

---

# **Kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodelle**

## **Endbericht**

**Forschungsprojekt des  
Bundesministeriums für Verkehr,  
Bau- und Wohnungswesen**

**FE-Nr.: 70.0689/2002/**

**Band 1 – Textteil**

**Aachen, im Januar 2005**

---



Im Auftrag des  
Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen

Forschungsbericht FE-Nr.: 70.0689/2002/

# **Kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodelle**

Band 1 – Textteil

Projektleitung:

Theo Janßen

Reiner Vollmer

Mitarbeit:

Jan Beckhoff

Thomas Reiter

Roberth Schermer

Bettina Spelthan

Beratung:

Peter Hohle

Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG

Oppenhoffallee 171

52066 Aachen

Aachen, im Januar 2005

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ausgangssituation</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Aufgabenstellung und allgemeine Zielsetzung</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Abgrenzung des Wirtschaftsverkehrs</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Literaturrecherche</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Anforderungen an das zu entwickelnde Modell</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>Generelle Festlegungen zum Modellaufbau</b>	<b>34</b>
6.1	Betrachte Fahrzeugabgrenzung	35
6.2	Betrachtete Modellsysteme (Teil-Modelle)	40
6.3	Wahl der relevanten Eingangsgrößen	42
6.4	Unterscheidungsnotwendigkeit nach Verkehrs- bzw. Transportzwecken	45
6.5	Berücksichtigung der Entwicklungstendenzen im Wirtschaftsverkehr	48
6.6	Einbeziehung des Fernverkehrs	53
<b>7</b>	<b>Modellbausteine</b>	<b>54</b>
7.1	Personenwirtschaftsverkehr	55
7.2	Lkw-/Güterverkehr	77
7.3	Disperse Verkehre	90
7.4	Nicht modellierte Verkehrsbeziehungen	95
7.5	Zusammenstellung der Umlegungsmatrizen	97
<b>8</b>	<b>Schnittstellen zu anderen Modellen</b>	<b>113</b>
8.1	Raumeinteilung und Strukturdaten	113
8.2	Personenverkehrsmodelle	113

8.3	Lkw-/Güterverkehrsmodelle	114
8.4	Umlegungsmodelle	114
<b>9</b>	<b>EDV-technische Umsetzung</b>	<b>117</b>
9.1	Technische Anforderungen	117
9.2	Datenbearbeitung	118
9.3	Ergebnisausgabe und Möglichkeiten zur Auswertung	118
<b>10</b>	<b>Modellanwendung für die drei Beispielstädte</b>	<b>121</b>
10.1	Überprüfung des Verkehrsmodells für den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr an realen Beispielen	121
10.2	Beschreibung der Modellstädte	122
<b>11</b>	<b>Untersuchungsbeispiele/Einsatzbereiche</b>	<b>140</b>
11.1	Siedlungsstruktur	140
11.2	Verkehrsangebotsstruktur	141
11.3	Verhaltensmuster	142
11.4	Technische/technologische Entwicklungen	143
11.5	Betriebliche/logistische Entwicklungen	144
11.6	Rechtliche Entwicklungen	144
11.7	Kostenmäßige Entwicklungen	145
<b>12</b>	<b>Weiterer Forschungsbedarf</b>	<b>148</b>
<b>13</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>152</b>
<b>14</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>162</b>
<b>15</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>166</b>
<b>16</b>	<b>Anlagenverzeichnis</b>	<b>169</b>

# 1 Ausgangssituation

Das Verkehrsgeschehen in den städtischen Straßennetzen wird sowohl durch den Pkw-Verkehr als auch durch den Lkw-Verkehr bestimmt. Beide Verkehrsmittel werden dabei mehr oder weniger intensiv für den Transport von Personen bzw. von Gütern benutzt, wobei ein Teil der Transporte dem „privaten Verkehr“ und ein anderer Teil dem „Wirtschaftsverkehr“ zuzuordnen ist. Der Anteil des Wirtschaftsverkehrs an der Fahrleistung des städtischen Verkehrs wird dabei in Ermangelung genauerer Kenntnisse oft mit über 30 % eingeschätzt<sup>1</sup>. Auch die genaue Abgrenzung zwischen diesen Verkehrsarten wird immer wieder diskutiert (siehe auch Kapitel 3 dieses Berichtes), so dass hier ein wichtiger Klärungsbedarf besteht.

Während sich in der Vergangenheit die Verkehrsforschung in überwiegendem Maß mit der Erkundung der Gesetzmäßigkeiten im „reinen“ Personenverkehr (mit den Reisezwecken Berufspendeln, Ausbildung, Einkauf, Besorgen, Freizeit und Geschäft) befasst hat und hierfür entsprechende Verkehrsmodelle entwickelt wurden, ist der Bereich des kleinräumigen Wirtschaftsverkehrs, zu dem der gesamte Güterverkehr mit Lkw als auch der mit Pkw ausgeübte Geschäftverkehr zählt, noch weitgehend unerforscht. Diese Aussage gilt gleichermaßen für die Bundesrepublik Deutschland als das übrige Europa. Diese Erkenntnis ergab sich im Rahmen des groß angelegten EU-Forschungsauftrages COST 321 – Stadtverträglicher Güterverkehr.

Als besonderes Manko wurde im Rahmen dieser Forschungsarbeit festgestellt, dass insbesondere im Bereich der Simulation des Wirtschafts-/Güterverkehrs im europäischen Raum kaum einsatzfähige Simulationsmodelle zur Verfügung stehen. Eine Ausnahme hiervon bildet lediglich der deutsche

---

<sup>1</sup> Sonntag (IVU) gibt z. B. aufgrund von Fahrleistungsauswertungen einen Fahrleistungsanteil von 33% an (Vortrag im Rahmen des Kolloquiums der DVWG „Wirtschaftsverkehr in Städten – Wege aus der Krise“ am 13./14. November 2003 in Dresden) – ein ähnliches Ergebnis liefert auch die Auswertung der Daten aus der KID-Erhebung

Raum, für den erste einsatzfähige, jedoch noch verbesserungsbedürftige Modellansätze vorliegen.<sup>2</sup>

Diese Aussage wird durch eine Befragung deutscher Städte zum „Einsatz von Modellen zur Abschätzung des Wirtschaftsverkehrs in Städten“<sup>3</sup> bestätigt. Von den im Rahmen dieser Untersuchung befragten 45 Städten setzen 20 Städte spezielle Modelle oder Teilmodelle ein. Hiervon benutzen 10 Städte spezielle Modelle zur Abbildung des Wirtschaftsverkehrs mit Lkw und Pkw.<sup>4</sup> Die restlichen 10 Städte der Gruppe, die spezielle Modelle für den Personenverkehr nutzt, berücksichtigt den Wirtschaftsverkehr durch die Einbindung zusätzlicher Reisezwecke in das Personenverkehrsmodell. Die übrigen Städte schätzen die Menge des Wirtschaftsverkehrs überwiegend ab und erhöhen daraufhin die für den allgemeinen/privaten Personenverkehr modelltechnisch ermittelten Verkehrsströme (faktorieller Zuschlag).

Dies zeigt, dass sich die meisten Städte der vorhandenen Problematik bewusst sind und einer vertieften (modelltechnischen) Betrachtung des Wirtschaftsverkehrs positiv gegenüber stehen. Der Gebrauch eines entsprechenden Instrumentariums, das den Wirtschaftsverkehr abbildet und zusammen mit dem privaten Verkehr in seinen Auswirkungen (u. a. Belastungen) verdeutlicht, ist jedoch noch nicht in der gewünschten Qualität vorhanden.

Wenngleich mit der Einbeziehung des Reisezwecks Geschäft ein Teil des Personenwirtschaftsverkehrs erfasst wurde, so bleibt doch festzustellen, dass ein Großteil der geschäftlichen Fahrten/Dienstfahrten so nicht in ausreichendem Maße Berücksichtigung findet. Die Ursache hierfür liegt im Wesentlichen darin, dass im Rahmen der herkömmlichen Erhebungen (Haushaltsbefragungen, Betriebsbefragungen) in der Regel keine umfassenden Ergebnisse zum

---

<sup>2</sup> Hierzu siehe Schlussbericht COST 321, aufgestellt von der Ingenieurgruppe IVV, 1999

<sup>3</sup> Durchgeführt vom Ingenieurbüro Paul Overberg, Berlin zusammen mit dem Arbeitsbereich „Verkehrssysteme und Logistik“ der TU Hamburg-Harburg; ECTL Working Paper 7; 2002

<sup>4</sup> Es sind die Modelle WIVER von IVU und VENUS von IVV sowie ein nicht näher spezifiziertes Modell von SSP.

Personenwirtschaftsverkehr gewonnen wurden und dieser bislang eine datenmäßig nicht abgesicherte Grauzone bildete.

Ein ebenfalls nicht befriedigender Wissensstand über Hintergründe und Zusammenhänge bei der Verkehrsnachfrage herrscht bislang für den Bereich des kleinräumigen Lkw-Güterverkehrs. Hier fehlten in der Vergangenheit ausreichend differenzierte Informationen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge, anhand derer detaillierte und quantitativ abgesicherte Verkehrsmodelle hätten entwickelt werden können. Als Folge hieraus wurden vereinfachte Verkehrsmodelle zur Bestimmung des Lkw-Verkehrs erarbeitet, die zwar brauchbare Ergebnisse lieferten, aber oft nicht den für kleinräumige Betrachtungen wünschenswerten Differenzierungsgrad aufwiesen.

Die in der Vergangenheit durchgeführten Forschungen zur Ermittlung der Verkehrsnachfrage im Personen- und Güterverkehr führten zu der Erkenntnis, dass ein gesamtheitlicher, alles umfassender, d. h. sowohl für großräumige (überregionale) und kleinräumige (lokale) als auch für personen- und güterbezogene Verkehre einsetzbarer Lösungsansatz gegenwärtig nicht realisierbar ist. Die Ursache hierfür liegt darin, dass die Zusammenhänge ungemein komplex sind und sich je nach der Dimension des Planungsraumes unterschiedliche Anforderungen an den Feinheitsgrad der Ergebnisse ergeben.

Dies hat zur Folge, dass je nach Aufgabenstellung Modellansätze für den großräumigen Verkehr oder Modellansätze für den kleinräumigen Verkehr zur Anwendung gelangen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Modellansätze für den großräumigen Verkehr mit ihren weniger starken räumlichen Differenzierungen recht gut abgesicherte Ergebnisse zur Verkehrsnachfrage liefern. Diese Aussage gilt auch für den kleinräumigen Verkehr, sofern hier nur der reine Personenverkehr gesehen wird. Anders hingegen stellt sich die Situation im kleinräumigen Personenwirtschaftsverkehr und im Güterverkehr dar. Hierfür liegen noch keine befriedigenden Modellansätze zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage vor, so dass sich hierfür ein spezieller Forschungsbedarf ergibt.

Die somit vorhandenen Wissenslücken in den Bereichen Personenwirtschaftsverkehr und Güterverkehr sollen nun im Rahmen des hier vorliegenden Forschungsvorhabens "Kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodelle" soweit wie möglich geschlossen werden.



Eine wesentliche Grundlage hierfür stellen die in der jüngeren Vergangenheit durchgeführten umfangreichen Verkehrserhebungen

- KID - Kraftverkehr in Deutschland<sup>5</sup>
- MID - Mobilität in Deutschland<sup>6</sup>

dar. Im Rahmen dieser Erhebungen wurden weitreichende Informationen zum Verkehrsverhalten im reinen (privaten) Personenverkehr, im Personenwirtschaftsverkehr sowie im Güterverkehr gewonnen, auf deren Grundlage nun Ursache-Wirkungszusammenhänge und darauf aufbauend Modellansätze zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage entwickelt werden können.

---

<sup>5</sup> IVS, IVT, WVI, KBA, P.U.T.V.; Kontinuierliche Befragung des Wirtschaftsverkehrs in unterschiedlichen Siedlungsräumen; Forschungsbericht FE-Nr.: 70.0682/2001 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnen

<sup>6</sup> infas; DIW Berlin; Mobilität in Deutschland; Projektbericht; Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen; 2003

## **2 Aufgabenstellung und allgemeine Zielsetzung**

Mit dem im Rahmen dieses Forschungsauftrages zu erstellenden Modell zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr soll ein Handwerkszeug bereitgestellt werden, das es dem Planer erlaubt, für kleinräumige und räumlich begrenzte regionale Untersuchungsräume weitgehend abgesicherte quantitative Aussagen zu erarbeiten. Eine wesentliche Bedingung hierbei ist eine gute Handhabbarkeit, wobei dies gleichermaßen den für die Bearbeitung der Verkehrsnachfrage erforderlichen Aufwand als auch die Möglichkeit der Datenbeschaffung betrifft.

Dementsprechend wird angestrebt, ein möglichst verständliches und einfach zu bedienendes Modell zu entwickeln und in eine PC-lauffähige Software mit einer anwenderfreundlichen Oberfläche umzusetzen. Das Simulationsprogramm soll so aufgebaut werden, dass es mit der heute in der Regel vorhandenen Hardware-Ausstattung (PC, Drucker, Plotter) auskommt und für alle kommunalen und regionalen Planungsräume einsetzbar ist. Als Hilfe für die Benutzung der entwickelten Modell-Software wird ein Benutzerhandbuch zur Verfügung gestellt.

Der Modellansatz zur Ermittlung der Verkehrsnachfrage muss berücksichtigen, dass in der Regel nur in begrenztem Umfang auf räumlich und sachlich ausreichend differenzierte Strukturgrößen (wie Einwohner, Beschäftigte, Kfz-Bestand u.a.) zurückgegriffen werden kann und damit das Spektrum der nutzbaren Eingangsgrößen beschränkt ist.

Das zu erarbeitende Modell muss maßnahmenreagibel sein. Das heißt, es muss Veränderungen hinsichtlich der Siedlungs- und Nutzungsstrukturen im Untersuchungsgebiet, der Verkehrsangebotssituation im Straßen- und Wegenetz sowie im öffentlichem Liniennetz und punktuelle Nutzungsveränderungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen erfassen. In diesem Zusammenhang gilt auch, dass es prognosefähig sein muss, so insbesondere unter dem Aspekt möglicher Veränderungen in den Verhaltensweisen der Bevölkerung und den betrieblichen Abläufen im Wirtschaftsverkehr. Hierunter sind auch die Einflüsse zu verstehen, die sich aus Veränderungen der Fahrzeugflotte, den logistischen Abläufen und den betrieblichen und städtebaulichen Zielsetzungen ergeben.

Als eine weitere wesentliche Anforderung an das zu erstellende Verkehrsmodell zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr muss seine Eingliederungsfähigkeit in den allgemeinen Modellablauf der städtischen Verkehrsplanung gelten. Da der Wirtschaftsverkehr nur ein Segment des gesamtstädtischen Verkehrs ausmacht, muss das zu erstellende (Teil-)Modell in den gesamten Modellablauf integrierbar sein. Dementsprechend ist der neue Modellansatz so auszulegen, dass er über entsprechende Schnittstellen in den Gesamtrahmen einer integrativen Verkehrsplanung einfügbar ist. Als spezielle Voraussetzung gilt dabei, dass die heute bereits vorliegenden Nachfragemodelle für den Personenverkehr so definiert werden, dass der Personenwirtschaftsverkehr als eigenständiger Block behandelt werden kann und auch der Güterwirtschaftsverkehr (mit Lkw) als weitere eigenständige dritte Komponente eingefügt werden kann.

Da sich die Schnittstellen eindeutig bestimmen lassen, kann davon ausgegangen werden, dass sich der Modellansatz zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr problemlos in die heute im Einsatz befindlichen unterschiedlichen Modellansätze einpassen lässt.

Aus Gründen der Praktikabilität verfolgt die hier ansetzende Studie zum kleinräumigen Wirtschaftsverkehr dabei die in der Abbildung 1 dargestellte Abgrenzung zu den eher großräumig agierenden Verkehrsträgern.

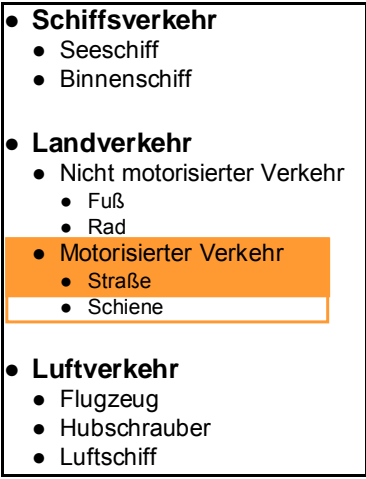
- 
- **Schiffsverkehr**
    - Seeschiff
    - Binnenschiff
  - **Landverkehr**
    - Nicht motorisierter Verkehr
      - Fuß
      - Rad
    - Motorisierter Verkehr
      - Straße
      - Schiene
  - **Luftverkehr**
    - Flugzeug
    - Hubschrauber
    - Luftschiff

Abbildung 1: Betrachtete Verkehrsträger

Die Begründung und Rechtfertigung für dieses Vorgehen liegt darin, dass detaillierte Untersuchungen zum Güterverkehr auf der Schiene, mit dem Schiff und dem Flugzeug für den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr nur bedingt relevant sind und sich deren Einbeziehung im Wesentlichen auf die Übergabepunkte zum städtischen Verkehrssystem (Bahnhof, Hafen, Flughafen) beschränken kann.

Ebenso beziehen sich die Untersuchungen auf den motorisierten individuellen und öffentlichen Personenverkehr sowie den Lkw-Verkehr, da sich der nicht motorisierte Verkehr zum einen nicht im Zentrum der Probleme des städtischen Wirtschaftsverkehrs befindet und zum anderen hierfür aus Erhebungen keine vergleichbaren Erhebungsdaten vorliegen.

Um das gesetzte Ziel, ein möglichst einfach zu bedienendes und dennoch weitgehend abgesicherte Ergebnisse lieferndes Modellsystem zu entwickeln, wurde besonders Wert auf eine praxisnahe Bearbeitung gelegt. Demzufolge wurde ein spezieller Arbeitskreis gegründet, in dem

- das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (A 30)
- die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (AA 1.1 und AA 1.12)
- die Städte Bonn, Bremen, Dortmund (mit den für die Verkehrsplanung zuständigen Dienststellen)

vertreten waren und für eine gleichwohl wissenschaftliche wie auch realitätsnahe Begleitung der anstehenden Arbeiten sorgten.

Die Städte Bonn, Bremen und Dortmund unterstützen die Arbeiten zur Entwicklung des Modellansatzes zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr darüber hinaus dadurch, dass sie als Modellstädte in die Untersuchungen einbezogen werden konnten. Das heißt, der entwickelte Modellansatz wurde anhand der drei genannten Modellstädte getestet, wobei hierfür auf umfangreich vorliegendes Datenmaterial zurückgegriffen werden konnte. Das Datenmaterial bezog sich dabei auf Angaben zur Siedlungs- und Netzstruktur (IV und OV), auf Informationen über Verhaltensweisen und Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge und auch auf Wirkungseffekte/Belastungen, anhand derer die Zuverlässigkeit des erarbeiteten Modells zu überprüfen war.

### 3 Abgrenzung des Wirtschaftsverkehrs

In der Literatur sind mehrere Definitionen des Wirtschaftsverkehrs zu finden. Eine einheitliche oder gesetzlich festgelegte Definition gibt es nicht. In den letzten Jahren finden sich jedoch immer wieder sehr ähnliche Definitionen<sup>7</sup>. Kurzgefasst ergibt sich daraus die folgende – in der Dissertation von S. Machledt-Michael<sup>8</sup> verwendete – Beschreibung:

„Wirtschaftsverkehr umfasst ... den gesamten Güterverkehr (nicht nur Straßengüterverkehr) und den auch Personenwirtschaftsverkehr genannten Verkehr in Ausübung des Berufes, also den Dienst- oder Geschäftsreiseverkehr aus dem Bereich des Personenverkehrs.“

Ebenfalls sehr griffig ist die Begriffsbestimmung durch den Arbeitsbereich Verkehrssysteme und Logistik der TUHH<sup>9</sup>:

„Wirtschaftsverkehr ergibt sich aus den produzierenden, handelnden und dienstleistenden Aktivitäten einer Region oder Stadt und wird ... als Beförderung von Gütern und Personen verstanden, die in Ausübung erwerbswirtschaftlicher Tätigkeiten durchgeführt wird.“

An beiden Definitionen, die in den Quelltexten durch weitere Beschreibungen noch ergänzt werden, ist die gleiche Zielrichtung zu erkennen. Es soll eine klare Trennung vom privaten Verkehr vollzogen werden. Fahrten zwischen Arbeitsstätte bzw. Ausbildungsort und der Wohnung sowie Einkaufs- und Freizeitfahrten sind dem privaten Bereich zugeordnet. Auch der private Gütertransport (z. B. Umzug mit Kombi oder Leih-Lkw) fällt somit nicht in den Bereich des Wirtschaftsverkehrs.

---

<sup>7</sup> immer wieder zitiert werden hierzu Willeke, 1992; Ruske, 1995

<sup>8</sup> Machledt-Michael, Sonja; Fahrtenkettenmodell für den städtischen und regionalen Wirtschaftsverkehr; Schriftenreihe des Instituts für Verkehr und Stadtbauwesen der Technischen Universität Braunschweig; Dissertation 1999

<sup>9</sup> TUHH; ECTL Working Paper 7; 2002

Dennoch verbleiben Mischbereiche, bei denen die Zuordnung der Kfz-Fahrt in den privaten oder wirtschaftlichen Bereich nicht eindeutig ist. Dies ist z. B. immer dann der Fall, wenn Personen mit einem privaten Wegezweck (z. B. Theaterbesuch, Busausflug des Kegelvereins) von einem kommerziellen Transporteur (Taxi, Busunternehmen) befördert werden. Im Grunde gilt dies sogar für den professionellen ÖPNV<sup>10</sup>.

Diese Verkehrsmengen sind im städtischen Verkehr nicht vernachlässigbar. Insbesondere der Linienbusverkehr macht auf ÖV-Achsen oft einen bedeutenden Anteil des Schwerverkehrs aus.

Bei strenger Auslegung der oben genannten Definitionen sind diese Verkehre dem Wirtschaftsverkehr zuzuordnen, da der Fahrer den Transport aus Erwerbszwecken durchführt. Wird jedoch der Auslöser der Fahrt (z. B. Kinobesuch) in den Vordergrund gestellt, so steht dort ein privater Reisezweck, der traditionell durch die Modelle zum (privaten) Personenverkehr abgedeckt wird.

Somit wird für die hier vorliegende Untersuchung festgelegt, dass der auslösende Reisezweck der Kfz-Fahrt für die Einordnung maßgebend ist. Insbesondere die Knoten-/Streckenbelastung mit Kfz aus dem öffentlichen Linienverkehr (Busse je Netzelement) wird aufgrund ihrer speziellen Ausprägung hier nicht weiter betrachtet. Die Ermittlung der Kfz-Belastung aus diesen Verkehren erfolgt sinnvoller Weise über die Auswertung der Fahr-/Betriebspläne (ÖV) und spezieller ÖV-Umlegungsmodelle.

Lediglich die durch Dienstreisen/-fahrten ausgelösten Mietwagen/Taxifahrten werden im Rahmen des Wirtschaftsverkehrsmodells weiter verfolgt.

Die im öffentlichen Verkehr abgewickelten Personenfahrten im Personenwirtschaftsverkehr werden aber in dem neuen Modell berücksichtigt.

Um die Zuordnung der verschiedenen Verkehre (Reisezwecke, Fahrzeugarten zum privaten Verkehr bzw. zum Wirtschaftsverkehr) zu verdeutlichen, wurde in Tabelle 1 eine entsprechende Zuordnung vorgenommen.

---

<sup>10</sup> Eine Ausnahme mag hier der mit ehrenamtlichen Fahrern betriebene Bürgerbus sein. Diese Betriebsform ist aber doch eher selten.

	mit Pkw/Kombi	Öffentl. Linienverkehr	mit Lkw/(Reise-)Bus	mit Sonder-/Einsatzfahrzeugen
<b>Privater Verkehr</b>	<b>als Selbstfahrer (inkl. Mietwagen)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>zur/von der Arbeitsstätte</li> <li>zum/vom privaten Einkauf</li> <li>zur/von der priv. Besorgung</li> <li>Zur/von der Freizeitgest./Erholung</li> <li>zur/von der Wahrnehmung sonstiger privater Belange</li> </ul> <b>mit Taxi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>soweit Privatfahrt</li> </ul>	<b>mit Linienverkehr (ÖV)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>zur/von der Arbeitsstätte</li> <li>zum privaten Einkauf</li> <li>zur privaten Besorgung</li> <li>zur Freizeitgest./Erholung</li> <li>zur Wahrnehmung sonstiger privater Belange</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>private Busreisen</li> <li>private Lkw-Fahrten, z.B. Umzug mit Miet-Lkw</li> <li>privater Baustofftransport</li> </ul>	
<b>Wirtschaftsverkehr</b> mit Erwerbszweck	<b>als Selbstfahrer (inkl. Mietwagen)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>zum eigenen Betrieb</li> <li>zum fremden Betrieb</li> <li>zur Belieferung</li> <li>zur Beförderung von Waren/Materialien</li> <li>zur Wahrnehmung sonstiger geschäftl./dienstl. Belange</li> <li>zur Beförderung von Paketen (Zustelldienste)</li> <li>zur Reparatur</li> <li>zur Beförderung von Personen/Mitarbeitern</li> </ul> <b>mit Taxi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>soweit dienstlich</li> </ul>	<b>mit Linienverkehr (ÖV)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>zum eigenen Betrieb</li> <li>zum fremden Betrieb</li> <li>zur Wahrnehmung sonstiger geschäftl./dienstl. Belange</li> <li>zur Beförderung von Paketen (Zustelldienste)</li> <li>- selten – jedoch: z.T. Postzusteller</li> </ul>	<b>Lkw-Transport</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Handel/Lebensmittel</li> <li>Ver- und Entsorgung</li> <li>Brennstoffe</li> <li>Baustoffe</li> <li>Möbel</li> <li>Reparatur</li> <li>Werksverkehr</li> </ul> <b>Bus-Transport</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bustransporte von Beschäftigten</li> </ul>	<b>Notfalldienst/Stadtservice</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fahrten des Rettungsdienstes (Notarzt, Krankenwagen)</li> <li>Fahrten der Polizei / weitere Sicherheitsdienste</li> <li>Fahrten der Feuerwehr</li> <li>Fahrten von Hilfsdiensten (THW)</li> <li>Fahrten des Militärs</li> <li>Fahrten zur Müllentsorgung</li> <li>Winterdienst</li> </ul>

Tabelle 1: Zuordnung der Kfz-Fahrzwecke zu privatem Verkehr bzw. Wirtschaftsverkehr (mit Nennung ausgewählter Beispiele)

## 4 Literaturrecherche

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde einleitend eine Literaturrecherche zum Themenbereich Wirtschaftsverkehr und den Möglichkeiten der Abbildung in einem maßnahmenreagiblen Modell des Straßenverkehrs durchgeführt. Dabei wurden insbesondere zwei Themen-Schwerpunkte verfolgt. Es war dies zum einen

- welche Grundlagendaten zur Bildung/Anwendung von Modellen sind vorhanden

und zum anderen

- welche Modellansätze sind bisher schon umgesetzt oder soweit entwickelt, dass sich ihre Weiterentwicklung zu einem möglichst umfassenden und praktikablen Modell empfiehlt.

Eine Zusammenstellung von Literaturhinweisen zum Wirtschaftsverkehr ist der Anlage 1 zu entnehmen. Zur Verbesserung der Übersicht sind diejenigen Literaturstellen, die in besonderem Maße einen der beiden oben genannten Punkte betreffen, in der Literaturliste speziell gekennzeichnet. Die darüber hinausgehenden Fundstellen mit wichtigem Bezug zum bearbeiteten Themenkomplex sind ebenfalls aufgeführt, jedoch nicht besonders hervorgehoben.

Die Betrachtung der Literaturzusammenstellung zeigt, dass in den letzten Jahren viele kleinräumige Untersuchungen mit unterschiedlichen Untersuchungszielen und verschiedenen Schwerpunkten durchgeführt worden sind. Als Konsequenz hieraus ergibt sich, dass im Prinzip jeweils spezielle aufgabenbezogene Vorgehensweisen praktiziert wurden und keine Kompatibilität zwischen den einzelnen Vorgehensweisen zu erkennen ist. Beispielhaft sei hier die Einteilung der Fahrzeuge (insbesondere Lkw) nach Fahrzeugklassen angeführt.

Die Recherche nach relativ weit entwickelten bzw. schon umgesetzten Modellansätzen hat für den deutschen Raum mehrere Modelle ausgewiesen. Dabei können die Modelle nach ihrem räumlichen Bezug (großräumig oder



kleinräumig/städtische Räume) und nach der Art des Ergebnisbezuges (Güterströme oder Fahrzeugströme) eingeteilt werden<sup>11</sup>.

Im Prinzip zeigt sich hier der Grundsatz, dass die Modelle, die die Verkehrsmengen über den Zwischenschritt der Güterströme bestimmen, neben dem Straßengüterverkehr auch andere Verkehrsträger berücksichtigen können. Sie sind jedoch aufgrund ihrer Ausrichtung auf den Fern-/Regionalverkehr (denn nur für diese übergeordneten Relationen lassen sich statistisch ausreichend abgesicherte Güterströme definieren und quantifizieren) den großräumigen/regionalen Modellen zuzuordnen. Weiterhin ist festzuhalten, dass diese Modelle lediglich einen Teil des Wirtschaftsverkehrs abbilden, da der Personenwirtschaftsverkehr nicht über Güterströme erfasst werden kann. Hier wäre also erheblicher Ergänzungsbedarf durch Ankoppelung eines Personenverkehrsmodells gegeben. Aufgrund des großräumigen/regionalen Bezuges sind diese Modelle jedoch grundsätzlich nicht für die Anwendung im städtischen Raum geeignet.

Die zweite Gruppe der Modellansätze geht nicht den Weg über die Gütermengen und Güterströme, sondern erzeugt gezielt Fahrzeugströme. Damit ist die Möglichkeit zur Berücksichtigung des Modal-Split im Bereich des Güterverkehrs nicht mehr oder zumindest nur noch eingeschränkt möglich. Da der tatsächliche Einfluss des Modal-Split im kleinräumigen Güterverkehr wegen der nur bedingt zu Verfügung stehenden Verkehrsmittelalternativen (Bahn, Schiff, Flugzeug) nur von untergeordneter Bedeutung ist und generelle Einschätzungen im Rahmen vorgezogener flankierender Modal-Split-Betrachtungen vorgenommen werden können, erweist sich der Verzicht auf detaillierte Modal-Split-Berechnungen beim Güterverkehr als durchaus vertretbar.

Im Personenwirtschaftsverkehr hingegen sind entsprechende Ergänzungen vorzusehen, da dieser auch im kleinräumigen Verkehr den vielfältigen Verkehrsmittelangeboten unterworfen ist.

Diese kleinräumigen Modelle lassen sich nach ihrem Ansatz weiter unterteilen. Zum einen sind mikroskopisch aufgebaute Systeme zu nennen<sup>12</sup>. Diese

---

<sup>11</sup> sie hierzu auch: Machledt-Michael, 1999

Modelle erfordern sehr detaillierte Eingangsdaten, die nur für sehr kleine Räume mit relativ viel Aufwand beschafft werden können. Daher sind diese Modellansätze für die Betrachtung des gesamten städtischen Raumes inklusive der Stadt-Umlandbeziehungen, wie es z. B. für die Netzplanungen notwendig ist, nicht praktikabel.

Demgegenüber stehen eher makroskopische Ansätze, die die Verkehrsverflechtungen für das gesamte Stadtgebiet bzw. die betrachtete Region ausgeben. Diese Modellansätze entsprechen am ehesten den Anforderungen der im Rahmen dieser Untersuchung zu entwickelnden Modellansätze.

Deshalb werden im Folgenden diejenigen Modelle aufgelistet und näher betrachtet, die zurzeit aktuell in der Anwendung sind oder zurzeit entwickelt werden (beschrieben und veröffentlicht, aber noch nicht in der Praxis erprobt). Die aufgelisteten Modelle zur Generierung des Wirtschaftsverkehrs sind entweder in ein umfassendes Modell eingebettet oder benötigen Schnittstellen zu weiteren Modellen, um Eingangsgrößen wie Widerstände (Zeiten/Kosten) zwischen Verkehrszellen bzw. Wirkungen (z. B. Netzbelastungen) darstellen zu können.

- WIVER  
Entwickelt von IVU, umgesetzt von IVU zusammen mit PTV
- VENUS  
Entwickelt und umgesetzt von der Ingenieurgruppe IVV
- VISEVA  
Entwickelt von der Fakultät Verkehrswissenschaften der TU Dresden
- Fahrtenkettenmodell (Einzelfahrzeugbezogen)  
Entwickelt im Rahmen der Dissertation von S. Machledt-Michael (am IVS der TU Braunschweig)

Im Folgenden werden die oben genannten Modelle näher beschrieben.

---

<sup>12</sup> zum Beispiel Schwerdtfeger 1983 und Dornier 1994

#### 4.1.1 WIVER

Das WIVER-Modell wurde von der IVU AG, Berlin 1995 entwickelt. Es arbeitet in vier Schritten:

1. Bestimmung des Quellverkehrsaufkommens aus
  - Struktur (Beschäftigte, Arbeitsstätten, Güterverkehrsaufkommen)
  - Fahreranteil an den Beschäftigten
  - Touren und Ziele je Fahrer

Die Generierung des Verkehrsaufkommens erfolgt für 10 Branchen. Für jede der Branchen werden die mobilen (Verkehr erzeugenden) Beschäftigten jeder Verkehrszelle bestimmt. Die 10 Quellbranchen werden mit vier Fahrzeugarten verschnitten und zu 23 sog. Kalibrierungsgruppen zusammengefasst. Die Tabelle 2 zeigt die Einteilung der Kalibrierungsgruppen.

2. Bestimmung der Zielverkehrspotenziale aus
  - Zielbranchenverteilung
  - Empfängerstruktur in den Zielbranchen
  - Gesamtsumme gleich Quellverkehrsaufkommen

Die ermittelten Werte dienen als Gewichte, um die berechneten Quellfahrten im nächsten Schritt auf Zielpunkte zu verteilen. Es werden sieben Zielbranchen unterschieden:

- Industrie
- Baustelle
- Privathaushalt
- Handel
- Dienstleistung
- Güterverkehrsanlage
- Personenverkehrsanlage

3. Herstellen der Verbindungen zwischen Quellen und Zielen  
Grundlage hierfür sind

- Quellverkehrsaufkommen
- Zielverkehrspotenziale
- Entfernungs-(Widerstands-)Matrix
- Entfernungsempfindlichkeit (Kalibrierungsgröße)

4. Bildung von Touren  
aus den Quell-Ziel-Verknüpfungen mit dem Savingsalgorithmus unter Ansatz einer zu kalibrierenden
  - Savingsqualität

Branche	Fahrzeugart	Nummer der Kalibrierungsgruppe			
		Pkw	Klein Lkw	Mittel Lkw	Groß Lkw
1. Verarbeitendes Gewerbe (Ohne Bau)		1	11	20	23
2. Bauhauptgewerbe		2	12	20	23
3. Ausbaugewerbe		3	13	20	23
4. Großhandel, Handelsvermittlung		4	14	18	21
5. Einzelhandel		5	15	18	21
6. Verkehr und Nachrichtenübermittlung		6	16	19	22
7. Kreditinstitute, Versicherungsgewerbe		7	17	20	23
8. Gebäudereinigung, Abfallbeseitigung u. a. hygienische Einrichtungen		8	17	20	23
9. Rechts- und Steuerberatung, technische Beratung und Planung, Werbung, Dienstleistungen für Unternehmen		9	17	20	23
10. Sonstige Dienstleistungen von Unternehmen und freien Berufen		10	17	20	23

Tabelle 2: Einteilung der 23 Kalibrierungsgruppen im WIVER-Modell

Somit ermittelt WIVER die Fahrten (Matrizen) für die folgenden vier Fahrzeugarten:

- Pkw/Kombi  $\approx$  Pkw
- Lkw unter 2,8t zul. Gesamtgewicht  $\approx$  Klein Lkw
- Lkw zwischen 2,8t und 7,5t zul. Gesamtgewicht  $\approx$  Mittel Lkw
- Lkw über 7,5t zul. Gesamtgewicht  $\approx$  Groß Lkw

Diese Fahrten können mit einem Umlegungsmodell für den Straßenverkehr auf das Netz umgelegt werden um Strecken-/Knotenbelastungen zu erzeugen. Die Nutzung mit dem Netzmodell/Umlegungssystem VISUM (PTV) ist erprobt. Im Rahmen der EU-Aktion COST 321 wurden WIVER-Daten auch in dem Modellsystem VENUS (IVV) verwendet.

Um die Gesamtbelastung im Straßennetz zu bestimmen, muss die Verkehrsnachfrage für den privaten Personenverkehr dabei von einem entsprechenden Verkehrserzeugungsmodell (z. B. VISEM von PTV oder VENUS von IVV) beigesteuert werden.

#### 4.1.2 VENUS

Das Modellsystem VENUS wurde von der Ingenieurgruppe IVV, Aachen entwickelt. Es handelt sich nicht um ein losgelöstes Modell zur Berechnung des Wirtschaftsverkehrs, sondern um ein aus mehreren Modulen bestehendes integriertes Modell zur Berechnung sowohl des privaten Personenverkehrs als auch des Wirtschaftsverkehrs mit Pkw und Lkw. VENUS besitzt spezielle Module für die Nachfrageberechnung sowie für die Umlegung auf die Verkehrsnetze. Für diesen Forschungsauftrag von Bedeutung ist jedoch in erster Linie das Modul zur Erzeugung des Wirtschaftsverkehrs. – Es sei an dieser Stelle jedoch nochmals darauf hingewiesen, dass die Verknüpfung zwischen dem privaten Personenverkehr und dem Wirtschaftsverkehr nicht zu vernachlässigen ist.

Das Wirtschaftsverkehrsmodul von VENUS bietet hinsichtlich der Fahrzeug-einteilung bis zu fünf (nach Wunsch frei definierbare) Differenzierungen an. Zum einen kann es als reines Lkw-Modul genutzt werden, um so als Ergänzung zu einer allgemeinen Personenverkehrsgenerierung, die schon den Personenwirtschaftsverkehr beinhaltet, zu dienen. Zum anderen ist die Nutzung des Moduls zur vollständigen Behandlung des Wirtschaftsverkehrs möglich. Für das hier bearbeitete Forschungsvorhaben ist lediglich die zweite Variante von Interesse. Die entsprechenden hierfür empfohlenen Fahrzeugklassen sind:

- Pkw, Kombi, Lieferwagen unter 2,8t
- Transporter mit zulässigem Gesamtgewicht zwischen 2,8t und 3,5t
- Leichte Lkw mit zulässigem Gesamtgewicht zwischen 2,8t und 7,5t
- Mittlere Lkw mit zulässigem Gesamtgewicht zwischen 7,5t und 12t
- Schwere Lkw mit zulässigem Gesamtgewicht über 12t

Der Modellablauf von VENUS vollzieht sich in vier Schritten:

1. Bestimmung des Verkehrsaufkommens der Aktivseite (Fahrzeugstart) aus
  - Struktur (Beschäftigte)
  - Versandraten
  - Transportverhalten, Mobilitätskennwerte

Die Generierung des Verkehrsaufkommens der Aktivseite erfolgt unter Berücksichtigung der verschiedenen Versandraten von 4 Branchen-Gruppen.

- Beschäftigte sekundärer Sektor
- Beschäftigte der Branche Handel
- Beschäftigte der Branche Verkehr und Nachrichten
- Beschäftigte des restlichen tertiären Sektors (u. a. Dienstleistung)

Die Entscheidung für die Differenzierung nach lediglich vier Branchen erfolgte aufgrund der oft sehr schlechten Datenlage bei kleinteiligen Raumeinteilungen.

Die Berechnungen liefern die Quellverkehrsaufkommen für vier Transportzwecke, die mit sog. Bindungsraten auf die oben genannten fünf Fahrzeugkategorien verteilt werden. Es werden somit 20 Transportzweck-Fahrzeugart-Kombinationen behandelt.

Die mit Transportzweck bezeichneten Verknüpfungsmuster zu den Zielen sind:

- TZ1      Industrie – Industrie
- TZ2      Industrie – Verbraucher/Handel/Verkehr+Nachrichten
- TZ3      Handel/Dienstleist. – Verbraucher/Handel/Verkehr+Nachr.
- TZ4      Verkehr+Nachrichten – Verbraucher/Handel

## 2. Bestimmung des Verkehrsaufkommens auf der Passivseite aus

- Struktur (Einwohner, Beschäftigte)
- Empfangsraten

Auf der Passivseite werden die Aufkommenswerte ebenfalls für die 20 Transportzweck-Fahrzeugart-Kombinationen ermittelt. Dabei werden jedoch fünf Strukturkenngößen verwendet:

- Einwohner
- Beschäftigte primärer Sektor
- Beschäftigte sekundärer Sektor
- Beschäftigte der Branche Handel
- Beschäftigte des restlichen tertiären Sektors

## 3. Herstellen der Verbindungen zwischen Aktivseite und Passivseite

Grundlage hierfür sind

- Verkehrsaufkommen auf der Aktivseite
- Verkehrsaufkommen auf der Passivseite
- Entfernungs-(Widerstands-)Matrix
- Attraktionsfunktionen (Gravitationskurven)

Die Verteilungsrechnung erfolgt für alle 20 Transportzweck-Fahrzeugart-Kombinationen getrennt unter Nutzung eines Gravitationsansatzes mit jeweils spezifischen im Kalibrierungsprozess des betrachteten Raumes anzupassenden Gravitationskurven.

#### 4. Bildung von Touren

aus den Quell-Ziel-Verknüpfungen mit dem Savingsalgorithmus unter Berücksichtigung von Randbedingungen wie:

- Auslastung (durch Potenziale)
- Transportzeitbudget
- Transportweitenbudget

Die erzeugten Tourensets je Transportzweck-Fahrzeugart-Kombination werden im Analyse-Fall hinsichtlich der Tourenzahl sowie Anzahl der Stopps pro Tour geprüft und die Modellparameter (z. B: Versand-/Erzeugungsraten) ggf. nachjustiert.

Durch die Zuordnung von Startzeiten und Aufenthaltszeiten zu den Touren (bzw. Stopps) ist die Betrachtung einzelner Tageszeiten möglich.

Diese so bestimmten Fahrten (Matrizen) für die o. g. Fahrzeugarten werden mit dem VENUS-Modul zur Belastungsermittlung für den Straßenverkehr auf das Straßennetz umgelegt. Die Umlegung zur Ermittlung der Strecken-/Knotenbelastungen erfolgt verschränkt mit den Matrizen für den privaten Personenverkehr, so dass gegenseitige Abhängigkeiten hinsichtlich der Netzbelastung (Stecken, Knoten, Stellplätze) berücksichtigt werden. Hier ergeben sich weitere Kontrollgrößen durch die Umlegung der erzeugten Fahrtenmatrix über die Auswertung der Fahrleistung sowie der lokalen Netzbelastungen im Vergleich mit Zählwerten, so dass ggf. durch weitere Modelldurchläufe eine Optimierung der Ergebnisse zu erreichen ist.

Die mit dem VENUS-Modell bestimmten Matrizen wurden auch schon mit anderen Netzmodellsystemen umgelegt (so z. B bei den Städten Bremen, Bonn, Dortmund und Düsseldorf).

#### **4.1.3 VISEVA**

Das Modellsystem VISEVA wurde von der Fakultät Verkehrswissenschaften der TU Dresden entwickelt. Ähnlich wie bei VENUS handelt es sich nicht um ein losgelöstes Modell zur Berechnung des Wirtschaftsverkehrs, sondern um ein integriertes Modell zur Berechnung sowohl des privaten Personenverkehrs als auch des Wirtschaftsverkehrs mit Pkw und Lkw. Ein Umlegungsmodell ist nicht direkt integriert. Es bestehen jedoch angepasste Schnittstellen zu VISUM (PTV).

Die Modellierung des Wirtschaftsverkehrs (insbesondere des Güter-/Lkw-Verkehrs) wurde 2002/2003 in VISEVA integriert. Dazu wurden die Modellansätze von WIVER (siehe Kapitel 4.1.1) durch Lohse (TU Dresden) auf das Prinzip der Quell-Ziel-Gruppen überführt.

Bei der Modellierung wird davon ausgegangen, dass jeder Transporteur eine oder mehrere Fahrzeugtouren generiert, die sowohl Start als auch Zielpunkt in der Versender-Zelle haben. Eine Tour besteht dabei aus verschiedenen Fahrtentypen: Startfahrt, Verbindungsfahrt und Endfahrt. Jeder Fahrttyp gehört zu einer Quell-Zielgruppe.

Analog zum WIVER-Modell wird in einem ersten Schritt die Anzahl der Touren und Stopps für die Transporteure in den einzelnen Verkehrszellen bestimmt. Der zweite Schritt liefert die Anziehungsgewichte in den Zielzellen. Diese Anziehungsgewichte werden auf die im ersten Schritt berechneten Fahrtenzahlen (Touren; Stopps) abgeglichen, so dass die Anzahl der Zielpotenziale (Fahrten) gleich den Quellpotenzialen ist.

Die Verknüpfung des Quell- und Zielfahrtenaufkommens erfolgt unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen wie der Quell-/Zielsummen, der Summe der Verbindungsfahrten (definiert durch die Touren und Stoppzahl).

Entsprechend der Angaben von PTV<sup>13</sup> werden Fahrtenmatrizen für die Fahrzeugarten Pkw, Lieferwagen und div. Lkw-Arten generiert. Eine erste Anwendung durch PTV wird für die Region um Chemnitz angegeben.

Genauere Angaben, welche Strukturdaten (z. B. Brancheneinteilung) nötig sind und welche Lkw-Differenzierung möglich ist, sind in den bisher vorliegenden Veröffentlichungen nicht enthalten.

---

<sup>13</sup> Friedrich, Markus; Haupt, Thomas; Nökel, Klaus; Freight Modelling: Data Issues, Survey Methods, Demand and Network Models; Conference Paper; 10<sup>th</sup> International Conference on Travel Behaviour Research Lucerne, 10-15. August 2003



#### 4.1.4 Fahrtenkettenmodell (Einzelfahrzeugbezogen)

Das sog. Fahrtenkettenmodell wurden von S. Machledt-Michael<sup>14</sup> im Rahmen ihrer Dissertation am Institut für Verkehr und Stadtbauwesen der Technischen Universität Braunschweig erarbeitet und im Jahre 2000 veröffentlicht.

