EDV zur „synthetischen“ Konstruktion von Situationsbeschreibungen, die bei „reiner Hochrechnung“ wegen der dünnen „Datendecke“ gar nicht durchführbar wären.

Der Modellalgorithmus ermittelt wohnstandort-, gruppen- und aktivitätenspezifisch:

- die Häufigkeit der Aktivitätsausübung bzw. die Reishäufigkeit und
- simultan die Verteilung der Aktivitäten im Raum und die genutzten Verkehrsmittel.

Der angeführte vierte Schritt im Kernprozess zur Hauptaktivitäten-Simulation stellt den eigentlichen Modellalgorithmus dar. Zu seiner genaueren Beschreibung werden im Folgenden zunächst die in der Berliner Anwendung implementierten Aktivitätenkategorien, Personengruppen und Verkehrsmittel dargestellt. Darauf aufbauend werden die zentralen Rechenschritte „Aktivitätsaufkommen“, „Ziel- und Verkehrsmittelwahl“ sowie „Randsummenausgleich“ näher erläutert.

### **Implementierte Aktivitätenkategorien, Personengruppen und Verkehrsmittel**

Im derzeitigen Entwicklungsstand arbeitet das Personenverkehrsmodells mit den nachfolgend dargestellten Verkehrsmitteln, soziodemographischen Personengruppen und Aktivitätenkategorien.

*Abb. 3-4: Implementierte Verkehrsmittel*

1	zu Fuß
2	Fahrrad
3	Motorisierter Individualverkehr – Fahrer
4	Motorisierter Individualverkehr – Mitfahrer
5	Öffentlicher Personennahverkehr

Für die Verkehrsmittel stehen separate Reisezeitmatrizen zur Verfügung, die aus den bei der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung vorhandenen Netzmodellen abgeleitet wurden. Die notwendigen Basisstrukturdaten zur Abbildung der verschiedenen Personengruppen und Aktivitätenkategorien (differenzierte Einwohnerzahlen und Zielpotenziale) wurden ebenfalls durch die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung bereitgestellt.

Abb. 3-5: Implementierte soziodemographische Personengruppen

		Geschlecht							
		männlich				weiblich			
		Pkw-Verfügbarkeit							
Erwerbstätigkeit Obergruppe	Erwerbstätigkeit Untergruppe	eigener Pkw	Pkw im HH + FS	Pkw im HH + kein FS	kein Pkw im HH	eigener Pkw	Pkw im HH + FS	Pkw im HH + kein FS	kein Pkw im HH
in Ausbildung	Vorschüler			X	X			X	X
	Grundschüler			X	X			X	X
	Oberschüler			X	X			X	X
	Auszubildende	X	X	X	X	X	X	X	X
	Studierende	X	X	X	X	X	X	X	X
Erwerbstätig	Arbeiter	X	X	X	X	X	X	X	X
	Beamte/Angestellte	X	X	X	X	X	X	X	X
	Selbstständige	X	X	X	X	X	X	X	X
Nicht erwerbstätig	Arbeitslose	X	X	X	X	X	X	X	X
	Hausfrauen					X	X	X	X
	Rentner	X	X	X	X	X	X	X	X

Abb. 3-6: Implementierte Aktivitätenkategorien

Aktivitäten- oberkategorie	Aktivitätenkategorie
<b>Arbeiten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeiter</li> <li>• Angestellter</li> <li>• Selbstständige</li> </ul>
<b>Ausbildung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kita</li> <li>• Grundschule</li> <li>• Oberschule</li> <li>• Berufsschule</li> <li>• Hochschule</li> </ul>
<b>Versorgung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kleiner Einkauf</li> <li>• großer Einkauf</li> <li>• private Erledigung (Arzt, Behörde)</li> <li>• Begleiten, Bringen, Holen</li> </ul>
<b>Freizeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tagesfreizeit</li> <li>• Theater, Kino, Kneipe</li> <li>• Sport</li> <li>• Besuch von Freunden/Verwandten</li> </ul>

Die o.g. Differenzierung von 72 Personengruppen wurde in erster Linie aus formalen Gründen vorgenommen, um eventuelle zukünftige Änderungen der Verhaltensparameter einzelner Gruppen einfacher berücksichtigen zu können. Derzeit umfasst das Modell lediglich ca. 25 unterschiedliche Verhaltensparametersätze, die jeweils einer oder mehreren Personengruppen zugeordnet sind.