Die Entwicklung des Modells erfolgt auf der Grundlage der Ergebnisse einer Betriebsbefragung im Rahmen des VEP Braunschweig. Mit Hilfe von Clusteranalysen, die auf der Basis des in der genannten Befragungen gewonnenen Datenmaterials durchgeführt wurden, wurde festgestellt, dass in Bezug auf die Ähnlichkeit des Verkehrsverhaltens der Fahrzeugarten im Modell drei Fahrzeugarten zu unterscheiden sind.

- Kleinfahrzeuge  
(Krafträder, Pkw, Kleinbusse, Lieferfahrzeuge bis 2,8t zul. Gesamtgewicht)
- Großfahrzeuge  
(Lkw ab 2,8t zul. Gesamtgewicht und Sattelzüge)
- Baufahrzeuge  
(Fahrzeuge aller Fahrzeugarten, die auf Betriebe des Baugewerbes zugelassen sind)

Im Grundsatz werden alle aktiven Fahrzeuge eines Tages einzeln hinsichtlich ihres Fahrtverhaltens simuliert. Dabei wird anhand charakteristischer, aus Erhebungen gewonnener Kennwerte die Ähnlichkeit zu erhobenen Daten geprüft. Im Einzelnen werden vier Schritte bis zur Herstellung einer Tagesmatrix bzw. fünf bis zur Herstellung von auf Tageszeiten beschränkte Matrizen (z. B. Stundengruppen) durchlaufen. Die fünf Modellschritte werden im Folgenden in groben Zügen erläutert. Zur detaillierten Information sei auf die Dissertation von Machledt-Michael verwiesen.

1. Festlegung der zu simulierenden Fahrzeuge und Zuordnung zu einer Fahrzeuggruppe

Da der Modelldurchlauf für alle mobilen Fahrzeuge erfolgt, ist zu Beginn die Festlegung der mobilen Fahrzeuge je Fahrzeugart sowie die

---

<sup>14</sup> Machledt-Michael, Sonja; Institut für Verkehr und Stadtbauwesen, TU Braunschweig; Fahrkettenmodell für den städtischen und regionalen Wirtschaftsverkehr; Shaker; 50; 2000

Zuordnung zu den Fahrzeugarten Kleinfahrzeuge, Großfahrzeuge, Baufahrzeuge erforderlich.

## 2. Aktivitätenkettenwahl

Den zu simulierenden Fahrzeugen wird (stochastisch) je eine Aktivitätenkette aus dem zur entsprechenden Fahrzeuggruppe gehörenden Katalog von Aktivitätenketten zugeordnet.

Die dabei verwendeten Aktivitäten (Zielarten) sind:

- Fremdfirma
- Baustelle
- Privathaushalt
- Eigene Firma

Für jede Fahrzeugart wird ein Katalog von Aktivitätenketten gebildet.

Aus Erhebungen<sup>15</sup> werden zur Bildung von Aktivitätenketten Kriterien ermittelt. Aus diesen Kriterien werden stochastisch Größen zur Bildung von Aktivitätenketten ausgewählt.

Bei der Bildung der Aktivitätenketten wird zwischen Ketten mit tourenbezogenem und ohne tourenbezogenem Fahrtenbild unterschieden. Dabei erfolgt die Wahl der Tourenzahl (bzw. der Zielzahl bei Ketten ohne tourenbezogenes Fahrtenbild) stochastisch aus den entsprechenden Verteilungen. Die Bestimmung der Zielzahl je Tour (nur bei Ketten mit tourenbezogenem Fahrtenbild) sowie die Bestimmung der Zielarten erfolgt mit der Monte-Carlo-Methode.

Die Kataloge der neu gebildeten Aktivitätenketten müssen innerhalb gewisser Toleranzen den Katalogen der erhobenen Ketten entsprechen. Dies gilt insbesondere auch hinsichtlich der Abfolge der angefahrenen Ziele. Die Prüfgröße wird dabei aus der für jede Fahrzeuggruppe spezifischen „Matrix der aktivitätenspezifischen Übergangsintensitäten“, die aus den Übergangshäufigkeiten zwischen Herkunftsaktivität und Zielaktivität gebildet wird, hergestellt.

Zur Verbesserung der gebildeten Kataloge bis zur Erfüllung der o. g. Kriterien werden zufällig ausgewählte Aktivitätenketten ausgetauscht.

---

<sup>15</sup> Machledt-Michael nutzt eine Befragung in Braunschweig. Grundsätzlich erscheint die Erhebung Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland (KID) in Zukunft eine Grundlage bilden zu können. In wie weit immer noch lokale Erhebungen zur Berücksichtigung lokaler Spezifika notwendig sind, muss wohl von Fall zu Fall entschieden werden.

Nur wenn der neue Katalog „besser“ ist als sein Vorgänger, wird er als Ausgangspunkt für neue Veränderungen genutzt<sup>16</sup>.

3. Zuordnung der Fahrzeuge zum Betriebsstandort (Startort)

Für jedes zu simulierende Fahrzeug wird der Betriebsstandort anhand der Verteilung der Fahrzeuge der einzelnen Fahrzeuggruppen je Verkehrszelle stochastisch bestimmt.

Es muss also die Anzahl der Fahrzeuge nach Fahrzeuggruppe je Verkehrszelle bekannt sein bzw. ermittelt werden. Zur Bestimmung des Bestandes wird empfohlen, auf Daten des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) zurückzugreifen. Bei der Prognose ist eine Fortschreibung der Fahrzeugmengen z. B. über die Strukturdaten notwendig.

4. Umsetzen der Aktivitätenketten in Fahrtenketten (Zielwahl)

Den Aktivitäten (Zielarten) der Fahrzeuge werden in diesem Arbeitsschritt Verkehrszellen zugeordnet. Dies erfolgt anhand von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen in Abhängigkeit von

- dem Potential der Zellen (für die einzelnen Zielarten)
- dem Widerstand zwischen den Zellen
- der Stellung der Fahrt innerhalb einer Tour (erstes oder weiteres Ziel)

Die Bestimmung des Anziehungspotentials der Verkehrszellen erfolgt dabei aus den vorhandenen Strukturdaten heraus. Für jede Zielart-Fahrzeugart-Kombination erfolgt dabei die Auswahl besonders geeigneter Strukturgrößen aus der

- Anzahl Beschäftigte je Zelle,
- Anzahl Betriebe insgesamt,
- Anzahl Betriebe des produzierenden Gewerbes,
- Anzahl der Einwohner je Zelle.

Auch die Berücksichtigung des Widerstandes erfolgt spezifisch für jede Zielart-Fahrzeugart-Kombination durch die Nutzung unterschiedlicher Bewertungsfunktionen für den hier in Fahrtweiten gemessenen Widerstand.

Die Auswahl des ersten Zieles einer Tour erfolgt mit einem Gravitationsansatz; Folgeziele werden über eine Wahrscheinlichkeitsfunktion unter Berücksichtigung der Widerstandsakzeptanz bestimmt.

Ist die Zielwahl für alle Aktivitäten abgeschlossen, wird ein Verfahren

---

<sup>16</sup> Vorgeschlagen wird hier ein Verfahren in Anlehnung an die „Methoden der Evolution“

zur Verbesserung des Fahrtenkettenbündels durchlaufen, wobei der Grad der Übereinstimmung mit den empirisch gefundenen Bündeln das Prüfkriterium stellt. Das Verfahren arbeitet analog zu Arbeitsschritt 2 durch Austausch von Fahrtenketten.

#### 5. Verteilung der Fahrten auf Zeitintervalle

Die Zuordnung der Fahrten zu bestimmten Zeitgruppen erfolgt über die Auswahl der Abfahrtszeit für jede einzelne Fahrt. Diese Auswahl erfolgt unter Berücksichtigung der Verteilung der Abfahrtszeiten der Fahrten jeder einzelnen Fahrzeugart-Aktivitäten-Kombination separat.

Für die Berücksichtigung der Fahrten sog. „nicht verkehrsrelevanter Betriebe“, die in der Braunschweiger Befragung nicht erfasst wurden (z. B. Oberbekleidungsgeschäfte, Arzt- und Anwaltspraxen), wird empfohlen, einen Modellansatz in Anlehnung an die üblichen Personenverkehrsmodelle zu wählen. Hier kann ggf. durch die Berücksichtigung weiterer Erhebungsergebnisse (z. B. KID) auch ein Ansatz im oben beschriebenen Sinne erfolgen.

### 4.1.5 Einordnung der vorhandenen Modellansätze

Die oben beschriebenen Modelle lassen sich hinsichtlich der Verkehrserzeugung in zwei Arten aufteilen:

- Strukturklassenbezogene Modelle
- Fahrzeugbezogene Modelle

Während WIVER, VENUS und auch VISEVA zur ersten Kategorie zu zählen sind, gehört das Fahrtenkettenmodell in die zweite Kategorie. Die gleiche Einteilung zeigt sich, wenn nach deterministischem und stochastischem Ansatz unterschieden werden soll.

Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit zeigt sich bei der Verwendung der Grundlagendaten. So werden z. B. Tourenzahl und Anzahl Stopps sowohl bei WIVER als auch im Fahrtenkettenmodell als direkte Erzeugungsparameter bei der Generierung des Fahrtenaufkommens verwendet, wohingegen VENUS die Anzahl Stopps sowie die Tourenzahl als Eich-/Vergleichsgröße nutzt, um die über Potentialauslastungen zusammen mit dem Fahrzeitenbudget als Randbedingung generierten Tourensätze zu kontrollieren.

Grundsätzlich haben alle Modelle das Problem, dass lokale Besonderheiten, z. B. (regelmäßige) Pendelfahrten zwischen großen Produktionsstätten und einem fest zugeordneten Außenlager/Zulieferer/Umschlagplatz<sup>17</sup>, nicht bzw. nur sehr beschränkt abgebildet werden. Bisherige Lösungsansätze reichen von „Handeingriffen“ bei der Erzeugung der Nachfragematrix bis zum Tolerieren (Ignorieren) des i. a. lokalen Fehlers (solange die restlichen Randbedingungen alle eingehalten werden).

Weiterhin stellen „Sonderfahrten“ wie die Einsatzfahrten der Notfalldienste und nicht erhobene Teile des Wirtschaftsverkehrs (z. B. Müllentsorgung)<sup>18</sup> spezielle Anforderungen, die durch die bisherigen Modellansätze nicht ausreichend zu berücksichtigen sind. In diesem Zusammenhang sei angemerkt, dass das einzelne Müllsammelfahrzeug zwar vernachlässigbare Belastungen verursacht, die Summe der Müllfahrzeuge auf den Routen zur Verbrennungsanlage oder Deponie doch beachtlich ist. Ähnlich sieht es ggf. auch mit den Rettungsdiensten aus, wenn man Strecken im direkten Einzugsbereich von Hauptfeuerwachen, Polizeipräsidien, Großkrankenhäusern betrachtet.

Wichtig für die Nutzung der Modellergebnisse aus den Nachfrageberechnungen in Umlegungsmodellen ist die Möglichkeit, verschiedene Zeitbereiche abbilden zu können, da gerade im städtischen Verkehr oft Fragestellungen mit Bezug auf Spitzenstunden(gruppen) auftauchen. Dies ist bei allen Modellen möglich. Durch die Auswahl/Zuordnung der Abfahrtszeit je Fahrt bzw. Tour ist auch die Verwendung für dynamische Umlegungsverfahren möglich. Hier ergeben sich jedoch aufgrund der Qualität der Erhebungsdaten Einschränkungen in der erreichbaren Feinheit<sup>19</sup>.

---

<sup>17</sup> Ein Beispiel hierfür sei das Werk der DC-AG in Bremen. Es bestehen bedeutende Direktfahrten vom Außenlager an der Funkschneise bzw. vom Außenlager im GVZ-Bremen sowie vom Gewerbegebiet Bremen-Panrepel (Recaro-Sitze). Diese stark gebündelten Ströme werden durch die Modelle nur unzureichend abgebildet. Ein weiteres Beispiel in Bremen ergab sich mehrere Jahre durch Verbindungsfahrten zwischen zwei Paketpostämtern.

<sup>18</sup> So zeigen Zeitangaben eine Tendenz zu „runden“ Werten. Siehe hierzu auch Machledt-Michael Seite 163.

<sup>19</sup> Siehe auch Machledt-Michael; Seite 151.

Die bisherigen Betrachtungen der Modellansätze zeigen, dass grundsätzlich alle Modelle die Generierung des Verkehrsgeschehens im Wirtschaftsverkehr ermöglichen, wobei allen Modellen gemeinsam ist, dass die gewünschte Differenzierung für ein kleinräumiges Wirtschaftsverkehrsmodell und die Einbeziehung des Modal-Split im Personenwirtschaftsverkehr nicht im ausreichenden Maße erfolgt.

## 5 Anforderungen an das zu entwickelnde Modell

Mit der Entwicklung eines Modellsystems für den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr wird das Ziel verfolgt, die modellmäßige Darstellung des Verkehrsgeschehens in den Kommunen und kommunalen Verdichtungsgebieten in möglichst umfassender und abgesicherter Form zu ermöglichen.

Dies ist bislang in nur unzureichender Form möglich gewesen. Die bisherigen Modellentwicklungen befassten sich überwiegend mit der Modellierung des Personenverkehrs und nur in nachgeordnetem Umfang mit der Modellierung des Güter- bzw. Lkw-Verkehrs. Wenngleich bei der Behandlung des Personenverkehrs ein Teil des Wirtschaftsverkehrs – soweit personenbezogen – in Form eines Reisezweckes i. a. Berücksichtigung fand, so wurden hiermit doch längst nicht alle personenbezogenen Fahrten des Wirtschaftsverkehrs erfasst. Als Ergebnis hieraus ergab sich eine „Grauzone“, über deren quantitativen Umfang vielerlei unterschiedliche Einschätzungen bestanden.

Für den Bereich des mit Lkw vollzogenen Wirtschaftsverkehrs wurden in der Vergangenheit zwar auch bereits Modelle entwickelt und angewandt; diese sind jedoch weit weniger ausgereift als die des Personenverkehrs und schaffen es vielfach nicht, die für eine umfassende Darstellung des Verkehrsgeschehens erforderliche Vollständigkeit und Homogenität herzustellen.

Diese Vollständigkeit und Homogenität der modellmäßigen Ableitung des Verkehrsgeschehens im gesamten Personen- und Kfz-bezogenen Güterverkehr soll nun durch die neu zu entwickelnden Modellansätze für den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr hergestellt werden. Das bedeutet, die definitiven Abgrenzungen zwischen privatem Verkehr und Wirtschaftsverkehr sind so festzulegen, dass alle auftretenden Verkehre (Fahrten) einem dieser Komplexe zuzuordnen sind und somit das gesamte Spektrum aller anfallenden Fahrten abgedeckt ist.

In diesem Zusammenhang ergibt sich zwangsläufig die Forderung, dass die räumlichen Bezüge (Verkehrszellen) beider Verkehrsarten einander entsprechen und mit ausreichendem Feinheitsgrad festgelegt werden.

Diese aus der Sicht der Ergebnisgenauigkeit herrührende Forderung ist nicht immer ohne Probleme zu erfüllen. Ein Hauptgrund dafür liegt darin, dass die

Beschaffung der zur modellmäßigen Behandlung des Wirtschaftsverkehrs erforderlichen Angaben zur gegenwärtigen und vor allem zur zukünftigen Raumstruktur, wie Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen, stationierte Dienst-Pkw und Lkw im allgemeinen nicht in der erforderlichen Aussagequalität vorliegen bzw. beschafft werden können. In nicht seltenen Fällen ergeben sich auch Probleme hinsichtlich des Datenschutzes; dies insbesondere in den Fällen, in denen nur ein oder zwei Großbetriebe in einer Verkehrszelle angesiedelt sind.

Wenngleich im Zusammenhang mit der Erstellung und Benutzung von Modellen für den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr schwierige Prozeduren in der Grundlagenbeschaffung und in der Ableitung der zu erwartenden Verhaltensweisen zu bewältigen sind, so muss dieser Aufwand doch im Hinblick auf die gewünschten Ergebnisse in Kauf genommen werden. Nur so ist es möglich, die im Rahmen detaillierter Analysen erkundeten (prognosefähigen) Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge in spezielle raumbezogene Nachfrage- und Belastungsdaten umzusetzen, so wie sie für die Beurteilung von vielerlei Fragestellungen für den gesamten Kfz-Verkehr und/oder für den Kfz-Wirtschaftsverkehr von Bedeutung sind. Hierzu gehören z. B. auch:

- die Beurteilung von Maßnahmen zur Beeinflussung/Lenkung des Wirtschaftsverkehrs in Städten (u. a. Ladezonen, Güterverteilzentren, Lkw-Vorzugsnetz, Verkehrsberuhigung)
- die Überprüfung von verkehrlichen Auswirkungen von Gewerbeansiedlungen
- Variantenvergleiche zur verkehrlichen Erschließung von einzelnen städtischen Quartieren mit unterschiedlicher Siedlungsstruktur (z. B. Wohngebiete, Mischgebiete, Kerngebiete, Gewerbe-/Industriegebiete).
- Ermittlung der für Emissionsberechnungen (Lärm, Luftschadstoffe) erforderlichen Verkehrsdaten.

Zusammenfassend können also die folgenden Grundanforderungen formuliert werden:

- Nahtloser Übergang des Wirtschaftsverkehrsmodells (Personenwirtschaftsverkehr + Lkw-/Güterverkehr) und des Modells für den (privaten) Personenverkehr  
Es dürfen weder Lücken noch Überlappungen hinsichtlich der erzeugten Nachfrage entstehen.



Die Ergebnisse müssen kompatibel sein und im gleichen Umlegungssystem auf das Verkehrsnetz umlegbar sein (Zellenzuordnung, Dimension)

- Praxisgerechte Anforderungen an die Eingangsdaten

Die notwendigen Eingangsdaten müssen sowohl hinsichtlich der räumlichen als auch der strukturellen Differenzierung abgesichert und mit vertretbarem Aufwand verfügbar gemacht werden können

- Prognosefähigkeit

Die Eingangsdaten (Strukturen und Verhaltensdaten) müssen entweder direkt prognostizierbar oder aus prognostizierbaren Daten ableitbar sein. Das Modell muss auf Veränderungen (z. B. Netz, Struktur, Verhalten) sinnvoll reagieren

- Sinnvolle Fahrzeugarten

Die verwendeten Kfz-Arten sollten mindestens den in „Standard-Verkehrszählungen“ verwendeten Abgrenzungen folgen, um die Eichung von Umlegungsergebnissen zu vereinfachen.

Um maßnahmenreagible Umlegungen durchführen zu können, sind StVO-konforme Kfz-Arten erforderlich (Gesamtgewicht, Fahrzeuggröße (Höhe)) . Die Einteilung der im Modell verwendeten Kfz nach Arten muss den Ansprüchen der weitergehenden Wirkungsberechnungen (z. B. Lärm, Schadstoffe) genügen.

- Abbildung des Modal-Split im Personenwirtschaftsverkehr

Vor dem Hintergrund der Bedeutung des ÖV im Personenwirtschaftsverkehr ist für dieses Teilsystem auch die Betrachtung des Modal-Split notwendig. Insbesondere im Regional- und Fernverkehr, aber auch in Großstädten stellt der ÖPNV auch für den Personenwirtschaftsverkehr eine sinnvolle Alternative dar.

In diesem Zusammenhang ist auch auf die Taxinutzung hinzuweisen.

## 6 Generelle Festlegungen zum Modellaufbau

Um eine praxisgerechte Anwendung zu ermöglichen, werden die im Modell hinterlegten Berechnungsverfahren auf solchen Eingangsgrößen zur Siedlungs-, Wirtschafts- und Verkehrsstruktur basieren, die standardmäßig verfügbar sind oder mit vertretbarem Aufwand beschafft werden können.

Bei Realisierung dieses Vorhabens ist die Einbeziehung aller den Verkehr bestimmenden Verkehrsmittel nötig, um eine ausgewogene Verkehrsentwicklungsplanung zu ermöglichen. Das bedeutet, dass neben der Operationalisierung des Wirtschaftsverkehrsmodells seine Integration in ein Gesamtverkehrsmodell sichergestellt wird, wobei selbstverständlich auch die gegenseitigen Interdependenzen zwischen dem privaten Verkehr und dem Wirtschaftsverkehr berücksichtigt werden. Dementsprechend versteht sich das entwickelte Wirtschaftsverkehrsmodell als Modellbaustein, der über eine entsprechende Schnittstelle mit dem Personenverkehrsmodell zu einem Gesamtverkehrsmodell verknüpft wird.

Dabei wird aufbauend auf den vorhandenen alternativen Modellansätzen (vgl. Kapitel 4) mit ihren jeweiligen Einsatz-/Anwendungsmöglichkeiten ein prognosefähiger Ansatz für kleinräumige Erklärungs-/Wirkungsmodelle des Wirtschaftsverkehrs erarbeitet.

So wird für den allgemeinen Modellaufbau – u. a. auf Grund der Erkenntnisse aus der Literaturrecherche – von folgenden Festlegungen ausgegangen:

- Generierung der Start- und Stopppotenziale über die Struktur des Raumes und nicht über das Fahrzeug,
- Einbeziehung des Modal-Split im Personenwirtschaftsverkehr,
- Differenzierung der Fahrzeuge nach den für die Verkehrsplanung relevanten Größen, womit die Verwendung des zul. Gesamtgewichtes (zul. GG) und nicht der Nutzlast einhergeht,
- Differenzierung nach Verkehrs- bzw. Transportzwecken,
- Verzicht auf die Normierung der Stopppotenziale auf der Zielseite,
- Verzicht auf die Vor-Festlegung der Touren- und Stoppzahl,
- Möglichkeit zur Berücksichtigung „fester Beziehungen“ und

- Einbeziehung der so genannten „Dispersen Verkehre“.

Ferner soll das jetzt entwickelte Modell es ermöglichen, auch die aus heutiger Sicht absehbaren Entwicklungstendenzen mit einzubeziehen.

Das neu entwickelte Verkehrsnachfragemodell für den Wirtschaftsverkehr basiert auf einem Modellansatz, bei dem das Verkehrsaufkommen getrennt für die Quell- und Zielseite unter Nutzung von Angaben

- zur Raumstruktur
- zur Siedlungsstruktur
- zum Verkehrs-/Transportverhalten
- zum Verkehrsangebot

ermittelt wird. Hierbei wird davon ausgegangen, dass es verkehrsverursachende(anziehende) und verkehrsausführende Wirkungen gibt. Die Ermittlung der verkehrsausführenden Wirkungen wird dabei als Aktivseite des Verkehrsaufkommens und die der verkehrsverursachenden(-anziehenden) Wirkungen als Passivseite des Verkehrsaufkommens bezeichnet.

Für die zentralen Festlegungen, die die Konzeption des Modells grundlegend bestimmen, werden nachfolgend Begründungen/Abgrenzungen vorgenommen. Die Methoden zur Implementierung der o. g. Festlegungen in den Modellablauf werden im Kapitel 7 – im Rahmen der detaillierten Modellbeschreibungen – behandelt.

## **6.1 Betrachtete Fahrzeugabgrenzung**

### **6.1.1 Wahl der relevanten Bezugsgröße**

Die Einteilung der Lkw nach Nutzlast, wie sie beispielsweise in der Fahrleistungsauswertung, den Erhebungen des BAG und auch mit den Fahrzeugtypen bei KID vorgenommen wird, ist mit Blick auf die Netzmodellierung problematisch. Die in den Aufbau des Straßennetzmodells einfließenden Netzparameter mit Bezug auf das Fahrzeuggewicht sind immer auf das Gesamtgewicht, die Achslast oder die Fahrzeugabmessungen ausgerichtet. Die Nutzlast hingegen ist keine StVO-relevante Größe. Da ein Modell, das in der Ge-

samtverkehrsplanung genutzt werden soll, auf Maßnahmen, wie z. B. Gewichtsbeschränkungen als Lkw-Durchfahrtsverbot, reagieren können muss, ist für das kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodell eine planungsbezogene Festlegung zu treffen. Das bedeutet, dass im Modell die Verwendung des zulässigen Gesamtgewichtes und nicht der Nutzlast erfolgt.

Die Auswertung der KID-Daten hinsichtlich der Zuordnung zwischen der Nutzlast einerseits und dem zulässigen Gesamtgewicht der Fahrzeuge andererseits (vgl. Abbildung 2) zeigt, dass sich hohe Übereinstimmungen zwischen dem zulässigen Gesamtgewicht und der Nutzlast ergeben. So kann davon ausgegangen werden, dass die Fahrzeuge mit einem zul. Gesamtgewicht von 3,5t bis 7,5t nahezu vollständig eine Nutzlast von weniger als 3,5t aufweisen. Die Abbildung 2 verdeutlicht auch, dass die 3,5t-Grenze für die Nutzlast und die 7,5t-Grenze für das zul. Gesamtgewicht bei der Unterscheidung der Fahrzeuge annähernd gleich greifen.

Zur Absicherung der Daten für die Modellbildung wurde im Rahmen der hier durchzuführenden Studie dennoch die in der KID-Auswertung vorgenommene Zuordnung der Lkw nach möglicher Nutzlast zugunsten einer Zuordnung nach zulässigem Gesamtgewicht aufgegeben. Die entsprechenden Auswertungen wurden daher aus den Urdaten neu zusammengestellt.

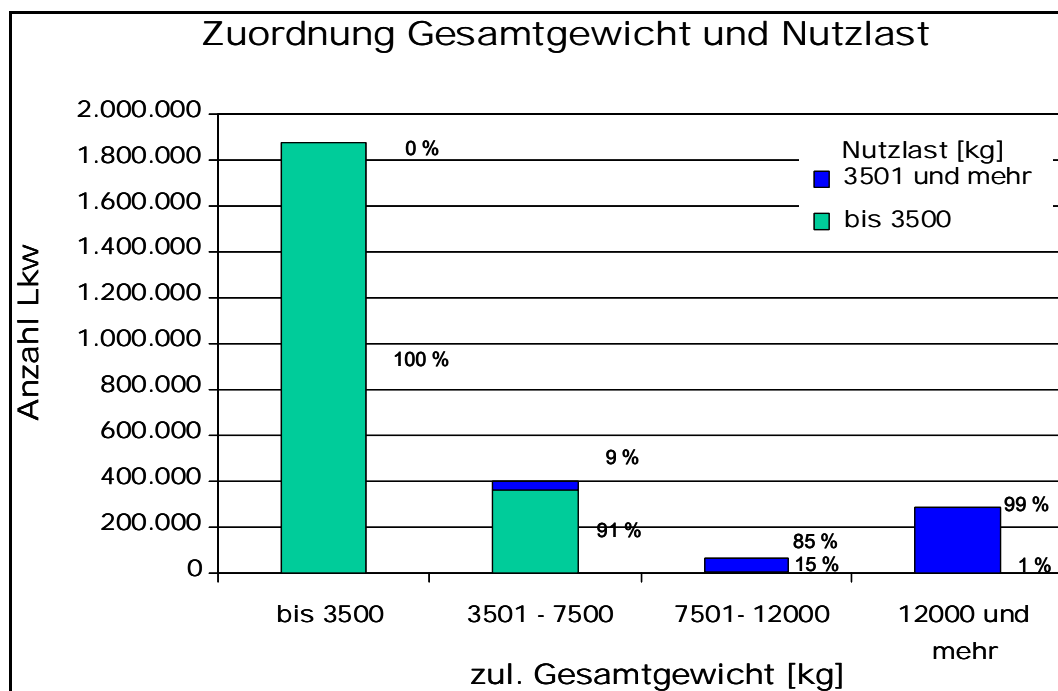


Abbildung 2: Zuordnung zwischen zul. Gesamtgewicht und Nutzlast (Quelle: KID)

### 6.1.2 Wahl der betrachteten Fahrzeugarten

Wie die Tabelle 3 und die Tabelle 4 verdeutlichen, sind die Anteile der Fahrzeugarten:

- Krad  
(Fahrtenanteil am Fahrtenaufkommen des Wirtschaftsverkehrs ca. 0,12%)
- Bus,  
(Fahrtenanteil am Fahrtenaufkommen des Wirtschaftsverkehrs ca. 1,6%)
- Sonstige  
(Fahrtenanteil am Fahrtenaufkommen des Wirtschaftsverkehrs < 1%)

so gering, dass diese nicht weiter betrachtet und somit nicht im Modell berücksichtigt werden.

Fahrzeugart	Anzahl Kfz in der Grund- gesamtheit [Kfz]	Anteil der mobilen Kfz an der Grund- gesamtheit je Tag (Mo-Fr) [%]	davon						Mobile Kfz mit Wirtschaftsver- kehrsfunktion (Mo-Fr)	Anteil an den mobilen Kfz mit Wirtschaftsver- kehrsfunktion (Mo-Fr) [%]
			reiner WV		reiner PV		WV+PV			
			[%]	[Kfz]	[%]	[Kfz]	[%/d]	[Kfz]		
Krad gewerbl.Halter	91.200	12,80%	55,2%	6.444	34,3%	4.004	10,5%	1.226	7.670	0,10%
Krad privater Halter	3.223.400	19,90%	0,0%	0	98,9%	634.401	1,1%	7.056	7.056	0,09%
Pkw gewerbl. Halter	4.476.200	70,90%	39,3%	1.247.235	29,3%	929.872	31,4%	996.519	2.243.753	27,84%
Pkw privater Halter	39.034.500	70,10%	4,1%	1.121.891	86,7%	23.723.881	9,3%	2.544.776	3.666.667	45,49%
Lkws≤3,5 t NL gewerbl. Halter	1.408.000	70,70%	84,8%	844.147	2,1%	20.905	13,1%	130.405	974.551	12,09%
Lkws≤3,5 t NL privater Halter	817.500	68,40%	59,1%	330.469	24,7%	138.115	16,1%	90.026	420.496	5,22%
Lkw>3,5 t NL	403.000	71,10%	97,7%	279.943	0,0%	0	2,3%	6.590	286.533	3,56%
Sattelzugmaschinen	175.500	83,30%	98,5%	143.999	0,3%	439	1,1%	1.608	145.607	1,81%
Reisebusse	63.000	54,30%	97,0%	33.183	0,0%	0	3,0%	1.026	34.209	0,42%
sonst. Zugmaschinen	1.760.000	14,80%	79,6%	207.342	12,7%	33.081	7,7%	20.057	227.399	2,82%
Schutz- und Rettungsfahrzeuge	107.300	12,10%	100,0%	12.983	0,0%	0	0,0%	0	12.983	0,16%
Wohmobile	335.800	19,00%	0,0%	0	93,1%	59.400	6,9%	4.402	4.402	0,05%
sonst. Kfz mit amtl. Kennz.	90.000	52,30%	78,5%	36.950	13,9%	6.543	7,6%	3.577	40.527	0,50%
Gesamt	51.985.400	64,60%	12,7%	4.264.986	75,9%	25.489.169	11,3%	3.794.830	8.059.816	100,00%

Tabelle 3: Anteile der eingesetzten Fahrzeuge mit Wirtschaftsverkehrsfunktion (Quelle: KID)

Fahrzeugart	Anzahl Kfz in der Grund- gesamtheit [Kfz]	Fahrten- häufigkeit je Kfz und Tag (Mo-Fr)	davon		Fahrten mit Wirtschaftsver- kehrsfunktion (Mo-Fr) [Fahrten/d]	Anteil an den Fahrten mit Wirtschaftsver- kehrsfunktion (Mo-Fr) [%]
			WV	PV		
			[%/d]	[Kfz]		
Krad gewerbl. Halter	91.200	0,43	60,7%	39,3%	23.804	0,07%
Krad privater Halter	3.223.400	0,47	1,0%	99,0%	15.150	0,05%
Pkw gewerbl. Halter	4.476.200	3,03	65,7%	34,3%	8.910.816	27,52%
Pkw privater Halter	39.034.500	2,43	12,4%	87,6%	11.761.876	36,33%
Lkw≤3,5 t NL gewerbl. Halter	1.408.000	4,34	95,7%	4,3%	5.847.959	18,06%
Lkw≤3,5 t NL privater Halter	817.500	3,15	77,3%	22,7%	1.990.572	6,15%
Lkw>3,5 t NL	403.000	4,47	99,6%	0,4%	1.794.204	5,54%
Sattelzugmaschinen	175.500	3,34	99,6%	0,4%	583.825	1,80%
Reisebusse	63.000	8,28	99,5%	0,5%	519.032	1,60%
sonst. Zugmaschinen	1.760.000	0,49	88,3%	11,7%	761.499	2,35%
Schutz- und Rettungsfahrzeuge	107.300	keine ausreichende Genauigkeit (Werte sehr klein)				
Wohnmobile	335.800	keine ausreichende Genauigkeit (Werte sehr klein)				
sonst. Kfz mit aml. Kennz.	90.000	2,03	89,0%	11,0%	162.603	0,50%
Gesamt	51.985.400	2,35	26,5%	73,5%	32.373.908	100,00%

Tabelle 4: Anteile am Fahrtenaufkommen der eingesetzten Fahrzeuge mit Wirtschaftsverkehrsfunktion (Quelle: KID)

Als relevant für die Modellentwicklung ergeben sich die Fahrzeugarten:

- Pkw,
- Lkw,
- (Sattel- und sonstige) Zugmaschinen.

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen aus Untersuchungen zum Kfz-Verkehr in Städten sind die folgenden Abgrenzungen zwischen den Fahrzeugarten Pkw, Lkw bzw. Zugmaschinen sinnvoll:

- Abgrenzung bei 2,8 t Gesamtgewicht  
Die Grenze ist für Wirkungsberechnungen, wie z. B. schalltechnische Untersuchungen (RLS90), wichtig<sup>20</sup>. Es gibt in den Straßennetzen viele Beschränkungen, die diese Grenze für Durchfahrtsverbote nutzen.

<sup>20</sup> Hier sind die Entwicklungen im Zuge der Neufassung der Rechenvorschriften (EU-Bestrebungen im Zusammenhang mit „Harmonoise“) zu beachten. Zur Zeit ist aber noch keine neue Fahrzeugabgrenzung definiert.

- Abgrenzung bei 3,5 t Gesamtgewicht  
Diese Grenze wird seit 1995 bei Straßenverkehrszählungen auf den Bundesfernstraßen verwendet (SV). Daher bietet die modelltechnische Unterscheidung insbesondere bei der Kfz-Belastung sinnvolle Kontrollmechanismen. Hier liegt eine wichtige Abgrenzung des „neuen“ EU-Führerscheins.
- Abgrenzung bei 7,5 t Gesamtgewicht  
Es gibt in den Straßennetzen viele Beschränkungen, die diese Grenze für Durchfahrtsverbote nutzen.
- Abgrenzung bei 12 t Gesamtgewicht  
Die Fahrzeuge über 7,5 t Gesamtgewicht sind hinsichtlich ihrer äußeren Abmessungen sehr unterschiedlich. Die Länge reicht vom 5,3 m langen Lkw bis zum 18 m langen Gliederzug mit Gewichten über 40 t (Zugfahrzeug inkl. Anhänger). Die Fahrzeuge geringer Größe eignen sich noch relativ gut zur Anlieferung in platzmäßig beengten Bereichen (insbesondere in Innenstädten). Die oft im Fernverkehr bzw. zur Belieferung großer Geschäfte eingesetzten „großen“ Lkw benötigen meist deutlich größere Aufstell- und Rangierflächen. Daher erscheint eine Unterteilung der Lkw über 7,5 t sinnvoll. Im Gegensatz zu der in anderen Untersuchungen<sup>21</sup> schon genutzten Grenze von 15 t wird hier jedoch die Grenze von 12 t genutzt. Dies begründet sich aus der mit der Mautpflicht für LKW über 12 t eingeführten Abgrenzung.

Damit ergibt sich für die modelltechnisch abzubildenden Fahrzeugarten die folgende, auch in Abbildung 3 noch einmal anschaulich dargestellte, Einteilung:

- Pkw, Kombi, Lieferwagen (Lkw bis 2,8 t Gesamtgewicht),
- Transporter (2,8 t bis 3,5 t Gesamtgewicht),
- Leichte Lkw (3,5 t bis 7,5 t Gesamtgewicht),
- Mittelschwere Lkw (7,5 t bis 12 t Gesamtgewicht),
- Schwere Lkw (über 12 t Gesamtgewicht).

---

<sup>21</sup> z. B.: Sustrate (HaCon) 1995 für Hannover; ISL 2001 für Bremen

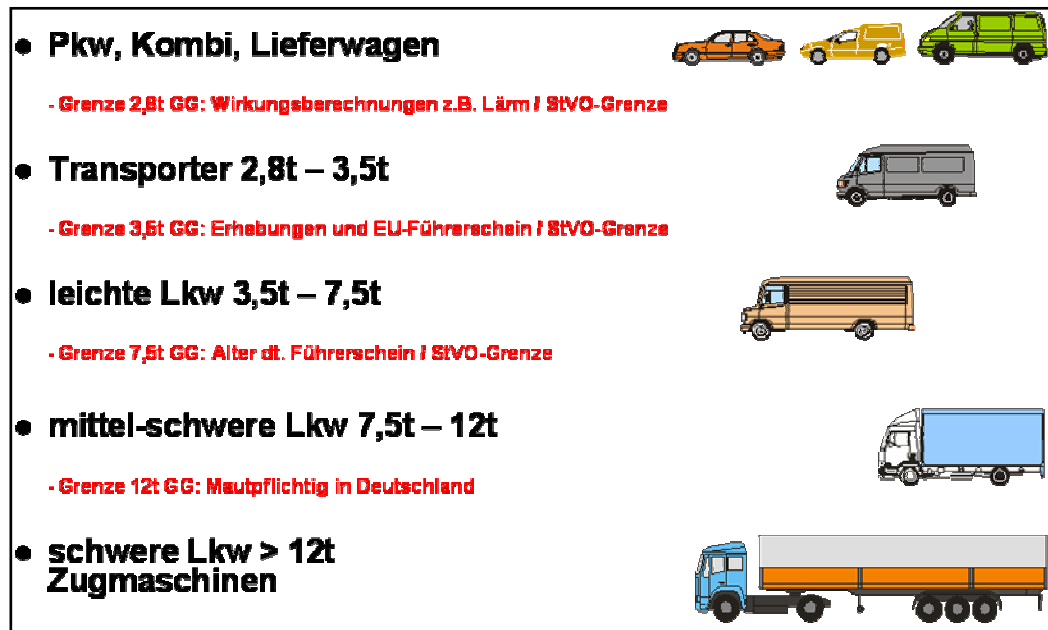


Abbildung 3: Aufteilung des Wirtschaftsverkehrs auf Fahrzeugarten

## 6.2 Betrachtete Modellsysteme (Teil-Modelle)

Das Modellsystem für die Abbildung des kleinräumigen Wirtschaftsverkehrs wird in die zwei Teil-Modelle

- Personenwirtschaftsverkehr und
- Lkw-/Güterverkehr

untergliedert (vgl. Abbildung 4), da sich beide Modelle – trotz vieler Paralleltäten – an zentralen Stellen unterscheiden. So wird beim Personenwirtschaftsverkehr – anders als im Lkw-/Güterverkehr – ein Modul zur Abbildung des Modal-Split integriert. Beim Personenwirtschaftsverkehr wird als relevante Kfz-Fahrzeugart nur der Pkw/Lieferwagen betrachtet, während im Lkw-/Güterverkehr alle fünf definierten Fahrzeugarten verwendet werden.



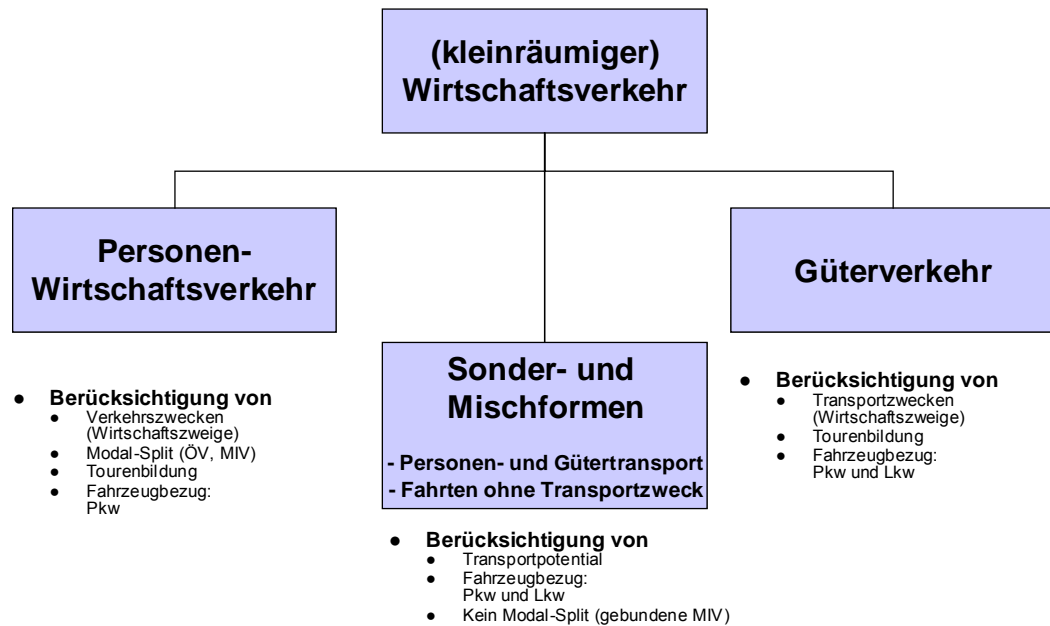


Abbildung 4: Aufteilung auf Teilmodelle

Wie aus der Abbildung 4 ersichtlich ist, existieren neben dem „artreinen“ Personenwirtschaftsverkehr bzw. Lkw-/Güterverkehr noch Sonder-/Mischformen.

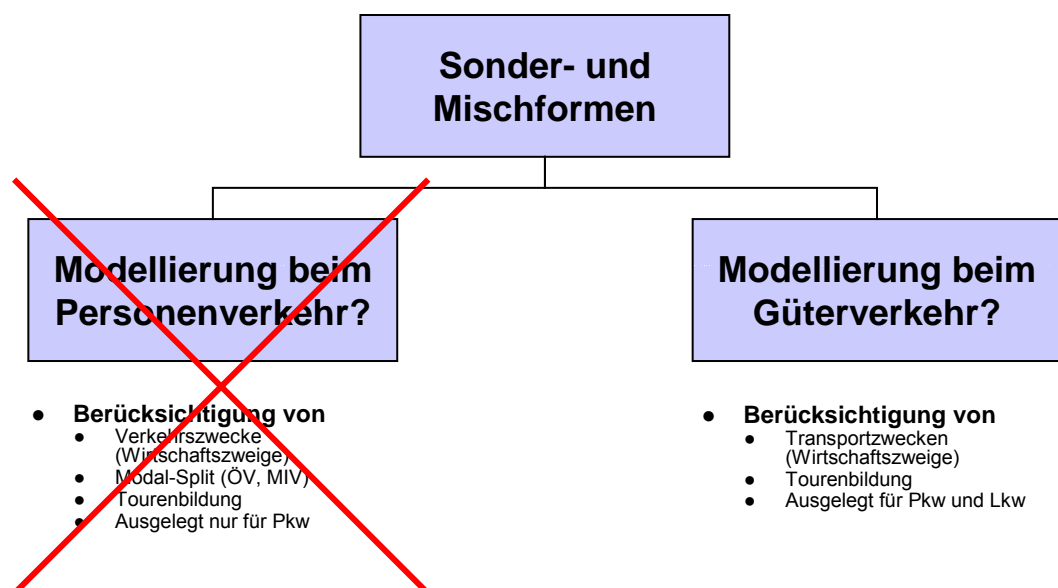


Abbildung 5: Einordnung der Sonder-/Mischformen in eines der Teilmodelle

Diese können, wie die Abbildung 5 verdeutlicht, auf Grund ihrer Gebundenheit an das Kfz (wegen der erforderlichen Güterbeförderung) nicht dem Modal-Split unterzogen werden und sind wegen der Güterbeförderung auch eher auf die größeren Fahrzeugarten ausgerichtet. Daher werden die Sonder-/Mischformen dem Teil-Modell Lkw-/Güterverkehr zugeordnet.

### **6.3 Wahl der relevanten Eingangsgrößen**

Die Verknüpfung/Integration der existierenden Modelle zur Abbildung des privaten Personenverkehrs einerseits und dem zu entwickelnden Modell für den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr andererseits setzt voraus, dass beide Modelle u. a. auf die gleiche, kleinräumige Zelleneinteilung zurückgreifen. Ebenso sollten sich die für die Verkehrserzeugung verwendeten Strukturgrößen ohne allzu großen Aufwand beschaffen lassen und sich hinsichtlich der Differenzierung nicht zu sehr von den für den privaten Personenverkehr genutzten Daten unterscheiden. Dementsprechend erscheint bei der Modellierung des kleinräumigen Wirtschaftsverkehrs auch die Nutzung der Kenngrößen

- Einwohner,
- Erwerbstätige,
- Beschäftigte je Sektor bzw. zu Gruppen verknüpfte Wirtschaftszweige
- Kfz-Bestand (differenziert nach Pkw und Lkw)

sinnvoll. Eine weitergehende Differenzierung des Kfz-Bestandes nach Fahrzeugarten ist nicht zielführend. Wie Auswertungen für die Modellstädte Bonn, Bremen, Dortmund ausweisen, ergeben sich dann jeweils nur sehr geringe Fahrzeugbesätze je Verkehrszelle, so dass qualitativ abgesicherte Aussagen schwerlich möglich sind (vgl. Tabelle 5).

Stadt	Anzahl Zellen	Kfz	Pkw	Lkw und Zugmaschinen
<b>Bonn</b>	<b>400</b>	<b>182617</b> 456 je Zelle 91 je Tansp.-Zweck 15 je Kfz-Klasse	<b>160526</b> 401 je Zelle 80 je Tansp.-Zweck	<b>9402</b> 23 je Zelle 5 je Tansp.-Zweck 1 je Lkw-Klasse
<b>Bremen</b>	<b>450</b>	<b>279834</b> 621 je Zelle 124 je Tansp.-Zweck 25 je Kfz-Klasse	<b>241834</b> 537 je Zelle 108 je Tansp.-Zweck	<b>22036</b> 49 je Zelle 10 je Tansp.-Zweck 2 je Lkw-Klasse
<b>Dortmund</b>	<b>450</b>	<b>322667</b> 717 je Zelle 143 je Tansp.-Zweck 29 je Kfz-Klasse	<b>279813</b> 621 je Zelle 124 je Tansp.-Zweck	<b>16161</b> 35 je Zelle 7 je Tansp.-Zweck 1 je Lkw-Klasse

Tabelle 5: Durchschnittlicher Besatz je Fahrzeugart und Verkehrszelle für die Modellstädte Bonn, Bremen und Dortmund

Die Verkehrserzeugung des Wirtschaftsverkehrs über den Fahrzeugbestand – selbst mit der zusätzlichen Differenzierung nach den gewerblichen und privaten Haltern der Fahrzeuge – ist auch insofern problematisch, als der Wirtschaftsverkehr auch mit privaten Fahrzeugen durchgeführt wird und umgekehrt auch die Fahrzeuge gewerblicher Halter für den privaten Verkehr eingesetzt werden. So zeigt die Abbildung 6, dass die Fahrleistung im gewerblichen Verkehr durch die Pkw gewerblicher Halter und durch die Pkw privater Halter auf gleichem Niveau liegt.

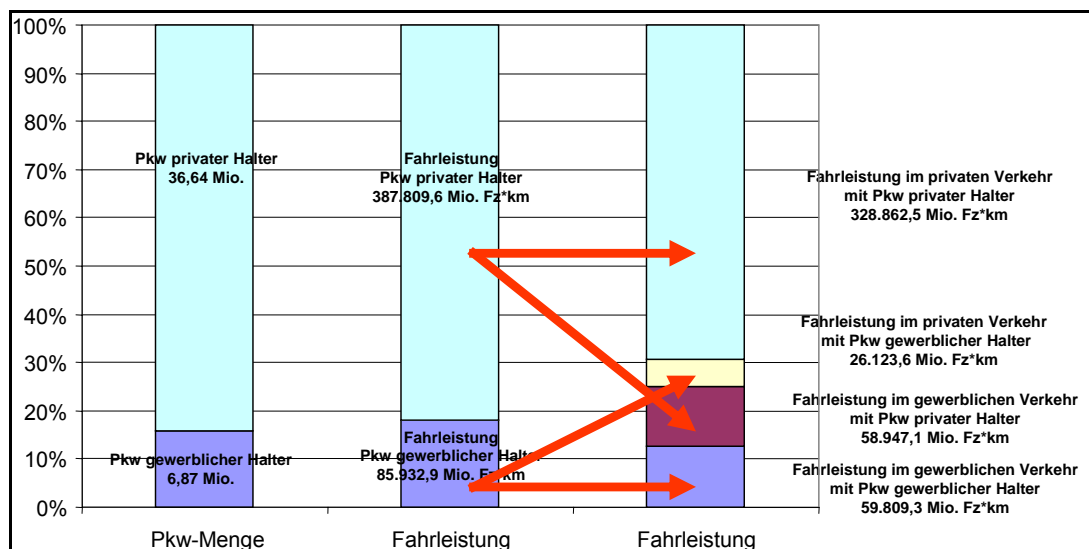


Abbildung 6: Differenzierung der Pkw-Fahrleistung nach Haltergruppen  
(Quelle: KID)

Erschwerend kommt hinzu, dass der Meldeort, der Standort und der Startort des Fahrzeugs in vielen Fällen nicht identisch sind<sup>22</sup>, so dass eine Erzeugung über den Meldeort – dieser ist i. d. R. in den KBA-Statistiken hinterlegt – zu räumlichen Verzerrungen führt. Auch die in der KBA-Statistik hinterlegte Zuordnung der Halter zu den Wirtschaftszeigen ist nach Auswertungen der KID-Daten vielfach nicht identisch mit der Angabe des Wirtschaftszweigs durch den Halter des Fahrzeuges selbst (hierzu siehe Anlage 3). Somit ergäben sich auch aus diesem Grunde Probleme infolge der Nutzung des Fahrzeugbestandes für die Verkehrserzeugung.

Ferner ist zu berücksichtigen, dass die bei den Kommunen verfügbaren Prognosen zur Strukturentwicklung auf die Daten zur Einwohner- und Beschäftigtenentwicklung ausgerichtet sind, so dass eine Prognose des Fahrzeugbestandes nur über Hilfsrechnungen über die Einwohner-/Beschäftigtenprognose erfolgen könnte.

<sup>22</sup> Dieser Unterschied wird in den Abbildungen der Anlage 4 verdeutlicht.

Aus all diesen Gründen lässt sich ableiten, dass die Verkehrserzeugung je Verkehrszelle im Wirtschaftsverkehr sinnvollerweise mit Hilfe der Einwohner-/Erwerbstätigenzahlen sowie der Beschäftigtenzahlen vorzunehmen ist.

## **6.4 Unterscheidungsnotwendigkeit nach Verkehrs- bzw. Transportzwecken**

Wie sich bereits im Rahmen früherer Arbeiten für die Städte Bremen und Düsseldorf gezeigt hat<sup>23</sup>, gibt es signifikante Unterschiede im Transportverhalten je nach Zweck der Fahrt. Diese beziehen sich zum einen auf die eingesetzte Fahrzeugart und zum anderen auf die Tourendurchführung.

So werden beispielsweise bei den (Zu-)Lieferungen zwischen Produktionsstandorten häufiger große Fahrzeuge eingesetzt als bei der Belieferung der Endverbraucher (auch gewerblicher Endverbraucher) durch das produzierende Gewerbe. Bei den Fahrten zwischen den Produktionsstandorten werden vielfach so genannte Ganzfahrten durchgeführt, so dass es hier zu Touren mit nur einem Stopp kommt. Diese Transporte unterscheiden sich deutlich von den Transporten des Handels zur Belieferung der Endverbraucher.

Ebenso zeigt die Dissertation von Machlet-Michael<sup>24</sup>, dass das Baugewerbe ein gänzlich anders Transportverhalten hat als die anderen Wirtschaftszweige.

Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird neben der Trennung der o. g. Fahrzeugarten – von der Verkehrserzeugung bis zur Tourengenerierung –

---

<sup>23</sup> IVV; Erstellung einer Nachfrage-Matrix des Lkw-Verkehrs 1989 für die Freie Hansestadt Bremen; im Auftrage des Senators für Bau, Verkehr und Stadtentwicklung; 1994

IVV; Entwicklung einer Lkw- Matrix für die Stadt Düsseldorf; im Auftrage der Stadt Düsseldorf; 1995

<sup>24</sup> Machledt-Michael, Sonja; Institut für Verkehr und Stadtbauwesen, TU Braunschweig; Fahrkettenmodell für den städtischen und regionalen Wirtschaftsverkehr; Shaker; Heft 50; 2000

eine Differenzierung auch nach Verkehrs-/Transportzwecken vorgenommen. Erst am Ende des Simulationsprozesses werden diese wieder zu den Matrizen der einzelnen Fahrzeugarten zusammengeführt. Die Trennung nach Verkehrs-/Transportzwecken wird sowohl im Personenwirtschaftsverkehr als auch im Lkw-/Güterverkehr vorgenommen.

Die im Personenwirtschaftsverkehr betrachteten Verkehrszwecke sind:

- Verkehrszweck 1: Von Produktionsstandorten zur Produktionsstandorten (Dienstreisen)
- Verkehrszweck 2: Von Produktionsstandorten zu Verbrauchern, den Handelsstandorten und den Standorten des Transportgewerbes (Dienstreisen)
- Verkehrszweck 3: Von Handels- und Dienstleistungsstandorten zu Verbrauchern, dem Handel und den Standorten des Transportgewerbes (Dienstleistung, Besuche)
- Verkehrszweck 4: Von Standorten des Transportgewerbes/der Nachrichtenübermittlung zu den Verbrauchern und den Handelsstandorten (Dienstleistung, Kundendienste)
- Verkehrszweck 5: Von den Standorten des Bau-/Ausbaugewerbes zu den Verbrauchern sowie zu Baustellen (Baustellenverkehre, Ausbau-/Reparatur, Personaltransport)

Dabei werden die oben genannten

- Produktionsstandorte von den Beschäftigtenstrukturen des sekundären Sektors ohne Baugewerbe
- Verbraucher durch die Einwohner sowie alle Beschäftigten
- Handelsstandorte durch die Beschäftigten im Wirtschaftszweig Handel
- Standorte des Transportgewerbes/der Nachrichtenübermittlung durch die Beschäftigten im Wirtschaftszweig Verkehr und Nachrichten
- Standorte des Baugewerbes durch die Beschäftigten im Wirtschaftszweig Bau- und Ausbaugewerbe

repräsentiert. Da die Fahrten aber nicht zwangsläufig nur von den Standorten der Betriebe starten müssen, sondern teils auch vom Wohnort der Beschäftig-

ten starten, werden bei der Ermittlung der Startpotenziale auch die Erwerbstätigen einbezogen.

Beim Lkw-/Güterverkehr erfolgt die Unterscheidung nach den gleichen korrespondierenden Quell-/Zielstrukturen. Zusätzlich kommt hier noch der Transportzweck „Privater Lkw-Verkehr“ hinzu. Somit werden die folgenden sechs Transportzwecke unterschieden:

- Transportzweck 1: Von Produktionsstandorten zur Produktionsstandorten (Lieferung)
- Transportzweck 2: Von Produktionsstandorten zu Verbrauchern, den Handelsstandorten und den Standorten des Transportgewebes (Lieferung)
- Transportzweck 3: Von Handels- und Dienstleistungsstandorten zu Verbrauchern, dem Handel und den Standorten des Transportgewebes (Lieferung, Dienstleistung)
- Transportzweck 4: Von Standorten des Transportgewebes/Nachrichtenswesens zu den Verbrauchern und den Handelsstandorten (Verteilverkehre)
- Transportzweck 5: Von den Standorten des Bau-/Ausbaugewerbes zu den Verbrauchern sowie zu Baustellen (Baustellenverkehre, Ausbau-/Reparatur)
- Transportzweck 6: Von Einwohnerbereichen zu Verbrauchern (Einwohner und Beschäftigte) aber auch zu Handelsstandorten (private Abholung von Waren, Selbstabholer)

Die Belegung der zur Definition der Transportzwecke genutzten „Standortbegriffe“ (wie Produktionsstandorte, Dienstleistungsstandorte, Handelsstandorte etc.) entspricht der Beschreibung beim Personenwirtschaftsverkehr.

## 6.5 Berücksichtigung der Entwicklungstendenzen im Wirtschaftsverkehr

Der zu entwickelnde Modellansatz wird so konzipiert, dass mit Hilfe der implementierten Methoden bzw. der hinterlegten Modellparameter auch die aus heutiger Sicht absehbaren Entwicklungstendenzen im Wirtschaftsverkehr abgebildet werden können. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass der entwickelte Modellansatz auch zukünftig noch anwendbar bleibt.

Die Ableitung der Entwicklungstendenzen erfolgte mit Unterstützung des Büros P.U.T.V.<sup>25</sup>. Hierbei wurden die in der Tabelle 6 dargestellten Einwirkungsbereiche im Hinblick auf mögliche Veränderungen als maßgebend identifiziert.

• <b>Fahrzeugart</b>	• <b>Fahrtziele</b>	• <b>Fahrtendichte</b>
• <b>Fahrzeuggröße</b>	• <b>Fahrzeugeinsatz</b>	• <b>Einsatzdisposition</b>
• <b>Fahrzeughaltung</b>	• <b>Fahrtzweck</b>	• <b>Auslastung</b>
• <b>Siedlungsform, Fahrtgebiete</b>	• <b>Fahrtdauer</b>	• <b>Betriebszeit</b>
• <b>Standortlagen</b>	• <b>Fahrtweite</b>	• <b>Fahrgeschwindigkeit</b>

Tabelle 6: Einwirkungsbereiche zukünftiger Entwicklungen im Wirtschaftsverkehr

Für die o. g. Einwirkungsbereiche wurden die sich abzeichnenden Tendenzen in drei Gruppen unterteilt und zwar in

- kurzfristige Veränderungen
- mittelfristige Veränderungen
- langfristige Veränderungen

<sup>25</sup> P.U.T.V – Projektforschung Unternehmensberatung Transport und Verkehr; Gappenhach - Maifeld



Die Zusammenstellungen in Tabelle 7 bis Tabelle 9 beinhalten eine kurze Beschreibung der zu erwartenden Veränderung und die Angabe, mit Hilfe welcher Parameter diese Veränderung im Modell abgebildet werden kann. Ferner ist noch angegeben, auf welches Modul des Modells die Veränderung Einfluss hat.

Merkmal	Zeithorizont	Beschreibung	Modellparameter	Modul
Fahrzeugart	Kurzfristig	keine nennenswerten Effekte	Erzeugungsraten für die Start-/Stopp-Potentiale	Aufkommen
	Mittelfristig	Kombinationsfahrzeuge nehmen zu. Die Einsatz-/Funktionsvielfalt der Fahrzeuge steigt. Gleichzeitig wird der Informationsfluß zum Fahrzeug differenzierter	Bindungsraten an Fahrzeugart	
	Langfristig	Neue Antriebsarten bei Pkw und kleinen Lkw (z. B. Brennstoffzelle, (Folien-) Solarzellen zur Unterstützung der Fahrzeugelektrik, Hybridantrieb). Dadurch Einsatzmöglichkeiten in der Nacht und in speziellen Gebieten. Aufgrund der besseren Fahrbedingungen in der Nacht sind auch größere Reiseweiten bei gleichem Zeitbudget möglich	Widerstandsmatrix Startzeitverteilung für best. Fahrzeugarten. Sperrung/Zulassung für bestimmte Zielgebiete.	Tourengenerierung (Zeitscheiben)  Verteilung/Potentialverknüpfung
Fahrzeuggröße	Kurzfristig	Tendenz zu 1,5 Tonner NL also 3,5t GG	Bindungsraten an Fahrzeugart	Aufkommen
	Mittelfristig	Tendenz zu 3,5 t GG (Zunahme der 2 Tonner NL) - führt zu mehr Stopps bei kleinen Fahrzeugen.	Bindungsraten an Fahrzeugart	Aufkommen
		Tendenz zu großen Lkw (44 t Lastzug, SZ und 18,70 m LZ) auf langen Strecken, führt zu mehr Ladung je Stopp	Stopp-Potentiale (bei kleinen Fahrzeugen mehr, bei großen Fahrzeugen weniger)	Tourengenerierung
Fahrzeughaltung	Langfristig	Tendenz, die Nutzlast im mittelschweren Lkw-Bereich zu erhöhen, dennoch werden diese Fahrzeuge absolut weniger	Bindungsraten an Fahrzeugart	Aufkommen
	Kurzfristig	Tendenz zur privaten Haltung von Einzelfahrzeugen. Bei kleinen Fahrzeugen wechseln somit auch die Stand-/Startorte ggf. auch in die Wohngebiete	Bindungsraten an Fahrzeugart	Aufkommen
	Mittelfristig	Stärkere Trennung von Haltung und Nutzung, Tendenz zum Ausbau der Systeme, des Fahrzeug-Leasings und des Flottenmanagements in der gewerblichen Haltung	Erzeugungsraten der Startpotentiale Da die Erzeugung über Strukturen und nicht über Fahrzeugmeldung erfolgt, kein bedeutender Modelleingriff nötig.	Aufkommen
Siedlungsform, Fahrgebiete	Langfristig	Tendenz zur gewerblichen Nutzung privater Fahrzeuge	Erzeugungsdaten der Startpotentiale	Aufkommen
	Kurzfristig	keine nennenswerten Effekte		
	Mittelfristig	Verringerung der Verkehrsfläche für Wirtschaftsverkehre bewirkt Zunahme der Verkehrsmengen auf den Hauptstraßen (Lkw-Führungsnetze, Ausweisung von Vorzugsrouten)	Streckenwiderstände	Umlegung (Hier VENUS IV; andere Umlegungsprog. möglich)
Standortlagen	Langfristig	Ausbau der Logistikanlagen, GVZ, Playboxen etc. bremsen durch Optimierung der Fahrzeugeinsätze die Zunahme der Fahrten	Erzeugungsdaten der Stopp-Potentiale	Aufkommen
	Kurzfristig	keine nennenswerten Effekte		
	Mittelfristig	Die Struktur der Verkehrserzeugung verändert sich durch die Standortverlagerung der verkehrszeugenden Betriebe (Lagerhaltungsstruktur), durch Just-in-Time-Transporte (Systemverkehre) und durch Anlagen zur Verkehrs Bündelung (GVZ, Frachtkorridore, Kombi- und Logi-Terminals). Tendenz bewirkt Zunahme der Verkehrsbelastung in den frühen Morgenstunden (zumindest in den weniger empfindlichen Außenbereichen)	Strukturverschiebung  Startzeiten	Aufkommen  Tourengenerierung (Zeitscheiben)
	Langfristig	Der Ausbau der Logistikinfrastruktur gehört zu den vorrangigen Maßnahmen zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von Standorten und führt zu mehr Verkehr an diesen Standorten	Strukturverschiebung Erzeugungsdaten der Startpotentiale (in den betroffenen Zellen)	Aufkommen

Tabelle 7: Zusammenstellung der möglichen zukünftigen Entwicklungen im Wirtschaftsverkehr (Teil 1)

<b>Merkmal</b>	<b>Zeithorizont</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Modellparameter</b>	<b>Modul</b>
Fahrziele	Kurzfristig	keine nennenswerten Effekte		
	Mittelfristig	Der Wandel in der Standortstruktur durch logistische Systeme und deren Konsequenzen sowie die Fragmentarisierung der Güterbeförderung erweitert die Zahl der Fahrziele	Erzeugungsraten der Stopp-Potentiale	Aufkommen
	Langfristig	Der Einsatz von Optimierungsprogrammen für den Fahrzeugeinsatz und den Gütertransport, der Verkehrstelematik und die Flexibilisierung der Arbeits- und Betriebszeiten zwingt zu einer Rationalisierung der Fahrtgebiete, d.h. zu kostenoptimalen Last-Mile-Systemen	Randbedingungen der Touren, Zeitbudget	Tourengenerierung
Fahrzeugeinsatz	Kurzfristig	Es sind gegenwärtig keine Tendenzen erkennbar, die Einsatzquote zu erhöhen		
	Mittelfristig	Der Wettbewerb tendiert dahin, neue Kostenbelastungen (Lkw-Maut, Sozialvorschriften) durch erhöhten Fahrzeugeinsatz zu kompensieren. Dazu gehören die Rationalisierungsmaßnahmen des Flottenmanagements. Optimierung der eingesetzten Fahrzeuge = Höhere Auslastung der Fahrten.	Erzeugungsraten der Stopp-Potentiale	Aufkommen
	Langfristig	Die Rationalisierungsmaßnahmen sind ausgeschöpft, so dass langfristig die Zahl der Fahrzeuge im Wirtschaftsverkehr eher zunehmen wird	Es wird nicht über die Fahrzeuge erzeugt.	
Fahrzweck	Kurzfristig	keine nennenswerten Effekte		
	Mittelfristig	Die Fahrzwecke tendieren zur Differenzierung, d.h. immer mehr Fahrten werden für immer speziellere Zwecke durchgeführt	Erzeugungsraten der Start- und Stopp-Potentiale	Aufkommen
	Langfristig	Die Tendenz zur individuellen Fahrt und damit zur Differenzierung der Fahrzwecke bleibt bestehen	Erzeugungsraten der Start- und Stopp-Potentiale	Aufkommen
Fahrtdauer	Kurzfristig	Fahrtbeendigungen werden wenig fixiert und kontrolliert und finden gegenwärtig später als praktisch möglich (zulässig, vereinbart, notwendig) statt	Zeitbudget wird erweitert	Tourengenerierung
	Mittelfristig	Mittelfristig zeichnen sich keine Änderungen ab	Zeitbudget wird erweitert	Tourengenerierung
	Langfristig	Mit Infiltration der Optimierungsprogramme und satellitengestützter Fahrzeugverfolgung werden Fahrtbeendigungen besser fixierbar und aus wirtschaftlichen Gründen kontrolliert, so dass eine Tendenz erkennbar ist, Fahrten „pünktlich“ abzuschließen und den Fahrzeugeinsatz „im Plan“ zu beenden („Just-in-time“-Verkehr nimmt zu)	Zeitbudget wird reduziert	Tourengenerierung
Fahrtsweite	Kurzfristig	Reiseweiten und Beförderungsentfernungen nehmen zu (insbesondere im weitausgreifenden Verkehr)	Netz widerstände	Verteilung
	Mittelfristig	Reiseweiten und Beförderungsentfernungen nehmen weiterhin wegen Ausdehnung der EU im Südosten Europas zu	Reisezeiten (Gravitationskurven)	Tourengenerierung
	Langfristig	Die großen Reiseweiten und Beförderungsentfernungen bleiben relativ konstant, weil kaum noch neue Fahrtgebiete zu erschließen sind	Netz widerstände	Verteilung

Tabelle 8: Zusammenstellung der möglichen zukünftigen Entwicklungen im Wirtschaftsverkehr (Teil 2)

<b>Merkmal</b>	<b>Zeithorizont</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Modellparameter</b>	<b>Modul</b>
Fahrtendichte	Kurzfristig	Die Dichte der Fahrten in Spitzenzeiten bleibt bestehen	Startzeiten der Touren	Tourengenerierung (Zeitscheiben)
	Mittelfristig	Die Dichte der Fahrten in Spitzenzeiten bleibt bestehen	Startzeiten der Touren	Tourengenerierung (Zeitscheiben)
	Langfristig	Langfristig sollen nach Prognosen Anzahl und Dauer der Verkehrsstaus abnehmen		
Einsatzdisposition	Kurzfristig	Es werden keine wesentlichen Änderungen der Einsatzdisposition erwartet		
	Mittelfristig	Tendenz zur Großflottenhaltung wird durch Verkleinerung von Großflotten gekontert	Da nicht über die Fahrzeuge erzeugt wird hat dies kaum Einfluss	
	Langfristig	Die Tourenplanung wird besser/effektiver	Nachoptimierung der Touren	Tourengenerierung
Auslastung	Kurzfristig	Gewichtsauslastung und Leerfahrtanteil werden sich kaum verändern		
	Mittelfristig	Die Tendenz zur palettierten Ladung und zu Just-in-Time-Transporten wird die Auslastung nicht verbessern		
	Langfristig	Langfristig nimmt die Gewichtsauslastung ab, weil die Transportgüter im Durchschnitt leichter werden. Der Anteil der Leerfahrten nimmt bei kleinen Lkw zu	Erzeugungsraten der Start- und Stopp- Potentiale	Aufkommen
Betriebszeit	Kurzfristig	Die gegenwärtigen Ansätze zur Flexibilisierung der Betriebszeiten wirken sich erst mittelfristig aus		
	Mittelfristig	Erweiterte Betriebszeiten erweitern auch den Zeitrahmen für Dienstreisen und Transporte, deren Anzahl zunehmen wird	Startzeiten der Touren	Tourengenerierung (Zeitscheiben)
	Langfristig	Die Tendenz, programmatisch Reisen und Transporte zu rationalisieren, verstärkt den Druck, die Betriebszeiten auf den ganzen Tag (24 Stunden) zu verteilen	Startzeiten der Touren	Tourengenerierung (Zeitscheiben)
Fahrtgeschwindigkeit	Kurzfristig	Die Fahrtgeschwindigkeiten liegen durchschnittlich in den Fahrtgebieten weit über 40 km/h und werden sich trotz Verkehrsmengenwachstum kaum verringern	Ist ein Ergebnis der Umlegungsrechnung. Hier ist ggf. eine Prüfung der Theorie/Erwartung möglich.	Umlegung (Hier VENUS IV; andere Umlegungsprog. möglich)
	Mittelfristig	Mittelfristig wird erwartet, dass die gegenwärtigen Fahrtgeschwindigkeiten bleiben	s.o.	s.o.
	Langfristig	Durch die weitere erwartete Verdichtung der Verkehrsströme werden die Geschwindigkeiten etwas abnehmen.	s.o.	s.o.

Tabelle 9: Zusammenstellung der möglichen zukünftigen Entwicklungen im Wirtschaftsverkehr (Teil 3)

## 6.6 Einbeziehung des Fernverkehrs

Um bei der Betrachtung des kleinräumigen Wirtschaftsverkehrs auch die weiter ausgreifenden Verkehre, d. h. die Verkehre, bei denen

- weder die Quelle noch das Ziel innerhalb des per Modell abgebildeten Raumes liegen,
- nur die Quelle im Untersuchungsraum liegt und das Ziel außerhalb des per Modell abgebildeten Raumes liegt oder
- nur das Ziel im Untersuchungsraum liegt und die Quelle außerhalb des per Modell abgebildeten Raumes liegt,

in die Nachfrage einzubeziehen, besteht die Möglichkeit, diese Verkehre gesondert zu entwickeln und zu überlagern. Auf diese Weise entsteht für den Untersuchungsraum – differenziert nach dem Personenwirtschaftsverkehr mit Pkw/Lieferwagen und im ÖV sowie nach den fünf Fahrzeugarten des Lkw-/Güterverkehrs – je eine vollständige Matrix für das entsprechende Segment des Wirtschaftsverkehrs.

Als Datenquelle für die Ableitung der weiter ausgreifenden Verkehre bieten sich Untersuchungen für die übergeordnete Planungsebene (Region, Land bzw. Bund) an. Diese müssen jedoch ggf. innerhalb des Untersuchungsraumes auf die feinere, lokale Raumeinteilung umgearbeitet werden.

## 7 Modellbausteine

Wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, ist der Modellablauf zur Erzeugung des Personenwirtschaftsverkehrs, des Lkw-/Güterverkehrs und der dispersen Verkehre teilweise unterschiedlich. Daher werden im Folgenden die Modellbausteine getrennt – in der Reihenfolge ihrer Anwendung – beschrieben. Die sich so ergebende Zuordnung der Modellbausteine zu den nachfolgenden Kapiteln kann der Tabelle 10 entnommen werden.

<b>Teilmodell: Personenwirtschaftsverkehr Kapitel 7.1</b>	<b>Teilmodell: Lkw-/Güterverkehr Kapitel 7.2</b>	<b>Teilmodell: disperse Verkehre Kapitel 7.3</b>
Verkehrsaufkommen (Start-/Stopppotenziale) Verkehrsmittelwahlsituation (IV- / ÖV-Gebundene / Wahl- freie) <b>Kapitel 7.1.1</b>	Verkehrsaufkommen (Start-/Stopppotenziale) Fahrzeugzuordnung (Bindungsraten) <b>Kapitel 7.2.1</b>	Verkehrsaufkommen (Start-/Stopppotenziale) Fahrzeugzuordnung (Bindungsraten) <b>Kapitel 7.3.1</b>
Verknüpfung der Potentiale (Gravitation) <b>Kapitel 7.1.2</b>	Verknüpfung der Potentiale (Gravitation) <b>Kapitel 7.2.2</b>	Verknüpfung der Potentiale (Gravitation) <b>Kapitel 7.3.2</b>
Modal-Split (ÖV/MIV) (Nutzenmaximierungsmodell) <b>Kapitel 7.1.3</b>		
Tourengenerierung (Savingsalgorithmus) <b>Kapitel 7.1.4</b>	Tourengenerierung (Savingsalgorithmus) <b>Kapitel 7.2.3</b>	Tourengenerierung (Savingsalgorithmus) <b>Kapitel 7.3.3</b>
Übergabe Umlegungsmodelle Herausziehen von Tageszei- ten/Stundengruppen Matrizen / Fahrtensätze (Pers.-Fahrten an ÖV-Modell, Pkw-Fahrten an IV-Modell) <b>Kapitel 7.5</b>	Übergabe Umlegungsmodelle Herausziehen von Tageszei- ten/Stundengruppen Matrizen / Fahrtensätze (Kfz-Fahrten je Fahrzeugart an IV-Modell) <b>Kapitel 7.5</b>	Übergabe Umlegungsmodelle Herausziehen von Tageszei- ten/Stundengruppen Matrizen / Fahrtensätze (Kfz-Fahrten je Fahrzeugart an IV-Modell) <b>Kapitel 7.5</b>

Tabelle 10: Modellbausteine

## 7.1 Personenwirtschaftsverkehr

### 7.1.1 Verkehrsaufkommen

Die Bestimmung des Verkehrsaufkommens erfolgt mit Hilfe eines Strukturklassenansatzes. Dabei werden die verkehrserzeugenden Größen (Strukturen) verkehrszellenscharf mit Erzeugungsraten multipliziert. Für jede Strukturklasse wird dazu eine spezifische Erzeugungsrate verwendet.

Bei diesen Berechnungen wird nach Aktiv- und Passivseite der Verkehrserzeugung unterschieden. Auf der Aktivseite werden die Strukturen angesetzt, die die Fahrten tatsächlich durchführen. Auf der Passivseite hingegen sind diejenigen Strukturen zu berücksichtigen, die das Ziel der Fahrten darstellen. Bezogen auf den Wirtschaftsverkehr sind das die Orte, an bzw. zu denen Waren oder Personen geliefert bzw. gebracht oder abgeholt werden oder wo Tätigkeiten ausgeführt werden sollen. Dabei ist insbesondere beim Wirtschaftsverkehr davon auszugehen, dass ein Teil der Zielorte als Tour angefahren wird. Dementsprechend sind die generierten Zielpotenziale auch eher als Stopppotenziale zu verstehen.

Da die Formulierung von Startpotenzialen für das Aufkommenspotential der Aktivseite und von Stopppotenzialen für die Aufkommenspotenziale der Passivseite zum einen der weiteren Bearbeitung in den nachfolgenden Modellschritten (insbesondere Tourengenerierung) entgegenkommt und zum anderen übergreifend über alle Teilmodelle (Personenwirtschaftsverkehr, Lkw-/Güterverkehr und disperse Verkehre) gleichermaßen nutzbar ist, werden diese Begriffe im weiteren verwendet.

Die Verkehrserzeugung erfolgt sowohl für die Aktiv- als auch für die Passivseite gleichermaßen aus den Strukturgrößen, wobei naturgemäß unterschiedliche Erzeugungsraten anzusetzen sind.

Die genutzten Strukturgrößen, die je Verkehrszelle als erforderlich angesehen werden, sind:

- Einwohner

Die Auswertung der Erhebungen zu MID zeigen, dass zur Bestimmung des durch Einwohner verursachten Wirtschaftsverkehrs auf der Aktivseite lediglich eine Differenzierung nach erwerbstätigen und nicht erwerbstätigen

Einwohnern notwendig ist. Eine drüber hinausgehende Differenzierung nach Altersklassen oder hinsichtlich anderer Schichtungen (z. B. Studenten, Auszubildende etc.) ist nicht erforderlich.

Auf der Passivseite werden die Einwohner als Gesamtgröße herangezogen. Eine Differenzierung ist nicht nötig, da keine entsprechend differenzierten Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bekannt sind.

- Beschäftigte

Die Beschäftigten werden nach den folgenden Wirtschaftszweigen differenziert:

- Landwirtschaft, Bergbau, Energie und Wassergewinnung
- Verarbeitendes Gewerbe
- Bau-/Ausbaugewerbe
- Handel
- Verkehr und Nachrichten
- Restl. Wirtschaftsbereiche (z. B. Dienstleistung, Verwaltung)

- Flächenpotenziale

Auf der Passivseite kommen noch Stopppotenziale für bisher nicht genutzte Flächen hinzu. Diese Potenziale sind notwendig, da es durchaus nennenswerte Verkehre zu Verkehrszellen geben kann, die (noch) nicht mit Einwohnern oder Beschäftigten besetzt sind. Ein gutes Beispiel hierfür stellen Neubaugebiete und Großbaustellen dar.

Diese Potenziale können nicht über die auf Siedlungsstrukturen bezogenen Erzeugungsraten generiert werden und sind daher zu setzen. Dazu wird im Modellsystem ein – für jede betroffene Zelle einzeln zu bestimmender – Potenzialwert addiert.

Diese Verkehrserzeugung wird für fünf Verkehrszwecke durchgeführt. Die im Kapitel 6.4 schon beschriebenen Verkehrszwecke sind:

- Verkehrszweck 1: Von Produktionsstandorten zur Produktionsstandorten
- Verkehrszweck 2: Von Produktionsstandorten zu Verbrauchern, den Handelsstandorten und den Standorten des Transportgewerbes
- Verkehrszweck 3: Von Handel- und Dienstleistungsstandorten zu Verbrauchern, dem Handel und den Standorten des Transportgewerbes
- Verkehrszweck 4: Von Standorten der Transportgewerbes/Nachrichtenübermittlung zu den Verbrauchern und den Handelsstandorten



- Verkehrszweck 5: Von den Standorten des Bau-/Ausbaugewerbes zu den Verbrauchern sowie zu Baustellen

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die einzelnen Strukturgrößen (Einwohner, Beschäftigte) je nach ihrer Ausrichtung unterschiedlich stark an den Verkehrszwecken teilhaben. Dieser Sachverhalt spiegelt sich im Ansatz der Erzeugungsraten wieder. Ist eine Strukturgröße an einem Verkehrszweck nicht beteiligt, so wird ihre Erzeugungsrate auf Null gesetzt.

Die Erzeugungsraten, wie sie sich im Rahmen der Arbeiten für die drei hier untersuchten Modellstädte (Bonn, Bremen und Dortmund) als (im Mittel) sinnvoll herausgestellt haben, sind in der Tabelle 11 für die Startpotenziale sowie in der Tabelle 12 für die Stopppotenziale zusammengestellt.

Als Grundlage bzw. Ausgangsbasis für die Bestimmung der Erzeugungsraten dienten zunächst die schon im Rahmen der bisherigen Modellansätze für die betrachteten Modellstädte genutzten Erzeugungs- und Mobilitätsraten; diese wurden durch ergänzende Daten aus Erhebungen, wie z. B. KID und MID weitergehend verfeinert. Da sowohl die in den bisherigen Modellansätzen genutzten Raten aufgrund der neuen Einteilung der Verkehrszwecke (bzw. Transportzwecke beim Lkw-/Güterverkehr) als auch die Erhebungsdaten aufgrund anderer Bezugsgrößen (KID = Fahrzeugbezug – Modellansatz = Personenbezug) zu einem großen Teil nicht direkt benutzt werden können, wurden Umrechnungen/Analogiebetrachtungen vorgenommen. Beispiele zur Methodik der Bestimmung von Erzeugungsraten können der Anlage 5 entnommen werden.

Verkehrszweck	Strukturmerkmal							
	Einw.	Erw.	Beschäft. Prim.	Beschäft. Bau	Beschäft. Sek. Rest	Beschäft. Handel	Beschäft. Verk./Nachr.	Beschäft. Tert.-Rest
1	0	0,0	0	0	0,059	0	0	0
2	0	0,029	0	0	0,045	0	0	0
3	0	0,021	0	0	0	0,0192	0	0,184
4	0	0,021	0	0	0	0	0,203	0
5	0	0,03	0	0,29	0	0	0	0

Tabelle 11: Erzeugungsraten für die Startpotenziale im Personenwirtschaftsverkehr

Verkehrszweck	Strukturmerkmal							
	Einw.	Erw.	Beschäft. Prim.	Beschäft. Bau	Beschäft. Sek. Rest	Beschäft. Handel	Beschäft. Verk./Nachr.	Beschäft. Tert.-Rest
1	0	0	0	0	0,020	0	0	0
2	0,002	0	0,029	0,029	0,009	0,029	0,039	0,029
3	0,025	0	0,0168	0,168	0,0168	0,0168	0,097	0,168
4	0,002	0	0,025	0,025	0,025	0,025	0,075	0,025
5	0,004	0	0,015	0,002	0,015	0,015	0,020	0,015

Tabelle 12: Erzeugungsraten für die Stopppotenziale im Personenwirtschaftsverkehr

Da davon auszugehen ist, dass je nach Art und Maß der Nutzung in den Verkehrszellen auch durchaus merkbare Unterschiede in der Verkehrserzeugung

zu verzeichnen sind, sind auch verkehrszellenspezifische Nutzungsfaktoren zu berücksichtigen<sup>26</sup>.

Diese Nutzungsfaktoren können als erster Ansatz aus der Flächennutzung (gem. FNP) heraus abgeschätzt werden. So hat sich beispielsweise gezeigt, dass für Wohnbauflächen (WA, WR) in der Regel ein 40 %iger Abschlag vorzunehmen ist, wohingegen bei gewerblichen Bauflächen ein Zuschlag zwischen 30 % und 100 % notwendig sein kann – je nachdem wie hoch der Anteil der Verkehrswirtschaft an den Flächen ist. Besonders zu beachten ist, dass in City-/Kernstadtzellen ein Abschlag von rund 50 % sinnvoll erscheint, da sonst aufgrund der extrem hohen Beschäftigten- und Bevölkerungsdichte eine Überbetonung der Anlieferungsfahrten erfolgt.

Im praktischen Test für die Modellstädte hat sich gezeigt, dass die Anpassung aufgrund spezieller Ortskenntnis sehr zu empfehlen ist. Daher ist in dem hier erarbeiteten Modellsystem lediglich ein Vorschlag aufgrund der Flächennutzung vorgesehen, der aufgrund spezieller Ortskenntnis immer überprüft werden sollte.

Bei der weitergehenden Anpassung der Faktoren ist jedoch zu beachten, dass ein einseitiges Anheben oder Absenken der Nutzungsfaktoren für bestimmte Verkehrszellen(bereiche) ohne einen gleichzeitigen Ausgleich an anderer Stelle zur Veränderung des Gesamtniveaus des Verkehrsaufkommens führt. Die Anhebung bzw. Absenkung des Gesamtniveaus ist jedoch nicht Zweck dieser Stellgröße; diese dient im Prinzip nur der Verbesserung der Verteilung des Verkehrsaufkommens im Raum aufgrund des unterschiedlichen Maßes der Nutzung. Sofern die Veränderung des Gesamtniveaus gefragt ist, sollten die Erzeugungsraten für die Strukturgrößen angepasst werden.

---

<sup>26</sup> Als Beispiel sei hier die Strukturgröße der Beschäftigten im Wirtschaftszweig „Verkehr/Nachrichten“ genannt. Während die Beschäftigten eines Reisebüros oder eines Verlages in der Innenstadt eher Lieferungen erhalten (Passivseite) bzw. Fahrten mit kleineren Fahrzeugen generieren (Aktiv- und Passivseite), sind die Beschäftigten einer Spedition auch der Aktivseite für größere Lkw zuzuordnen.

Verkehrszweck	Verkehrsmittel	Strukturmerkmal							
		Einw.	Erw.	Beschäft. Prim.	Beschäft. Bau	Beschäft. Sek. Rest	Beschäft. Handel	Beschäft. Verk./Nachr.	Beschäft. Tert.-Rest
1	IV	0,000	0,680	0,000	0,000	0,680	0,000	0,000	0,000
1	WF	0,000	0,270	0,000	0,000	0,270	0,000	0,000	0,000
1	ÖV	0,000	0,050	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000
2	IV	0,000	0,680	0,000	0,000	0,680	0,000	0,000	0,000
2	WF	0,000	0,270	0,000	0,000	0,270	0,000	0,000	0,000
2	ÖV	0,000	0,050	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000
3	IV	0,000	0,620	0,000	0,000	0,000	0,620	0,000	0,800
3	WF	0,000	0,330	0,000	0,000	0,000	0,330	0,000	0,100
3	ÖV	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,100
4	IV	0,000	0,830	0,000	0,000	0,000	0,000	0,830	0,000
4	WF	0,000	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150	0,000
4	ÖV	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000
5	IV	0,000	0,880	0,000	0,880	0,000	0,000	0,000	0,000
5	WF	0,000	0,100	0,000	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000
5	ÖV	0,000	0,020	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000
IV = IV-Gebunden WF = Wahlfrei ÖV = ÖV-Gebunden									

Tabelle 13: Bindungsraten an die drei Verkehrsmittelwahlsituationen für die Startpotenziale im Personenwirtschaftsverkehr

Im Zusammenhang mit der Ermittlung des Verkehrsaufkommens der Aktiv- und der Passivseite werden auch erste Zuordnungen hinsichtlich der Verkehrsmittelbenutzung vorgenommen (Modal-Split Stufe I). Der Modellansatz geht dabei davon aus, dass gewisse Teile der Beschäftigten an die Benutzung spezieller Verkehrsmittel gebunden sind und nur ein Teil eine freie Wahlmöglichkeit zur Benutzung des einen oder des anderen Verkehrsmittels hat. Die Gebundenheit an spezielle Verkehrsmittel hängt dabei von der Tätig-

keit, die in gewissem Maße vom Wirtschaftszweig bestimmt wird, sowie von der Verfügbarkeit der Verkehrsmittel ab.

Verkehrszweck	Verkehrsmittel	Strukturmerkmal							
		Einw.	Enw.	Beschäft. Prim.	Beschäft. Bau	Beschäft. Sek. Rest	Beschäft. Handel	Beschäft. Verk./Nachr.	Beschäft. Tert.-Rest
1	IV	0,680	0,000	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680
1	WF	0,270	0,000	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270
1	ÖV	0,050	0,000	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
2	IV	0,680	0,000	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680
2	WF	0,270	0,000	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270
2	ÖV	0,050	0,000	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
3	IV	0,620	0,000	0,620	0,620	0,620	0,620	0,620	0,620
3	WF	0,330	0,000	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330
3	ÖV	0,050	0,000	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
4	IV	0,830	0,000	0,830	0,830	0,830	0,830	0,830	0,830
4	WF	0,150	0,000	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
4	ÖV	0,020	0,000	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
5	IV	0,880	0,000	0,880	0,880	0,880	0,880	0,880	0,880
5	WF	0,100	0,000	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
5	ÖV	0,020	0,000	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
IV = IV-Gebunden WF = Wahlfrei ÖV = ÖV-Gebunden									

Tabelle 14: Bindungsraten an die drei Verkehrsmittelwahlsituationen für die Stoppotenziale im Personenwirtschaftsverkehr

Somit kann das im Personenwirtschaftsverkehr generierte Verkehrsaufkommen des Untersuchungsraumes wie folgt bestimmt werden:

$$VA_Q = \sum_{Vz=1}^n \sum_{Vm=1}^3 \sum_{Vk=1}^5 \sum_{Stm=1}^8 (X_{(Vz,Stm)} * ER_{Q(Vk,Stm)} * BR_{Q(Vm,Vk,Stm)} * NF_{(Vz,Vk)})$$

$$VA_Z = \sum_{Vz=1}^n \sum_{Vm=1}^3 \left( \sum_{Vk=1}^5 \sum_{Stm=1}^8 (X_{(Vz,Stm)} * ER_{Z(Vk,Stm)} * BR_{Z(Vm,Vk,Stm)} * NF_{(Vz,Vk)}) + Y_{FZBau(Vz,Vm)} \right)$$

$X_{(Vz,Stm)}$  = Größe des Strukturmerkmals (Stm) in der Verkehrszelle (Vz)

$ER_{Q(Vm,Vk,Stm)}$  = Erzeugungsrate in Abhängigkeit vom Verkehrsmittel, des Verkehrszwecks und des Strukturmerkmals

$BR_{Q(Vm,Vk,Stm)}$  = Bindungsrate Verkehrsmittel in Abhängigkeit vom Verkehrsmittel (Vm), des Verkehrszwecks und des Strukturmerkmals

$NF_{(Vz,Stm)}$  = Nutzungsfaktor in der Verkehrszelle (Vz) durch das Strukturmerkmal (Stm) in Abhängigkeit vom Verkehrszweck

$Y_{FZBau(Vz,Vm)}$  = Stoppotentiale aus Flächenpotentialen für den Verkehrszweck "Bau" in der Verkehrszelle (Vz) in Abhängigkeit vom Verkehrsmittel (Vm)

VA = Verkehrsaufkommen

Vz = Verkehrszelle

Vm = Verkehrsmittel

Vk = Verkehrszweck

Stm = Strukturmerkmal

Q = Startpotenziale (Aktivseite)

Z = Stopppotentiale (Passivseite)

Somit werden die Start- und Stopppotentiale je Verkehrszelle nach insgesamt 15 Kombinationen aus Verkehrszweck und Verkehrsmittelwahlsituation differenziert.

### 7.1.2 Verteilung

In dem sich an die Verkehrserzeugung anschließenden Arbeitsschritt der Verkehrsverteilung werden die berechneten Quellverkehrsaufkommen der einzelnen Verkehrszellen auf Ziele in Abhängigkeit von den berechneten Zielverkehrsaufkommenswerten und den zwischen den Verkehrszellen vorhandenen Netzwideständen im Straßennetz und öffentlichen Liniennetz ver-

teilt. Die Durchführung dieser Arbeiten erfolgt unter Ansatz eines Gravitationsmodells, wobei die Verteilungsrechnungen differenziert nach

- 5 Verkehrszwecken und
- 3 Verkehrsmittelwahlsituationen  
(ÖV-Gebundenheit, IV-Gebundenheit, Wahlfreiheit)

durchgeführt werden. Hieraus ergeben sich insgesamt  $5 \times 3 = 15$  Verteilungsrechnungen, die in Form von Matrizen festgehalten werden.

Der allgemeine Ansatz für das Gravitationsmodell lautet :

$$F_{ij,t,(Vm,Vk)} = k \times Q_{i,t,(Vm,Vk)} \times Z_{j,t,(Vm,Vk)} \times \frac{1}{f(w_{i,j})_{(Vm,Vk)}}$$

Hierin bedeuten :

$F_{ij,t,(Vm,Vk)}$  = Fahrten von i nach j im Zeitausschnitt t für einen Verkehrszweck Vk in einer bestimmten Verkehrsmittelwahlsituation Vm (IV-/ ÖV-gebunden oder wahlfrei)

$k$  = Gravitationsfaktor, der aus den Randbedingungen

$$Q_i = \sum_j F_{ij} \text{ und}$$

$$Z_j = \sum_i F_{ij} \text{ bestimmt wird.}$$

$\frac{1}{f(w_{i,j})_{(Vm,Vk)}}$  = Attraktionsfunktion ( reziproke Widerstandsfunktion ), die abhängig vom Verkehrszweck Vk und von der Verkehrsmittelwahlsituation Vm ist.

Die Festlegung der nach Verkehrszwecken und Verkehrsmittelwahlsituationen differenzierten Attraktionsfunktion (Gravitationskurven) erfolgt auf der Grundlage von Reiseweitenverteilungen, die aus Erhebungsmaterial abgeleitet werden können. Dabei ist darauf zu achten, dass bei der Auswertung von Touren nicht die Fahrten zwischen den einzelnen Stopps ausgewertet werden, sondern die Entfernungen zwischen dem Startpunkt der Tour und den einzelnen Stopppunkten.

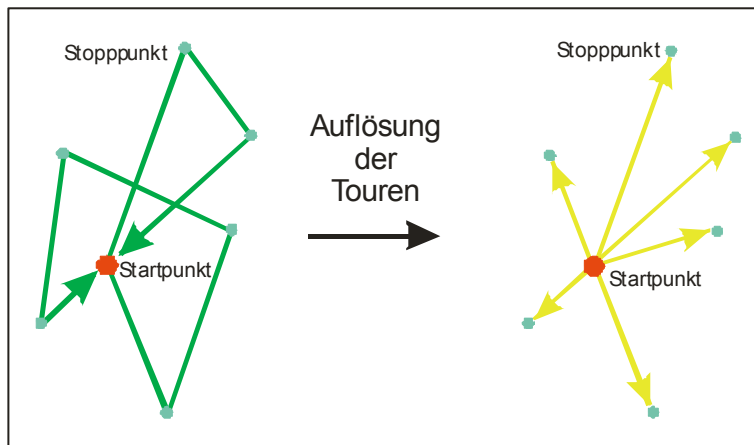


Abbildung 7: Prinzipskizze zur Auflösung der Touren in Start-Stopp-Beziehungen

Da die Verteilungsrechnung auf der Reisezeit basiert, sind Reiseweitenverteilungen hier nur als Kontrollgröße des Ergebnisses nutzbar. Direkte Reisezeitangaben können für die Startpunkt-Stoppunkt-Beziehung nicht erhoben werden.