Programmtechnisch ist das Personenverkehrsmodell auf eine beliebige Anzahl von Personengruppen, Aktivitätskategorien oder Verkehrsmitteln erweiterbar, sofern für diese die entsprechend notwendigen Verkehrsnetz- bzw. Strukturdaten sowie die notwendigen Verhaltensparameter bereitgestellt werden.

### Berechnung der Aktivitäten- / Reishäufigkeiten

Im ersten Berechnungsschritt der Hauptaktivitätensimulation werden die Aktivitäten- bzw. Reishäufigkeiten für die einzelnen Verkehrszellen, die einzelnen Personengruppen und die einzelnen Aktivitätenkategorien entsprechend der folgenden Formel ermittelt:

$$Reisen_{VZ,PersGr,AK} = EW_{VZ,PersGr} \cdot RH_{VZTyp,PersGr,AK} \quad \text{mit:}$$

$Reisen_{VZ,PersGr,AK}$	Anzahl der Reisen der Einwohner der Verkehrszelle $VZ$ , die der Personengruppe $PersGr$ angehören, mit der Hauptaktivität $AK$
$EW_{VZ,PersGr}$	Einwohner der Verkehrszelle $VZ$ , die der Personengruppe $PersGr$ angehören
$RH_{VZTyp,PersGr,AK}$	Häufigkeit der Reisen / Aktivitäten der Kategorie $AK$ pro Einwohner und Tag für Personen, die der Personengruppe $PersGr$ angehören und die in einer Verkehrszelle mit dem Typ $VZTyp$ leben.

Die verkehrszellentypen-, personengruppen- und aktivitätenspezifischen Reishäufigkeiten  $RH_{VZTyp,PersGr,AK}$  wurden für das Berliner Personenverkehrsmodell aus empirischen Daten (insb. Haushaltsbefragung 1998 der BVG) ermittelt und als Verhaltensparameter in das Personenverkehrsmodell eingespeist. Die Definition der Verkehrszellentypen sowie die Zuordnung der Typen zu den einzelnen Verkehrszellen erfolgte ebenfalls auf dieser empirischen Basis.

### Ziel- und Verkehrsmittelwahl

Im Jahr 2002 wurde die Ziel- und Verkehrsmittelwahl bei der Berechnung der Hauptaktivitäten grundlegend weiterentwickelt. Während zuvor die Aktivitätenorte (Ziele) und die Aufteilung auf die Verkehrsmittel sequenziell simuliert wurden, erfolgt die Berechnung nunmehr **simultan** in einem einzigen Berechnungsschritt.

Für die Berechnung wird ein multinomialer Logit-Ansatz verwendet. Dieser unterstellt, dass ein Verkehrsteilnehmer bei freier Auswahl zwischen allen Verkehrszellen und allen Verkehrsmitteln die Kombination wählt, die für ihn den höchsten subjektiven Nutzen erbringt. Dieser Nutzen wird mathematisch durch die Summation unterschiedlicher Nutzenkomponenten abgebildet, die jeweils positiv oder negativ zum Gesamtnutzen einer Ziel-Verkehrsmittel-Kombination beitragen.

Das verwendete Ziel-Verkehrsmittel-Wahlmodell hat die folgende Form:

$$HA_{OZ,ZZ,VM,PersGr,AK} = Reisen_{OZ,PersGr,AK} \cdot \frac{ZP_{ZZ,AK} \cdot \exp(u_{OZ,ZZ,VM,PersGr,AK,VZTyp})}{\sum_{ZZ} ZP_{ZZ,AK} \cdot \exp(u_{OZ,ZZ,VM,PersGr,AK,VZTyp})}$$

mit:

$HA_{QZ,ZZ,VM,PersGr,AK}$	Anzahl der Hauptaktivitäten der Kategorie $AK$ , die von den zur Personengruppe $PersGr$ gehörenden Einwohner der (Wohn-)Zelle $QZ$ in der (Aktivitäten-)Zelle $ZZ$ unter Nutzung des Verkehrsmittels $VM$ durchgeführt werden.
$Reisen_{QZ,PersGr,AK}$	Anzahl der Reisen der Einwohner der Verkehrszelle $QZ$ , die der Personengruppe $PersGr$ angehören, mit der Hauptaktivität $AK$ (s.o.)
$ZP_{ZZ,AK}$	Zielpotenzial/Gelegenheiten für die Aktivität $AK$ in der Zelle $ZZ$
$u_{QZ,ZZ,VM,PersGr,AK,VZTyp}$	Nutzen(-funktion) der Ausübung einer Hauptaktivität $AK$ in der (Aktivitäten-)Zelle $ZZ$ und der damit verbundenen Nutzung des Verkehrsmittels $VM$ für Einwohner der (Wohn-)Zelle $QZ$ , die der Personengruppe $PersGr$ angehören.

Als Komponenten der Nutzenfunktion werden zurzeit berücksichtigt:

- Konstante, globale Bewertung der Verkehrsmittel
- Zeitdistanz zwischen Quell- und Zielzelle mit den einzelnen Verkehrsmitteln
- Städtebauliche Dichte an der Quelle
- Städtebauliche Dichte am Ziel
- Umsteigehäufigkeit bei der Fahrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln
- Möglichkeit der Nutzung eines Schienenverkehrsmittels bei der Fahrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln

Die empirische Grundlage für das Logit-Modell lieferte in erster Linie die BVG-Haushaltsbefragung 1998.

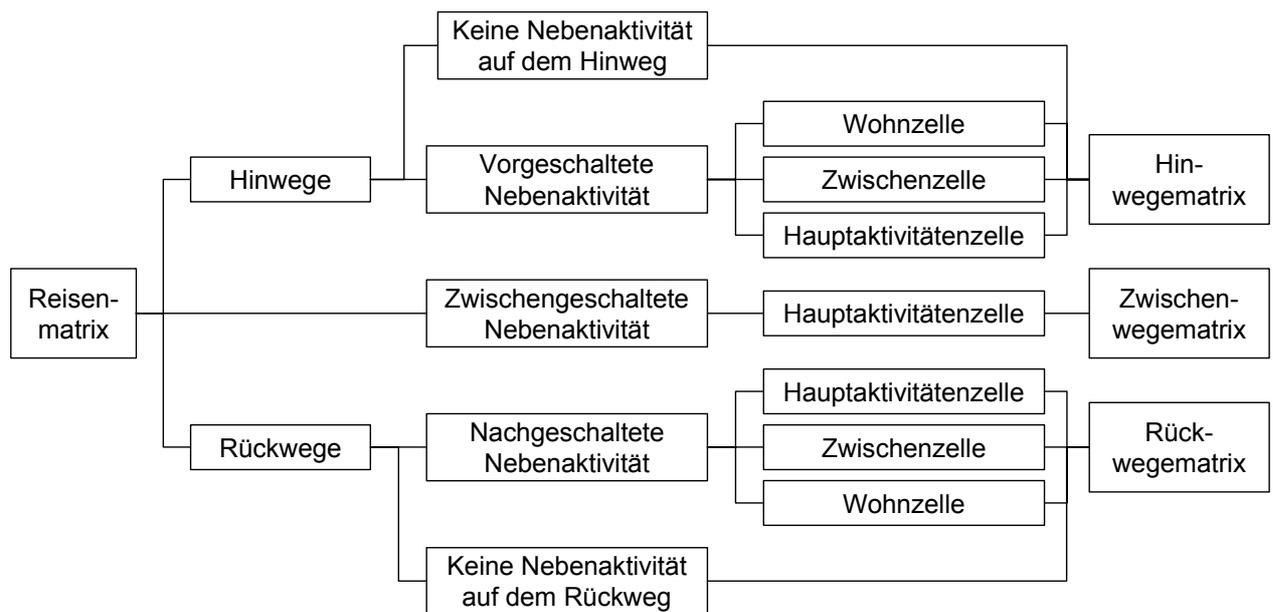
### Randsummenausgleich

Zur Berücksichtigung der Konkurrenzsituation zwischen den Einwohnern der verschiedenen Wohnzellen hinsichtlich der Aktivitätsausübung in einer bestimmten Zielzelle wird mithilfe des Furness-Algorithmus ein quelseitig fixierter Randsummenausgleich über die berechneten Reise-/Aktivitätenhäufigkeiten und die Zielpotenziale/Aktivitätengelegenheiten durchgeführt. Diese Verfahrensweise bietet sich bei der dargestellten Simulation von Hauptaktivitäten an, da das Quellreiseaufkommen relativ exakt empirisch erfasst und somit für das Modell vorgegeben werden kann. Ein zieleitig oder ein quell- und zieleitig fixierter Randsummenausgleich ist dagegen aufgrund der größeren Ungenauigkeiten bei der Erfassung bzw. Quantifizierung der Zielpotenziale weniger geeignet.