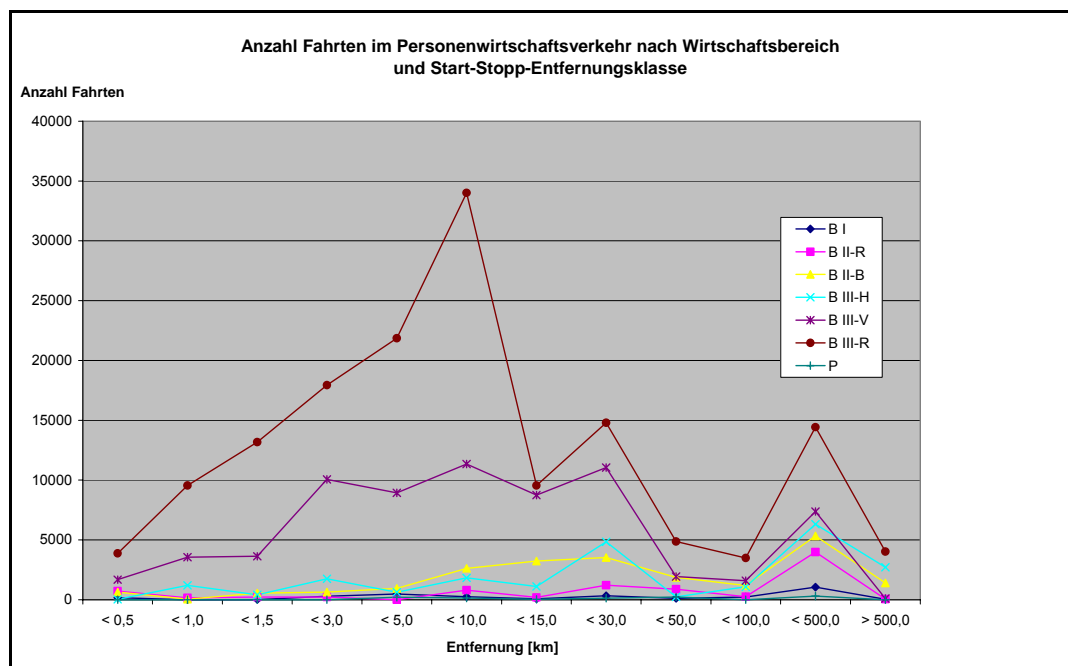




Abbildung 8: Verteilung der Entfernungen zwischen dem Tourenaussgangspunkt und den Stopppunkten für den Personenwirtschaftsverkehr differenziert nach Wirtschaftszweigen (Quelle: KID)

Als Datenquellen für Kontrollkurven (Weitenverteilung) im Reisezweck „Geschäft“ des Personenverkehrs wurden hier neben den Daten aus KID für den Pkw-Verkehr auch Ergebnisse aus bestehenden Modellansätzen der im Rahmen dieses Forschungsprojektes betrachteten Modellstädte (Bonn, Bremen und Dortmund) sowie Tabellenwerke von MID herangezogen.

Im Rahmen der Verteilungsrechnungen für die verschiedenen Verkehrsmittelwahlsituationen werden die jeweils maßgebenden Widerstände berücksichtigt. Das bedeutet, bei den Verteilungsrechnungen für die ÖV-Gebundenen fließen die Widerstände des Angebotes im öffentlichen Linienverkehr in die Berechnungen ein. Bei den IV-Gebundenen werden entsprechend die Widerstände innerhalb des Straßennetzes berücksichtigt. Bei den Wahlfreien erfolgt die Verkehrsverteilung auf der Basis eines gemischten Widerstandsansatzes. Dieser wird aus den Widerständen des IV und des ÖV analog zu dem Nachfrageverhältnis zwischen IV und ÖV bestimmt. Dazu ist im Modellsystem die Vorgabe eines Gewichtungsfaktors vorgesehen. Vorbesetzt wird hier das Verhältnis, 93 % MIV zu 7 % ÖV, da es sich schon in den bisherigen Berechnungen zum Reisezweck „Geschäft“ der Personenverkehrsmodellierung bewährt hat.

Die benötigten Widerstände von der Zelle  $i$  zur Zelle  $j$  ( $w_{ij}$ ) werden im Allgemeinen mit den Modellsystemen zur Belastungsermittlung in Verkehrsnetzen bestimmt. Dazu sind dementsprechend Verkehrsnetze für den Straßenverkehr, aber auch für den öffentlichen Linienverkehr erforderlich. Die Art der für die Widerstandsermittlung eingesetzten Modellsysteme ist dabei unerheblich. An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, dass je nachdem, ob nur Zeitwiderstände oder auch weitere Widerstandsfaktoren (wie z. B. Kosten) in die für die Gravitationsrechnung genutzten Widerstandsmatrizen eingehen, die Gravitationsgewichtungskurven entsprechend anzupassen sind. Die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Modellrechnungen für die Modellstädte wurden auf der Basis von reinen Zeitwiderständen durchgeführt. Dementsprechend sind darauf auch die dem Programmsystem beigefügten Gravitationsgewichtungskurven abgestimmt.

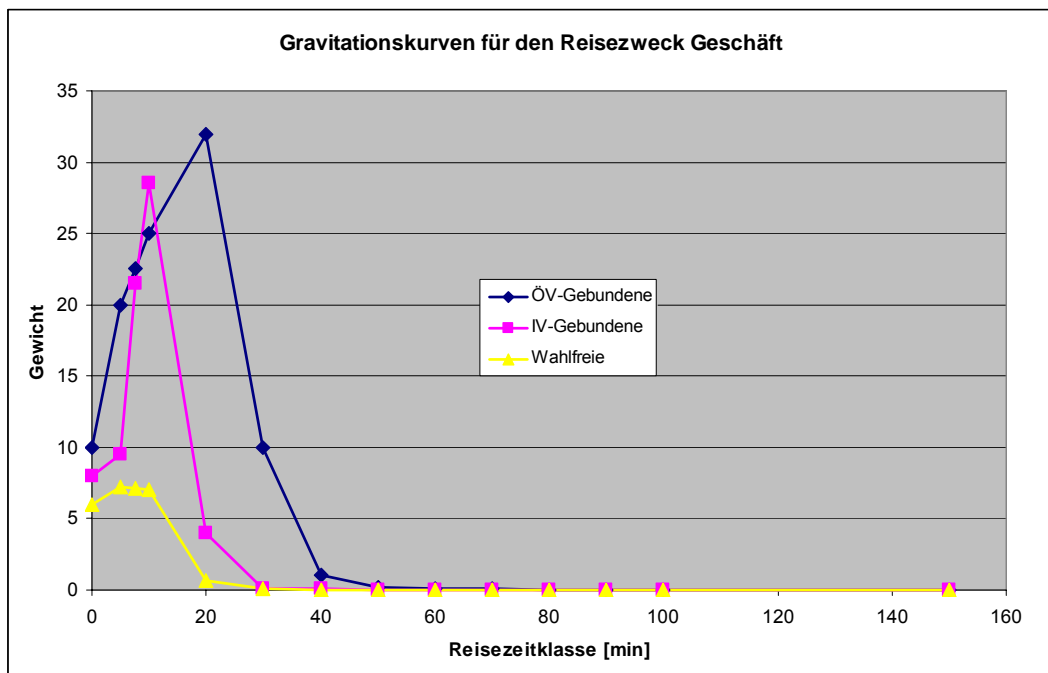


Abbildung 9: Beispielhafte Darstellung der Gravitationsgewichtungskurven für den Personenwirtschaftsverkehr (Quelle: Integrative Verkehrsplanung Bremen)

Sofern kein ÖV-Netzmodell zur Verfügung steht, ist eine Verteilungsrechnung nur auf Basis der IV-Widerstandsmatrizen möglich. Da ohne Netzmodell auch keine weiterführenden Arbeiten (wie z. B. Belastungsermittlungen) durchgeführt werden, dient die Verteilungsrechnung in diesem Fall lediglich der Verteilung der IV-Gebundenen und der Wahlfreien. Für diese wird im nachfolgenden Arbeitsschritt eine vereinfachte Modal-Split-Betrachtung (siehe Kapitel 7.1.3.2) durchgeführt, so dass die Nachfrage für den Straßenverkehr vollständig abgeleitet werden kann.

Um spezielle Barrieren (z. B. Landesgrenzen), die zwar im Netzsystem kaum auffallen, jedoch aufgrund rechtlicher oder psychologischer Widerstände durchaus präsent sind, abbilden zu können, ist die Bildung von Verkehrszellenbereichen möglich.

Das Ziel dieser Einteilung der Verkehrszellen in Bereiche ist es, die Verteilung der Verkehrsbeziehungen zwischen diesen Bereichen zu verstärken o-

der abzuschwächen. Hierzu kann eine Faktorenliste definiert werden, in der für jede Relation zwischen Bereichen ein Faktor vorgegeben wird. Faktoren kleiner 1 verringern den Reisezeitwiderstand und erhöhen damit die Bedeutung dieser Relation. Damit wird eine Zunahme der Fahrten auf dieser Relation bei gleichzeitiger Schwächung der übrigen Fahrten von/zu anderen Bereichen bewirkt. Umgekehrt dazu bewirken Faktoren größer 1 für eine bestimmte Relation eine entsprechende Erhöhung des Reisezeitwiderstandes und damit eine Abnahme der Bedeutung dieser Relation. In der Folge nehmen die Fahrten auf dieser Relation ab, bei gleichzeitigem Anstieg der Fahrten von/zu anderen Bereichen.

### **7.1.3 Verkehrsmittelwahl – Modal-Split**

Wie schon im Rahmen der Beschreibung des vorangegangenen Arbeitsschrittes erwähnt, ist das für die Anwendung bestimmte Modellsystem darauf ausgelegt, auch die Verkehrsmittelwahl (IV/ÖV) im Personenwirtschaftsverkehr zu berücksichtigen. Die Praxis zeigt jedoch, dass nicht grundsätzlich davon ausgegangen werden kann, dass ein ÖV-Netzmodell zur Verfügung steht.

Um nun auch unter der Voraussetzung, dass kein ÖV-Netzmodell zur Verfügung steht, eine zumindest überschlägliche Berücksichtigung der Modal-Split-Berechnung zu ermöglichen, wurde ein alternatives Verfahren in den Modellablauf eingearbeitet.

Im Folgenden wird nun zuerst die Bestimmung des ÖV-Anteils unter Nutzung eines ÖV-Netzmodells beschrieben. Danach erfolgt die Beschreibung der Veränderung bei der alternativen Vorgehensweise.

#### **7.1.3.1 Bestimmung des ÖV-Anteils unter Nutzung eines ÖV-Netzmodells**

Die Berechnungen zur Verkehrsmittelwahl im Rahmen der Nachfrageermittlungen für den Personenwirtschaftsverkehr erfolgen auf der Basis eines kombinierten Modal-Split-Verfahrens. Dieses – auch bei den Modellen zur Bestimmung der Personenverkehrsnachfrage gebräuchliche – Verfahren stellt eine Kombination aus dem Trip-End-Modal-Split und dem Trip-Interchange-Modal-Split dar, bei dem der Verkehrsmittelbezug für Personen ohne objektive oder subjektive Entscheidungsmöglichkeit bereits in der Aufkommensbe-

rechnung und für Personen mit Entscheidungsmöglichkeit nach der Verteilungsrechnung vorgenommen wird. Dieser **Modal-Split I** wird auch hier bereits durch die Bindungsraten schon in der Verkehrsaufkommensberechnung berücksichtigt (siehe Kapitel 7.1.1).

Dieses Verfahren bezieht also die unterschiedlichen Situationen der Personen im Hinblick auf die Gebundenheit an das eine oder andere Verkehrsmittel oder auf die vorhandene Wahlfreiheit mit ein. Hierbei wird berücksichtigt, dass der Entscheidungsraum häufig aufgrund bestimmter Zwänge so eingengt ist, dass eine freie Entscheidung nur in einem Teil aller Fälle möglich ist. Der Rest der Verkehrsteilnehmer ist auf die Benutzung eines bestimmten Verkehrsmittels (z. B. Pkw, öffentlicher Linienverkehr) festgelegt.

Im Falle der Gebundenheit an individuelle und öffentliche Verkehrsmittel kann somit eine direkte Zuweisung zu den Verkehrsmitteln erfolgen, während bei den sog. "Wahlfreien" eine Zuweisung zu dem einen oder anderen Verkehrsmittel aufgrund eines Vergleichs der Verkehrsmittelmerkmale erfolgen muss.

Da die Entscheidungen von einzelnen Personen aufgrund ihrer Einschätzung getroffen werden und sich Einschätzungen der Personen je nach Verkehrszweck signifikant unterscheiden, wird im Rahmen der hier behandelten Simulation die **Modal-Split-Stufe II**, in der die Simulation des Verkehrsverhaltens der Wahlfreien erfolgt, ebenfalls differenziert nach den fünf Verkehrszwecken durchgeführt. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Personen bezüglich eines Verkehrszweckes in bestimmten Entscheidungssituationen ein ähnliches Verhalten bei der Verkehrsmittelwahl zeigen und spezifische Bewertungen der Angebotssituation (Nutzenmaximierung) vornehmen. Die Nutzenzuordnung ist allerdings nicht einheitlich, sondern schwankt mehr oder minder um einen Mittelwert.

Die Berücksichtigung spezieller Verhaltensweisen im Verkehrsverhalten und die Abweichungen (Schwankungen) der einzelnen Personen vom mittleren Gruppenverhalten können im Rahmen eines Probit-Modells erfasst werden. Ein solcher Modellansatz findet in modifizierter Form auch Eingang in die hier beschriebene Nachfrageermittlung. Aus Gründen der Operationalität wird hierbei jedoch auf die Einbeziehung von wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansätzen über die unterschiedlichen Annahmewahrscheinlichkeiten einzelner Personen verzichtet. Anstelle unterschiedlicher (normalverteilter) Annahme-

wahrscheinlichkeiten für Einzelpersonen wird auf den Mittelwert des jeweiligen Verkehrszweckes zurückgegriffen.

Diese beschriebene Systematik ist schon in den bestehen Modellen für den Personenverkehr mehrfach erprobt und lange Zeit im Einsatz. Daher wurden hier keine neuen Auswertungen und Untersuchungen durchgeführt, sondern auf die existierenden Daten der betrachteten Modellstädte zurückgegriffen. Aus diesen Erfahrungen abgeleitete Abhängigkeiten für verschiedene Reisezwecke (auch des privaten Personenverkehrs) sind in Abbildung 10 exemplarisch für einige der insgesamt 20 zur Auswahl stehenden Kurven dargestellt. Interessant für die Anwendung im Rahmen des Personenwirtschaftsverkehrs ist die Kurve für den Reiszweck „Geschäft“.

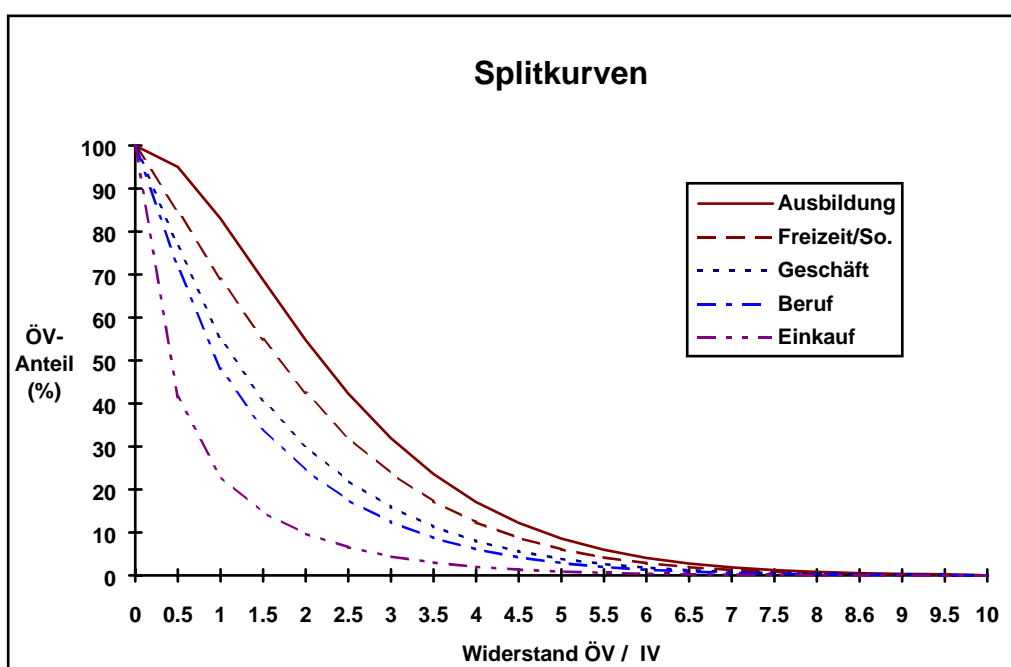


Abbildung 10: Benutzungswahrscheinlichkeit des ÖPNV durch die Wahlfreien in Abhängigkeit von den verschiedenen privaten Reisezwecken und dem Personenwirtschaftsverkehr (Geschäft)

Differenzierte Ansätze für die einzelnen Verkehrszwecke im Personenwirtschaftsverkehr sind aus den vorliegenden Daten der Modellstädte bzw. KID und MID jedoch nicht ableitbar, so dass auch eine differenzierte Angabe für

die fünf Verkehrszwecke zurzeit nicht möglich ist. In dem erstellten Programmsystem ist jedoch die Möglichkeit gegeben, für jeden der Verkehrszwecke eine eigene „Splitkurve“ auszuwählen und zu definieren.

Die Abbildung 10 verdeutlicht, dass die Benutzung des ÖPNV durch die Wahlfreien von den Widerständen im Straßennetz und öffentlichen Liniennetz bestimmt wird<sup>27</sup>. Diese Widerstände werden als Fahrzeiten angegeben und setzen sich folgendermaßen zusammen:

für den Individualverkehr :

$$t_{ij,IV} = t_{Z,IV} + t_{F,IV} + t_{A,IV}$$

mit

$t_{Z,IV}$	Zugangszeit zum Pkw
$t_{F,IV}$	Fahrzeit mit dem Pkw vom Start- bis zum Zielpunkt
$t_{A,IV}$	Abgangszeit einschließlich Parksuchzeit

für den öffentlichen Verkehr :

$$t_{ij,\ddot{O}V} = t_{Z,\ddot{O}V} + t_{W,\ddot{O}V} + t_{F,\ddot{O}V} + t_{U,\ddot{O}V} + t_{A,\ddot{O}V}$$

mit

$t_{Z,\ddot{O}V}$	Zugangszeit zur Haltestelle
$t_{W,\ddot{O}V}$	Wartezeit, in der Regel 1/2 Zugfolgezeit, max. 10 Minuten
$t_{F,\ddot{O}V}$	reine Fahrzeit mit öffentlichem Verkehrsmittel
$t_{U,\ddot{O}V}$	Umsteigezeit (wenn notwendig) = 1/2 Zugfolgezeit, max. 20 Minuten
$t_{A,\ddot{O}V}$	Abgangszeit von der Haltestelle bis zum Ziel

Die Parksuchzeiten für den Individualverkehr sind abhängig von der Lage der Zielzelle im Raum. So ist z. B. in Kernbereichen in Einzelfällen mit Zeitzuschlägen von mehreren Minuten zu rechnen, wohingegen in Gewerbebereichen in Randlage keine Zeitzuschläge notwendig sind. Für die Anwendung im Programmsystem bedeutet dies, dass dieser Parameter für jeden Untersuchungsraum zellspezifisch eingeschätzt werden muss.

---

<sup>27</sup> Neben dem Reisezeitverhältnis zwischen dem ÖV und dem IV geht auch die absolute ÖV-Reisezeit als Parameter in die Modal-Split-Berechnung ein.

### 7.1.3.2 Bestimmung des ÖV-Anteils unter Nutzung eines Alternativverfahrens ohne ÖV-Netzmodell

Um die Modal-Split-Berechnungen auch ohne ÖV-Netzmodell durchführen zu können, muss entweder eine ÖV-Widerstandsmatrix (z. B. mittels Auskunftssystem) erzeugt werden, die als Ersatz dienen kann, oder es wird ein vereinfachter Ansatz zur Bestimmung des ÖV-Anteils direkt aus der Grobstruktur des ÖV-Netzes im Raum zur Anwendung gebracht.

Da die Herstellung einer Ersatz-ÖV-Widerstandsmatrix hinsichtlich des Aufwandes dem Aufbau eines einfachen neuen ÖV-Netzmodells gleichkommt, wird hier der Ansatz unter Nutzung der Grobstruktur des ÖV-Netzes im Raum weiter verfolgt. Dieser Ansatz erlaubt zwar nur eine grobe Abstufung, diese ist jedoch angepasst an die Raumstruktur.

Das verwendete Verfahren wird im Folgenden schrittweise beschrieben. Zur Verdeutlichung dient beispielhaft die Raumstruktur der Stadt Bremen, dargestellt in Abbildung 11.

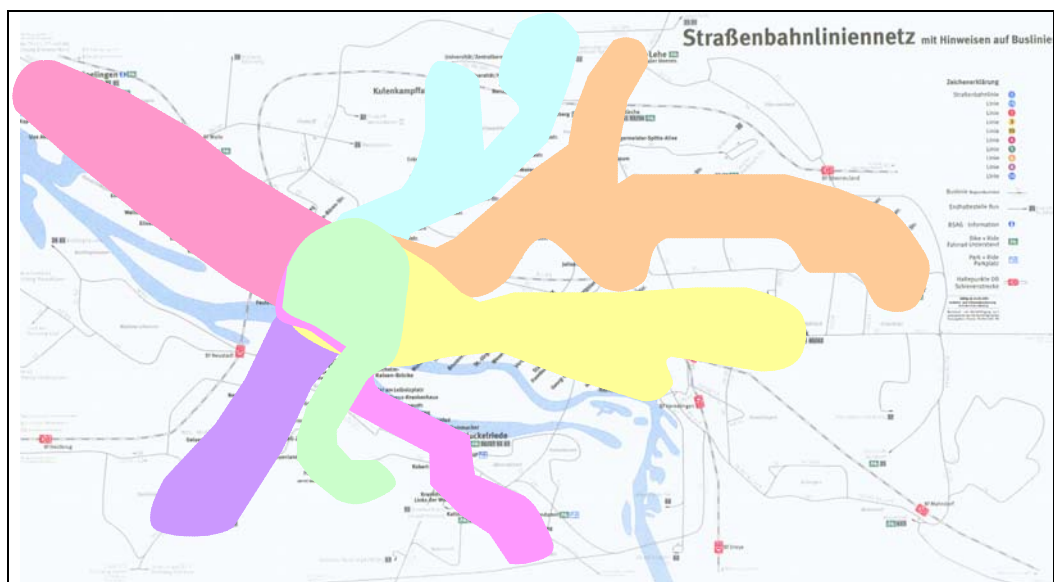


Abbildung 11: Definition von ÖV-Korridoren am Beispiel Bremen

1. Identifizieren der Hauptachsen der ÖV-Systems  
(Festlegung von bis zu 20 Achsen möglich)

2. Bildung von Erschließungskorridoren und Zuordnen der im Korridor befindlichen Verkehrszellen zu den Achsen (über die Benutzeroberfläche des Modells)
3. Festsetzen der anzusetzenden ÖV-Anteile:
  - innerhalb der Achsen,
  - zwischen den Achsen (von einer Achse zur anderen)
  - außerhalb der Achsen
4. Durchführung der Berechnung  
Dabei bestimmt das Programm im Rahmen der Vorgaben nun den Modal-Split für jede einzelne Relation, die sich zwischen den Verkehrszellen ergibt.

#### **7.1.4 Tourengenerierung**

Nach der Verknüpfung der Start- und Stopppotenziale sowie der Aufteilung der Wahlfreien auf den öffentlichen bzw. den individuellen Verkehr werden die für den Straßenverkehr entstandenen Verbindungen vom bisher genutzten Personenfahrten-Bezug (Personen/Tag) auf den Kfz-Fahrten-Bezug umgerechnet. Die Umrechnung erfolgt unter Ansatz eines Besetzungsgrades (Personen/Kfz), der differenziert nach Verkehrszwecken angesetzt wird (vgl. Tabelle 15). Die Grundlage für den Besetzungsgrad liefert die Auswertung von KID nach Wirtschaftszweigen (vgl. Abbildung 12). Der hierin enthaltene hohe Besetzungsgrad für den Wirtschaftszweig Verkehr/Nachrichten kommt durch die Einbeziehung von Busreisen zu Stande. Dieser Effekt wird für die weiteren Betrachtungen bereinigt.



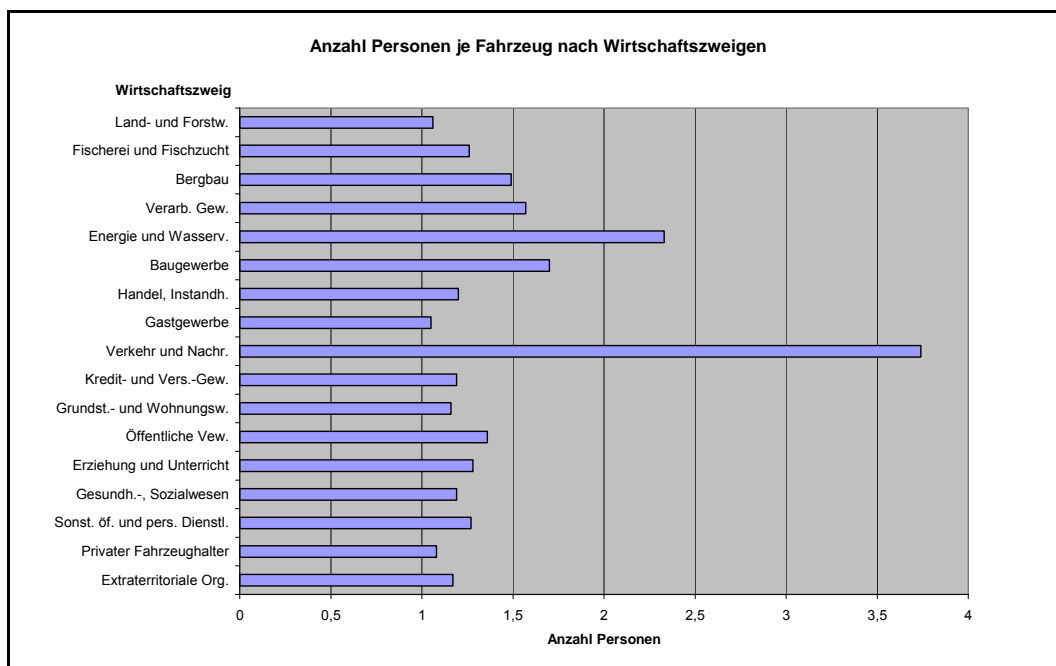


Abbildung 12: Besetzungsgrad (Personen je Kfz) differenziert nach Wirtschaftszweigen im Personenwirtschaftsverkehr (Quelle: KID)

Verkehrszweck	Kfz-Besetzungsgrad
1: Produktion – Produktion	1,5
2: Produktion – Verbraucher, Handel und Transportgewerbe	1,6
3: Handel- und Dienstleistung – Verbraucher, Handel und Transportgewerbe	1,2
4: Transportgewerbe – Verbraucher und Handel	1,2
5: Bau-/Ausbaugewerbe – Verbraucher und Baustellen	1,7

Tabelle 15: Besetzungsgrad (Personen je Kfz) für die Verkehrszwecke im Personenwirtschaftsverkehr

Diese dann auf Kfz bezogenen Verknüpfungen der Start- und Stopppotenziale werden im Folgenden zu Touren zusammengefasst.

Die Tourengenerierung erfolgt in Abhängigkeit von den spezifischen Tourenparametern (Anzahl der Stopps, Fahrtweitenverteilung und Fahrtzeitenbudget), die je Verkehrszweck definiert werden.

## Die Parameter

- Zeitbudget je Tour,
- (durchschnittliche) Aufenthaltszeit je Stopp und
- Stoppzahl je Tour

dienen als Bestimmungsgrößen bei der Tourengenerierung. Dabei ist das Zeitbudget ebenso wie die maximale Stoppzahl je Tour ein Abbruchkriterium bei der Tourenbildung. Die Aufenthaltszeit je Stopp dient der Berechnung der jeweils nach einem Stopp erreichten Dauer der Tour, die sich aus den Fahrzeiten zu den Stopppunkten und den Aufenthaltszeiten an den Stopppunkten zusammensetzt. Abbildung 13 zeigt eine entsprechende Auswertung von KID. Im Rahmen der Modellanwendung werden mittlere Aufenthaltszeiten je Stopp angesetzt (vgl. auch Tabelle 16).

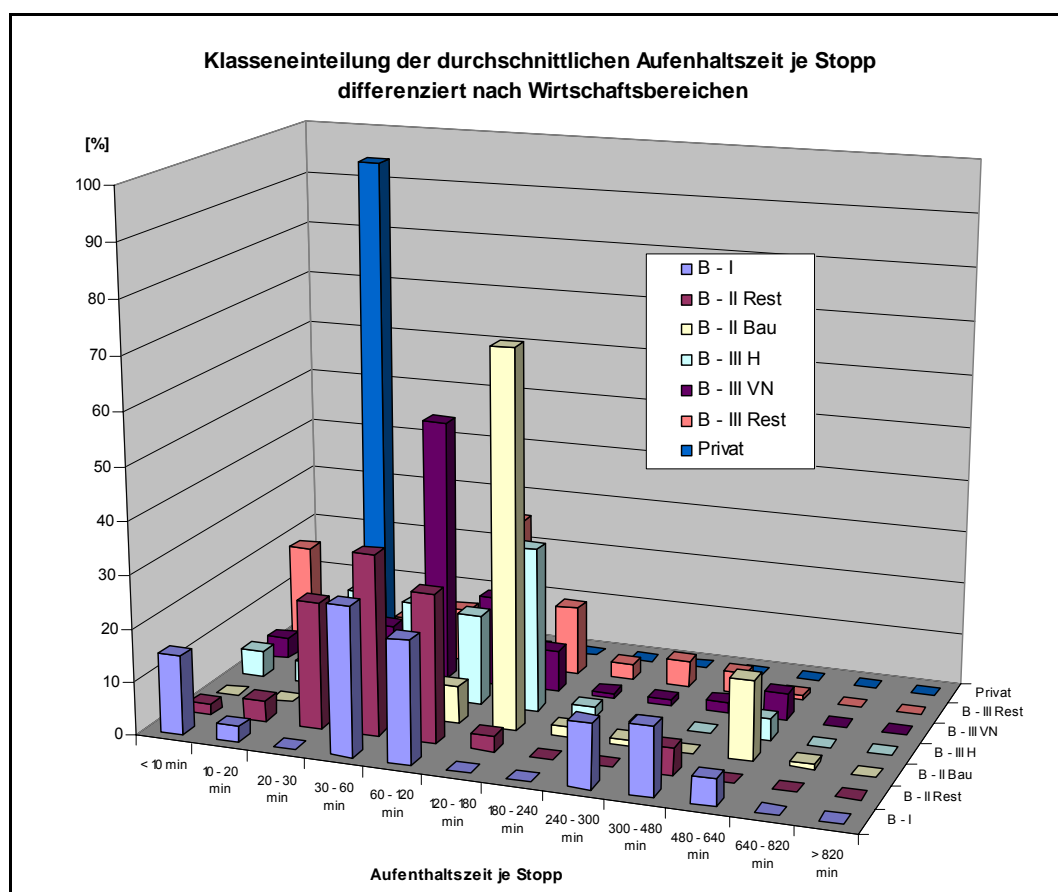


Abbildung 13: Normierte Häufigkeitsverteilung (Klasseneinteilung) der durchschnittlichen Aufenthaltszeit je Stopp im Personenwirtschaftsverkehr differenziert nach Wirtschaftsbereichen (Quelle: KID)

<b>Wirtschaftsbereich</b>	<b>Durchschnittliche Aufenthaltszeit je Stopp</b>
Primärer Sektor	148,7 min
Bau	214,7 min
Restl. Sekundärer Sektor	71,7 min
Handel	100,6 min
Verkehr und Nachrichten	95,0 min
Restl. Tertiärer Sektor	98,7 min
Privat	15,7 min

Tabelle 16: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten bei Stopps innerhalb einer Tour im Personenwirtschaftsverkehr (Quelle: KID)

Die Tourengenerierung erfolgt im Personenwirtschaftsverkehr differenziert nach den fünf Verkehrszwecken bezogen auf die Fahrzeugart Pkw. Somit ergeben sich 5 Tourensätze, für die die entsprechenden Parameter/Randbedingungen zu bestimmen sind. Hierzu sind in den vorliegenden Datenbasen keine direkt nutzbaren Angaben differenziert nach den Verkehrszwecken enthalten. Die Differenzierung nach Wirtschaftszweigen erlaubt jedoch eine Koppelung der Erhebungsergebnisse mit den Modellparametern.

Weiterhin ermöglichen die Auswertungen von KID sowie die Betriebsbefragungen für Bremen und Düsseldorf Vergleiche, inwiefern die Ergebnisse der modellmäßigen Tourengenerierung mit Kennziffern der Erhebungen übereinstimmen. Dies geschieht jedoch i. A. auf einer über die Verkehrszwecke aggregierten Basis.

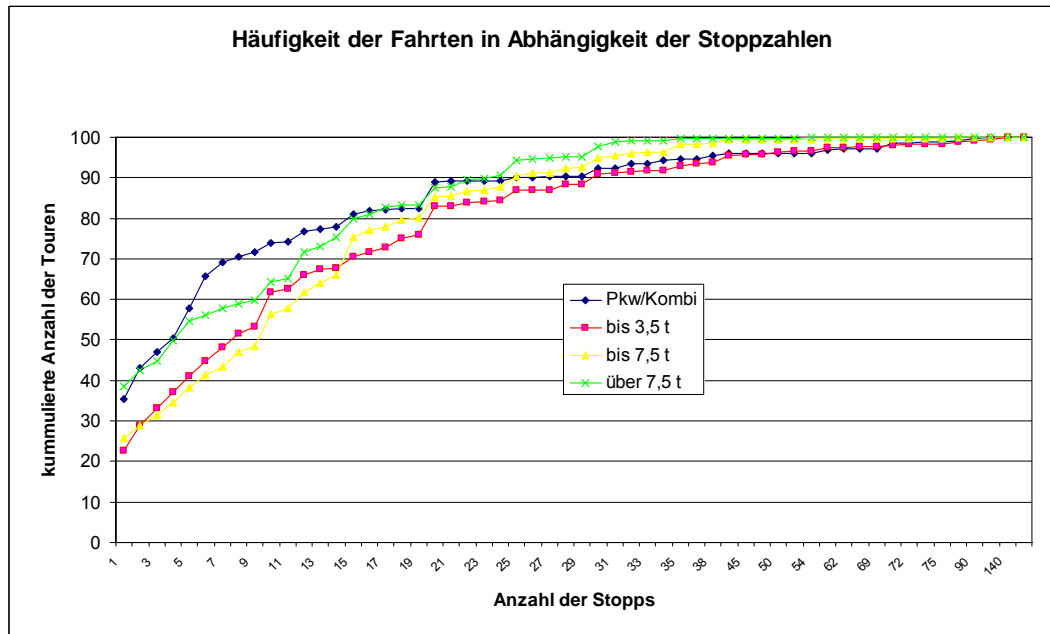


Abbildung 14: Häufigkeit der Fahrten in Abhängigkeit von den Stoppzahlen  
(Quelle: Institut für Seeverkehr und Logistik (ISL) der Universität Bremen)

Für die Tourenbildung wird das Savingsmodell in Ansatz gebracht. Für die berechneten Relationen  $k \rightarrow i$  und  $k \rightarrow j$  wird die Ersparnis der direkten Fahrt von  $i$  nach  $j$  ins Verhältnis zur Rückfahrt von  $i$  nach  $k$  plus der erneuten Hinfahrt von  $k$  nach  $j$  gesetzt. (Eine entsprechende Geometrie zeigt die Abbildung 15).

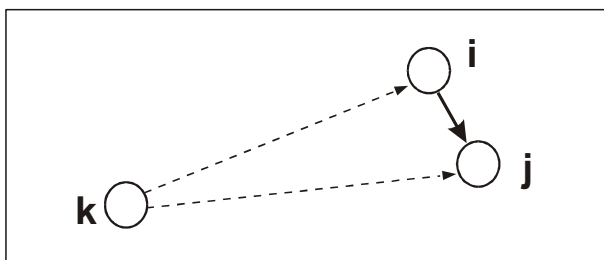


Abbildung 15: Prinzipskizze „Savingsmodell“

Dazu wird die Savingsfunktion

$$Sav = \frac{dist(i,k) + dist(k,j) - dist(i,j)}{dist(i,k) + dist(k,j)}$$

definiert. Sie liefert stets Werte zwischen 0 und 1. Ein hoher Wert bedeutet einen hohen Einsparungseffekt durch die Verknüpfung der beiden Ziele.

Die entstandenen Tourensätze bieten zwar Einsparungen gegenüber den Direktfahrten, sind jedoch noch nicht optimiert. Dies wird aber auch in der Realität sehr unterschiedlich gehandhabt. Einige Wirtschaftszweige, insbesondere im Verteilverkehr, optimieren ihre Touren immer mehr, wohingegen andere Firmen kaum Optimierungen vornehmen, es möglicherweise auch aus betriebstechnischen Gründen (z. B. wegen terminlicher Bindungen bei bestimmten Kunden) nicht können.

Das hier erstellte Programmsystem bietet eine Nachoptimierung der Touren an, die je nach Wirtschaftszweig und Fahrzeugart (im Personenwirtschaftsverkehr nur Pkw) mehr oder weniger stark eingestellt werden kann. Bei der Nachoptimierung der Touren wird die Reihenfolge der angefahrenen Stoppunkte verändert und anhand des neu berechneten Savingsniveaus bestimmt, ob eine Verbesserung eingetreten ist.

## **7.2 Lkw-/Güterverkehr**

### **7.2.1 Verkehrsaufkommen**

Die Bestimmung des Verkehrsaufkommens für den Lkw-Güterverkehr erfolgt, wie im Personenwirtschaftsverkehr, mit einem Strukturklassenansatz, bei dem auf der Aktivseite Strukturen, die die Fahrten tatsächlich durchführen und auf der Passivseite die Strukturen, die das Ziel der Fahrten darstellen, angesetzt werden.

Hierbei werden die gleichen Strukturgrößen je Verkehrszelle wie im Personenwirtschaftsverkehr genutzt. Durch die Variation der Erzeugungsraten ergeben sie hier jedoch gänzlich andere Gewichte als im Personenwirtschaftsverkehr.

- Einwohner

Die Einwohner spielen auf der Aktivseite nur eine untergeordnete Rolle.

Lediglich bei den privaten Lkw-Fahrten<sup>28</sup> sind Sie auf der Aktivseite von Bedeutung.

Auf der Passivseite sind die Einwohner wie auch schon im Personenwirtschaftsverkehr durchaus bedeutsam.

- Beschäftigte

Die Beschäftigten werden wie beim Personenwirtschaftsverkehr nach den folgenden Wirtschaftszweigen differenziert.

- Landwirtschaft, Bergbau, Energie und Wassergewinnung
- Verarbeitendes Gewerbe
- Bau-/Ausbaugewerbe
- Handel
- Verkehr und Nachrichten
- Restl. Wirtschaftsbereiche (z. B. Dienstleistung, Verwaltung)

- Flächenpotenziale

Entsprechend den Ausführungen zum Personenwirtschaftsverkehr kommen beim Baugewerbe auch hier auf der Passivseite noch zusätzliche Stoppspotenziale zur Berücksichtigung bisher nicht bebauter Flächen hinzu.

Wie in Kapitel 6.4 beschrieben erfolgen die Berechnungen im Lkw-/Güterverkehr für sechs Transportzwecke. Gegenüber den fünf Verkehrszwecken des Personenwirtschaftsverkehrs kommt noch der Transportzweck „Privater Lkw-Verkehr“ hinzu:

- Transportzweck 1: Von Produktionsstandorten zur Produktionsstandorten
- Transportzweck 2: Von Produktionsstandorten zu Verbrauchern, den Handelsstandorten und den Standorten des Transportgewebes

---

<sup>28</sup> Im Grunde ist der private Lkw-Verkehr kein „echter“ Bestandteil des Wirtschaftsverkehrs und wäre somit eher nicht in diesem Modellsystem zu erfassen. Da aber der private Lkw-Verkehr in den Modellen zum Personenverkehr, die für den Straßenverkehr die Komplementärgröße zum Wirtschaftsverkehr liefern, auch nicht erfasst wird, würden diese Fahrten sonst nicht berücksichtigt.

Um diese Lücke zu schließen wurde entschieden, dass das Teilmodell Lkw-/Güterverkehr um einen weiteren Transportzweck – den privaten Lkw-Verkehr – erweitert wird. Somit deckt dieses Teilmodell den gesamten Lkw-/Güterverkehr ab.

- Transportzweck 3: Von Handels- und Dienstleistungsstandorten zu Verbrauchern, dem Handel und den Standorten des Transportgewebes
- Transportzweck 4: Von Standorten der Transportgewerbes/Nachrichtenwesens zu den Verbrauchern und den Handelsstandorten
- Transportzweck 5: Von den Standorten des Bau-/Ausbaugewerbes zu den Verbrauchern sowie zu Baustellen
- Transportzweck 6: Von Einwohnerbereichen zu Verbrauchern (da hier alle Strukturgrößen repräsentiert werden), aber auch zu Handelsstandorten

Wie auch im Personenwirtschaftsverkehr ist zu berücksichtigen, dass die einzelnen Strukturgrößen je nach ihrer Ausrichtung unterschiedlich stark an den Verkehrszwecken teilhaben. Dieser Sachverhalt spiegelt sich im Ansatz der Erzeugungsraten wieder. Ist eine Strukturgröße an einem Verkehrszweck nicht beteiligt, so wird Ihre Erzeugungsrate auf Null gesetzt.

Vorschläge für Erzeugungsraten, wie sie sich im Rahmen der Arbeiten für die drei im Rahmen dieser Studie untersuchten Modellstädte als (im Mittel) sinnvoll herausgestellt haben, sind in der Tabelle 17 für die Startpotenziale im Lkw-/Güterverkehr sowie in der Tabelle 18 für die Stopppotenziale im Lkw-/Güterverkehr zusammengestellt. Auch hier gilt ebenso wie für den Personenwirtschaftsverkehr, dass als Grundlage für die Bestimmung der Erzeugungsraten zum einen die bisherigen Modellansätze sowie zum anderen ergänzende Daten aus Erhebungen herangezogen wurden. Beispiele zur Methodik der Bestimmung von Erzeugungsraten zeigt die Anlage 5.

Wie im Personenwirtschaftsverkehr, so ist auch im Lkw-/Güterverkehr – und gerade dort – davon auszugehen, dass je nach Art und Intensität der Nutzung in den Verkehrszellen merkliche Unterschiede in der Verkehrserzeugung zu verzeichnen sind. Daher werden auch hier Nutzungsfaktoren je Verkehrszelle und Transportzweck in Ansatz gebracht.

Transportzweck	Strukturmerkmal							
	Einw.	Erw.	Beschäft. Prim.	Beschäft. Bau	Beschäft. Sek. Rest	Beschäft. Handel	Beschäft. Verk./Nachr.	Beschäft. Tert.-Rest
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,002	0,000	0,000	0,049	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,139	0,000	0,059
4	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,333	0,000
5	0,000	0,002	0,000	0,220	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 17: Erzeugungsraten für die Startpotenziale im Lkw-/Güterverkehr

Transportzweck	Strukturmerkmal							
	Einw.	Erw.	Beschäft. Prim.	Beschäft. Bau	Beschäft. Sek. Rest	Beschäft. Handel	Beschäft. Verk./Nachr.	Beschäft. Tert.-Rest
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031	0,000	0,000	0,000
2	0,001	0,000	0,001	0,010	0,011	0,021	0,001	0,001
3	0,009	0,000	0,020	0,005	0,029	0,055	0,020	0,020
4	0,014	0,000	0,020	0,002	0,110	0,154	0,020	0,020
5	0,002	0,000	0,005	0,002	0,010	0,010	0,005	0,005
6	0,002	0,000	0,005	0,002	0,010	0,010	0,005	0,005

Tabelle 18: Erzeugungsraten für die Stopppotenziale im Lkw-/Güterverkehr

Im Zusammenhang mit der Ermittlung des Verkehrsaufkommens der Aktiv- und der Passivseite wird – anders als im Personenwirtschaftsverkehr – die Zuordnung hinsichtlich der Fahrzeugbenutzung direkt vorgenommen. Eine Aufteilung auf die unterschiedlichen Fahrzeugarten im Strom erfolgt hier nicht. Der Modellansatz geht dabei davon aus, dass die Beschäftigten an die Benutzung spezieller Verkehrsmittel gebunden sind. Die Gebundenheit an



spezielle Verkehrsmittel hängt dabei von der Tätigkeit, die in gewissem Maße vom Wirtschaftszweig bestimmt wird, sowie von der Verfügbarkeit der Verkehrsmittel ab.

Die verwendete Einteilung der Kfz in Fahrzeugarten ist in Kapitel 6.1.2 beschrieben. Die in den nachfolgenden Tabellen verwendeten Ordnungsnummern entsprechen der folgenden Liste:

- Fahrzeugart 1: Pkw, Kombi, Lieferwagen (Lkw bis 2,8 t Gesamtgewicht),
- Fahrzeugart 2: Transporter (2,8 t bis 3,5 t Gesamtgewicht),
- Fahrzeugart 3: Leichte Lkw (3,5 t bis 7,5 t Gesamtgewicht),
- Fahrzeugart 4: Mittelschwere Lkw (7,5 t bis 12 t Gesamtgewicht),
- Fahrzeugart 5: Schwere Lkw (über 12 t Gesamtgewicht).