### 3.2 Berechnung der Nebenaktivitäten – Überführung der Reisen in Einzelwege

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebene Hauptaktivitätensimulation liefert als Ergebnis die Reisen zwischen den Wohnorten und den Hauptaktivitätenorten differenziert nach Aktivitätskategorien und Verkehrsmitteln. Sie bildet aber noch nicht ab, ob die Reise – wie in der Realität – Unterbrechungen erfährt, welche Aktivitäten ggf. zwischendurch unternommen werden und ob mit mehreren Verkehrsmitteln gefahren wird. Die Abbildung solcher Nebenaktivitäten und Verkehrsmittelwechsel erfolgt in dem zweiten Berechnungsschritt des Personenverkehrsmodells, der nachfolgend erläutert wird (vgl. Abb. 3-7).

Abb. 3-7: Simulation der Nebenaktivitäten



1. Die im Rahmen der Hauptaktivitätensimulation ermittelten aktivitätskategorien- und verkehrsmittelspezifischen Reisen werden in Hin- und Rückwege aufgeteilt. Des Weiteren wird der Anteil der Hauptaktivitäten berechnet, die mit zwischengeschalteten Nebenaktivitäten verbunden sind.
2. Die erzeugten Hin- und Rückwege werden weiterhin danach aufgeteilt, ob diese Wege durch Nebenaktivitäten unterbrochen werden (vor- bzw. nachgeschaltete Nebenaktivitäten) oder nicht (keine Nebenaktivität auf dem Hin- bzw. Rückweg). Die zuletzt genannten Direktwege werden unmittelbar in die Hin- bzw. Rückwegematrix übernommen.
3. Die vor- und nachgeschalteten Nebenaktivitäten werden auf die Bereiche „Wohnzelle“, „Zwischenzelle“ und „Hauptaktivitätenzelle“ aufgeteilt. Die zwischengeschalteten Nebenaktivitäten werden komplett dem Bereich „Hauptaktivitätenzelle“ zugeordnet. Parallel zur Zuordnung der Nebenaktivitäten zu Bereichen werden auch die Übergänge zwischen den Verkehrsmitteln mithilfe von Übergangswahrscheinlichkeiten berechnet.

Die genannten Bereiche „Wohnzelle“, „Zwischenzelle“ und „Hauptaktivitätenzelle“ sind in der Abb. 3-8 schematisch und in Abb. 3-9 anhand eines Beispiels dargestellt. Sie sind im einzelnen wie folgt definiert:

Wohnzellen:

Zellen, deren Schwerpunkt im 1000m Radius um die Quellzelle der Reise liegen.

Zwischenzellen:

Zellen, deren Schwerpunkt in einer Ellipse liegen, deren Brennpunkt Wohnzelle und Hauptaktivitätenzelle sind und deren Nebenradius 0,5 des Hauptradius entspricht.

Hauptaktivitätenzelle:

Zellen, deren Schwerpunkt im 1000m Radius um die Zielzelle der Reise liegen.