Transportzweck	Fahrzeugart	Strukturmerkmal							
		Einw.	Erw.	Beschäft. Prim.	Beschäft. Bau	Beschäft. Sek. Rest	Beschäft. Handel	Beschäft. Verk./Nachr.	Beschäft. Tert.-Rest
1	1	0,000	0,800	0,000	0,000	0,440	0,000	0,000	0,000
1	2	0,000	0,100	0,000	0,000	0,110	0,000	0,000	0,000
1	3	0,000	0,100	0,000	0,000	0,220	0,000	0,000	0,000
1	4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060	0,000	0,000	0,000
1	5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,160	0,000	0,000	0,000
2	1	0,000	0,800	0,000	0,000	0,440	0,000	0,000	0,000
2	2	0,000	0,100	0,000	0,000	0,110	0,000	0,000	0,000
2	3	0,000	0,100	0,000	0,000	0,220	0,000	0,000	0,000
2	4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060	0,000	0,000	0,000
2	5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,160	0,000	0,000	0,000
3	1	0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,460	0,000	0,540
3	2	0,000	0,100	0,000	0,000	0,000	0,100	0,000	0,100
3	3	0,000	0,100	0,000	0,000	0,000	0,230	0,000	0,200
3	4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060	0,000	0,020
3	5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150	0,000	0,140
4	1	0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,000	0,180	0,000
4	2	0,000	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060	0,000
4	3	0,000	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,000
4	4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,080	0,000
4	5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,430	0,000
5	1	0,000	0,800	0,000	0,250	0,000	0,000	0,000	0,000
5	2	0,000	0,100	0,000	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000
5	3	0,000	0,100	0,000	0,250	0,000	0,000	0,000	0,000
5	4	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000
5	5	0,000	0,000	0,000	0,280	0,000	0,000	0,000	0,000
6	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	2	0,290	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	3	0,630	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	4	0,070	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	5	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 19: Bindungsraten an die fünf Fahrzeugarten für die Startpotenziale im Lkw-/Güterverkehr

Transportzweck	Fahrzeugart	Strukturmerkmal							
		Einw.	Erw.	Beschäft. Prim.	Beschäft. Bau	Beschäft. Sek. Rest	Beschäft. Handel	Beschäft. Verk./Nachr.	Beschäft. Tert.-Rest
1	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,350	0,000	0,000	0,000
1	2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,000	0,000	0,000
1	3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,270	0,000	0,000	0,000
1	4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000
1	5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,270	0,000	0,000	0,000
2	1	0,550	0,000	0,460	0,460	0,460	0,460	0,340	0,460
2	2	0,090	0,000	0,090	0,090	0,090	0,090	0,100	0,090
2	3	0,210	0,000	0,220	0,220	0,220	0,220	0,290	0,220
2	4	0,060	0,000	0,060	0,060	0,060	0,060	0,000	0,060
2	5	0,100	0,000	0,170	0,170	0,170	0,170	0,270	0,170
3	1	0,489	0,000	0,538	0,538	0,538	0,538	0,590	0,538
3	2	0,106	0,000	0,092	0,092	0,092	0,092	0,030	0,092
3	3	0,260	0,000	0,190	0,190	0,190	0,190	0,102	0,190
3	4	0,033	0,000	0,032	0,032	0,032	0,032	0,058	0,032
3	5	0,112	0,000	0,147	0,147	0,147	0,147	0,219	0,147
4	1	0,370	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,060	0,140
4	2	0,050	0,000	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070
4	3	0,400	0,000	0,210	0,210	0,210	0,210	0,190	0,210
4	4	0,130	0,000	0,050	0,050	0,050	0,050	0,080	0,050
4	5	0,050	0,000	0,540	0,540	0,540	0,540	0,610	0,540
5	1	0,160	0,000	0,400	0,400	0,400	0,400	0,140	0,400
5	2	0,550	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,060	0,110
5	3	0,220	0,000	0,170	0,170	0,170	0,170	0,210	0,170
5	4	0,000	0,000	0,040	0,040	0,040	0,040	0,000	0,040
5	5	0,060	0,000	0,280	0,280	0,280	0,280	0,580	0,280
6	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	2	0,850	0,000	0,210	0,210	0,210	0,210	0,090	0,210
6	3	0,150	0,000	0,580	0,580	0,580	0,580	0,550	0,580
6	4	0,000	0,000	0,210	0,210	0,210	0,210	0,250	0,210
6	5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,110	0,000

Tabelle 20: Bindungsraten an die fünf Fahrzeugarten für die Stopppotenziale im Lkw-/Güterverkehr

Somit kann das im Lkw-Güterverkehr generierte Verkehrsaufkommen des Untersuchungsraumes wie folgt bestimmt werden:

$$VA_Q = \sum_{Vz=1}^n \sum_{Vm=1}^5 \sum_{Tz=1}^{5+1} \sum_{Stm=1}^8 (X_{(Vz,Stm)} * ER_{Q(Tz,Stm)} * BR_{Q(Vm,Tz,Stm)} * NF_{(Vz,Tz)})$$

$$VA_Z = \sum_{Vz=1}^n \sum_{Vm=1}^5 \sum_{Tz=1}^{5+1} \left( \sum_{Stm=1}^8 (X_{(Vz,Stm)} * ER_{Z(Tz,Stm)} * BR_{Z(Vm,Tz,Stm)} * NF_{(Vz,Tz)}) + Y_{TZBau(Vz,Vm)} \right)$$

$X_{(Vz,Stm)}$  = Größe des Strukturmerkmals (Stm) in der Verkehrszelle (Vz)

$ER_{Q(Vm,Tz,Stm)}$  = Erzeugungsrate in Abhängigkeit vom Verkehrsmittel, des  
Tranzportzwecks und des Strukturmerkmals

$BR_{Q(Vm,Tz,Stm)}$  = Bindungsrate Verkehrsmittel in Abhängigkeit vom Verkehrsmittel (Vm),  
des Tranzportzwecks und des Strukturmerkmals

$NF_{(Vz,Stm)}$  = Nutzungsfaktor in der Verkehrszelle (Vz) durch das  
Strukturmerkmal (Stm) in Abhängigkeit vom Tranzportzweck

$Y_{TZBau(Vz,Vm)}$  = Stopppotentiale aus Flächenpotentialen für den Transportzweck "Bau"  
in der Verkehrszelle (Vz) in Abhängigkeit vom Verkehrsmittel (Vm)

VA = Verkehrsaufkommen

Vz = Verkehrszelle

Vm = Verkehrsmittel (Fahrzeugart)

Tz = Transportzweck

Stm = Strukturmerkmal

Q = Startpotenziale (Aktivseite)

Z = Stopppotentiale (Passivseite)

Insgesamt werden die Start- und Stopppotentiale je Verkehrszelle nach insgesamt 30 Transportzweck-Fahrzeug-Kombinationen differenziert.

### 7.2.2 Verteilung

Die Generierung der Fahrten aus den Verkehrsaufkommenspotenzialen (Start- und Stopppotentiale) im Lkw-/Wirtschaftsverkehr erfolgt analog zum Personenwirtschaftsverkehr jedoch ohne Modal-Split-Berechnungen, also in zwei Schritten. Zunächst werden die nach Transportzweck und Fahrzeugart differenzierten Start- und Stopppotentiale zu räumlich definierten Verkehrs-

beziehungen (sogenannten Relationen) verknüpft. Aus diesen werden dann Touren zusammengestellt (siehe Kapitel 7.2.3).

Die Relationen zwischen den Zellen werden wie im Personenverkehr mittels eines Gravitationsansatzes, der die Widerstände zwischen den betrachteten Zellen und die Konkurrenzsituation zu den anderen Zellen berücksichtigt, ermittelt. Die Verteilungsrechnung erfolgt hierbei getrennt für jede Transportzweck-Fahrzeugart-Kombination unter Berücksichtigung der für die Fahrzeugarten spezifischen Widerstände im Netzsystem. Das bedeutet, dass für jede Fahrzeugart eine eigene Widerstandsmatrix definiert werden kann. Somit können z. B. besondere Restriktionen im Straßennetz, die nur bestimmte Fahrzeugarten treffen (z. B. Gewichtsbeschränkungen), bei der räumlichen Verteilung der Verknüpfungen berücksichtigt werden<sup>29</sup>.

Der allgemeine Ansatz des Gravitationsmodells entspricht also dem Ansatz im Personenwirtschaftsverkehr, wobei anstelle der drei Verkehrsmittelwahlsituationen die fünf Fahrzeugarten berücksichtigt werden. Dementsprechend ergeben sich im Lkw-/Wirtschaftsverkehr insgesamt  $6 \times 5 = 30$  Verteilungsrechnungen, die in Form von Matrizen festgehalten werden.

---

<sup>29</sup> Dies setzt voraus, dass das Verkehrsumlegungsmodell die verschiedenen Fahrzeugarten differenziert umlegen und entsprechend spezifizierte Netzwiderstände hinterlegen kann. Sofern dies nicht der Fall ist und nur eine Widerstandsmatrix für das Straßennetz zur Verfügung steht, wird für alle Fahrzeugarten das gleiche Widerstandsgefüge angesetzt.

Nachstehend ist der Ansatz noch einmal mit den veränderten Bezeichnungen dargelegt:

$$F_{ij,t,a(tz)} = k \times Q_{i,t,a(tz)} \times Z_{j,t,a(tz)} \times \frac{1}{f(w_{i,j})_{a(tz)}}$$

Hierin bedeutet:

$F_{ij,t,a(tz)}$  = Fahrten von i nach j im Zeitausschnitt t für einen Transportzweck tz mit einer bestimmten Fahrzeugart a

$k$  = Gravitationsfaktor, der aus den Randbedingungen

$$Q_i = \sum_j F_{ij} \text{ und}$$

$$Z_j = \sum_i F_{ij} \text{ bestimmt wird.}$$

$\frac{1}{f(w_{i,j})_{a(tz)}}$  = Attraktionsfunktion ( reziproke Widerstandsfunktion ), die abhängig vom Transportzweck tz und von der Fahrzeugart a ist.

Die Festlegung der nach Transportzwecken und Fahrzeugarten differenziierten Attraktionsfunktion (Gravitationsgewichtungskurven) erfolgt auf der Grundlage von Transportweitenverteilungen. Dabei gilt auch hier, dass bei der Auswertung von Touren nicht die Fahrten zwischen den einzelnen Stopps ausgewertet werden, sondern die Entfernungen zwischen dem Startpunkt der Tour und den einzelnen Stopppunkten. Eine entsprechende beispielhafte Verteilung kann der Abbildung 16 entnommen werden.

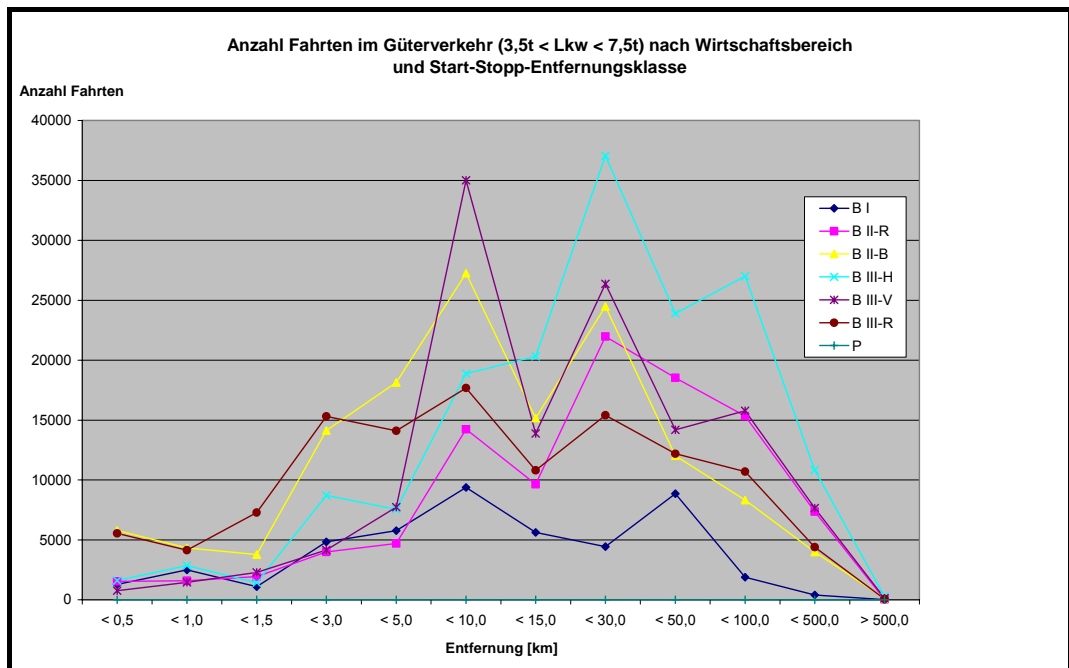


Abbildung 16: Verteilung der Entfernungen zwischen dem Tourenaussgangspunkt und den Stoppunkten für Lkw zwischen 3,5 t und 7,5 t zul. Gesamtgewicht differenziert nach Wirtschaftszweigen

Wie für den Personenwirtschaftsverkehr ist es auch hier vorgesehen, zur Berücksichtigung spezieller Barrieren (z. B. Landesgrenzen) Verkehrszellenbereiche zu bilden. Die Methodik entspricht dem Vorgehen beim Personenwirtschaftsverkehr und kann im Kapitel 7.1.2 nachgelesen werden.

### 7.2.3 Tourengenerierung

Nach der Verknüpfung der Start- und Stopppotenziale sind die entstandenen Verbindungen zu Touren zusammenzufassen. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 17 verdeutlicht.

Wie beim Personenwirtschaftsverkehr erfolgt die Tourengenerierung in Abhängigkeit von den spezifischen Tourenparametern (Anzahl der Stopps, Transportweitenverteilung und Transportzeitenbudget), die je Fahrzeugart und Transportzweck definiert werden.

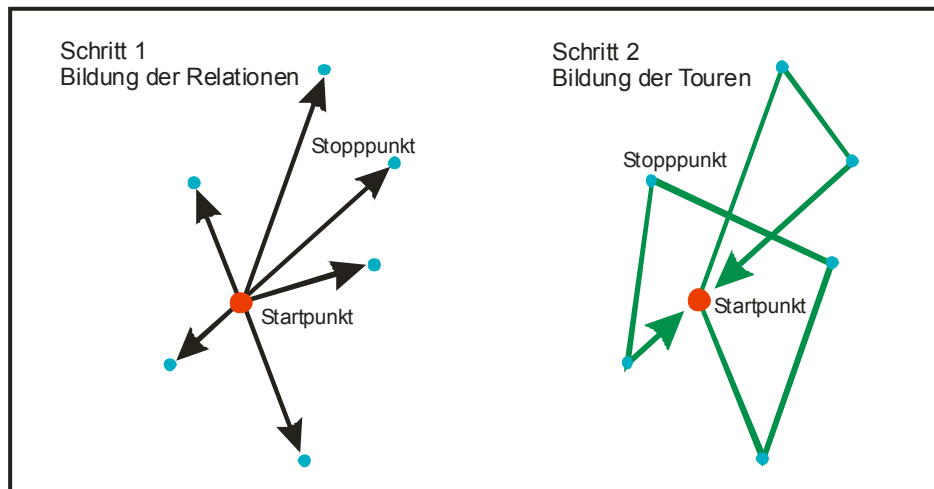


Abbildung 17: Prinzipskizze zum Ablauf der Verkehrsverteilung

#### Die Parameter

- Zeitbudget je Tour,
- Aufenthaltszeiten je Stopp und
- Stoppzahlen je Tour

dienen als Bestimmungsgrößen bei der Tourengenerierung. Dabei ist das Zeitbudget ebenso wie die Stoppzahl je Tour ein Abbruchkriterium bei der Tourenbildung. Die Aufenthaltszeiten je Stopp dienen der Berechnung der jeweils nach einem Stopp erreichten Dauer der Tour, die sich aus den Fahrzeiten zu den Stoppunkten und den Aufenthaltszeiten an den Stoppunkten zusammensetzt.



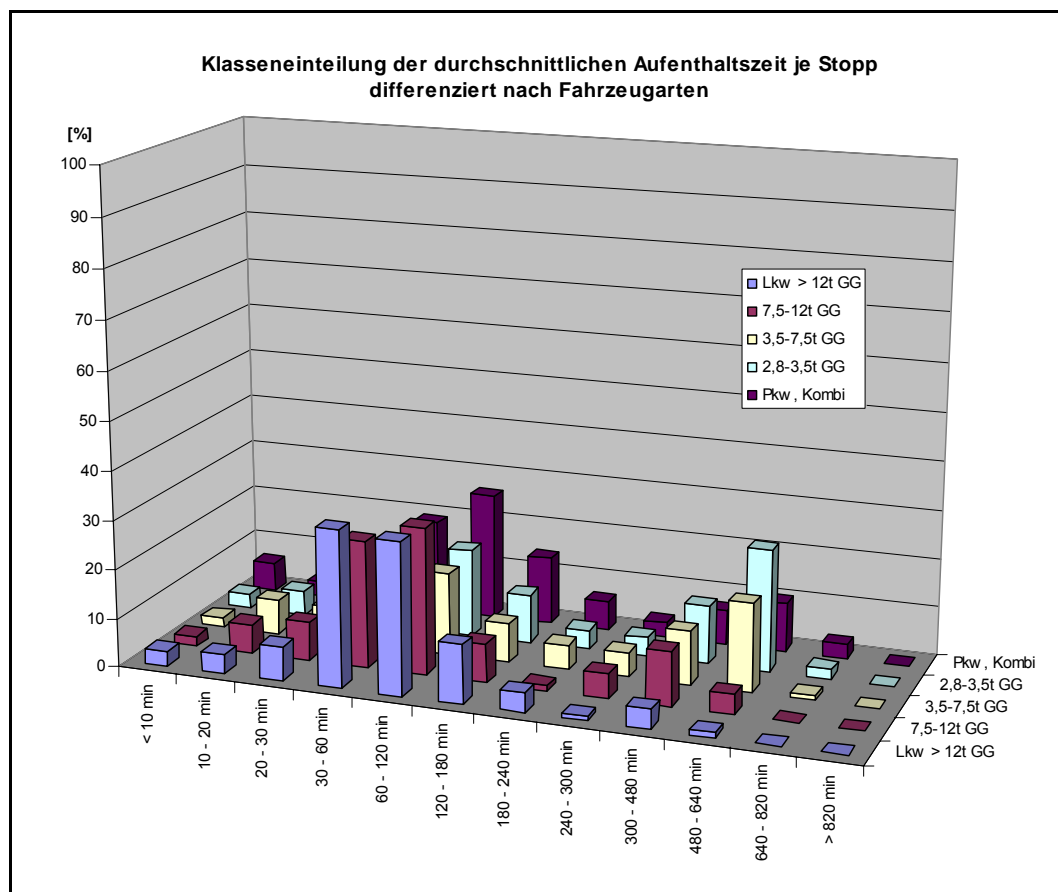


Abbildung 18: Normierte Häufigkeitsverteilung (Klasseneinteilung) der durchschnittlichen Aufenthaltszeit je Stopp differenziert nach Fahrzeugarten im Wirtschaftsverkehr (Quelle: KID)

Fahrzeugart	Durchschnittliche Aufenthaltszeit je Stopp
Pkw	120 min
Lkw unter 3,5t GG	150 min
Lkw von 3,5t GG bis zu 7,5t GG	120 min
Lkw von 7,5t GG bis zu 12t GG	75 min
Lkw mit 12t GG und mehr	65 min

Tabelle 21: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten bei Stopps innerhalb einer Tour (Quelle: KID sowie Betriebsbefragungen in Düsseldorf und Bremen)

Die Tourengenerierung erfolgt differenziert nach den Transportzwecken im Lkw-/Güterverkehr. Mit 5+1 Transportzwecken und je 5 Fahrzeugarten ergeben sich für das Teilmodell des Lkw-/Wirtschaftsverkehrs 30 Tourensätze.

Wie auch beim Personenwirtschaftsverkehr wird für die Bildung der Touren das Savingsmodell in Ansatz gebracht. Das Verfahren – inklusive der Möglichkeit zur Nachoptimierung, um Touren mit niedrigem bzw. höherem Savingsniveau zu erzeugen – ist schon beschrieben worden. Daher wird hier auf die Beschreibung verzichtet und auf das Kapitel 7.1.4 verwiesen.

### **7.3 Disperse Verkehre**

Unter den dispersen Verkehren werden die Fahrten verstanden, die von Verkehrserzeugern mit sehr fein verteilten und exakt nur schwer zu lokalisierenden Zielen erzeugt werden. Die durch diese Verkehrserzeuger generierte Verkehrsleistung ist im Allgemeinen gering und wurde in den bisherigen Modellansätzen zum Wirtschaftsverkehr bzw. Lkw-Verkehr meist vernachlässigt. Da die Belastung einzelner Straßen im direkten Umfeld des Standortes des Verkehrserzeugers jedoch durchaus nennenswerte Größen annehmen kann, wird hier eine Methode zur Berücksichtigung solcher Verkehrsaufkommen beschrieben.

Unter die Gruppe der dispersen Verkehre fallen zum Beispiel:

- **Rettungsdienste**  
Verkehrserzeuger sind hier die Rettungswachen und Krankenhäuser. Als Zielpunkte kommen alle Einwohner und Beschäftigten innerhalb eines definierten Einzugsbereiches in Frage. Aber auch Verkehrszellen ohne Siedlungsstruktur sind zu berücksichtigen, da Notfälle auch an anbaufreien Straßen an der Tagesordnung sind.
- **Polizei**  
Verkehrserzeuger sind hier die Polizeiwachen/-präsidien. Neben der schon bei den Rettungsdiensten beschriebenen Zielwahl kommen hier noch Streifen-/Kontrollfahrten ohne direktes Ziel hinzu.
- **Müllentsorgung, Straßenreinigung**  
Als Verkehrserzeuger sollten hier die Müllverbrennungsanlagen oder Deponien angesetzt werden. Ggf. sind auch separate Abstellhöfe als Knotenpunkte mit zentraler Bedeutung anzusetzen. Die Ziele sind auch hier alle

Einwohner und Beschäftigten; bei der Straßenreinigung alle Verkehrszellen mit Straßen oder Plätzen. Bei der Müllentsorgung und Straßenreinigung gilt es zu bedenken, dass die Ziele in Wochen- bzw. Monatsrhythmen angefahren werden.

Es muss jedoch festgehalten werden, dass zurzeit zur Festlegung von Modellparametern nur unzureichend Daten über diese dispersen Verkehre vorliegen. Hier besteht noch Forschungsbedarf. Daher wurde im Rahmen der Anwendung des Modellinstrumentariums auf die drei Modellstädte lediglich ein Beispiel behandelt, um die Funktionsfähigkeit der Bausteine des Teilmodells zu den dispersen Verkehren zu testen.

### **7.3.1 Verkehrsaufkommen**

Das Teilmodell für die dispersen Verkehre geht davon aus, dass es im Untersuchungsraum bestimmte Basispunkte gibt, von denen aus diese Verkehre ins Straßennetz eingespeist werden bzw. wohin sie (früher oder später) wieder zurückkehren. Dementsprechend werden auf der Aktivseite Verkehrszellen mit einem vordefinierten Verkehrsaufkommen festgelegt. Diese Festlegung der Verkehrsaufkommen erfolgt durch eine Potentialangabe für die als Basis definierten Verkehrszellen differenziert nach den fünf Fahrzeugarten.

Es ist davon auszugehen, dass das Verkehrsaufkommen je nach Basisort des abzubildenden dispersen Verkehrs schwankt. Daher sollten entweder Erkundigungen beim Betreiber (z. B. den Stadtwerken oder dem Müllentsorger) eingeholt oder aussagekräftige Verkehrszählungen (z. B. vom Anbindungspunkt der Müllverbrennungsanlage) zur Bestimmung der Verkehrsmengen herangezogen werden.

Da im Rahmen des hier durchgeführten Forschungsauftrages die Erarbeitung eines auf der Basis von verfügbarem (bzw. mit geringem Zusatzaufwand beschaffbarem) Datenmaterial nutzbaren Modellinstrumentariums im Vordergrund stand und für die Bestimmung der dispersen Verkehre zurzeit nur unzureichende Daten der betrachteten Modellstädte vorliegen, wird hier lediglich die Verkehrsnachfrage aus der Müllentsorgung als Beispiel für die prinzipielle Anwendung behandelt. Die Müllentsorgung eignet sich als Beispiel, weil hier die Verkehre von verschiedenen Basisstellen (hier Sammelstellen für Restmüll, Bioabfälle, Duales System etc.) ausgehen. Die in Tabelle 22 gezeigten Eingangsdaten sind jedoch lediglich fiktiv und als Funktionsbeispiel zu ver-

stehen. Es wurden keine entsprechenden Erhebungen/Erkundigungen bei den Entsorgern durchgeführt.

Sofern in Zukunft allgemeine Ansätze in weiterführenden Arbeiten – ggf. im Zusammenhang mit Erhebungen – erarbeitet werden, so können diese problemlos in das Modellsystem übernommen werden. Sowohl der Rechenkern als auch die Programmoberfläche sind dafür entsprechend vorbereitet.

Zum besseren Verständnis sei darauf hingewiesen, dass die Startpotenziale nicht mit dem Fahrtenaufkommen an der Zufahrt der Basisstation übereinstimmen. Vielmehr steht hier i. A. ein größerer Wert, so dass nach der Tourengenerierung und der damit einhergehenden Reduktion der Startpotenziale sich das tatsächliche Fahrtenaufkommen ergibt. Bei der Bestimmung des Startpotenzials ist also immer die durchschnittliche Stoppzahl je Tour zu berücksichtigen.

Verkehrszelle	Transp. Zweck (Nr.)	Startpotenzial (differenziert nach Fahrzeugarten)				
		Pkw (Art 1)	Lkw (Art 2) 2,8t -3,5t	Lkw (Art 3) 3,5t-7,5t	Lkw (Art 4) 7,5t – 12t	Lkw (Art 5) > 12t
315	7	0	0	0	0	940
303	7	0	0	0	0	600
0	7	0	0	0	0	0
0	8	0	0	0	0	0
0	9	0	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0	0
0	11	0	0	0	0	0
Erläuterung zu den angenommenen Basisstellen						
VZ 315	Mülldeponie					
VZ 303	Müllverbrennung					

Tabelle 22: Beispiel zur Festlegung von Startpotenzialen für disperse Verkehre (fiktives Systembeispiel: Müllentsorgung)

Die Stopppotenziale (Passivseite) werden aus Strukturmerkmalen (Einwohner und Beschäftigte) mit Erzeugungsraten berechnet. Wie beim Transportzweck Bau des Lkw-Verkehrs, kann auch hier ein festes Stopppotential angegeben werden, um Zellen ohne Siedlungsstruktur zu berücksichtigen.

Transportzweck	Strukturmerkmal							
	Einw.	Erw.	Beschäft. Prim.	Beschäft. Bau	Beschäft. Sek. Rest	Beschäft. Handel	Beschäft. Verk./Nachr.	Beschäft. Tert.-Rest
7	0,00085	0	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 23: Erzeugungsraten zur Generierung der Stoppgewichte disperser Verkehre aus Strukturdaten

Die so bestimmten Stopppotenziale werden jedoch auf die gesetzten Startpotenziale programmintern normiert. Dies bedeutet, dass bei den dispersen Verkehren die Stopppotenziale keinen Einfluss auf die Größe des Verkehrsaufkommens haben, sondern lediglich die Verteilung der Verknüpfungen im Raum beeinflussen.

Die Zuordnung zu den fünf Fahrzeugarten erfolgt wie beim Teilmodell für den Lkw-/Güterverkehr anhand definierter Bindungsraten. In dem hier durchgeführten Beispiel der Müllentsorgung ergäbe sich eine 100 % Zuordnung zu den Lkw über 12 t Gesamtgewicht (Fahrzeugart 5).

Es kann nicht grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass von einem Standort eines dispersen Verkehrserzeugers der gesamte Untersuchungsraum bedient wird, bzw. dass alle Verkehrszellen mit gleicher Intensität in die entsprechende Zielgruppe fallen. Als Beispiel mag hier die Müllentsorgung dienen, die in ihrer hier abzubildenden dispersen Fahrtenstruktur Großbetriebe hinsichtlich der Häufigkeit der Anfahrt nicht genauso wie kleine Firmen andient. Große Produktionsbetriebe haben für die Entsorgung ihrer Produktionsabfälle i. A. ein eigenes Entsorgungs-/Verwertungssystem. Daher ist auch für die dispersen Verkehre für die Stopppotenziale eine Tabelle mit zellenbezogenen Ausnutzungsfaktoren erforderlich.

Somit kann das durch die dispersen Verkehre modelltechnisch generierte Verkehrsaufkommen des Untersuchungsraumes wie folgt bestimmt werden:

$$VA_Q = \sum_{V_z=1}^n \sum_{V_m=1}^5 \sum_{T_z=7}^{11} S_{(V_z, V_m, T_z)}$$

$$VA_Z = \sum_{V_z=1}^n \sum_{V_m=1}^5 \sum_{T_z=7}^{11} \left( \sum_{Stm=1}^8 (X_{(V_z, Stm)} * ER_{Z(T_z, Stm)} * BR_{Z(V_m, T_z, Stm)} * NF_{(V_z, T_z)}) + Y_{(T_z, V_z, V_m)} \right)$$

- $S_{(V_z)}$  = Startpotentiale in der Verkehrszelle ( $V_z$ ) differenziert nach der Fahrzeugart ( $V_m$ ) für den Transportzweck ( $T_z$ )
- $X_{(V_z, Stm)}$  = Größe des Strukturmerkmals ( $Stm$ ) in der Verkehrszelle ( $V_z$ )
- $ER_{Z(V_m, T_z, Stm)}$  = Erzeugungsrate in Abhängigkeit vom Verkehrsmittel, des Transportzwecks und des Strukturmerkmals
- $BR_{Z(V_m, T_z, Stm)}$  = Bindungsrate Verkehrsmittel in Abhängigkeit vom Verkehrsmittel ( $V_m$ ), des Transportzwecks und des Strukturmerkmals
- $NF_{(V_z, Stm)}$  = Nutzungsfaktor in der Verkehrszelle ( $V_z$ ) durch das Strukturmerkmal ( $Stm$ ) in Abhängigkeit vom Transportzweck
- $Y_{(T_z, V_z, V_m)}$  = Stopppotentiale aus Flächenpotentialen in der Verkehrszelle ( $V_z$ ) in Abhängigkeit vom Verkehrsmittel ( $V_m$ ) und Transportzweck ( $T_z$ )
- $VA$  = Verkehrsaufkommen
- $V_z$  = Verkehrszelle
- $V_m$  = Verkehrsmittel (Fahrzeugart)
- $T_z$  = Transportzweck
- $Stm$  = Strukturmerkmal
- $Q$  = Startpotenziale (Aktivseite)
- $Z$  = Stopppotentiale (Passivseite)

### 7.3.2 Verteilung

Auch für die Verteilungsrechnung für die dispersen Verkehre wird der Gravitationsansatz gewählt. Da die Methodik schon im Rahmen des Personenverkehrs und des Lkw-/Güterverkehrs beschrieben wurde, wird auf die Beschreibung an dieser Stelle verzichtet.

### **7.3.3 Tourengenerierung**

Die Tourengenerierung für die dispersen Verkehre erfolgt nach der gleichen Methodik, die schon für den Personenwirtschaftsverkehr bzw. den Lkw-/Güterverkehr beschrieben wurde unter Verwendung des Savingsmodells. Da bis zu 5 disperse Verkehrsarten definiert werden können, ergeben sich mit 5 Fahrzeugarten bis zu 25 Tourensätze.

Zusammen mit dem Personenwirtschaftsverkehr (5 Tourensätze) und dem Lkw-/Güterverkehr (30 Tourensätze) werden also bis zu 60 Tourensätze behandelt.

## **7.4 Nicht modellierte Verkehrsbeziehungen**

### **7.4.1 Feste lokale Beziehungen**

Im Wirtschaftsverkehr haben einige Firmen feste Verkehrsbeziehungen aufgebaut, die über einen langen Zeitraum regelmäßig genutzt werden und durch modelltechnische Ansätze kaum oder nur mit erheblichem Aufwand nachbildbar sind. Da es sich hierbei oft um Verkehrsmengen handelt, die zumindest lokal – in der Nähe der Firmenstandorte – einen nicht unwesentlichen Anteil am Verkehrsgeschehen ausmachen, sollten diese hier mit „Feste Verkehrsbeziehungen“ bezeichneten Verkehre besonders beachtet werden.

Solche Verkehrsbeziehungen können sein:

- Pendelverkehre zwischen zwei Firmenstandorten  
z. B.:
  - Teilezulieferung
  - Verkehre zu Außenlagern
- Regelmäßig wiederkehrende immer gleiche Tourenabläufe  
z. B.:
  - Straßenreinigung
  - Müllabfuhr

Sofern die Eigenschaften, d. h. die Quellen und Ziele sowie die Menge und der zeitliche Ablauf bekannt sind, die Verkehrsmengen bedeutend, die Ver-

haltensstruktur über längere Zeit stabil und die modelltechnische Abbildung aufgrund der starken Abweichung vom Durchschnitt nicht oder nur mit hohem Aufwand möglich ist, kann es sinnvoll sein, diese bestimmten Verkehrsbeziehungen gegen die modelltechnisch erzeugte Verkehrsnachfrage auszutauschen.

Um nun die tatsächlichen realen Verkehrsbeziehungen in der Ergebnismatrix berücksichtigen zu können ist es notwendig, die Modellierung des entsprechenden Verkehrsaufkommens zu unterbinden. Dies erfolgt sinnvollerweise im Verkehrsaufkommensmodul der Teilmodelle. Hier kann der Nutzungsfaktor für die jeweilige Verkehrszelle und den betroffenen Verkehrs- bzw. Transportzweck reduziert – im Extremfall auf 0 gesetzt – werden.

Die zu addierenden Verkehrsbeziehungen werden in einem separaten Nachfragedatensatz „von Hand gesetzt“ (z. B. durch die Erzeugung einer Verkehrsnachfragematrix mit dem im Rahmen dieses Forschungsauftrages entwickelten Programmmodul Mathand).

Nachdem die Modellbausteine der Teilmodelle durchlaufen wurden, kann die modelltechnisch erzeugte Verkehrsnachfrage mit der gesetzten Verkehrsnachfrage zusammengeführt werden. Dies kann z. B. durch die Addition der Nachfragematrizen erfolgen.

Die Nutzung dieser Methode zum Ersatz der modelltechnisch generierten Nachfragedaten durch tatsächlich erhobene Verkehrsbeziehungen kann zunächst nur für die Simulation der gegenwärtigen Situation erfolgen. Sofern Prognoseberechnungen durchgeführt werden sollen und davon ausgegangen werden muss, dass die Randbedingungen, die zu den betrachteten festen Verkehrsbeziehungen geführt haben sich ändern, muss die Zulässigkeit der Übernahme der Verkehrsbeziehungen in die Prognoseberechnungen überprüft und ggf. eine Anpassung an die veränderte prognostische Situation vorgenommen werden.

#### **7.4.2 Fernverkehrsbeziehungen**

Die weiter ausgreifenden Fernverkehre werden in den hier abgeleiteten modelltechnischen Ansätzen für den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr nicht abgebildet. Diese Verkehrsbeziehungen müssen aus anderen Untersuchungen zum Fernverkehr (z. B. der Bundesverkehrswegeplanung) übernommen wer-



den. Hier ist darauf zu achten, dass die Verkehrszelleneinteilung der auf den Fernverkehr bezogenen Untersuchungen im kleinräumig betrachteten Untersuchungsraum naturgemäß deutlich gröber angesetzt ist, als bei den kleinräumigen Untersuchungen mit lokalem Bezug. Im weiter entfernten Umland ist die Zuordnung dann genau umgekehrt, hier ist die Fernverkehrsuntersuchung feiner gegliedert. Das bedeutet, dass die über den Fernverkehr ein- und ausströmenden Verkehre, die aus anderen Untersuchungen übernommen werden, auf die in der lokalen Untersuchung verwendete Verkehrszellenbasis umzuarbeiten sind.

## **7.5 Zusammenstellung der Umlegungsmatrizen**

Um die in den vorangegangenen Arbeitsschritten erarbeiteten und in der Form von Personenfahrten (öffentlicher Verkehr) und Kfz-Touren (Straßenverkehr) vorliegenden Verkehrsnachfragemengen als Netzbelastung darzustellen, ist die Umlegung der Verkehrsnachfrage auf das Netz des öffentlichen Personenverkehrs bzw. auf das Straßennetz notwendig.

Die dazu notwendigen Umlegungsprogramme sind nicht Bestandteil des hier durchgeführten Forschungsvorhabens. Somit ist auch kein eigenes Modul für die Umlegungsrechnung im beigefügten Softwarepaket enthalten. Die Wahl, welches Programmsystem zur Durchführung der Umlegungsberechnungen herangezogen wird, ist dem Anwender überlassen.

Im Rahmen des hier entwickelten Modells zur Generierung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr werden Verkehrsnachfragedaten zur Verfügung gestellt, die als direkter Input in die Umlegungsmodelle dienen.

Dabei können die aus den Berechnungen zum Modal-Split in Form von  $F_{ij}$ -Matrizen hervorgegangenen Personenfahrten des öffentlichen Verkehrs direkt den Umlegungsmodellen zur Verfügung gestellt werden. Für den Kfz-orientierten Teil des Wirtschaftsverkehrs ist durch die Aufteilung der gebildeten Touren in Einzelfahrten zwischen den Stopppunkten ebenfalls auf einfache Weise eine Fahrtenmatrix der Fahrten von der Zelle  $i$  zur Zelle  $j$  ( $F_{ij}$ ) herstellbar. Diese Fahrtenmatrizen für den öffentlichen Verkehr und den Straßenverkehr (weiter differenziert nach den 5 Kfz-Arten) beinhalten alle Fahrten des Tages (Tagesmatrizen).

Da jedoch gerade bei der Betrachtung von Netzen Aussagen zur Leistungsfähigkeit und damit einhergehend die Ermittlung von Belastungen in bestimmten Zeitintervallen von besonderer Bedeutung ist, erscheint die alleinige Ausgabe einer Tagesmatrix nicht befriedigend.

Um Belastungsdaten für Zeitintervalle ermitteln zu können ist es denkbar, mit Hilfe von Tagesganglinien die Fahrtenmenge auf die verschiedenen Zeitgruppen aufzuteilen. Diese Tagesganglinien sind problemlos aus bestehenden Erhebungen (wie z. B. KID) ableitbar. Die bloße anteilmäßige Zerlegung des gesamten Fahrtensatzes anhand der tageszeitlichen Verteilung ist jedoch nicht ausreichend.

Werden alle Fahrten mit den gleichen Anteilswerten auf das gewünschte Zeitintervall heruntergerechnet, so werden wichtige, das Belastungsbild im Netzmodell bestimmende Effekte verwischt. Als Beispiel sei hier die nach Tageszeit sich unterschiedlich einstellende Stoßrichtung (in Richtung auf die Innenstadt oder umgekehrt) zu nennen. Dementsprechend dürfen wichtige Randbedingungen, wie der Tourenzusammenhang oder auch bei einfachen Pendelfahrten der Sachverhalt, dass die Rückfahrt nach der Hinfahrt erfolgt, nicht außer Acht gelassen werden.

Da das Ergebnis der Berechnungen nicht auf ein bestimmtes Umlegungsmodell festgeschrieben werden soll, werden zwei Arten von Ergebnisdatensätzen ausgegeben:

- Für dynamische Umlegungsmodelle:  
Diese Modelle benötigen Fahrtensätze mit der Angabe von Startzeiten für jede einzelne Fahrt von der Verkehrszelle  $i$  zur Verkehrszelle  $j$ .
- Für statische Umlegungsmodelle  
Diese Modelle benötigen Nachfragematrizen, wobei keine Angabe von Startzeiten verarbeitet werden kann. Da diese Modelle alle Fahrten gewissermaßen zeitgleich in das Netzmodell einspeisen, müssen zur Betrachtung bestimmter Zeitgruppen schon die Nachfragematrizen auf die gewünschten Zeitintervalle zurechtgeschnitten werden.

Somit ergibt sich die Notwendigkeit, die im vorangegangenen Arbeitsschritt bestimmten Touren in ihre Einzelfahrten zu zerlegen und diesen Einzelfahrten (Start-)Zeiten zuzuordnen. Hieraus resultiert dann entweder der Fahrtensatz als Eingangsgröße für die dynamischen Systeme oder die auf das gewünsch-

te Zeitintervall bezogene Nachfragematrix als Eingangsgröße für statische Umlegungsmodelle. Die Bearbeitung erfolgt für den öffentlichen Verkehr sowie für den Straßenverkehr getrennt.

Im Straßenverkehr sind die Ergebnisse differenziert nach den 5 Fahrzeugarten auszuweisen, damit für differenzierte Auswertungen getrennte Umlegungen möglich sind.

Die Bearbeitung erfolgt in den Schritten:

- Bestimmung der Abfahrtszeiten der Touren (Straßenverkehr) bzw. der Personenfahrten (öffentlicher Verkehr)
- Bestimmung der Abfahrtszeiten der in den Touren enthaltenen Fahrten(teile) (Straßenverkehr)
- Zuordnung der Fahrten(teile) zum vorgegebenen Zeitintervall

Um im Rahmen der anschließenden Umlegungsrechnung wieder ein konsistentes Ergebnis zu erhalten, ist unbedingt zu beachten, dass die Summe der Fahrtenmenge in den gebildeten einzelnen Zeitintervallen über den Tag hinweg wieder den Tageswert ergibt.

Weiterhin sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass bewusst ein Verfahren ausgewählt wurde, das unabhängig vom verwendeten Umlegungsprogramm sowie der Art des Netzes ist. Es werden lediglich die aus dem Netzmodell abgeleiteten Informationen (Widerstandsmatrizen) vorausgesetzt, die schon bei der Verteilungsrechnung (Gravitation) genutzt worden sind.

### **7.5.1 Bestimmung der Abfahrtszeiten der Touren (Kfz)**

Die Touren für den Kfz-Verkehr liegen aus dem vorangegangenen Arbeitsschritt differenziert nach Personenwirtschaftsverkehr und Lkw-/Güterverkehr sowie dispersen Verkehren vor. Der Personenwirtschaftsverkehr ist dabei weiter differenziert nach 5 Transportzwecken, der Lkw-/Güterverkehr nach 5+1 Transportzwecken und 5 Fahrzeugarten und die bis zu 5 dispersen Verkehre nach 5 Fahrzeugarten. Insgesamt ergibt sich somit eine Einteilung der Tourensätze in 60 Gruppen.

Zur Feststellung der Abfahrtszeiten von Touren wurden die Erhebungsdaten zum Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland (KID) ausgewertet. Hieraus haben sich folgende Ansätze ergeben:

- Die Abfahrtszeiten sind je nach Fahrzeugart deutlich unterschiedlich.  
(siehe Diagramme in Abbildung 19 und Abbildung 20)
- Das Tagesprofil der Abfahrtszeiten variiert mit der Länge/Dauer der Tour.  
(siehe Diagramme in Abbildung 19 und Abbildung 20)
- Die Verteilung der Abfahrtszeiten ist bei den verschiedenen Wirtschaftszweigen ähnlich gelagert.  
(siehe Diagramme in Abbildung 22)

Aus diesen Erkenntnissen heraus erfolgt die Zuordnung der Abfahrtszeiten der modelltechnisch generierten Touren in Abhängigkeit von der Fahrzeugart sowie der Tourenlänge. Dazu sind im Programmsystem tageszeitliche Verteilungskurven vorgegeben. Die Kurven sind aus KID abgeleitet, können jedoch entsprechend der jeweiligen Anforderungen bzw. vertiefter Kenntnisse für den mit dem Programmsystem zu untersuchenden Raum vom Anwender modifiziert werden.

Die Verteilung der modelltechnisch generierten Touren auf die einzelnen Tageszeiten entsprechend den vorgegebenen Verteilungen erfolgt mit einer leicht modifizierten Version des Divisionsverfahrens nach Webster/St. Lagüe<sup>30</sup>. Mit diesem Verfahren ist es möglich, eine Menge von Elementen (hier Touren) entsprechend einer vorgegebenen Verteilung in Klassen zuzuordnen. Dabei wird immer dem größten Wert der Verteilung das nächste Element zugeordnet. Dieses größte Element wird dann durch einen Quotienten verkleinert. Im hier vorliegenden Anwendungsfall dieser Methode wird neben der Zuordnung des Elementes zu einer Klasse auch die Klasse als Eigenschaft des Elementes (der Tour) gespeichert. So bekommt jede Tour ihre Startzeit.