Abb. 3-8: Lokalisierung der Nebenaktivitäten

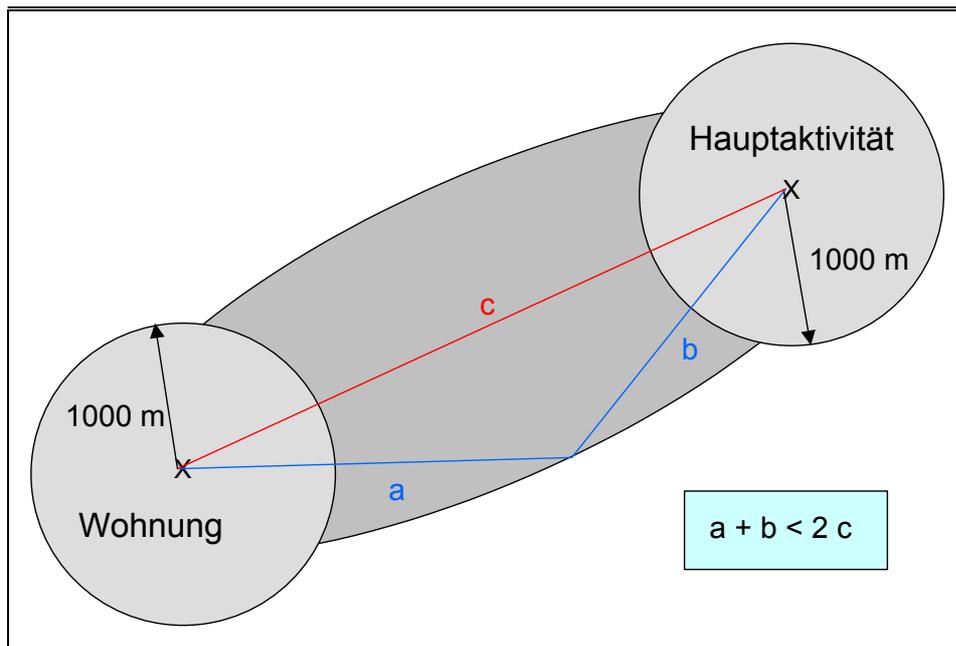
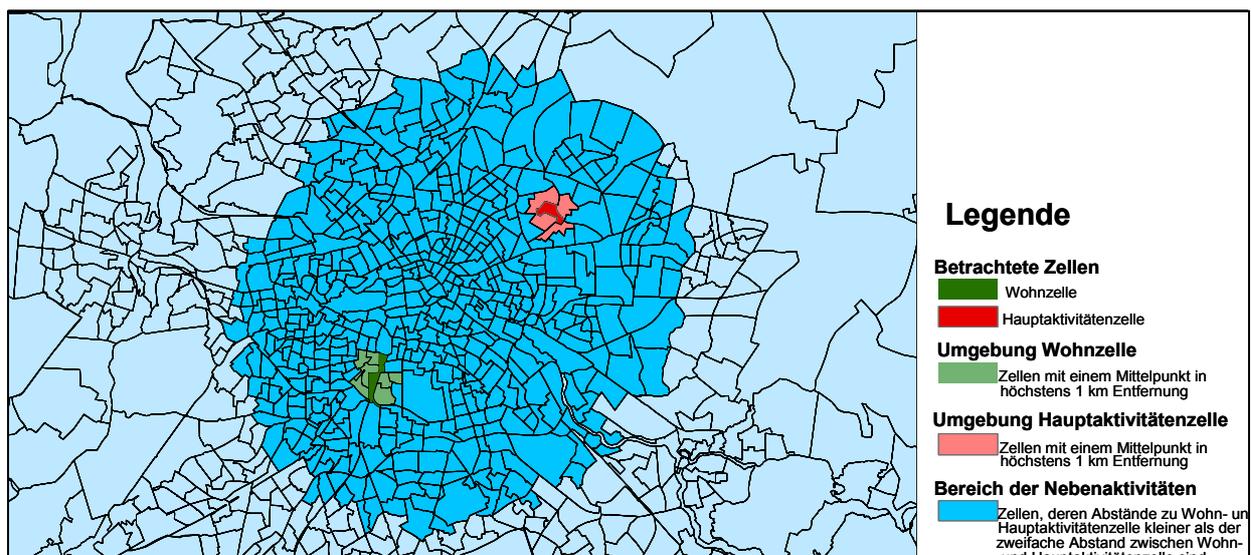


Abb. 3-9: Reales Beispiel für die Lokalisierung der Nebenaktivitäten



1. Die im vorangegangenen Schritt in den einzelnen Bereich lokalisierten vor-, zwischen und nachgeschalteten Nebenaktivitäten werden nun auf die einzelnen Teilverkehrszellen entsprechend der Verteilung der zur jeweiligen Aktivitätenoberkategorie (Schule, Arbeit, Einkauf, Freizeit) zugehörigen Zielpotenziale aufgeteilt.
2. Die nunmehr auf Teilverkehrszellenebene lokalisierten Nebenaktivitäten werden in Verbindung mit den entsprechenden Quell- und Zielzellen der ursprünglichen Reise in Wege überführt, die wiederum in die Hin-, Zwischen- oder Rückwegematrix übernommen werden.