---

<sup>30</sup> Eine rel. leicht verständliche Beschreibung dieses auch zur Verteilung der Mandate auf der Basis von Wahlergebnissen genutzten Verfahrens liefert Marcus Mack 1996: Mack, Marcus; Mehrweg; Diplomarbeit am Institut für Eisenbahn- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart; 1996 – Kapitel 5.2 Mandatsverteilung

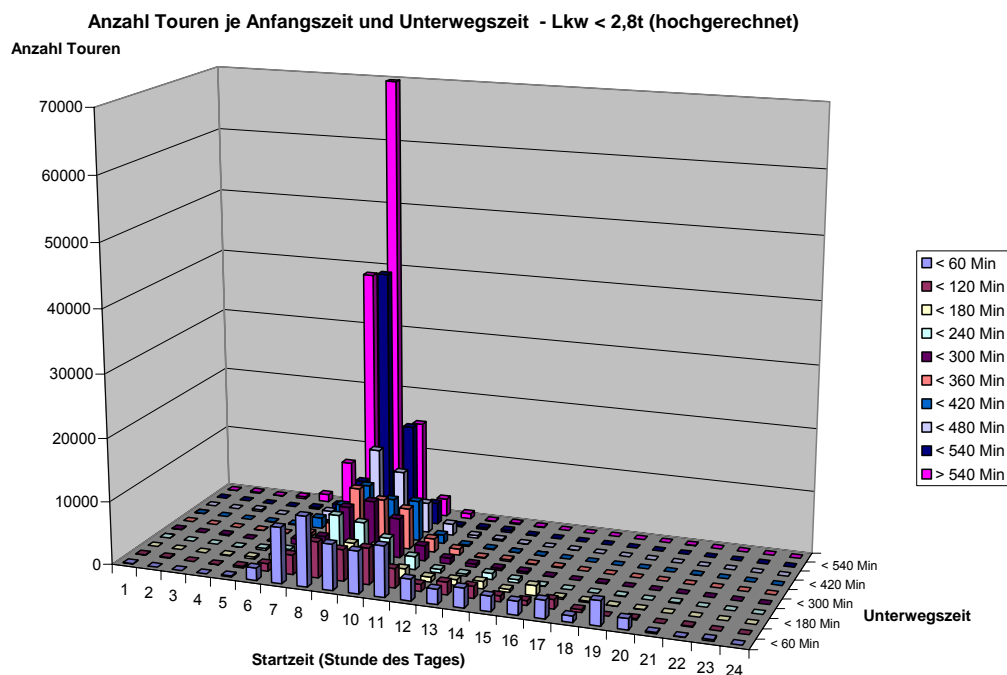
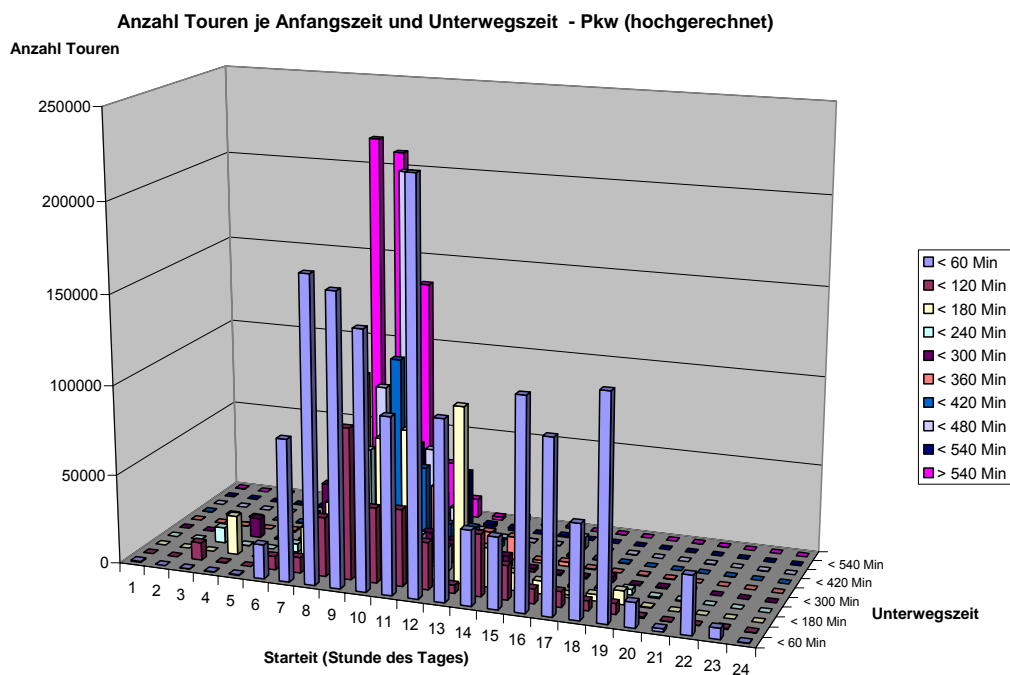


Abbildung 19: Verteilung der Tourenstartzeiten über den Tag differenziert nach der Unterwegszeit im Wirtschaftsverkehr – Pkw und Kleintransporter (Quelle: KID)

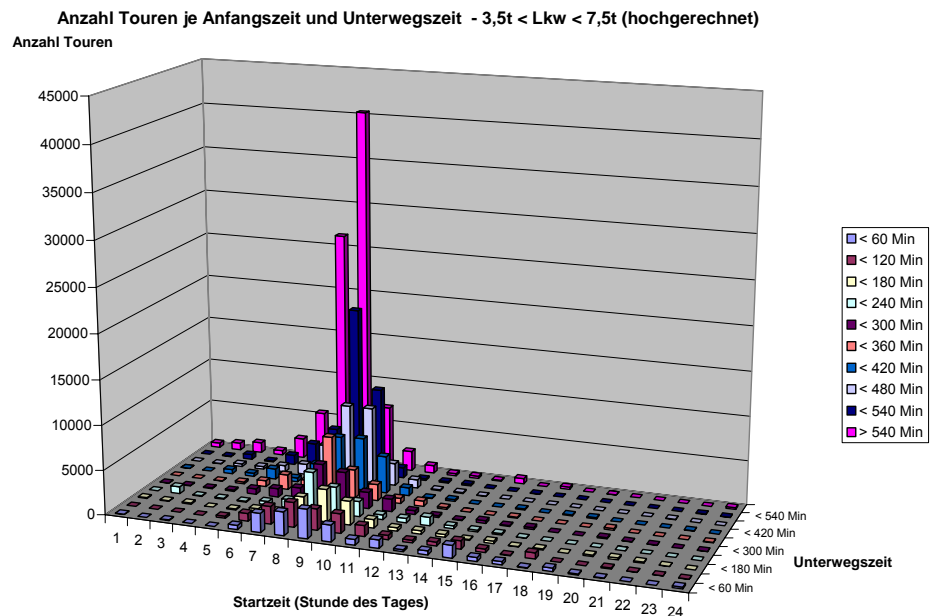
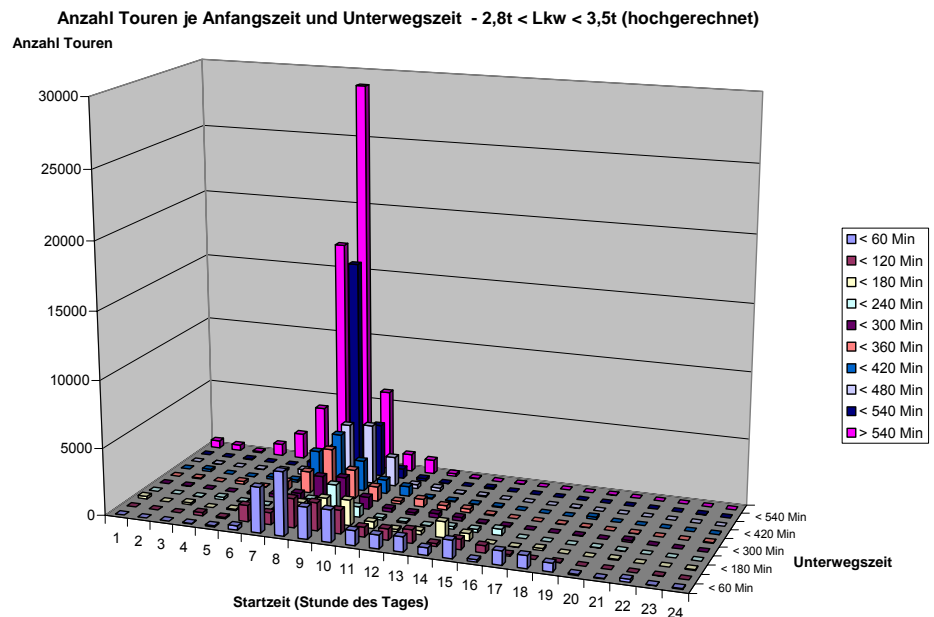


Abbildung 20: Verteilung der Tourenstartzeiten über den Tag differenziert nach der Unterwegszeit im Wirtschaftsverkehr – Transporter und kleine Lkw (Quelle: KID)

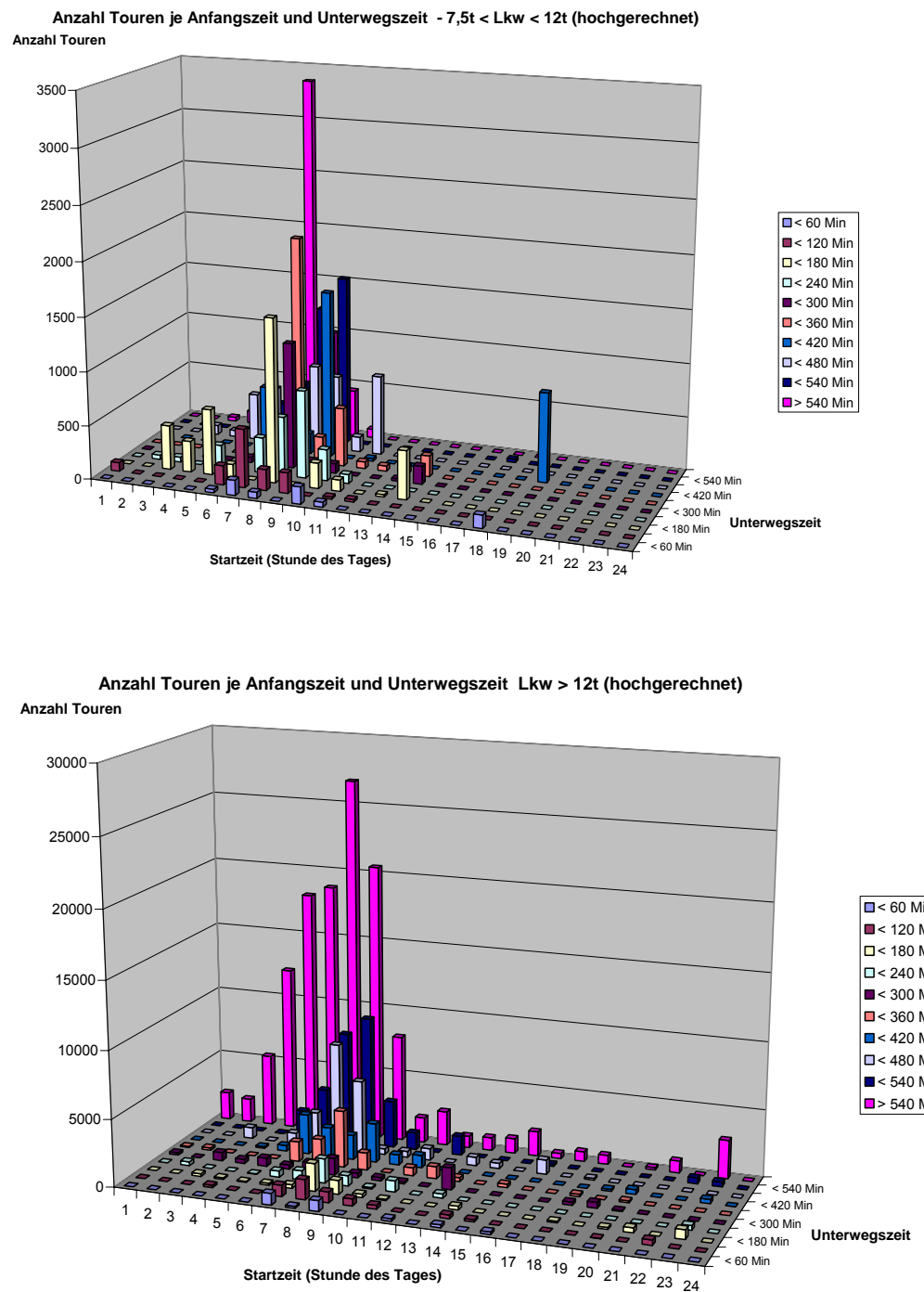
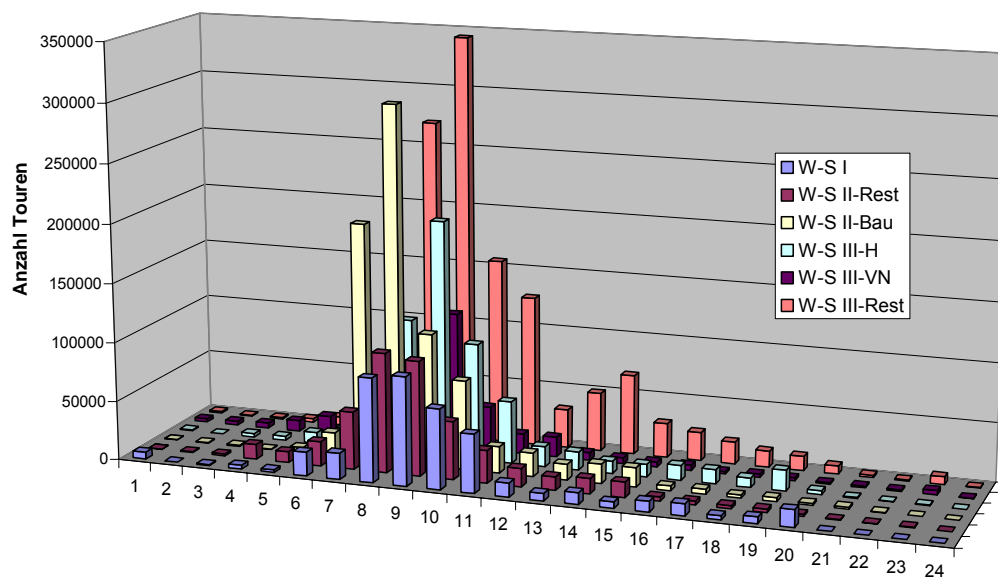


Abbildung 21: Verteilung der Tourenstartzeiten über den Tag differenziert nach der Unterwegszeit im Wirtschaftsverkehr – mittlere und große Lkw (Quelle: KID)

### Anzahl Touren je Anfangszeit und Wirtschaftssector (hochgerechnet)



### Anzahl Touren je Anfangszeit und Wirtschaftssector (nicht hochgerechnet)

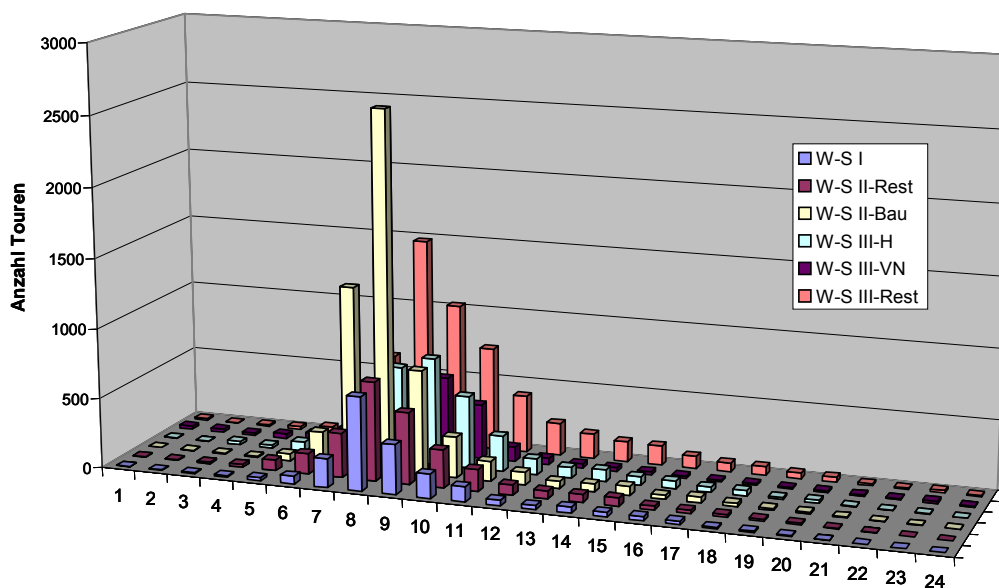


Abbildung 22: Verteilung der Tourenstartzeiten über den Tag differenziert nach Wirtschaftszweig  
(Quelle: KID)



### 7.5.2 Bestimmung der Abfahrtszeiten der Personenfahrten (ÖV)

Die Bestimmung der Abfahrtszeiten der Personenfahrten im öffentlichen Verkehr erfolgt auf der Basis von Tagesganglinien, die aus den im Rahmen der Erhebungen von Mobilität in Deutschland (MID) gewonnenen Daten ausgewertet wurden (vgl. Abbildung 23).

Die Methode zur Verteilung der Fahrten auf die Abfahrtszeiten erfolgt analog zur Zuordnung der Touren, in Anlehnung an das Divisionsverfahren von Webster/St. Laguë.

So entsteht ein Fahrtenatz mit zugeordneten Startzeiten, der als Eingangsgröße in ein dynamisches Umlegungsmodell dienen kann. Zur Verwendung in statischen Umlegungsmodellen ist bei der Betrachtung von Zeitintervallen noch die Identifikation und Zerlegung der betroffenen Fahrten erforderlich. Dies erfolgt für die Personenfahrten des öffentlichen Verkehrs sowie die Fahrten des Kfz-Verkehrs in gleicher Weise und ist in Kapitel 7.5.4 beschrieben.

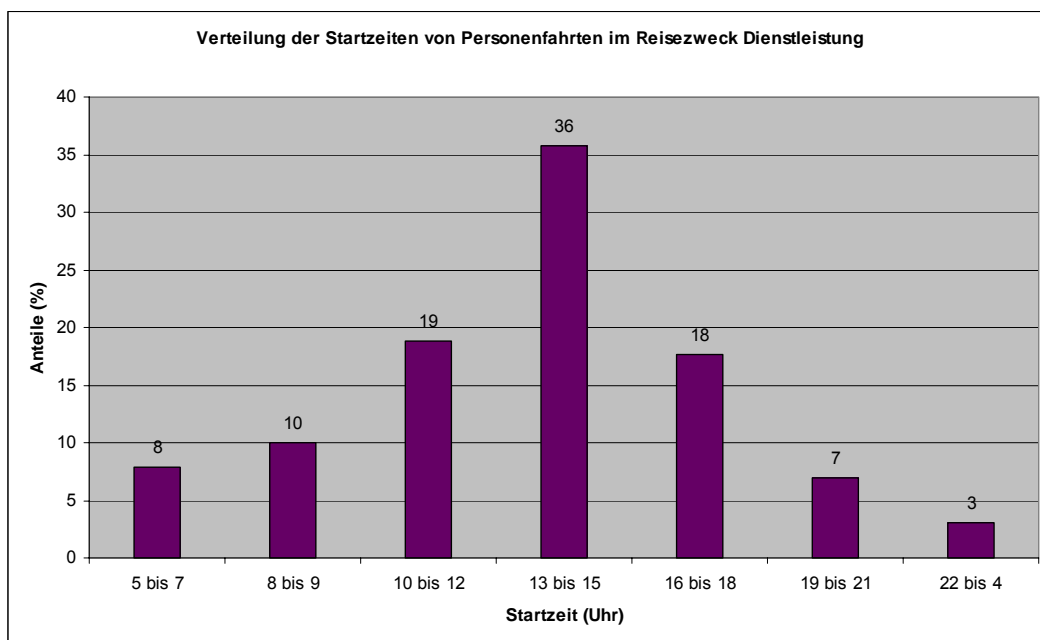


Abbildung 23: Verteilung der Startzeiten von Personenfahrten im Reisezweck Dienstleistung (Quelle: MID)

### 7.5.3 Bestimmung der Abfahrtszeiten der einzelnen Fahrten im Kfz-Verkehr

Die Abfahrtszeiten der einzelnen Fahrten der Fahrzeuge können aus den Touren entwickelt werden. Dazu werden die Touren in ihre einzelnen Fahrten zwischen den Stopps (in den Verkehrszellen) zerlegt, so dass sich Fahrten ( $F_{ij}$ ) zwischen den Verkehrszellen (von der Verkehrszelle  $i$  zur Verkehrszelle  $j$ ) ergeben. Um auch hier den einzelnen Fahrten Startzeiten zuordnen zu können, ist die Kenntnis folgender Parameter notwendig:

- **Startzeit der Tour**  
Wurde im vorangegangenen Arbeitsschritt bestimmt (siehe Kapitel 7.5.1)
- **Fahrzeiten zwischen den Stopps**  
Wird durch Auswertung der für die betrachtete Fahrzeugart zutreffenden Widerstandmatrix bestimmt. Die Fahrzeit ( $t_{ij}$ ) von der Zelle  $i$  zur Zelle  $j$  entspricht dem Zeitwiderstand zwischen der Zelle  $i$  und der Zelle  $j$ .
- **Aufenthaltszeit während der Stopps**  
Ist in Abhängigkeit von der Fahrzeugart aus Erhebungsdaten zu bestimmen. Als grundlegender Ansatz wurden im Rahmen der Modellentwicklungen die Daten aus KID ausgewertet sowie Daten aus den in der Vergangenheit durchgeführten Untersuchungen zum Lkw-Verkehr in Städten genutzt. Eine Zusammenstellung der hier für die Modellstädte genutzten mittleren Aufenthaltszeiten kann der Tabelle 16 entnommen werden.

Die Abfahrtszeit der  $k$ -ten Fahrt in der Tour errechnet sich dann mit:

$$St_F(k) = St_T + \sum_{l=1}^{k-1} (Ft_F(l) + At(l))$$

$St_F(k)$  = Startzeit der  $k$ -ten Fahrt

$St_T$  = Startzeit der Tour (in der die Fahrt an der Stelle  $k$  enthalten ist)

$Ft_F(l)$  = Fahrzeit der  $l$ -ten Fahrt in der betrachteten Tour

$At(l)$  = Aufenthaltszeit am  $l$ -ten Stopp, also nach der  $l$ -ten Fahrt

So entsteht ein Fahrtenatz mit zugeordneten Startzeiten, der als Eingangsgröße in ein dynamisches Umlegungsmodell dienen kann. Zur Verwendung in statischen Umlegungsmodellen ist bei der Betrachtung von Zeitintervallen noch die Identifikation und Zerlegung der betroffenen Fahrten erforderlich. Dies erfolgt für die Personenfahrten des öffentlichen Verkehrs sowie die Fahr-

ten des Kfz-Verkehrs in gleicher Weise und ist im nachfolgenden Kapitel 7.5.4 beschrieben.

#### **7.5.4 Bestimmung der Fahrtanteile im betrachteten Zeitintervall**

Wie aus der Darstellung in der Abbildung 24 entnommen werden kann, sind die Fahrten hinsichtlich Ihrer Zuordnung zum betrachteten Zeitintervall in vier Arten einzuteilen.

- Fahrten die vollständig (mit Start- und Endzeitpunkt) im betrachteten Zeitintervall liegen.  
In Abbildung 24 die Fahrten  $Z_{2,1}$ - $Z_{2,2}$  und  $Z_{1,3}$ - $Z_{1,4}$  .
- Fahrten die vollständig außerhalb des betrachteten Zeitintervalls liegen, die also entweder vor dem betrachteten Zeitintervall starten und enden oder nach dem betrachteten Zeitintervall starten und enden.  
In Abbildung 24 die Fahrten  $Z_{1,1}$ - $Z_{1,2}$  .
- Fahrten, die vor Beginn des betrachteten Zeitintervalls starten, aber im betrachteten Zeitintervall enden oder im betrachteten Zeitintervall starten und erst nach Ende des betrachteten Zeitintervalls enden.  
In Abbildung 24 die Fahrten  $Z_{1,2}$ - $Z_{1,3}$  und  $Z_{1,4}$ - $Z_{1,5}$  .
- Fahrten die vor Beginn des betrachteten Zeitintervalls starten und erst nach Ende des betrachteten Zeitintervalls enden.  
In Abbildung 24 die Fahrten  $Z_{3,1}$ - $Z_{3,2}$  .

Die Berücksichtigung aller Fahrten, die das betrachtete Zeitintervall berühren, liefert bei der Umlegung der einzelnen Zeitintervalle eine zu hohe Verkehrsleistung. Zudem ist dann die Summe aller Zeitintervalle ( $T_n|T_{n+1}$ ) über den Tag größer als der Tageswert, da einige Fahrten mehrfach erfasst werden.



## Netzmodell

Es erscheint daher sinnvoll, die Fahrten, die nur zum Teil im betrachteten Zeitintervall liegen, anteilmäßig zu berücksichtigen. Die Lokalisierung der Streckenpunkte im Netzmodell für den Zeitpunkt, wenn die Fahrt in das Zeitintervall ein- oder austritt, ist nur mit voll-dynamisch arbeitenden Modellsystemen möglich. Für diese Modelle dienen jedoch schon die Fahrtensätze mit Startzeit als Eingangsdaten, so dass der hier beschriebene Arbeitsschritt nur zur Bestimmung der Eingangsdaten für statisch arbeitende Umlegungsmodelle erforderlich ist. Hieraus folgt direkt, dass die anteilmäßige Berücksichtigung hinsichtlich der gefahrenen Strecke nicht möglich ist. Es bleibt also nur die Bestimmung des Fahrtenanteils mit Hilfe des Zeitanteils.

Daher wurde die folgende Vorgehensweise zur Bestimmung der Fahrten im betrachteten Zeitintervall gewählt:

- Entfernen aller Fahrten, die das Zeitintervall nicht berühren.
- Nutzung aller  $F_{ij}$ , die
  - vollständig im Zeitintervall liegen (dort starten und enden),
  - im Zeitintervall starten oder enden sowie
  - vor dem Zeitintervall starten und danach enden.
- Feststellen des Anteils des betrachteten Zeitintervalls an der Gesamtzeit der Fahrt.
- Herunterrechnen des  $F_{ij}$ -Wertes der Fahrt auf den festgestellten Anteil.

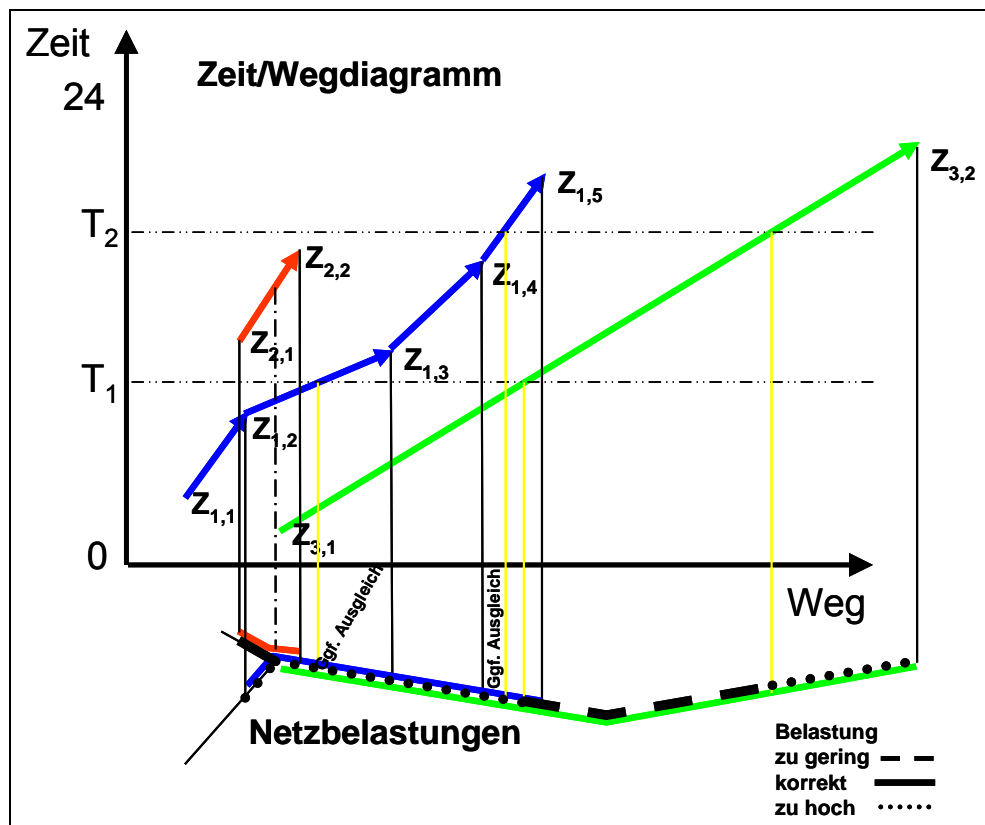


Abbildung 25: Beispielhafte Darstellung von Fahrten im Zeit-Weg-Diagramm und Projektion des berücksichtigten Fahrtanteils auf das Streckennetz im Zeitintervall  $T_1 - T_2$

Zu diesem Verfahren ist anzumerken, dass die über die Matrix in das Netzwerkmodell eingebrachte Verkehrsleistung aufgrund der zeitanteiligen Betrachtungen anstelle der streckenanteiligen Betrachtung nur näherungsweise getroffen wird. Lediglich Streckenabschnitte, über die nur Fahrten verlaufen, die entweder vollständig inner- oder außerhalb des betrachteten Zeitintervalls liegen, werden hinsichtlich ihrer Streckenbelastung vollständig korrekt abgebildet. Alle anderen Strecken werden entweder unter- oder überschätzt. Streckenweise erfolgt auch eine Teilkompensation der gegenläufigen Effekte (eine Verdeutlichung des Sachverhaltes liefert Abbildung 25).

Dieses Problem verstärkt sich mit zunehmender Verkleinerung des betrachteten Zeitintervalls, da somit auch die Anzahl der Fahrten, die vollständig im betrachteten Zeitintervall liegen, zurückgehen und die Streckenbelastungen mehr und mehr aus Fahrten bestehen, die über das betrachtete Zeitintervall hinausreichen. Typische, mit Umlegungsprogrammen betrachtete Zeitintervalle sind neben dem Tageszeitraum, der das Problem naturgemäß nicht kennt, die Morgen- und Nachmittagsstundengruppen. Hier werden üblicherweise Intervalle über drei oder 4 Stunden gebildet.

Die Tabelle 24 zeigt am Beispiel einer Modellrechnung mit den Daten der Stadt Bremen für einen 3-Stundenzeitraum (Morgenstundengruppe 7-10 Uhr) und einen 4-Stundenzeitraum (Nachmittagsstundengruppe 15-19 Uhr), wie groß der Anteil der problematischen Fahrten bzw. deren Fahrleistung in Intervallen dieser Größenordnung ist. Es zeigt sich, dass knapp 21 % (im 4-Stundenzeitraum) bzw. knapp 29 % (im 3-Stundenzeitraum) der Fahrleistung durch Fahrten erzeugt wird, die im betrachteten Zeitraum nur zum Teil dem absolut korrekten Streckenabschnitt zugeordnet werden.

Berücksichtigt man, dass ein Anteil dieser Fahrten durchaus dem korrekten Streckenabschnitt, dort jedoch unterschätzt, zugeordnet wird und Unterschätzungen sowie Überschätzungen sich teilweise kompensieren, so kann von durchaus brauchbaren Ergebnissen ausgegangen werden.

Dies wird von den Testrechnungen für die Modellstädte, bei denen auch Belastungsermittlungen durchgeführt und mit Zähldaten verglichen wurden, bestätigt.

<b>Fahrten sind:</b>	<b>Vollständig im Intervall</b>	<b>Nur Start oder Ende im Intervall</b>	<b>Start vor und Ende nach dem Intervall</b>	<b>Summe mit Bezug zum Intervall</b>
Stundengruppe	7:00 bis 10:00 15:00 bis 19:00	7:00 bis 10:00 15:00 bis 19:00	7:00 bis 10:00 15:00 bis 19:00	7:00 bis 10:00 15:00 bis 19:00
Anzahl der Fahrten	101.183 22.868	22.378 3.447	40 8	123.601 26.323
Fahrleistung [Kfz*km] Fahrten gesamt	1.975.265 565.134	1.479.607 264.473	7.661 1.871	3.462.533 831.478
Fahrleistung [Kfz*km] anteilig im Intervall	1.975.265 565.134	797.843 148.197	5.600 1.535	2.778.708 714.848
relativer Anteil [in %] der Fahrl. im Intervall	71,09 % 79,06 %	28,71% 20,73%	0,20% 0,21%	100 % 100 %

Tabelle 24: Beispielhafte Auswertung der Anteile der Fahrten bzw. ihrer Fahrleistung, die bei der Umlegung von Zeitintervallen anteilige Fehler liefern (Auswertung ohne weiträumigen Durchgangsverkehr)

### 7.5.5 Ergebnisausgabe und Auswertungsmöglichkeiten

Die Ergebnisse der Modellrechnungen sind in erster Linie die Eingangsdaten für Programme zur Streckenbelastungsermittlung. Wie oben beschrieben, sind hier dynamische Umlegungsmodelle und statische Umlegungsmodelle zu unterscheiden.

Die Ergebnisdatensätze für die dynamisch arbeitenden Systeme sind Fahrtensätze mit Angabe der Startzeit je Fahrt. Dabei wird ein Datensatz für die Personenfahrten im öffentlichen Verkehr sowie ein Datensatz für den Personenwirtschaftsverkehr, den Lkw-/Güterverkehr sowie für die sog. dispersen Verkehre generiert. Insgesamt werden also (je nach Anzahl der definierten dispersen Verkehre) bis zu 12 Fahrtensätze ausgegeben. Die Ergebnisausgabe für die statisch arbeitenden Programmsysteme erfolgt entsprechend mit 12  $F_{ij}$ -Matrizen.

Im Grundsatz besteht auch die Möglichkeit, die Fahrtensätze bzw.  $F_{ij}$ -Matrizen nicht nur nach Fahrzeugart differenziert auszugeben, sondern auch nach Verkehrs-/Transportzweck – Fahrzeugartkombinationen. Damit ergeben

sich jedoch bis zu 61 Ergebnisdatensätze. Eine getrennte Umlegung einer solchen Matrizenanzahl erfordert jedoch relativ große Rechenkapazitäten.

Neben der Nutzung als Eingangsdaten für Umlegungsprogramme können die ausgegebenen Matrizen auch hinsichtlich verschiedener Kennzahlen ausgewertet werden. Dazu seien hier beispielhaft genannt:

- Eckwerte für (Untersuchungs-)Räume: Binnen-, Quell- und Zielverkehr
- Reise-/Fahrtweitemauswertungen

Für diese speziellen Auswertungen wird dem Programmsystem ein separates Auswertungsmodul beigelegt.



## **8 Schnittstellen zu anderen Modellen**

Eines der Ziele bei der Entwicklung des Modells zur Abbildung der Verkehrsnachfrage des kleinräumigen Wirtschaftsverkehrs ist die Integration in ein Gesamtsystem zur Verkehrsplanung. Das Modell wurde dementsprechend, wie das bisher genutzte (jedoch lediglich den Lkw-Verkehr in geringerer Differenzierung abbildende), in das Programmsystem VENUS aus dem Hause des Auftragnehmers integriert. Um aber auch eine Verknüpfung mit anderen Systemen zur Simulation des städtischen und regionalen Verkehrs zu ermöglichen, wurde das kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodell mit fest definierten Schnittstellen ausgestattet.

### **8.1 Raumeinteilung und Strukturdaten**

Die Verknüpfung/Integration mit den existierenden Modellen zur Abbildung des privaten Personenverkehrs setzt voraus, dass beide Modelle auf die gleiche, kleinräumige Zelleneinteilung zurückgreifen. Um den Austausch der Daten zur Raumeinteilung zu ermöglichen wurden zwei Schnittstellen geschaffen.

Das kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodell verfügt zur Übergabe der Abgrenzungen der Verkehrszellen sowohl über eine ASCII-Schnittstelle, in der die Abgrenzungen der Verkehrszellen als Polygonzug zusammen mit dem Zellenschwerpunkt abgelegt sind, als auch über eine MIF-Schnittstelle zum GIS-System MapInfo. In der MIF-Datei sind neben der Abgrenzung der Verkehrszellen auch die im Modell verwendeten Strukturdaten abgelegt. Die MIF-Datei kann aber auch von anderen GIS (z. B. ArcView) importiert werden.

Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, die verwendeten Strukturdaten als MS-Excel-Datei zu ex- und importieren.

Ein Andruck der ASCII-Datei zur Zellenabgrenzung sowie der Spaltenkopf der Excel-Datei mit den Strukturdaten sind in der Anlage 6 enthalten.

### **8.2 Personenverkehrsmodelle**

Zur Übergabe an die Modelle zur Ermittlung der Personenverkehrsnachfrage werden i. d. R. nur die Daten zur Raumeinteilung/Zellenabgrenzung und zur

Siedlungsstruktur benötigt. Die für die einzelnen Personenverkehrsmodelle ggf. noch notwendigen weiteren Strukturdaten, die für das kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodell nicht erforderlich sind, wären noch zusätzlich zu beschaffen. Die Angaben zu den Einwohnern, Erwerbstätigen und den Beschäftigten sowie zum Kfz-Bestand können mit Hilfe der o. g. Schnittstellen aus dem kleinräumigen Wirtschaftsverkehrsmodell übernommen werden.

Es gilt zu beachten, dass in den Fällen, in denen das verwendete Personenverkehrsmodell neben den Verkehrsnachfrageberechnungen für den privaten Personenverkehr auch Nachfrageberechnungen für den Personenwirtschaftsverkehr (z. B. den Reisezweck Geschäft) vornimmt, diese im Personenverkehrsmodell zu sperren, um den Personenwirtschaftsverkehr nicht über beide Modelle (Personenverkehrsmodell und Wirtschaftsverkehrsmodell) und damit doppelt zu erzeugen. Sollte die Sperrung im verwendeten Personenverkehrsmodell nicht möglich sein, so kann alternativ im Wirtschaftsverkehrsmodell die Berechnung der Nachfrage im Personenwirtschaftsverkehr gesperrt werden. In diesem Falle wird mit Hilfe des Wirtschaftsverkehrsmodells nur der Lkw-/Güterverkehr sowie ggf. der disperse Verkehr – unter Verwendung des entsprechenden Teil-Modells – bearbeitet.

### **8.3 Lkw-/Güterverkehrsmodelle**

Ebenso wie bei den Modellen zur Ermittlung der Personenverkehrsnachfrage werden auch bei den Modellen zur Ermittlung der Lkw-/Güterverkehrsnachfrage anderer Hersteller i. d. R. nur die Daten zur Raumeinteilung/Zellenabgrenzung und zur Siedlungsstruktur benötigt.

In den Fällen, bei denen ein anderes als das hier entwickelte kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodell für die Nachfrageermittlung im Lkw-/Güterverkehr genutzt wird, ist es möglich, nur die noch fehlende Verkehrsnachfrage im Personenwirtschaftsverkehr mit dem kleinräumigen Wirtschaftsverkehrsmodell zu berechnen. Hierbei kommt dann nur das Teil-Modell „Personenwirtschaftsverkehr“ zum Einsatz.

### **8.4 Umlegungsmodelle**

Beim Datenaustausch zwischen den Umlegungsmodellen und dem kleinräumigen Wirtschaftsverkehrsmodell ist zwischen:

- dem Daten-Input für die Umlegungsmodelle, der aus dem Wirtschaftsverkehrsmodell stammt, und
- dem Daten-Input für das kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodell, der mit Hilfe des Umlegungsmodells erzeugt wird

zu unterscheiden.

### **Input für Umlegungsmodelle**

Bei dem Input für die Umlegungsmodelle handelt es sich um die Nachfragematrizen des Personenwirtschaftsverkehrs (differenziert nach Personenfahrtenmatrizen im öffentlichen Verkehr und Pkw-Matrizen) und die Nachfragematrizen des Lkw-/Güterverkehrs (differenziert nach den hier definierten Fahrzeugarten). Diese Matrizen können im VENUS-Format oder auch als ASCII-Datensatz an das Umlegungsmodell übergeben werden. Ein Andruck des ASCII-Datenformates für die Umlegungsmatrizen ist in der Anlage 6 enthalten. Dieses Datenformat wird auch für die Übergabe der Widerstandsmatrizen verwendet.

Wie bereits im Kapitel 7.5 ausgeführt wurde, können vom kleinräumigen Wirtschaftsverkehrsmodell sowohl die Nachfragematrizen für statische als auch für dynamische Umlegungsmodelle zur Verfügung gestellt werden.

Beim Kfz-Verkehr gilt es zu beachten, dass die Nachfragematrizen des privaten Pkw-Verkehrs und die mit Hilfe des kleinräumigen Wirtschaftsverkehrsmodells erzeugten Nachfragematrizen des Pkw-Wirtschaftsverkehrs sowie die Nachfragematrizen der Fahrzeugarten des Lkw zusammengeführt werden. Ohne die Berücksichtigung aller Nachfragedaten im Kfz-Verkehr würde es bei den kapazitätsabhängigen Umlegungsverfahren im Kfz-Verkehr zu fehlerbehafteten Umlegungen kommen. Wenn das verwendete Umlegungsmodell dies ermöglicht, können die einzelnen Matrizen eigenständig umgelegt werden. Andernfalls können die zuvor genannten Matrizen mit Hilfe der Matrizen-Tools zu je einer Matrix für den Pkw-Verkehr und einer Matrix des Lkw-Verkehrs, ggf. auch zu einer Kfz-Matrix überlagert werden.

Auch für den öffentlichen Verkehr gilt, dass die Nachfrage aus dem privaten Personenverkehr mit der des Personenwirtschaftsverkehrs zusammengeführt werden muss, um ein Gesamtbild der Belastungen zu erhalten.

**Input für das kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodell**

Bei dem Input für das kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodell handelt es sich um die Widerstandsmatrizen im MIV (möglichst differenziert nach den einzelnen Fahrzeugarten) und um die Widerstandsmatrizen im ÖV. Das Datenformat der Widerstandsmatrizen ist mit dem der Nachfragematrizen (s. o.) identisch.

Bei den verwendeten Widerständen handelt es sich um so genannte „generalised Costs“ auf der Basis von Zeiteinheiten. Hierin können anstelle von „reinen“ Zeitwiderständen aber auch die durch die Einrechnung unterschiedlicher Kostenkomponenten veränderten Zeitwiderstände enthalten sein. Auf diese Weise können sowohl reine Zeitwiderstände als auch die Einflüsse der Kosten an das kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodell übergeben werden.

## 9 EDV-technische Umsetzung

Da das Ergebnis dieses Forschungsvorhabens nicht nur ein theoretisch definiertes Modell, sondern auch ein in der Praxis einsetzbares Programmsystem sein soll, war auch die EDV-technische Umsetzung, d. h. Programmierung der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Modellansätze erforderlich.

Das Programmsystem besteht aus den folgenden Einzelkomponenten.

- Editor  
Bearbeitung der Eingangsdaten, Einstellung und Start und Koordination der Rechenläufe, Darstellung der (Zwischen-)Ergebnisse
- Rechenkern  
Durchführung der Berechnungen
- Zusatztools  
Matrizenbearbeitung und -auswertung, Import- und Exportmöglichkeiten.

Das Programmsystem ist so ausgelegt, dass es sich als ein Baustein in den „Verkehrsplaner-Arbeitsplatz“ einfügt. Weitere Bausteine des „Verkehrsplaner-Arbeitsplatz“ sind die Erzeugung des privaten Personenverkehrs (IV und ÖV) sowie die Belastungsermittlung für das Straßennetz (Umlegung der Verkehrsnachfrage mit Berücksichtigung der Interaktion zwischen privatem Verkehr und Wirtschaftsverkehr) und das öffentliche Liniennetz.

Zur Unterstützung der Handhabung werden ein Handbuch und eine Online-Hilfe erstellt und dem Nutzer übergeben.

### 9.1 Technische Anforderungen

Um eine möglichst breite Anwendbarkeit zu ermöglichen, wurde das Programmsystem für den Einsatz auf einem handelsüblichen PC mit Windows-Betriebssystem konzipiert. Für Projekte mit bis zu 1.000 zu bearbeitenden Verkehrszellen reicht ein mit 512 MB Hauptspeicher ausgestatteter PC mit Pentium 4 Hauptprozessor (oder entsprechendes AMD-Modell) aus.

## 9.2 Datenbearbeitung

Die Datenbearbeitung bzw. Daten- und Parametereingabe erfolgt mit Hilfe eines Programmeditors, der mit einer graphischen interaktiven Benutzeroberfläche versehen ist. So wird auch die räumliche (georeferenzierte) Darstellung der Verkehrszellen sowie der zugeordneten Daten ermöglicht.

Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Bearbeitungsmöglichkeiten bzw. die Verwaltung der Strukturdaten als zentrale Größe der Verkehrserzeugung gelegt. Der entsprechende Programmbaustein ermöglicht

- die Bearbeitung der Strukturdaten je Zelle
- das Verwalten der Strukturdaten
- die automatische Plausibilitätsprüfung der Strukturdaten mit einem integrierten Anpassungs-Rechner zur Beseitigung ggf. auftretender Disparitäten (Eckwerte – Einzelwerte / Ausgleichsrechnungen)
- die Strukturdatenbearbeitung in Verbindung mit der Zellenbearbeitung (Zellensplit oder -aggregation) mit Hilfe integriertem Strukturdaten-Rechner
- den Import/Export der Strukturdaten als Excel-Datei oder im MIF-Format

Neben den Strukturdaten sind auch die weiteren Modellparameter (z. B. Erzeugungs- und Bindungsraten) über die Benutzeroberfläche editierbar. Dabei sind auch graphische Darstellungen (z. B. Gravitationskurven) integriert.

## 9.3 Ergebnisausgabe und Möglichkeiten zur Auswertung

Die Ergebnisausgabe erfolgt ebenfalls über die graphische Benutzeroberfläche des Editors sowie mit einem speziellen Programmmodul für die Matrizenauswertung. Hier können neben den Endergebnissen auch Zwischenergebnisse nach jeder Bearbeitungsstufe (Module der Teilmodelle) für alle Verkehrs- und Transportzwecke betrachtet werden.

Zum einen ist eine Visualisierung am Bildschirm, zum anderen die Ausgabe über Drucker / Plotter möglich. Die Einzelergebnisse werden sowohl in Tabellen- als auch Matrizenform angeboten. Darüber hinaus ist die Ausgabe von Eckwerten als Randsummen für definierte Gebiete (z. B. Untersuchungsraum, aber auch selbst definierte Aggregationsbereiche) möglich. In die Aus-

wertungsmöglichkeiten sind auch Fahrtweiten-/Fahrtzeitauswertungen für die berechneten Nachfragematrizen eingeschlossen, sofern entsprechende Entfernungsmatrizen<sup>31</sup> vorliegen.

Für die Datenübergabe zur weitergehenden Bearbeitung und Auswertung sind Schnittstellen zu den Datenformaten MS-Access, MS-Excel, Map-Info und in das ASCII-Format enthalten. Die nachfolgenden Abbildungen geben einen Eindruck von der Gestaltung der Benutzeroberfläche des Editors.

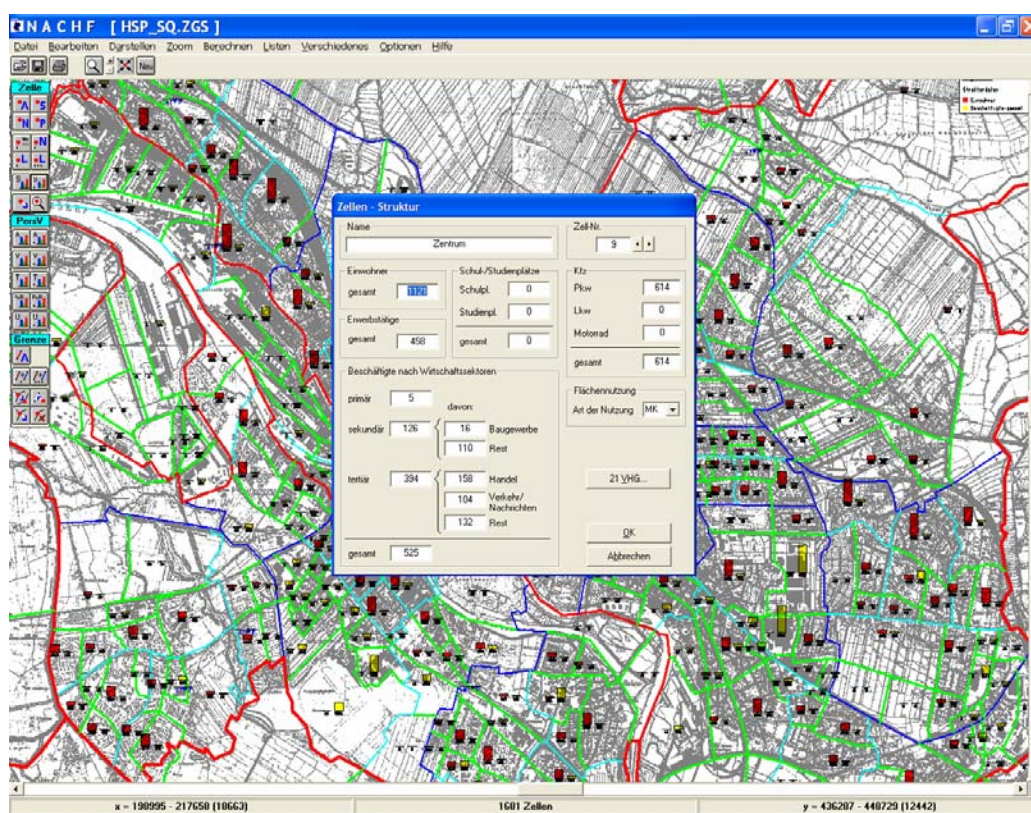


Abbildung 26: Programmfenster der Benutzeroberfläche (Editor) mit Darstellung des Fensters zur Strukturdatenbearbeitung

<sup>31</sup> Matrizen mit den Fahrzeiten zwischen den Verkehrszellen sind als Widerstandslieferant für den Modellablauf sowieso notwendig und daher als vorhanden voraussetzbar. Matrizen mit den Entfernungen zwischen den Verkehrszellen können oft genauso wie die Zeitwiderstände mit den Programmsystemen für die Belastungsermittlung (Umlegungsmodelle) erzeugt werden.