### 3.3 Tageszeitliche Verteilung der Wege

Im Hinblick auf die Anwendung des Berliner Personenverkehrsmodells zur Erzeugung von Aktivitätenketten als Input für Multi-Agenten-Simulationen ist das im Personenverkehrsmodell integrierte Modul zur tageszeitlichen Verteilung der Wege nicht relevant, da die Zuordnung von Abfahrtszeiten, Aktivitätendauern etc. integraler Bestandteil der nachfolgenden Multi-Agenten-Simulation ist [vgl. Rieser u.a. 2006]. Für eine vollständige Darstellung des Berliner Personenverkehrsmodells soll jedoch das hier integrierte Tageszeit-Modul dennoch kurz vorgestellt werden.

Basierend auf der Aufteilung der Reisen auf Hin-, Zwischen- und Rückwege im vorangegangenen zweiten Berechnungsschritt werden im dritten Berechnungsschritt die Wege auf die einzelnen Stunden des Tages aufgeteilt. Die Aufteilung wird anhand von dem Modell vorzugebenden Anteilen der einzelnen Stunden am Gesamttag, differenziert nach Aktivitätenoberkategorien (Schule, Arbeit, Einkauf, Freizeit) sowie nach Hin-, Zwischen- oder Rückweg vorgenommen. Die Anzahl der Wege in einer Stundengruppe ergibt sich allgemein aus:

$$Wege_{Wegtyp, AOK, Stunde} = Wege_{Wegtyp, AOK} \cdot Anteil_{Stunde}$$

mit: Wegetyp: Hin-, Zwischen- oder Rückwege  
 AOK: Aktivitätenoberkategorie  
 AnteilStunde: Anteil einer Zeitscheibe am Tagesaufkommen

### 3.4 Schnittstelle zur Ausgabe/Übergabe der Aktivitätenketten an Multi-Agenten-Simulationen

Die vorgegangenen Erläuterungen der Haupt- und Nebenaktivitätensimulation machen deutlich, dass das Berliner Personenverkehrsmodell zunächst intern komplette Aktivitätenketten erzeugt, die dann jedoch in der bisherigen Standardausführung des Modells in verkehrsmittel- und aktivitätenspezifische Wege- bzw. Quelle-Ziel-Matrizen überführt werden. Um die (internen) Aktivitätenketten als Input für Multi-Agenten-Simulationen bereitstellen zu können, musste also nur eine geeignete Schnittstelle in den Prozess der Nebenaktivitätensimulation integriert werden.

Um eine einfache Weiterverarbeitung der Daten zu gewährleisten, wurde eine entsprechende ASCII-Schnittstelle implementiert, bei der für jede Personengruppen-Aktivitätenkategorie-Kombinationen eine separate Datei erzeugt wird. Der Inhalt einer solchen Datei ist durch die Felddefinitionen der nachfolgenden Tabelle beschrieben:

Feld/Spalte	Beschreibung
1	Erwartungswert für die Häufigkeit des Auftretens der Aktivitätenkette
2	Wohnstandort (Verkehrszelle)
3	1. Aktivität-Kategorie
4	1. Aktivität-Ort
5	1. Aktivität-Verkehrsmittel auf dem Weg zu 1. Aktivität
6	2. Aktivität-Kategorie
7	2. Aktivität-Ort
8	2. Aktivität-Verkehrsmittel auf dem Weg zu 2. Aktivität
9	3. Aktivität-Kategorie
10	3. Aktivität-Ort
11	3. Aktivität-Verkehrsmittel auf dem Weg zu 3. Aktivität
12	4. Aktivität-Kategorie
13	4. Aktivität-Ort
14	4. Aktivität-Verkehrsmittel auf dem Weg zu 4. Aktivität

Insgesamt werden auf diese Weise für den Berliner Anwendungsfall ca. 250 Mio. unterschiedliche Aktivitätenketten erzeugt.