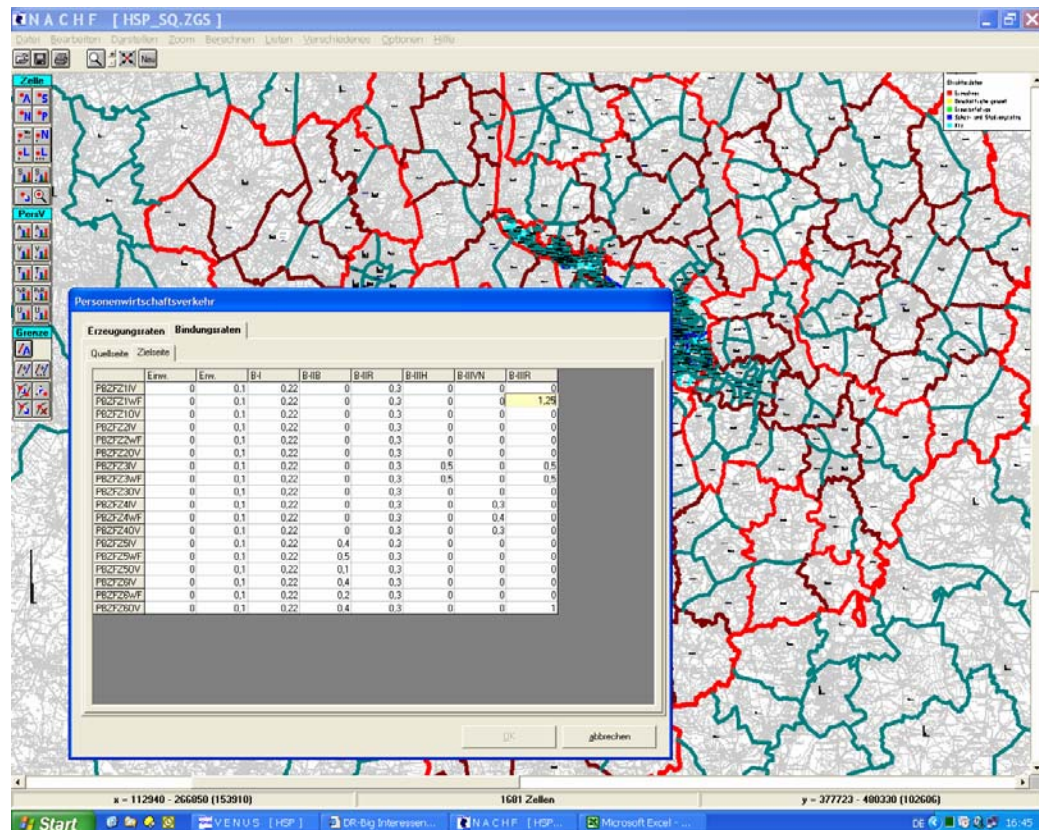


Abbildung 27: Programmfenster der Benutzeroberfläche (Editor) mit Darstellung des Fensters zur Bearbeitung von Erzeugungsraten



## **10 Modellanwendung für die drei Beispielstädte**

### **10.1 Überprüfung des Verkehrsmodells für den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr an realen Beispielen**

Um die Zuverlässigkeit des entwickelten Lösungsansatzes sowie die Handhabbarkeit des erstellten Programminstrumentariums zur Ermittlung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr zu prüfen, wurden spezielle Testläufe an realen Beispielen durchgeführt. Dementsprechend wurden für die Freie Hansestadt Bremen, die Stadt Dortmund und die Bundesstadt Bonn Testrechnungen durchgeführt, die von der Ermittlung der Verkehrsnachfrage bis hin zur Ermittlung der Verkehrsbelastungssituation im Kfz-Verkehr reichten.

Mit den vorgenannten 3 Modellstädten wurden 3 unterschiedliche Stadttypen in die Untersuchungen einbezogen, so dass hierdurch die Überprüfung der Flexibilität des Modellansatzes im Hinblick auf unterschiedliche Stadttypen ermöglicht wurde.

Darüber hinaus stand für alle 3 überprüften Städte im Hause der Ingenieurgruppe IVV umfangreiches Datenmaterial zur Verfügung. Dies reichte von Aussagen zur

- Siedlungsstruktur
- Angebotsstruktur im Straßennetz
- Angebotsstruktur im öffentlichen Linienverkehr
- Nachfragestruktur im Personenverkehr
- Nachfragestruktur im Wirtschaftsverkehr bis hin zu
- Kontrolldaten zur Belastungssituation im öffentlichen Liniennetz sowie im Straßennetz (differenziert nach Pkw und Lkw)

Insbesondere den letztgenannten Daten fällt bei der Kontrolle des erarbeiteten Verkehrsnachfragemodells für den Wirtschaftsverkehr eine besondere Bedeutung zu. Um entsprechende Belastungsdaten modelltechnisch zu erzeugen, wurden die ermittelten Lkw- und Pkw-Matrizen des kleinräumigen

Wirtschaftsverkehrs zusammen mit der Pkw-Matrix des Personenverkehrs auf das Straßennetz der Modellstädte umgelegt.

Hierbei fand ein Umlegungsmodell mit widerstandsabhängiger Belastungskorrektur (Capacity-Restraint) Anwendung, bei dem der Pkw- und Lkw-Verkehr schrittweise (in jeweils 10 Schritten) umgelegt wurde. Die Umlegung erfolgte unter Berücksichtigung detaillierter Strecken- und Knotenwiderstände bis hin zu Fahrverboten, wobei diese für Pkw und Lkw (differenziert nach den 5 erzeugten Fahrzeugarten) speziell definiert wurden.

Durch eine vergleichende Gegenüberstellung der sich durch Simulation ergebenden Verkehrsnachfrage und Belastungssituation im Lkw-/Schwerverkehr mit den vorliegenden, aus Zählungen gewonnenen Daten ist somit eine direkte Ergebniskontrolle möglich.

Nicht ganz so eindeutig wie beim fast ausschließlich dem Wirtschaftsverkehr dienenden Lkw-/Schwerverkehr, stellt sich die Ergebniskontrolle im Personenwirtschaftsverkehr mit Pkw dar. Hier kann anhand von Kfz-Zählungen im Straßennetz nicht zwischen reinem (privaten) Personenverkehr und Wirtschaftsverkehr unterschieden werden, so dass sich hier die Kontrollen auf den gesamten Pkw-Verkehr beziehen müssen. Trotz dieser Einschränkung ist jedoch auch hier die Möglichkeit gegeben, zumindest den Gesamtrahmen zu überprüfen. Als weitere Kontrollmöglichkeiten sind noch Vergleichsbetrachtungen zwischen simulierten und über KID und MID erhobenen Reisezeiten und Reiseweiten möglich.

## **10.2 Beschreibung der Modellstädte**

### **10.2.1 Bremen**

Die Stadt Bremen bildet zusammen mit der Stadt Bremerhaven das kleinste Bundesland der Bundesrepublik Deutschland. Bremen ist Sitz der Landesregierung und sowohl kulturelles als auch wirtschaftliches Zentrum der Region.

Bremen verfügt über einen eigenen See- und Binnenhafen, wobei insbesondere der Containerhafen in Verbindung mit dem Güterverkehrszentrum (GVZ) eine besondere Bedeutung hat.

Weiterhin besitzt Bremen einen eigenen Verkehrsflughafen.

Mit seinen ca. 550.000 Einwohnern ist Bremen das bedeutendste Oberzentrum des Weserraumes, in dessen Einzugsbereich ca. 1,7 Mio. Einwohner leben.

In der Stadt Bremen waren im Jahre 2001 rund 328.800 Menschen beschäftigt (davon ca. 241.700 sozialversicherungspflichtig). Hiervon entfallen

- ca. 1.100 Beschäftigte auf den primären
- ca. 79.200 Beschäftigte auf den sekundären und
- ca. 248.500 Beschäftigte auf den tertiären Wirtschaftssektor

Von letzteren entfallen

- ca. 55.600 Beschäftigte auf den für den Wirtschaftsverkehr besonders wichtigen Bereich des Handels sowie
- ca. 33.500 Beschäftigte auf den Wirtschaftszweig Verkehr und Nachrichtenübermittlung.

Bremen		Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2001		aktuelle Strukturdaten im Venus, 2001 gem. Angaben der Städte		
		Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte		Alle Beschäftigte	Alle Beschäftigten (Differenz absolut)	Alle Beschäftigten (Differenz relativ)
I	Land- und Forstwirtschaft, Fischerei (A, B)	693	837	1.138	301	36%
I	Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden (C)	144				
II	Verarbeitendes Gewerbe (D)	60.340				
II	Energie- und Wasserversorgung (E)	1.099	74.595	79.164	4.569	6%
II	Baugewerbe (F)	13.156				
III	Handel, Instandh., Rep. v. Kfz u. Gebrauchsgütern (G)	36.179	36.179	55.607	19.428	54%
III	Gastgewerbe (H)	5.843				
III	Verkehr und Nachrichtenübermittlung (I)	25.164	25.164	33.476	8.312	33%
III	Kredit- und Versicherungsgewerbe (J)	9.465				
III	Grundstücks-, Wohnungswesen, Dienstl.f. Unternehm. (K)	30.955	Rest	Rest	Rest	Rest
III	Öffentl. Verwaltung, Verteidigung, Sozialvers. (LQ)	8.644	104.883	159.379	54.496	52%
III	Erziehung, Gesundh./Sozialwesen, sonst. Dienstl. (M-P)	49.976				
Gesamt	Insgesamt (einschl. ohne Angabe)	241.658	241.658	328.764	87.106	36%

Tabelle 25: Strukturdaten der Stadt Bremen

In der Stadt Bremen waren (2001) 281.151 Kfz gemeldet. Hiervon entfallen

- 250.914 Kfz auf Pkw, Kombi, Lieferwagen
- 2.437 Kfz auf Transporter 2,8 t – 3,5 t zul. GG
- 2.164 Kfz auf leichte Lkw, 3,5 t – 7,5 t. zul. GG

- 327 Kfz auf mittelschwere Lkw von 7,5 t – 12,0 t zul. GG
- 1.592 Kfz auf schwere Lkw > 12 t zul. GG.

Die restlichen Kfz entfallen auf Krafträder und sonstige Kfz.

Die Überprüfung des Modellansatzes zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr in der Stadt Bremen erfolgt auf einer räumlichen Gliederung von

- 450 Verkehrszellen im Stadtgebiet Bremen und
- 450 Verkehrszellen im Umland

Ferner wird ein Straßennetz mit ca. 30.000 Streckenabschnitten/Richtungen und ca. 12.500 Knotenpunkten für die Stadt Bremen und das Umland genutzt. Die Berechnungen für den öffentlichen Linienverkehr basieren auf einem Liniennetz mit 400 Linien/Kursen des Bus- und Schienenverkehrs und 2.200 Knoten.

Die Auswertung der mit Hilfe der Modellsimulation berechneten Verkehrsnachfrage für den privaten Personenverkehr und den mit Pkw und Lkw abgewickelten Wirtschaftsverkehr führt zu dem Ergebnis, dass von der Bremer Bevölkerung an einem normalen Werktag

- ca. 960.000 Personenfahrten/Tag mit dem Kfz (79 %) und
- ca. 260.000 Personenfahrten/Tag mit öffentlichen Verkehrslinien (21 %)

abgewickelt werden. Von der mit Kfz abgewickelten Verkehrsnachfrage entfallen rd. 88 % auf den privaten Personenverkehr und rd. 12 % auf den Personenwirtschaftsverkehr. Beim öffentlichen Personenverkehr stellt sich die Situation extremer dar; hier sind rd. 97 % dem privaten Personenverkehr und nur rd. 3 % dem Personenwirtschaftsverkehr zuzurechnen.

Die für den Untersuchungsfall Bremen genutzten Grundlagen

- zur Siedungsstruktur
- zur Verkehrszelleneinteilung
- zum Straßennetzmodell
- zum öffentlichen Liniennetzmodell

- zur Verkehrsnachfrage-Situation

sind der Anlage 8 zu entnehmen.

Von besonderer Bedeutung ist darüber hinaus die Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählungen gewonnenen Belastungswerte. Diese Ergebnisse sind in Abbildung 28 für den Pkw-Verkehr dargestellt. Die Gegenüberstellung der jeweiligen Wertesätze verdeutlicht, dass die Belastungssituation im gesamten Pkw-Verkehr, d.h. im privaten Pkw-Verkehr und Personenwirtschaftsverkehr zusammen genommen gut abgebildet ist. Im Vergleich von gezählten und modelltechnisch bestimmten Querschnittsbelastungen ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß von 0,967. Die Steigung der durch den Nullpunkt verlaufenden Regressionsgeraden ergibt sich zu 1,074. Hieraus lässt sich der Schluss ziehen, dass damit auch die Verkehrsnachfrage des Personenwirtschaftsverkehrs gut abgebildet sein dürfte.

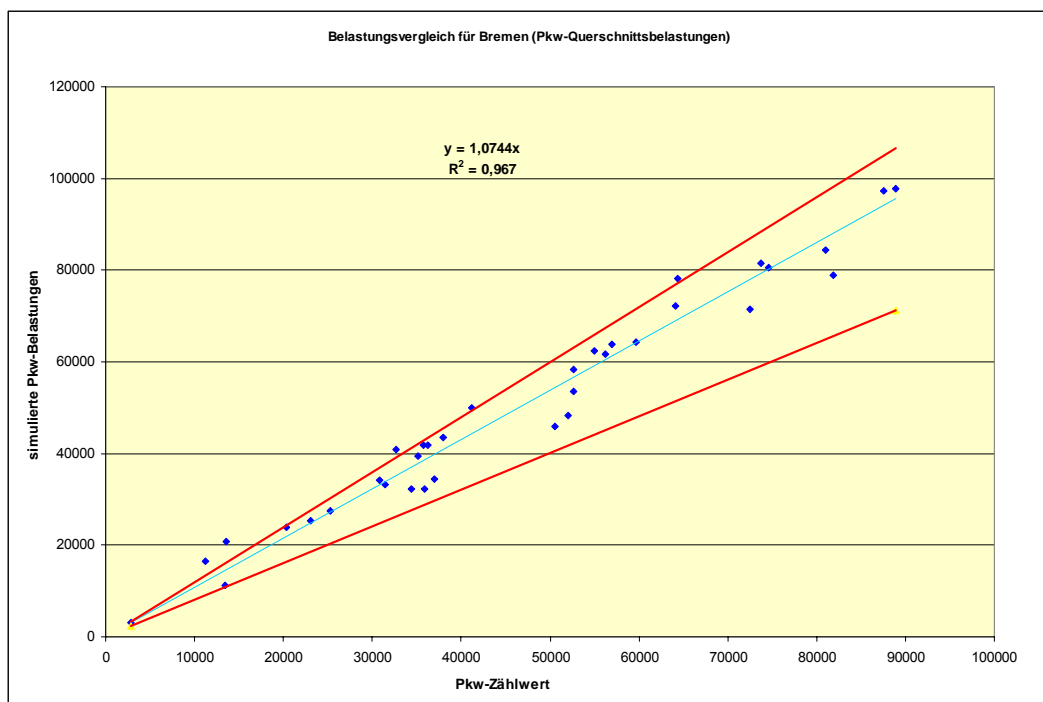


Abbildung 28: Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für die Stadt Bremen (Pkw-Verkehr) – Tageswerte

Neben der Regressionslinie sind in den folgenden Abbildungen auch noch die obere und untere Grenze der 20-%-igen Abweichung zwischen den Zählwerten und den simulierten Belastungen eingetragen. Die Abbildung 28 zeigt, dass für Bremen fast alle Messwerte zwischen diesen Grenzl意思en liegen. Hieraus kann abgeleitet werden, dass das Gesamtniveau der Verkehrsnachfrage gut getroffen wurde. Lediglich einige Abweichungen deuten auf weiteren Kalibrierungsbedarf hin.

Die Gegenüberstellung der simulierten und gezählten Belastungen für den Schwerverkehr (Lkw über 3,5 t Gesamtgewicht) erlaubt einen direkten Vergleich und damit eine eindeutige Ergebnisbewertung. Hier führt die Gegenüberstellung der Wertesätze zu dem Ergebnis, dass die anhand des entwickelten Modellansatzes für die Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr abgeleiteten Belastungsergebnisse mit den erhobenen Belastungen gut übereinstimmen. Das Bestimmtheitsmaß liegt hier bei 0,971. Eine vergleichende Übersicht hierzu ist der Abbildung 29 zu entnehmen.

Lediglich im Bereich geringer Belastungen sind größere Abweichungen (über 20 %) zu verzeichnen. Diese – meist auf nachgeordneten Strecken auftretenden – Abweichungen der modelltechnisch bestimmten Querschnittsbelastungen sind i. A. auf spezielle lokale Besonderheiten zurückzuführen, die weitere Kalibrierungsarbeiten in den Umlegungsnetzen sowie eine lokale Feinkalibrierung der zellspezifischen Ausnutzungsfaktoren in der Nachfrageberechnung erfordern. Diese kleinteilige Arbeit war jedoch nicht Ziel/Gegenstand des Forschungsvorhabens, das der Entwicklung des Modellinstrumentariums diente.

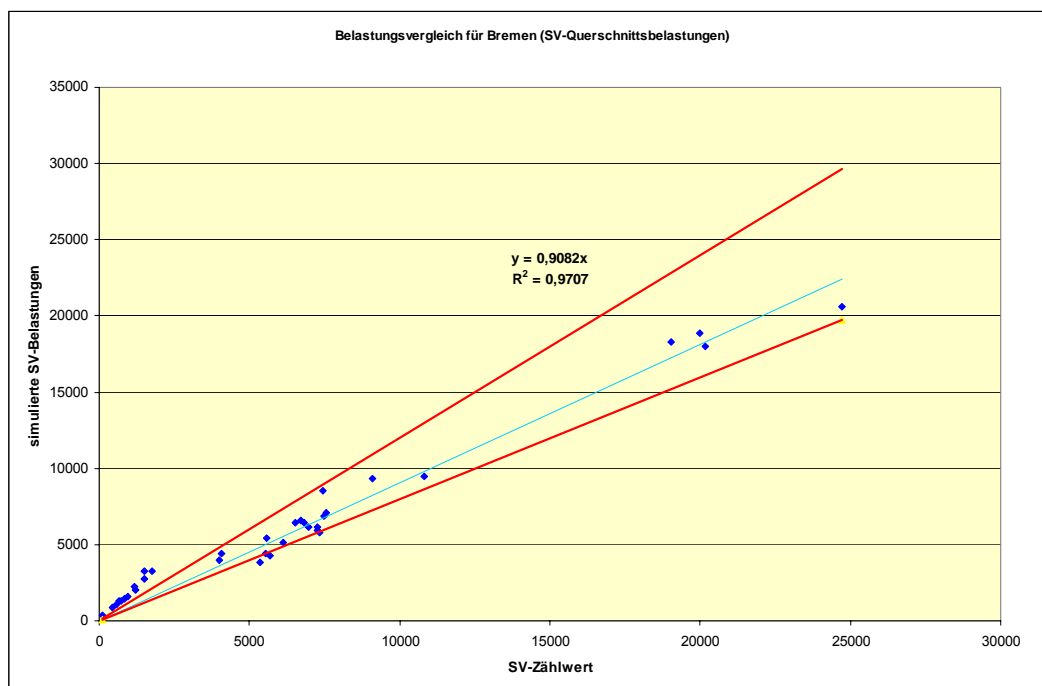


Abbildung 29: Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für die Stadt Bremen (Schwerverkehr) – Tageswerte

Ein entsprechender Vergleich der Belastungen an der Netzkante kann der Anlage 10 entnommen werden.

Bei der Bewertung dieser Ergebnisse darf nicht außer Acht gelassen werden, dass auch Zählergebnisse temporären Schwankungen unterliegen und immer nur eine Augenblickssituation repräsentieren. Dies gilt für simulierte Datensätze nicht. Diese beziehen sich in der Regel – so auch im vorliegenden Fall – auf einen "normalen Werktag" und sind demzufolge nicht durch zufällige Ereignisse (wie Unfälle, kurzzeitige Baustellen) beeinflusst.

### 10.2.2 Dortmund

Die Stadt Dortmund ist mit ca. 600.000 Einwohnern der östliche Eckpfeiler des Ruhrgebietes und stellt ein bedeutendes kulturelles wie auch wirtschaftliches Zentrum dar. Dementsprechend wird die Stadt Dortmund durch eine Vielzahl von Gewerbe- und Industriebetrieben wie auch von einem attraktiven Angebot an Handelseinrichtungen in der Innenstadt geprägt. Dies hat zur Folge, dass der Versorgungsbereich der Stadt Dortmund mehr als 2 Mio. Einwohner umfasst.

Die Stadt Dortmund ist mit seinem Hafen am Dortmund-Ems-Kanal mit dem Binnenwasserstraßennetz verknüpft und verfügt darüber hinaus über einen Regionalflughafen, über den eine Reihe innerdeutscher und europäischer Destinationen angeflogen werden.

In der Stadt Dortmund waren im Jahre 2001 rund 237.100 Menschen beschäftigt (davon ca. 196.600 sozialversicherungspflichtig). Hiervon entfallen

- ca. 1.500 Beschäftigte auf den primären
- ca. 56.600 Beschäftigte auf den sekundären und
- ca. 179.000 Beschäftigte auf den tertiären Wirtschaftssektor

Von letzteren entfallen

- ca. 38.900 Beschäftigte auf den für den Wirtschaftsverkehr besonders wichtigen Bereich des Handels sowie
- ca. 32.200 Beschäftigte auf den Wirtschaftszweig Verkehr und Nachrichtenübermittlung.

Dortmund		Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2001		aktuelle Strukturdaten im Venus, 2001 gem. Angaben der Städte		
		Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte		Alle Beschäftigte	Alle Beschäftigten (Differenz absolut)	Alle Beschäftigten (Differenz relativ)
I	Land- und Forstwirtschaft, Fischerei (A, B)	1.114				
I	Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden (C)	440	1.554	1.504	- 50	-3%
II	Verarbeitendes Gewerbe (D)	32.237	34.804	39.982	7.415	21%
II	Energie- und Wasserversorgung (E)	2.567				
II	Baugewerbe (F)	14.423	14.423	16.660	2.237	16%
III	Handel, Instandh., Rep. v. Kfz u. Gebrauchsgütern (G)	30.760	30.760	38.930	8.170	27%
III	Gastgewerbe (H)	5.110				
III	Verkehr und Nachrichtenübermittlung (I)	14.673	14.673	32.203	17.530	119%
III	Kredit- und Versicherungsgewerbe (J)	12.018				
III	Grundstücks-, Wohnungswesen, Dienstl. f. Unterneh. (K)	31.174	Rest	Rest	Rest	Rest
III	Öffentl. Verwaltung, Verteidigung, Sozialvers. (LQ)	10.362	100.340	107.843	7.503	7%
III	Erziehung, Gesundh./Sozialwesen, sonst. Dienstl. (M-P)	41.676				
Gesamt	Insgesamt (einschl. ohne Angabe)	196.554	196.554	237.122	40.568	21%

Tabelle 26 Strukturdaten der Stadt Dortmund

In der Stadt Dortmund waren (2001) 322.667 Kfz gemeldet. Hiervon entfallen

- 287.750 Kfz auf Pkw, Kombi und Lieferwagen
- 2.143 Kfz auf Transporter von 2,8 bis 3,5 t zul. GG
- 2.402 Kfz auf leichte Lkw von 3,5 bis 7,5 t zul. GG
- 287 Kfz auf mittelschwere Lkw von 7,5 bis 12 t zul. GG
- 1.419 Kfz auf schwere Lkw > 12,0 t zul. GG.



Die restlichen Kfz entfallen auf Krafträder und sonstige Kfz.

Die Überprüfung des Modellansatzes zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr in der Stadt Dortmund erfolgt auf einer räumlichen Gliederung von

- ca. 460 Verkehrszellen für das Stadtgebiet und
- ca. 270 Verkehrszellen für das Umland.

Ferner wird ein Straßennetz genutzt, das über 7.750 Streckenabschnitte und 10.442 Knotenpunkte verfügt. Die Berechnungen für den öffentlichen Linienverkehr basieren auf einem Liniennetz mit 199 Linien/Kursen des Bus- und Schienenverkehrs und 1.589 Knoten.

Die auf der Basis der Modellsimulation für den privaten Personenverkehr und den mit Pkw und Lkw abgewickelten Wirtschaftsverkehr berechnete Verkehrsnachfrage führt zu dem Ergebnis, dass an einem normalen Werktag

- rund 1.230.000 Personen/Tag mit dem Kfz (75,7 %) und
- rund 395.000 Personen/Tag mit öffentlichen Verkehrslinien (24,3 %)

abgewickelt werden. Von der mit Kfz abgewickelten Verkehrsnachfrage entfallen rund 87,5 % auf den privaten Personenverkehr und rund 12,5 % auf den Personenwirtschaftsverkehr.

Beim öffentlichen Personenverkehr stellt sich die Situation erheblich anders dar; hier sind rund 96,1 % dem privaten Personenverkehr und rund 3,9 % dem Personenwirtschaftsverkehr zuzurechnen.

Die für den Untersuchungsfall Dortmund genutzten Grundlagen

- zur Siedungsstruktur
- zur Verkehrszelleneinteilung
- zum Straßennetzmodell
- zum öffentlichen Liniennetzmodell
- zur Verkehrsnachfrage-Situation

sind den Darstellungen in der Anlage 9 zu entnehmen.

Die Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählungen gewonnenen Belastungswerte für den Tageszeitraum ist für den Pkw-Verkehr in der Abbildung 30 vorgenommen worden. Die Gegenüberstellung der jeweiligen Wertesätze verdeutlicht, dass die Belastungssituation im gesamten Pkw-Verkehr, d.h. im privaten Pkw-Verkehr und Personenwirtschaftsverkehr zusammengekommen auch im Fall der Stadt Dortmund relativ gut abgebildet ist, so dass sich hieraus der Schluss ziehen lässt, dass auch die Verkehrsnachfrage des Personenwirtschaftsverkehrs sich in den Gesamtrahmen der Verkehrsnachfrage einpasst und somit keine Fehleinschätzung des Pkw-Verkehrs insgesamt aufgrund einer Unterschätzung des Wirtschaftsverkehrs gegeben ist.

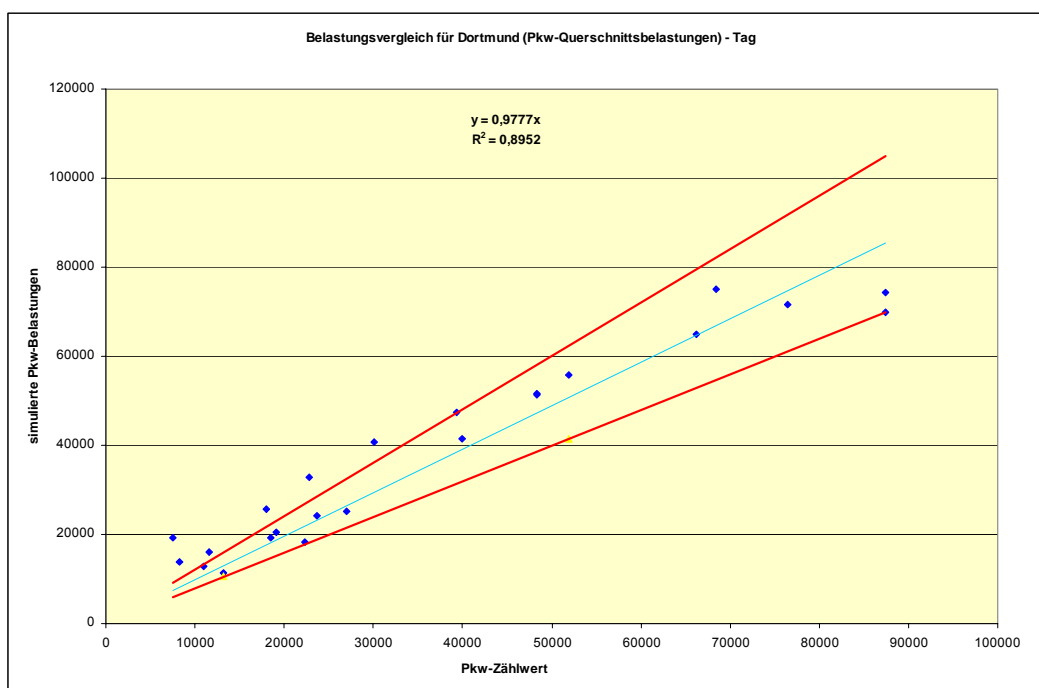


Abbildung 30 Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für die Stadt Dortmund (Pkw-Verkehr) – Tageswerte

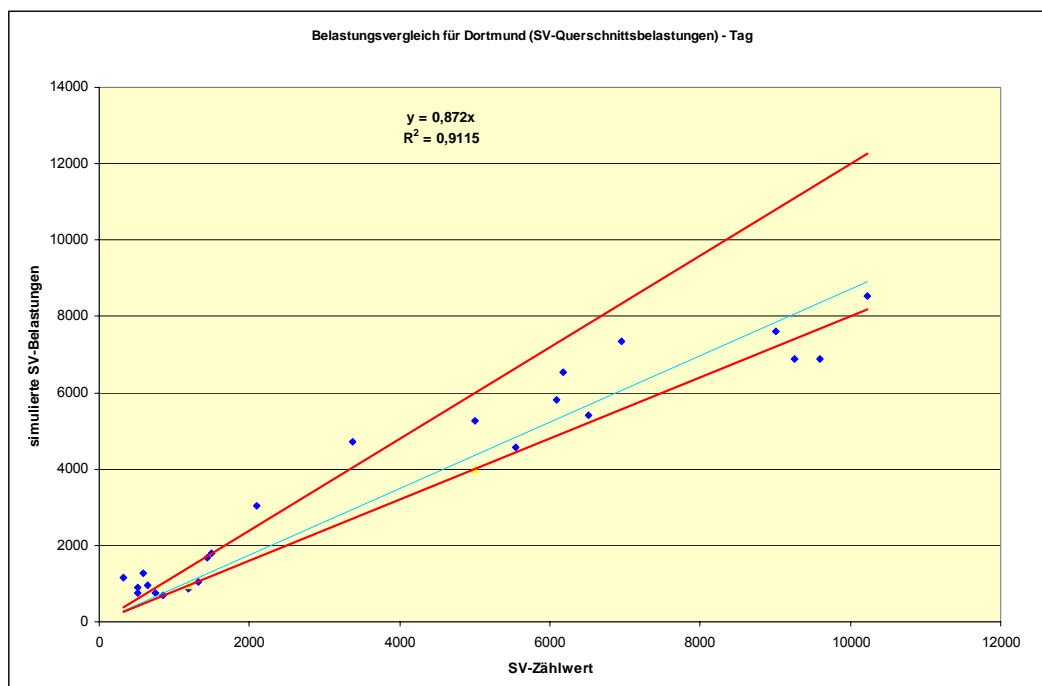


Abbildung 31 Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für die Stadt Dortmund (Schwerverkehr) – Tageswerte

Die Gegenüberstellung der simulierten und gezählten Belastungen für den Schwerverkehr (Lkw über 3,5 t Gesamtgewicht) in der Abbildung 31 erlaubt einen direkten Vergleich. Hier führt die Gegenüberstellung der Wertesätze zu dem Ergebnis, dass die anhand des entwickelten Modellansatzes für die Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr abgeleiteten Belastungsergebnisse mit den erhobenen Belastungen gut übereinstimmen.

Neben den Simulationen für den Werktag wurden für die Stadt Dortmund darüber hinaus die Betrachtungen noch auf die werktägliche Nachmittagsstundengruppe ausgedehnt. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass der Schwerpunkt der bisher für Dortmund durchgeführten modelltechnischen Berechnungen auf der Nachmittagsstundengruppe lag. Dementsprechend war auch das vorliegende Datenmaterial (Zähl-daten, Erzeugung des priv. Personenverkehrs) auf den Nachmittag ausgerichtet. Aus diesem Grunde wurde auch bei den hier durchgeführten Simulationen das Hauptaugenmerk auf diese Stundengruppe gerichtet. Dies spiegelt sich auch in den erreichten Abbildungsgenauigkeiten wieder, die bei der Betrachtung der Nachmittagsstundengruppe sowohl im Pkw- als auch im Schwerverkehr höher liegen als am Tage.

Die Analysen für den Nachmittag wurden analog zu den Analysen für den Werktag durchgeführt. Die Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählungen gewonnenen Belastungswerte für den Pkw-Verkehr in der Nachmittagsstundengruppe 15.00 bis 19.00 Uhr ist in der Abbildung 32 enthalten. Das Bestimmtheitsmaß ergibt sich hier zu 0,94. Die entsprechende Gegenüberstellung der simulierten und gezählten Belastungen für den Schwerverkehr (Lkw über 3,5 t Gesamtgewicht) in der Nachmittagsstundengruppe 15.00 bis 19.00 Uhr ist in der Abbildung 33 dargestellt.

Auch hier sei, wie schon bei den Ergebnissen für die Stadt Bremen darauf hingewiesen, dass die tendenziell höheren Abweichungen bei den Strecken mit niedrigen Belastungsdaten durch weiterführende lokale Kalibrierung im Netzmodell sowie der Nachfrageparameter behoben werden können. Diese kleinteilige Arbeit war jedoch nicht Ziel/Gegenstand des Forschungsvorhabens, das der Entwicklung des Modellinstrumentariums diene.

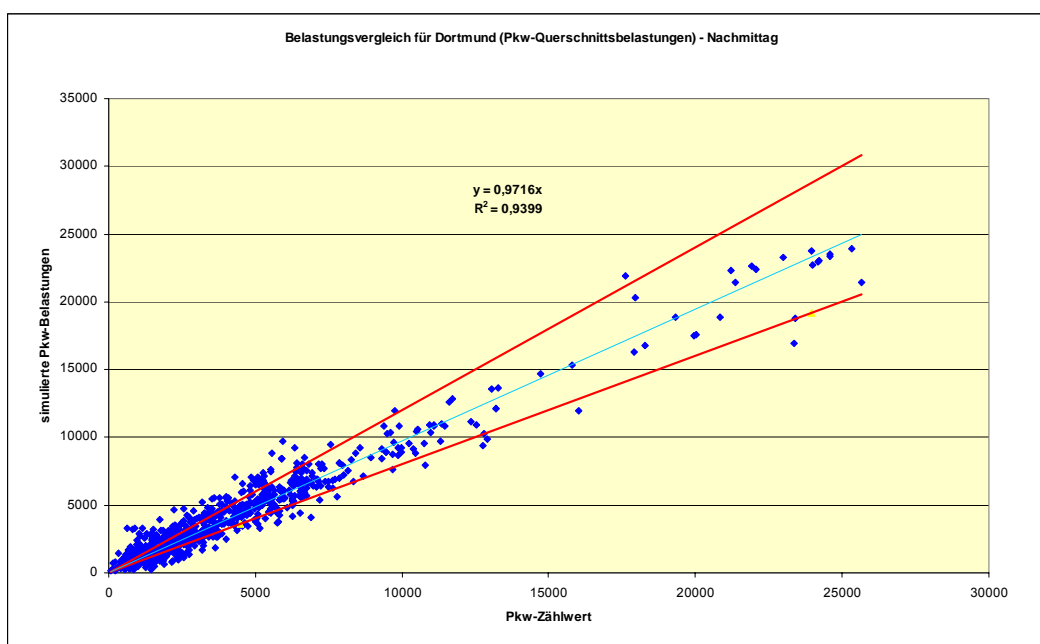


Abbildung 32 Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für die Stadt Dortmund (Pkw-Verkehr) – Nachmittag

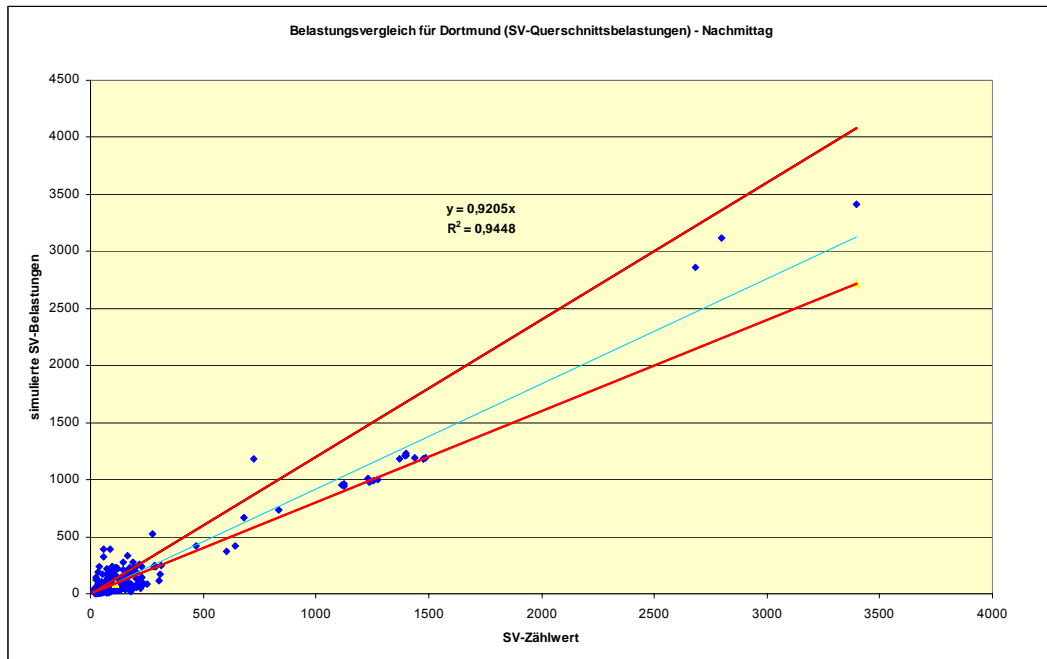


Abbildung 33 Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für die Stadt Dortmund (Schwerverkehr) – Nachmittag

Die entsprechenden Vergleiche der simulierten und gezählten Belastungen im Netzzusammenhang sind in der Anlage 10 zusammengestellt.

Auch für die Stadt Dortmund darf bei der Bewertung dieser Ergebnisse jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass auch Zählergebnisse temporären Schwankungen unterliegen und immer nur eine Augenblickssituation repräsentieren. Dies gilt für simulierte Datensätze nicht. Diese beziehen sich in der Regel – so auch im vorliegenden Fall – auf einen "normalen Werktag" bzw. auf die Nachmittagsstundengruppe eines "normalen Werktags" und sind demzufolge nicht durch zufällige Ereignisse (wie Unfälle, kurzzeitige Baustellen) beeinflusst.

Diese Tatsache ist insbesondere bei der hohen Zahl an Zählwerten, die für den Stadtbereich Dortmund vorliegen von Bedeutung. Je größer die Zählwertdichte im Netz ist, desto wahrscheinlicher sind auch größere Abweichungen zwischen den Zählwerten und den simulierten Belastungen zu erwarten, da sich oft schon benachbarte Zählwerte um mehr als 10 bis 20 % unterscheiden. Dies gilt umso mehr, je inhomogener die zeitliche Basis der Zählwerte ist. Diesen Sachverhalt gilt es, insbesondere bei einer sich eventuell noch anschließenden Feinkalibrierung, zu beachten.

### 10.2.3 Bonn

Die Bundesstadt Bonn mit ihren rd. 308.000 Einwohnern unterscheidet sich in ihrer Struktur deutlich von den Städten Bremen und Dortmund, die in starkem Maß von Strukturen des Handels und Gewerbes geprägt sind. Die gewerblich ausgerichteten Strukturen sind in der Bundesstadt Bonn weniger stark ausgeprägt; stattdessen wird die Arbeitsplatzsituation in verstärktem Maß durch Behörden, Dienstleistungsunternehmen und kulturelle Einrichtungen (einschl. Universität) bestimmt. Darüber hinaus fällt auch der Stadt Bonn als Standort des Handels eine wichtige Rolle zu.

Mit der Wahl der Stadt Bonn als Modellstadt für die hier anstehenden Untersuchungen wurde bewusst ein Stadttyp gewählt, der vorrangig als Verwaltungsstandort und nur nachrangig als Standort von Gewerbe und Industrie zu sehen ist. Hierdurch soll gewährleistet werden, dass das zu entwickelnde Modell zur Simulation der kleinräumigen Verkehrsnachfrage im Wirtschaftsverkehr auch für derart strukturierte Städte zutrifft und somit über alle Stadttypen hinweg einsetzbar ist.

In der Stadt Bonn waren im Jahre 2001 rund 188.800 Menschen beschäftigt (davon ca. 144.400 sozialversicherungspflichtig). Hiervon entfallen

- ca. 22.600 Beschäftigte auf den sekundären und
- ca. 166.200 Beschäftigte auf den tertiären Wirtschaftssektor.

Bonn		Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2001		aktuelle Strukturdaten im Venus, 2002 gem. Angaben der Städte		
		Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte		Alle Beschäftigte	Alle Beschäftigten (Differenz absolut)	Alle Beschäftigten (Differenz relativ)
I	Land- und Forstwirtschaft, Fischerei (A, B)	361	363	-	-	0%
I	Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden (C)	2				
II	Verarbeitendes Gewerbe (D)	18.565				
II	Energie- und Wasserversorgung (E)	496	23.165	22.576	-589	-3%
II	Baugewerbe (F)	4.104				
III	Handel, Instandh., Rep. v. Kfz u. Gebrauchsgütern (G)	15.180	15.180			
III	Gastgewerbe (H)	4.669				
III	Verkehr und Nachrichtenübermittlung (I)	7.282	7.282			
III	Kredit- und Versicherungsgewerbe (J)	8.064		166.241	45.339	38%
III	Grundstücks-, Wohnungswesen, Dienstl.f. Unternehm. (K)	21.886	Rest			
III	Öffentl. Verwaltung, Verteidigung, Sozialvers. (LQ)	17.650	98.440			
III	Erziehung, Gesundh./Sozialwesen, sonst. Dienstl. (M-P)	46.171				
Gesamt	Insgesamt (einschl. ohne Angabe)	144.430	144.430	188.817	44.387	31%

Tabelle 27 Strukturdaten der Stadt Bonn

In der Stadt Bonn sind 182.617 Kfz gemeldet. Hiervon entfallen

- 166.265 Kfz auf Pkw, Kombi und Lieferwagen
- 1.128 Kfz auf Transporter von 2,8 bis 3,5 t zul. GG
- 1.071 Kfz auf leichte Lkw von 3,5 bis 7,5 t zul. GG
- 104 Kfz auf mittelschwere Lkw von 7,5 bis 12 t zul. GG
- 508 Kfz auf schwere Lkw > 12,0 t zul. GG.

Die restlichen Kfz entfallen auf Krafträder und sonstige Kfz.

Die Überprüfung des Modellansatzes zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr in der Stadt Bonn erfolgt auf einer räumlichen Gliederung von

- 400 Verkehrszellen für das Stadtgebiet Bonn und
- 150 Verkehrszellen für das Umland.

Ferner wird ein Straßennetzmodell genutzt, das aus 11.638 Streckenabschnitten und 4.891 Knotenpunkten besteht. Die Berechnungen für den öffentlichen Linienverkehr basieren auf einem Liniennetz mit 200 Linien des Bus- und Schienenverkehrs (4.101 Strecken und 2.670 Knoten).

Die auf der Basis der Modellsimulation für den privaten Personenverkehr und den mit Pkw und Lkw abgewickelter Wirtschaftsverkehr berechnete Verkehrsnachfrage führt zu dem Ergebnis, dass an einem normalen Werktag

- ca. 772.000 Personen/Tag mit dem Kfz (87,5 %) und
- ca. 274.200 Personen/Tag mit öffentlichen Verkehrslinien (22,5 %)

abgewickelt werden. Von der mit Kfz abgewickelter Verkehrsnachfrage entfallen rund 89 % auf den privaten Personenverkehr und rund 11 % auf den Personenwirtschaftsverkehr.

Beim öffentlichen Personenverkehr stellt sich die Situation ähnlich wie bei den Städten Bremen und Dortmund dar; hier sind rund 94,4 % dem privaten Personenverkehr und rund 5,6 % dem Personenwirtschaftsverkehr zuzurechnen.

## Die für den Untersuchungsfall Bonn genutzten Grundlagen

- zur Siedungsstruktur
- zur Verkehrszelleneinteilung
- zum Straßennetzmodell
- zum öffentlichen Liniennetzmodell
- zur Verkehrsnachfrage-Situation

sind den Darstellungen in der Anlage 7 zu entnehmen.

Von besonderer Bedeutung ist darüber hinaus auch hier – im Falle der Stadt Bonn – die Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählungen gewonnenen Belastungswerte.