## 4. LITERATURVERZEICHNIS

[Holzapfel 1980]

Holzapfel, Helmut: Verkehrsbeziehungen in Städten. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Verkehrswegebau, Technische Universität Berlin. Berlin, 1980

[Kutter 1972]

Kutter, Eckhard: Demographische Determinanten städtischen Personenverkehrs. Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen der TU Braunschweig, Heft 9, TU Braunschweig, Braunschweig, 1972

[Kutter 1984]

Kutter, Eckhard: Integrierte Berechnung städtischen Personenverkehrs – Dokumentation der Entwicklung eines Verkehrsberechnungsmodells für die Verkehrsentwicklungsplanung Berlin (West). Berlin, 1984

[Kutter 2000]

Kutter, Eckhard: Verkehrsplanerische Eckwerte einer nachhaltigen regionalen Verkehrsstrategie. Forschungsbericht. Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. Berlin/Hamburg. Februar 2000

[Kutter/Mikota 1990a]

Kutter, Eckhard und Hans-Joachim Mikota: Genauigkeit der Abbildung des Berliner Verkehrsbildes auf der Basis von Befragungen des Verkehrsteilnehmers (BVG-Befragung 86 + Volkszählung 87). Untersuchung im Auftrag der BVG. Berlin, 1990

[Kutter/Mikota 1990b]

Kutter, Eckhard und Hans-Joachim Mikota: Weiterentwicklung des Personenverkehrsmodells Berlin auf der Basis der Verkehrsentstehungsmatrix 1986 (BVG). Untersuchung im Auftrag des Senators für Arbeit, Verkehr und Betriebe. Berlin, 1990

[Kutter/Stein 1998]

Kutter, Eckhard und Axel Stein: Minderung des Regionalverkehrs – Chancen von Städtebau und Raumordnung in Ostdeutschland. Forschungsberichte des BBR, Heft 87. Bonn 1998

[Kutter u.a. 2002]

Kutter, Eckhard; Hans-Joachim Mikota, Jens Rügenapp und Imke Steinmeyer: Untersuchung auf der Basis der Haushaltsbefragung 1998 (Berlin und Umland) zur Aktualisierung des Modells "Pers Verk Berlin / RPlan", sowie speziell der Entwicklung der Verhaltensparameter '86 - '98 im Westteil Berlins, der Validierung bisheriger Hypothesen zum Verhalten im Ostteil, der Bestimmung von Verhaltensparametern für das Umland. Entwurf des Schlussberichts im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. Berlin / Hamburg, 2002

[Rieser u.a. 2006]

Rieser, Marcel; Kai Nagel, Ulrike Beuck, Michael Balmer und Jens Rügenapp: Truly agent-orientated coupling of an activity-based demand generation with a multi-agent traffic simulation. Tagungsband AMUS 2006. RWTH Aachen, 2006

[Rümenapp 2005]

Rümenapp, Jens: Zukünftige raumstrukturelle Entwicklung in der Region Dresden und ihre Konsequenzen für die Verkehrsnachfrage. Tagungsbeitrag zu den 20. Verkehrswissenschaftlichen Tagen der TU Dresden am 19. und 20.09.2005 in Dresden (Tagungsband auf CD-ROM). Dresden 2005

[Rümenapp/Gutsche/Kutter 2004]

Rümenapp, Jens; Gutsche, Jens-Martin; Kutter, Eckhard: Die Einflüsse des Leitprojekts intermobil auf die Mobilitäts- und Verkehrsentwicklung in der Region bis 2015: Ergebnisse von Wirkungsermittlungen und Simulationsuntersuchungen. In: Gesellschaft für Wissens- und Technologietransfer der TU Dresden mbH (Hrsg.): Tagungsband zum wissenschaftlichen Kolloquium des BMBF-Leitprojektes intermobil Region Dresden und des Alcatel SEL Stiftungskollegs für interdisziplinäre Verkehrsforschung an der TU Dresden. Seite 241-253. Dresden 2004

[Schmiedel 1983]

Schmiedel, Reinhard: Bestimmung verhaltensähnlicher Personenkreise für die Verkehrsplanung. Karlsruhe, 1983

[SenStadt 2003]

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (Hrsg.): mobil2010 – Stadtentwicklungsplan Verkehr Berlin. Berlin, 2003

[SenStadt 2006]

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (Hrsg.): Die Berliner Verkehrsprognose 2015. Erläuterungen zu den Grundlagen von Verkehrsprognosen – Teil Straßenverkehr. Berlin, 2006