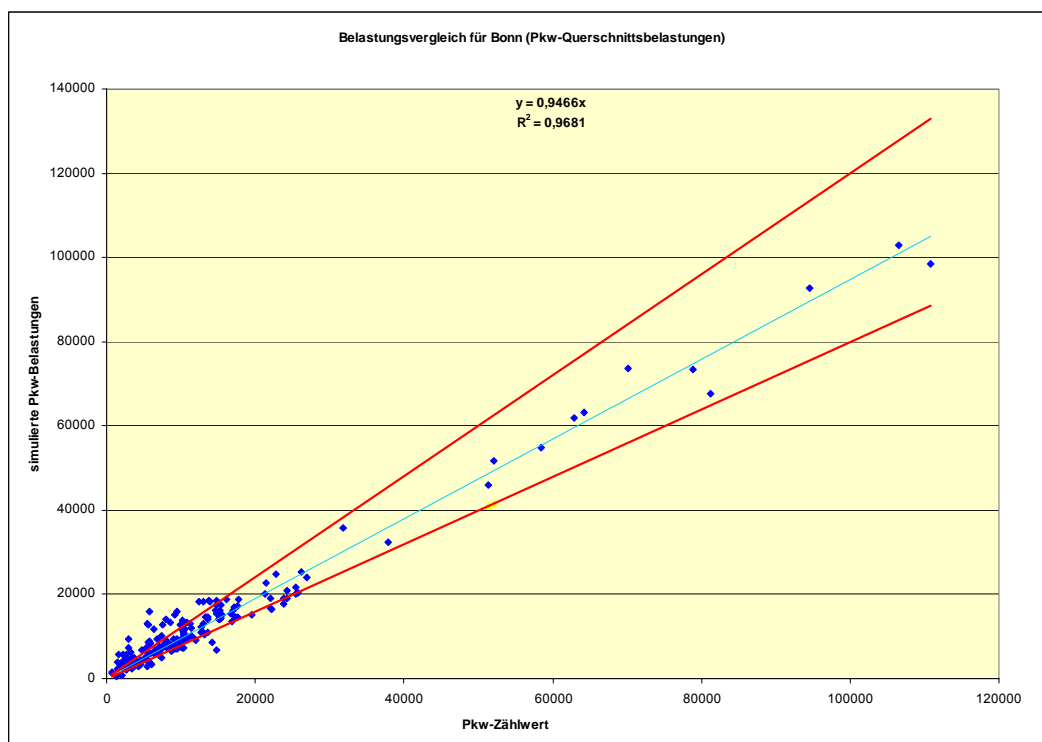


Abbildung 34 Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für die Stadt Bonn (Pkw-Verkehr) – Tageswerte



Diese Ergebnisse sind in der Abbildung 34 für den Pkw-Verkehr dargestellt. Die Gegenüberstellung der jeweiligen Wertesätze – das Bestimmtheitsmaß liegt hier bei 0.968 – verdeutlicht auch im Falle der Stadt Bonn, dass die Belastungssituation im gesamten Pkw-Verkehr, d.h. in der Summe des privaten Pkw-Verkehrs und des Personenwirtschaftsverkehrs gut abgebildet ist. Beachtenswert ist, dass alle Vergleichspaare zwischen modelltechnisch ermittelter und erhobener Querschnittsbelastungen innerhalb der von den Geraden mit 20 %iger Abweichung aufgespannten Dreiecksfläche liegen.

Aus der Kenntnis heraus, dass der aus vorangegangenen Untersuchungen übernommene private Pkw-Verkehr gut abgebildet wurde, lässt sich so wieder der Schluss ziehen, dass auch der Personenwirtschaftsverkehr gut abgebildet ist.

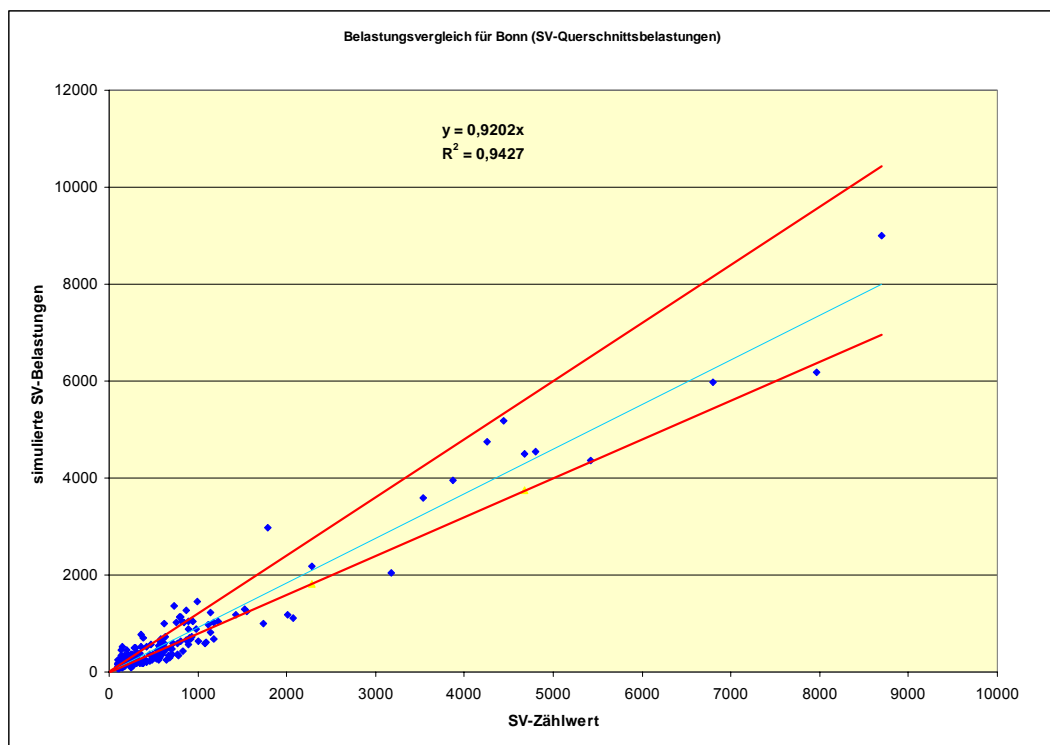


Abbildung 35 Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für die Stadt Bonn (Schwerverkehr) – Tageswerte

Die Gegenüberstellung der simulierten und gezählten Belastungen für den Schwerverkehr erlaubt – im Gegensatz zum Pkw-Verkehr – einen direkten Vergleich. Hier führt die Gegenüberstellung der Wertesätze zu dem Ergebnis,

dass die anhand des entwickelten Modellansatzes für die Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr abgeleiteten Belastungsergebnisse mit den erhobenen Belastungen gut übereinstimmen. Eine vergleichende Übersicht hierzu ist der Abbildung 35 zu entnehmen.

Auch hier sei, wie schon bei den Ergebnissen für die Städte Bremen und Dortmund darauf hingewiesen, dass die tendenziell höheren Abweichungen bei den Strecken mit niedrigen Belastungsdaten durch weiterführende lokale Kalibrierung im Netzmodell sowie der Nachfrageparameter behoben werden können. Diese kleinteilige Arbeit war jedoch nicht Ziel/Gegenstand des Forschungsvorhabens, das der Entwicklung des Modellinstrumentariums diene.

Der Vergleich der simulierten und gezählten Belastungen im Netzzusammenhang in Form eines Belastungsplanes kann auch für die Stadt Bonn der Anlage 10 entnommen werden.

Bei der Bewertung dieser Ergebnisse gilt auch hier der Hinweis, dass Zählergebnisse temporären Schwankungen unterliegen und immer nur eine Augensichtssituation repräsentieren. Dies trifft für simulierte Datensätze nicht zu. Diese beziehen sich in der Regel – so auch im vorliegenden Fall – auf einen "normalen Werktag" und sind demzufolge nicht durch zufällige Ereignisse (wie Unfälle, kurzzeitige Baustellen u. a.) beeinflusst.

#### **10.2.4 Ergebniszusammenstellung**

Die Berechnungen für die Modellstädte Bremen, Dortmund und Bonn geben zu erkennen, dass die anhand des Modellansatzes zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr ermittelten Belastungsdaten gut mit der Realität übereinstimmen. Diese Aussage gilt insbesondere für die Überprüfung des Lkw-Verkehrs, da hier die Verkehrsnachfrage- und Belastungssituation nahezu ausschließlich vom Wirtschaftsverkehr ausgelöst wird.

Die Überprüfung des Modellansatzes für den Personenwirtschaftsverkehr anhand von Zählergebnissen ist demgegenüber stärker eingeschränkt, da sich im Straßennetz der Personenwirtschaftsverkehr mit dem privaten Verkehr vermischt und somit eine Unterscheidung getrennt nach den beiden Verkehrsarten kaum mehr möglich ist. Als Folge hieraus kann letztlich nur das Gesamtbelastungsniveau des Pkw-Verkehrs im Straßennetz als Maßstab

für die Ergebnisqualität benutzt werden, wobei dies zumindest für die quantitative Überprüfung und Auswirkungsanalyse ein wichtiger Beurteilungsmaßstab ist.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass es nicht optimal ist, wenn die Plausibilitätsprüfung für das Modell zur Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr erst anhand der Belastungssituation erfolgt. Demzufolge ist darauf hinzuweisen, dass bereits sehr frühzeitig im Rahmen der Modellabläufe – so z. B. schon im Bereich der Verkehrserzeugung – möglichst zuverlässige Plausibilitätsprüfungen durchgeführt werden sollten. Dies ist jedoch i. d. R. schwierig, da hierfür die erforderlichen, über Erhebungen oder Befragungen zu gewinnenden Informationen für die zu untersuchenden Städte im speziellen nicht oder nur im beschränkten Umfang vorliegen. Es wäre wünschenswert, dass die in die Berechnungen einfließenden (mittleren) Modellparameter möglichst weitgehend durch zusätzliche lokale Erhebungen abgesichert werden können, indem für den einzelnen Planungsfall spezielle Untersuchungen zur ortsspezifischen Definition einzelner Modellvorgaben zum Verkehrsverhalten angestellt werden. Hierdurch können bereits frühzeitig Ergebniskontrollen durchgeführt und Fehlerquellen eliminiert werden. Ein Abgleich lediglich mit allgemeinen (bundes- oder landesweiten) Durchschnittsdaten führt in den meisten Fällen nicht zum Ziel.

## 11 Untersuchungsbeispiele/Einsatzbereiche

Mit dem hier erarbeiteten Modellansatz zu Bestimmung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr ergeben sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten zur Erkundung der Auswirkungen von Veränderungen

- der Siedlungsstruktur
- der Verkehrsangebotsstruktur
- der Verhaltensmuster
- der technischen/technologischen Entwicklungen
- der betrieblichen/logistischen Entwicklungen
- der rechtlichen Entwicklungen sowie
- der kostenmäßigen Entwicklungen

auf das Verkehrsgeschehen. Alle vorgenannten Komponenten wirken sich letztlich auch auf die Verkehrsnachfrage aus, so dass die Möglichkeit der Quantifizierung des Einflusses für die Beurteilung einzelner oder mehrerer Komponenten von großer Bedeutung ist. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Tatsache, dass die Flexibilität der Einsatzmöglichkeiten sowohl die Überprüfung von Untersuchungsbeispielen für die gegenwärtige Verkehrssituation im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr als auch prognostische Betrachtungen zulässt. Wie bereits im Kapitel 6.5 dargestellt, wurde der Modellaufbau so konzipiert, dass mit Hilfe der implementierten Modellparameter auch die heute bereits absehbaren Entwicklungstendenzen abgebildet werden können.

Die anhand des erarbeiteten Modellansatzes zu bearbeitenden Untersuchungsbeispiele/Einsatzbereiche lassen sich wie folgt umreißen.

### 11.1 Siedlungsstruktur

Durch die Berücksichtigung verkehrszellenspezifischer Angaben zur Entwicklung der Einwohner und der Erwerbstätigen, der Beschäftigten (nach Wirtschaftsbereichen) und der Flächennutzungen (Gewerbegebiete, Handelszentren, punktuelle Verkehrserzeuger) kann die Verkehrsnachfrage des Untersu-

chungsraumes für unterschiedliche Zeithorizonte und Planungszustände ermittelt werden.

Damit ist der Modellansatz sowohl für die Bearbeitung räumlich begrenzter als auch flächenhafter Veränderungen im Bereich der Siedlungsstruktur und zudem auch für längerfristige Prognosen geeignet. Was längerfristige Prognosen anbelangt ist allerdings darauf zu achten, inwieweit andere – nachfolgend beschriebene – Einflussgrößen zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage Veränderungen unterworfen sind und ebenfalls einer Anpassung an den Prognosezeithorizont bedürfen (vgl. auch Kapitel 6.5).

## **11.2 Verkehrsangebotsstruktur**

Die Untersuchungen zur Verkehrsnachfrageermittlung im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr belegen, dass auch die Verkehrsangebotsstruktur einen spürbaren Einfluss auf die Verkehrsnachfrage ausübt. Dies gilt sowohl für die Verkehrsmittelaufteilung (Modal-Split) als auch für die räumliche Verkehrsverteilung der Verkehrsströme. Je nach Netzqualität bzw. vorhandenen verkehrsmittelspezifischen Fahrwiderständen werden Umschichtungen zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln als auch innerhalb der Netze der einzelnen Verkehrsmittel ausgelöst.

Hierzu sei allerdings angemerkt, dass die netzrelevanten Einflüsse des Straßennetzes und des öffentlichen Liniennetzes nicht nur bei der Bestimmung der Verkehrsnachfrage (Modal-Split, Gravitation), sondern insbesondere auch bei der Belastungsermittlung (Routenwahl/Alternativrouten) wirksam werden. Das bedeutet, dass im Fall der hier vorliegenden Arbeiten zur Nachfragebestimmung die Vorgaben zur Verkehrsangebotsstruktur nur so weit Einfluss ausüben, als sie für die Ermittlung der Nachfragestruktur von Bedeutung sind. Die Auswirkungen der Verkehrsangebotsstruktur auf die Routenwahl und die daraus hervorgehende Belastungssituation sind nicht Gegenstand dieses Arbeitsfeldes, sondern im Bereich der Verkehrsumlegungsmodelle angesiedelt und dort durch entsprechende Modellansätze zu berücksichtigen. Dementsprechend müssen auch abgestimmte Verkehrsumlegungsmodelle zur Verfügung stehen, um die im Rahmen des Verkehrsnachfragemodells ermittelten Daten aufgabengerecht und optimal nutzen zu können. Als Beispiel hierfür sei genannt, dass die für Fahrzeuggrößen (Tonnagen) differenziert ermittelten Verkehrsnachfragedaten (Matrizen) auf ein Straßennetzmodell umgelegt werden, das mit speziellen Differenzierungen (Fahrverbote für Lkw

allgemein oder für spezielle Gewichtsklassen, Geschwindigkeitsbegrenzungen etc.) ausgestattet ist. Solche Modelle sind heute bereits marktüblich und können mit den hier generierten Nachfragedaten problemlos genutzt werden.

Bei der Verkehrsnachfrageermittlung des kleinräumigen Wirtschaftsverkehrs wirkt sich die Verkehrsangebotsstruktur im Straßennetz und im öffentlichen Liniennetz unterschiedlich auf den Personenwirtschaftsverkehr und den Lkw-/Güterverkehr aus. Im Bereich des Personenwirtschaftsverkehrs wird durch die Verkehrsangebotsstruktur ein wesentlicher Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl (Modal-Split) ausgeübt, da hier echte Verkehrsmittelalternativen zur Verfügung stehen und genutzt werden können.

Für den Lkw-/Güterverkehr gilt dies hingegen weniger. Da im kleinräumigen Güterverkehr echte Verkehrsmittelalternativen kaum zur Verfügung stehen, fällt der Verkehrsangebotsstruktur hier ein etwas geringeres Gewicht in Bezug auf die Veränderung des Niveaus der Verkehrsnachfrage zu als beim Personenwirtschaftsverkehr. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Verkehrsangebotsstruktur des Straßennetzes für die Entwicklung der Verkehrsnachfrage im Lkw-Verkehr insofern von Bedeutung ist, als hier die räumliche Verkehrsverteilung von den Widerständen der im Straßennetz zu überwindenden Distanzen abhängig ist. Diese Tatsache wirkt sich insbesondere bei der Ermittlung der für die einzelnen Fahrzeuge simulierten Touren in nicht unerheblicher Weise aus.

### **11.3 Verhaltensmuster**

Die heutige Situation im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr wird durch spezielle Verhaltensmuster geprägt. Diese Verhaltensmuster werden im hier erarbeiteten Verkehrsnachfragemodell durch entsprechende Modellparameter erfasst und bei den Berechnungen der Verkehrsnachfrage berücksichtigt. Wenngleich im Rahmen des hier vorliegenden Verkehrsnachfragemodells die Parameter zur Beschreibung der Verhaltensmuster zunächst nur für die gegenwärtige Situation abgeleitet werden, so besteht dennoch die Möglichkeit, Veränderungen in den Verhaltensmustern bei prognostischen Betrachtungen zu berücksichtigen.

Dies gilt z. B. sowohl für Veränderungen im (Arbeits-)Zeitbudget (Tagesarbeitszeit) als auch hinsichtlich der zeitlichen Abwicklung der Arbeit (Tagespegel). Von Bedeutung ist darüber hinaus, inwieweit sich die Tagespegel des

Fahrzeugeinsatzes verschieben, so z. B. im Hinblick auf einen verstärkten Nachteinsatz.

Die Auswirkungen von Veränderungen in den Verhaltensmustern können durch das erarbeitete Verkehrsnachfragemodell für den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr durch Modifizierung der entsprechenden Eingabeparameter quantifiziert werden, so dass damit anschließend auch prognostische Veränderungen der Verkehrsbelastungen erkundet werden können.

## **11.4 Technische/technologische Entwicklungen**

Da die Verkehrsabläufe im Wirtschaftsverkehr in der Vergangenheit durch technische/technologische Entwicklungen immer wieder Veränderungen erfahren haben und in Zukunft auch noch weiterhin erfahren werden, ist es erforderlich, die Auswirkungen weiterer möglicher Entwicklungen auf diesem Gebiet im Rahmen des erstellten Modellansatzes berücksichtigen zu können. Dies kann jedoch nur so weit der Fall sein, als es sich hierbei um absehbare und mehr oder weniger fest definierbare Entwicklungen handelt. Als solche gelten vorrangig Veränderungen in der Fahrzeugflotte (d.h. in der Größe, Kapazität sowie dem Lärm- und Schadstoffausstoß der Lkw). Durch Veränderungen der Fahrzeugflotte ergeben sich zwangsläufig Rückwirkungen auf die je Fahrt beförderten Gütermengen und damit auf das Gesamtfahrtenniveau. Ferner können durch lärm- und schadstoffärmere Lkw heute möglicherweise vorhandene Verkehrsregelungen/Fahrverbote gelockert oder aufgehoben und dadurch Beeinflussungen des Tagespegels ausgelöst werden.

Auswirkungen auf die Nachfragesituation im Lkw-Verkehr können auch durch Veränderung der Abfertigungsvorgänge bewirkt werden. So kann z. B. durch die Einführung von Ladehilfen die je Ladevorgang erforderliche Ladezeit verkürzt und damit Einfluss auf die Tourenabwicklung genommen werden.

Ähnliche Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage im Lkw-Verkehr haben auch mögliche Veränderungen in den Umschlagstechniken an besonderen Güternotenpunkten. Hierzu gehören vorrangig Gütervertei- und Güterverkehrszentren sowie Bahnhöfe, Häfen und Flughäfen. Sofern sich hier klar definierbare Veränderungen in den Umschlagstechniken ergeben, sind die Rückwirkungen auf die Verkehrsnachfrage durch das Verkehrsnachfragemodell erfassbar, wobei hierzu die in das Modell implementierten Möglichkeiten

zur Berücksichtigung spezieller Verkehrserzeugungsraten bzw. Umschlagszeiten genutzt werden können.

### **11.5 Betriebliche/logistische Entwicklungen**

Da sich die betrieblichen Abläufe – u. a. im Hinblick auf Rationalisierungseffekte – in der jüngeren Vergangenheit durch den verstärkten Einsatz von Betriebskonzepten (Logistik) verändert haben und an der Entwicklung immer neuer kosten- und zeitsparender Einsatzformen im Güterverkehr gearbeitet wird, bietet das hier erstellte Modell zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr auch hier Möglichkeiten, weitere betriebliche/logistische Entwicklungen zu berücksichtigen und zu quantifizieren.

So geht der erarbeitete Modellansatz davon aus, dass die Routen-/Tourenplanung ebenso wie die Veränderung des Packvolumens und der Fahrzeugauslastung durch entsprechende, modifizierbare Parameter unterschiedlichen externen Vorgaben angepasst werden kann (z. B. durch Verbesserung der Tourenplanung, durch Erhöhung des Savingsniveaus bei der Nachoptimierung der Touren).

Als weitere prognostische Maßnahmen mögen verstärkt eine koordinierte City-Belieferung und die Einrichtung von Güterverteiler- und in Sonderfällen von Güterverkehrszentren gelten. Hier, wie bei der Veränderung von Produktionsabläufen (z. B. im Zusammenhang Just-in-Time sowie Supply-Change-Management), können die Einflüsse auf die Verkehrsnachfragestruktur durch spezielle, aus der örtlich/betrieblichen Situation abgeleitete Vorgaben quantitativ festgestellt werden.

### **11.6 Rechtliche Entwicklungen**

Die Verkehrsnachfrage im Wirtschaftsverkehr hängt in nicht unerheblichem Maße auch von rechtlichen Vorgaben ab. Eine wesentliche Vorgabe für die Ermittlung der Verkehrsnachfrage im Wirtschaftsverkehr stellt die Arbeitszeitregelung sowie die indirekt damit verbundenen Sozialvorschriften und Ladenöffnungszeiten dar. Die hier getroffenen Regelungen wirken sich gleichermaßen auf die zeitlichen Verkehrsabläufe als auch auf die Nutzung vorhandener personeller und technischer Kapazitäten (u.a. Lkw) aus.



Rückwirkungen auf die Verkehrsnachfrage werden darüber hinaus auch von Verkehrszeitenregelungen bewirkt, so z. B. von Nachtfahrverboten innerhalb bestimmter Gebiete oder auch auf bestimmten Straßenabschnitten. In diesem Zusammenhang seien auch die generellen Zusammenhänge in Verbindung mit dem Lärmschutz (Tag/Nacht) genannt.

Von wesentlichem Einfluss auf die Verkehrsnachfrage sind darüber hinaus auch Fahrzeuggrößen-/Gewichtsbeschränkungen sowie Geschwindigkeitsbeschränkungen. Wenngleich sich diese im Wesentlichen in der Regel erst im Falle der Routenwahl, d.h. im Zusammenhang mit der Belastungsermittlung auswirken, so ergeben sich hieraus doch auch nicht zu vernachlässigende Rückwirkungen auf die Verkehrsnachfrage. So kann sich beispielsweise durch rechtliche Vorgaben zu Fahrzeuggrößen oder Gewichten eine Beeinflussung der eingesetzten Lkw-Typen bis hin zum Belieferungskonzept ergeben. Die Einführung von Geschwindigkeitsbeschränkungen wirkt sich zwangsläufig auf die Tourengenerierung aus.

## **11.7 Kostenmäßige Entwicklungen**

Die Verkehrsnachfrage im Wirtschaftsverkehr wird zweifelsfrei von der Kostensituation beeinflusst. Hierbei wirkt sich eine ganz Reihe von Kosten aus, wobei hierzu u. a. die Betriebs- und Personalkosten zählen. Die Veränderung dieser Kosten wird sich vorrangig auf die Verkehrsmittelwahl und die großräumige Verteilung beziehen. Die Einflüsse auf den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr hingegen werden von nachgeordneter Bedeutung sein, da hier ein Ausweichen auf andere Verkehrsmittel kaum möglich ist und Einsparungseffekte ohnehin schon Gegenstand von betrieblichen/logistischen Anstrengungen sind.

Ein sich auf die Kostensituation auswirkender Effekt ist auch mit der Einführung von Mautstrecken verbunden. In diesem Fall kann durch eine entsprechend strukturierte Widerstandsmatrix, in der die Mautgebühr in adäquate Zeitwiderstände umgerechnet wird, der Einfluss von einzelnen Mautstrecken auf die Verkehrsnachfrage quantifiziert werden. Eine solche Situation ist besonders dann interessant, wenn sich z. B. durch die Schaffung neuer Brücken- oder Tunnelverbindungen neue Widerstandsrelationen innerhalb eines Untersuchungsbereiches ergeben und diese Einfluss auf die räumliche Verkehrsverteilung nehmen. Die in diesem Falle erforderliche Modifizierung der Widerstandsmatrix zur Bestimmung der räumlichen Verteilung (Gravitation)

ist dabei als ein separater Arbeitsschritt im Rahmen der Widerstandsermittlung zu verstehen, der nicht unmittelbar im Zusammenhang mit dem Modellansatz zur Nachfrageberechnung zu sehen ist. Wichtig ist in diesem Falle jedoch, dass die kostenmäßigen Auswirkungen (z. B. von einzelnen Mautstrecken) durch entsprechende Vorgaben in der Widerstandsmatrix im Rahmen der Verkehrsnachfrageberechnungen Berücksichtigung finden können.

<b>Maßnahme</b>	<b>Beschreibung / Modelleingriff</b>	<b>Modul</b>
<b>Citybelieferung bündeln</b>	Definition der City-Zellen Identifikation der Speditionstandorte Ermittlung der Verteiler-Spedition (im Schwerpunkt der Quellen und Senken) Auswahl der relevanten Transportzwecke Umschichten der Potentiale (Quell-Spedition – Verteiler-Spedition / Verteiler-Spedition – City-Zellen) Umarbeiten in die Potentialmatrix der kleineren und mittleren Lkw Neue Tourengenerierung auf Basis der geänderten Potentiale Erhöhung Widerstand Verteiler – City zur Berücksichtigung des Umladens	Aufkommen Verteilung (Gravitation) Tourengenerierung
<b>Routen- /Tourenplanung</b>	Auswahl der relevanten Transportzwecke Variation der Tourenbildungsparameter (Obere Grenze der Stoppzahlen) Neue Tourengenerierung mit den neuen Tourenparametern	Tourengenerierung
<b>Einrichtung eines City-Terminals (GVT)</b>	Auswahl der relevanten Transportzwecke Definition der City-Zellen Umschichten der Potentiale auf das GVT (Quelle – GVT / GVT – City-Zellen) Umarbeiten in die Potentialmatrix der kleinen und mittleren Lkw Neue Tourengenerierung auf Basis der geänderten Potentiale Erhöhung Widerstand GVT – City zur Berücksichtigung des Umladens	Aufkommen Verteilung (Gravitation) Tourengenerierung
<b>Reduktion des Packvolumens</b>	Auswahl der relevanten Transportzwecke Variation der Aufkommensparameter (Erzeugungsraten) Variation der Tourenbildungsparameter (Obere Grenze der Stoppzahlen) Neue Tourengenerierung mit anderen Tourenparametern	Aufkommen Tourengenerierung
<b>Ansiedlung neuer Nutzungen</b>	Auswahl der relevanten Zellen Einbringen der neuen Strukturen (Einwohner, Erwerbstätige, Beschäftigte nach Branchen) Neue Aufkommensberechnung Neue Verteilung im Raum/Potentialverknüpfungen (mit neuem Aufkommen) Tourengenerierung mit anderen Potentialen	Aufkommen Verteilung (Gravitation) Tourengenerierung
<b>Veränderung der Fahrzeugflotte</b>	Auswahl der relevanten Transportzwecke Variation der Blindungsraten an die Fahrzeuge Neue Aufkommensberechnung je Fahrzeugart Neue Verteilung im Raum (Potentialverknüpfung) Neue Tourengenerierung mit anderen Potentialen	Aufkommen Verteilung (Gravitation) Tourengenerierung

Tabelle 28: Beispiele für die mit dem Modellsystem abbildbaren Maßnahmen im Straßen-Wirtschaftsverkehr

## 12 Weiterer Forschungsbedarf

Im Rahmen der Erstellung des Modellansatzes zur Simulation der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr konnte auf eine Reihe aussagekräftiger Datenbasen zurückgegriffen werden. Vorrangig seien an dieser Stelle die Datenbasen

- KID – Kraftverkehr in Deutschland
- MID – Mobilität in Deutschland sowie
- die statistischen Mitteilungen des Bundesamtes für Güterverkehr (BAG) bzw. des Kraftfahrtbundesamtes (KBA)

genannt. Aus diesen Statistiken ließen sich vielfältige Abhängigkeiten über das Verkehrsaufkommen, den Modal-Split, die räumliche und zeitliche Verteilung sowie den Fahrzeugeinsatz (differenziert nach Fahrzeugklassen) ableiten und waren demzufolge für die hier durchgeführten Modellentwicklungen von wesentlicher Bedeutung.

Allerdings bleibt festzustellen, dass trotz des umfangreich vorliegenden Datenmaterials nicht alle im Zusammenhang mit dem Nachfragemodell für den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr auftretenden Fragen in umfassender Form beantwortet werden konnten. Die Ursache hierfür liegt darin, dass sich der Wirtschaftsverkehr sehr komplex darstellt und sowohl im Bereich des Personenverkehrs als auch im Bereich des Lkw-/Güterverkehrs angesiedelt ist. Damit ist das Verkehrsbild im Wirtschaftsverkehr sehr vielschichtig und relativ schwierig modellmäßig darzustellen.

Um im Fall zukünftiger Erhebungen nach dem Verfahren KID oder MID noch weitergehende Informationen zur Nutzanwendung für Nachfragemodelle zu erhalten wird empfohlen, alle erhobenen Verkehrsströme sowohl im Hinblick auf die Fahrtquelle als auch auf das Fahrtziel nach Wirtschaftszweigen differenziert (2-fach indiziert) zu erfassen. Im Einzelnen bedeutet dies, dass im Rahmen einer zukünftigen Erhebung auch differenzierte Angaben zum Ziel mit Angabe des Wirtschaftszweiges und der Betriebscharakteristika (Beschäftigtenanzahl, Fahrtenaufkommen etc.) gemacht werden sollten, um somit eine eindeutige Zuordnung der Fahrt vornehmen zu können. Die gegenwärtig in KID enthaltenden Informationen mit der Angabe, ob es sich um eine fremde Firma, die eigene Firma oder einen speziellen Verkehrserzeuger (wie z. B.

Umschlaganlage) handelt, reicht für eine eindeutige Identifikation der Verkehrsnachfragebeziehungen nicht aus.

Eine aus der Sicht des kleinräumigen Wirtschaftsverkehrs bedeutsame Verbesserung der Aussagekraft der MID-Erhebung lässt sich durch eine weitergehende Differenzierung der Aussagen zum Reisezweck Dienstleistungen bewirken. Hier wäre es von erheblichem Nutzen, den Reisezweck Dienstleistungen weitergehend nach Wirtschaftszweigen zu untergliedern, um damit eine stärker differenzierte Zuordnung der im Personenverkehr auftretenden Personenwirtschaftsverkehre modellmäßig vornehmen zu können.

Ein spezielles Problem bei der Bestimmung der Verkehrsnachfrage im Wirtschaftsverkehr stellen die sog. dispersen Verkehre dar. Hierbei handelt es sich u.a. um Fahrzeuge der Müllabfuhr, der Feuerwehr, der Rettungsdienste, der Polizei und der Stadtreinigung, die in ihrem Verkehrsverhalten zwar auf Basispunkte wie Müllstationen, Feuerwache, Krankenhaus, Polizeiwache oder Stadtreinigungsamt bezogen sind, aber hinsichtlich ihrer Einsatzorte weder zeitlich noch lokal eindeutig zuzuordnen sind. Aus diesem Grund geht der entwickelte Modellansatz für den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr davon aus, dass diese dispersen Verkehre sinnvoller Weise im Rahmen von Sonderbetrachtungen behandelt werden.

Hierbei ist es jedoch wichtig zu wissen, wie viele Fahrten in Abhängigkeit welcher relevanter Einflussgrößen ausgelöst werden, um somit das zu erwartende Verkehrsaufkommen in möglichst abgesicherter Form zu quantifizieren. Wenngleich auch die Möglichkeit besteht, diese quantitativen Angaben zum zu erwartenden Verkehrsaufkommen über spezielle projektbezogene, örtliche Befragungen bei den einzelnen Verkehrserzeugern einzuholen, so wäre doch eine Untersuchung über das Verkehrsaufkommen solcher Basispunkte/Verkehrserzeuger in Abhängigkeit von ihren spezifischen Einflussgrößen zur Quantifizierung allgemeiner Aufkommenswerte von großem Interesse.

Ebenfalls noch problematisch ist die Einschätzung und Zuordnung der Fahrten, die von Fahrzeugen, die nicht vom Halter selbst eingesetzt werden, durchgeführt werden. Hier sind insbesondere Mietwagen und einige Leasing-Systeme zu nennen. Durch diese Form der Fahrzeugüberlassung werden bei Erhebungen wie KID die eigentlichen Verursacher der Fahrten (Strukturgrößen) nicht angesprochen. Die Fahrten gehen insbesondere hinsichtlich ihrer korrekten Zuordnung zu Wirtschaftszweigen verloren. Daher sollte zur Ver-

vollständigung des Verkehrsbildes und der über Erhebungen gewonnenen Kontrolldaten hier weitere Forschung betrieben werden.

Ein ähnlicher Effekt hinsichtlich der Zuordnung der Fahrten – insbesondere auch räumlich – kann für sog. Großflottenhalter festgestellt werden. Hier werden viele Fahrzeuge zentral gemeldet, jedoch räumlich verteilt betrieben. Die korrekte Beantwortung von Fragebögen an die Halteradresse mit zeitnahe Rücklauf ist hier nicht immer gewährleistet. Ggf. ist hierfür ein spezielles Erhebungsdesign zu entwickeln.

Vor dem Hintergrund der Diskrepanzen zwischen den beim KBA gespeicherten Meldungen und den Ergebnissen der KID-Erhebung hinsichtlich der Zuordnung der Fahrzeuge und ihrer Fahrten zu Wirtschaftszweigen liegt auch hier noch Untersuchungs-/Klärungsbedarf vor. In diesem Zusammenhang sei auch noch einmal auf die sich schon bei den Mietwagen einstellende Problematik hingewiesen, dass die Zuordnung zum Wirtschaftszweig bei der Nutzung des Fahrzeuges vom Wirtschaftszweig, dem der Halter angehört, oftmals abweicht. Neben Mietwagen betrifft dieses Phänomen ganz besonders die Kfz von privaten Haltern, welche für den Arbeitgeber des Halters eingesetzt werden (Dienstfahrten mit eigenem, privatem Fahrzeug). Die hier erzeugte Fahrleistung im Personenwirtschaftsverkehr erreicht die Größenordnung der mit firmeneigenen Wagen erbrachten Fahrleistung, so dass hiermit der Wunsch nach exakten Datenangaben gerechtfertigt ist.

Mit der fortschreitenden Öffnung der europäischen Märkte bekommt auch die durch ausländische Kfz innerhalb Deutschlands erbrachte Fahrleistung immer mehr Bedeutung. Es ist wohl davon auszugehen, dass dies nicht nur auf den Fernverkehr beschränkt bleibt, sondern auch der kleinräumige Wirtschaftsverkehr betroffen wird. Dies gilt in besonderem Maße in Grenznähe. Die Kontrolle der Fahrleistung durch den Vergleich mit gezählten Kfz-Belastungen an der Netzkante beinhaltet zwar alle Kfz, da sowohl inländische als auch ausländische Fahrzeuge erfasst werden, eine Differenzierung nach Wirtschaftszweigen ist hier jedoch nicht möglich.

Die zur Zeit zur Verfügung stehenden Datenquellen, aus denen die Erzeugungsraten des Verkehrs abgeleitet werden können (wie MID, KID, Statistiken des KBA etc.), konzentrieren sich nach dem Inländerprinzip auf die in Deutschland gemeldeten Kfz. Somit fehlen in den über diese Erhebungsdaten bestimmten Erzeugungsraten die durch ausländische Kfz erzeugten Fahrten. Dieser Mangel wird zurzeit durch die im Rahmen des Eichprozesses korrigier-

ten Erzeugungsraten bzw. Ausnutzungsfaktoren nachträglich ausgeglichen. Da die Verkehrszählungen naturgemäß keine Informationen zum Wirtschaftszweig des Fahrtzieles bzw. der Quelle liefern können, bleiben hier noch Unsicherheiten, die durch entsprechend gezielte Untersuchungen zu dem durch ausländische Kfz verursachten Verkehr weitergehend ausgeräumt werden sollten.

## 13 Zusammenfassung

Das Verkehrsgeschehen in den städtischen Straßennetzen wird sowohl durch Pkw-Verkehr als auch durch den Lkw-Verkehr bestimmt. Beide Verkehrsmittel werden dabei mehr oder weniger intensiv für den Transport von Personen oder auch von Gütern benutzt. Während sich in der Vergangenheit die Verkehrsforschung in überwiegendem Maß mit der Erkundung der Gesetzmäßigkeiten im (privaten) Personenverkehr (mit den Reisezwecken Berufspendeln, Einkauf, Besorgen, Freizeit) sowie flankierend auch mit dem Reisezweck Geschäft/Dienstleistung befasst hat und hierfür entsprechende Verkehrsmodelle entwickelt wurden, ist der Bereich des Wirtschaftsverkehrs, zu dem der gesamte Güterverkehr als auch der Personenwirtschaftsverkehr zählt, noch weitgehend unerforscht. Im Gegensatz zum Personenverkehr sind dementsprechend für den Wirtschaftsverkehr – insbesondere für den Lkw-Verkehr – nur einige wenige Modellansätze entwickelt und in sehr eingeschränktem Maße angewandt worden.

Da eine integrative Verkehrsplanung alle Verkehrsmittel und alle Reisezwecke/Transportzwecke berücksichtigen muss, besteht die dringende Aufgabe, das Modellinstrumentarium für den Wirtschaftsverkehr zielgerichtet weiter zu entwickeln.

Mit dem hier durchgeführten Forschungsvorhaben "Kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodelle" wird nun ein Instrumentarium geschaffen, das es erlaubt, die komplette Verkehrsnachfrage des kleinräumigen Wirtschaftsverkehrs zu berechnen, so dass diese anschließend unter Nutzung (vorliegender) Verkehrsumlegungsmodelle zur Ermittlung der Auswirkungen (z. B. auf das Straßennetz) herangezogen werden kann. Das bedeutet, dass durch die verbesserte Möglichkeit der modellmäßigen Berechnung der Verkehrsnachfrage des gesamten Verkehrsgeschehens (privater Verkehr und Wirtschaftsverkehr) aussagekräftige Grundlagen für alternative Planungsstrategien erarbeitet und die für ihre Bewertung notwendigen Wirkungsanalysen vorgenommen werden können.

Beispiele hierfür sind Überlegungen zur Optimierung

- der Infrastrukturplanung
- der Maßnahmen zu modalen Verkehrsverlagerungen



- der Transportlogistik
- des Fahrzeugeinsatzes
- des Verkehrsmanagements.

Mit dem hier durchgeführten Forschungsvorhaben "Kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodelle" ist ein praktikabler Modellansatz entwickelt worden, wobei die Praktikabilität sich sowohl auf die Handhabbarkeit (benutzerfreundliche Bedienung) als auch auf die Beschaffung der für die Berechnungen notwendigen Eingabedaten (Siedlungsstruktur, Kfz-Verteilung, Verkehrsangebotssituation) bezieht. Als wesentliche Forderung wurde ferner davon ausgegangen, dass die zu entwickelnden Modellansätze maßnahmenreagibel und prognosefähig sind. Nur so ist gewährleistet, dass die im Rahmen des entwickelten Modellalgorithmus abgeleiteten Daten zur Verkehrsnachfrage für Auswirkungsanalysen der gegenwärtigen und möglicher zukünftiger Situationen geeignet sind.

Da der Begriff "kleinräumiger Wirtschaftsverkehr" zur Zeit nicht eindeutig definiert ist und unterschiedliche Interpretationen erfährt, wird zunächst eine eindeutige Definition des Begriffs "kleinräumiger Wirtschaftsverkehr" und damit die Abgrenzung des hier zu modellierenden Segments des Verkehrsgeschehens vorgenommen.

Im Rahmen dieser Studie wird unter Wirtschaftsverkehr der Verkehr verstanden, der sich aus den produzierenden, handelnden und dienstleistenden Aktivitäten eines Raumes ergibt, wobei neben der Beförderung von Gütern auch die Beförderung von Personen, die in Ausübung erwerbswirtschaftlicher Tätigkeiten durchgeführt wird, zu sehen ist. Hieraus wird deutlich, dass der Wirtschaftsverkehr vom privaten Verkehr getrennt betrachtet wird und diese Definition auch bei der Behandlung des (privaten) Personenverkehrs Berücksichtigung finden muss.

Da die Untersuchungen sich auf den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr beziehen sollen, wird im Rahmen der hier durchgeführten Arbeiten eine Abgrenzung dahingehend vorgenommen, dass sich die Untersuchungen zum Güterverkehr im Wesentlichen auf den Kfz-Verkehr beziehen. Wenngleich zum Güterverkehr selbstverständlich auch Transporte der Bahn, des Schiffs, des Flugzeugs und sogar der Pipeline gehören, so sind diese in ihren Auswirkungen auf das städtische Verkehrssystem (Straßennetz) weniger planungsrele-

vant, so dass sich die hier durchgeführten Arbeiten darauf beschränken, diese Verkehrsmittel nur über ihre Schnittstellen zum Straßenverkehr (Bahnhöfe, Flughäfen, Häfen) einzubeziehen.

Die Erarbeitung des Verkehrsmodells zur Ermittlung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr erfolgte in Kooperation mit einem projektbegleitenden Arbeitskreis, der aus Vertretern des Bundesministeriums für Verkehr, Bauen und Wohnen (A 30), der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsausschuss 1.12 (Güterverkehr) und 1.11 (Erhebung und Vorausschätzung des Verkehrs), sowie von Fachplanern (Verkehrsplanung) der Städte Bonn, Bremen und Dortmund gebildet wurde. Durch die im Rahmen spezieller Workshops geführten Diskussionen und Abstimmungen wurde sichergestellt, dass der zu erarbeitende Modellansatz sowohl den Forderungen nach einer möglichst guten Aussagegenauigkeit einerseits, als auch nach einer guten Handhabbarkeit andererseits, entspricht. Die letztgenannte Forderung berücksichtigt dabei auch die Datenverfügbarkeit bei den Anwendern des erarbeiteten Simulationsmodells.

Wie die Erfahrungen zeigen, sind die für die Bestimmung der Verkehrsnachfrage relevanten Einflussgrößen (Einwohner, Beschäftigte, Kfz u. a.) oftmals nicht in der gewünschten räumlichen Gliederung (Verkehrszellen) und gleichzeitig sachlichen Spezifizierung (z. B. Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen) verfügbar. Dies trifft insbesondere in verstärktem Maß für zukünftige Entwicklungen zu, die ihrerseits oftmals der Anlass für modellmäßige Berechnungen sind. Insbesondere bei der verkehrszellenfeinen Zuordnung der nach Wirtschaftszweigen und Fahrzeugarten differenzierten Kfz ergeben sich aufgrund der kleinen Mengen je Zelle Probleme. Dies gilt insbesondere für die Prognose.

Hinzu kommt, dass – aufgedeckt durch die KID-Erhebungen – die über das Zentralregister des KBA erhältlichen Zuordnungen der Kfz zu Wirtschaftszweigen in großen Teilen nicht die tatsächlich durch den Nutzer angegebene Nutzung der Fahrzeuge widerspiegeln. Daher wurde auf den Einsatz der Kfz als Basisgröße der Verkehrserzeugung verzichtet und der Kfz-Bestand nur als flankierende Kontrollgröße berücksichtigt.

Aus den Erfahrungen mit bisherigen Modellrechnungen und den damit bekannt gewordenen Problemen der Beschaffung von Strukturgrundlagen sowie aufgrund der im Rahmen der hier durchgeführten Analysen gewonnenen Er-

kenntnisse werden somit die folgenden Eingangsgrößen für die Verkehrserzeugung genutzt:

- Einwohner differenziert nach Erwerbstätigkeit
- Beschäftigte differenziert nach:
  - Beschäftigte im primären Sektor
  - Beschäftigte im Baugewerbe
  - Beschäftigte im sekundären Sektor
  - Beschäftigte im Handel
  - Beschäftigte im Bereich Verkehr und Nachrichten
  - restliche Beschäftigte im tertiärer Sektor
- Aufkommenspotentiale von Verkehrszellen ohne Siedlungsstruktur im Wirtschaftszweig „Bau“.

Neben diesen Daten zu Art und Maß der räumlichen Nutzung sind weiterhin die folgenden Einflussfaktoren von besonderer Bedeutung:

- Netzstruktur
  - Öffentliches Liniennetz
  - Straßennetz

Die für das Verkehrsnachfragemodell bedeutsamen Eigenschaften der Netze, die Verbindungsqualität, wird durch Widerstandsmatrizen, die von den Programmsystemen zur Routensuche und Belastungsermittlung (Umlegungsmodellen) zur Verfügung gestellt werden, eingebracht.

- Verhaltensparameter
  - Modal-Split (im Personenwirtschaftsverkehr)
  - Tourenparameter
  - Zeitliche Verteilung
  - Aktionsradien (räumlich/zeitlich)

Diese und weitere Verhaltensparameter sind als Eingangs- und Kontrolldaten (Randbedingungen) für die Modellrechnung relevant. Sie sind aus Erhebungen (KID, MID, Betriebsbefragungen etc.) abzuleiten oder während der Berechnung einzuschätzen, um sie dann über den Vergleich mit den Ergebnissen zu korrigieren (Eichprozess).

Im Rahmen des Forschungsvorhabens "kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodelle" wurde ein mehrteiliges Simulationsmodell entwickelt, in dem zum einen die Verkehrsnachfrage im personenbezogenen Wirtschaftsverkehr (Personenwirtschaftsverkehr) und zum anderen im güterbezogenen Verkehr (Lkw-/Güterverkehr) abgeleitet wird. Hinzu kommt noch ein weiteres Teilmodell zur Abbildung des so genannten „Dispersen Verkehrs“. Dabei handelt es sich um Fahrten, die von Verkehrserzeugern mit sehr fein verteilten und exakt nur schwer zu lokalisierenden Zielen erzeugt werden (z. B. Rettungsdienste, Müllabfuhr etc.).

Bei der Ermittlung des personenbezogenen Wirtschaftsverkehrs werden sowohl die auf den Kfz-Verkehr als auch die auf den öffentlichen Linienverkehr entfallenden Personenfahrten ermittelt. Beim Lkw-/Güterverkehr sowie bei den dispersen Verkehren beziehen sich die Untersuchungen direkt auf Fahrten mit Kfz (Pkw und Lkw).

Entsprechend dieser Einteilung des Wirtschaftsverkehrs nach Personenwirtschaftsverkehr und Lkw-/Güterverkehr und dispersem Verkehr erfolgt im Rahmen der Modellrechnung eine getrennte Behandlung dieser Komponenten. Als Unterschied ist dabei hervorzuheben, dass der Personenwirtschaftsverkehr – wie der private Personenverkehr – die Möglichkeiten der Verkehrsmittelwahl hat und dementsprechend auch Modal-Split-Betrachtungen durchzuführen sind. Das bedeutet, die modellmäßigen Betrachtungen des Personenwirtschaftsverkehrs werden auf der Basis von Personenfahrten durchgeführt. Um die Auswirkungen auf das Straßennetz festzustellen, werden die Personenfahrten in einem weiteren Arbeitsschritt auf Kfz-Fahrten umgerechnet.

Die modellmäßige Behandlung des Lkw-/Güterverkehrs sowie des dispersen Verkehrs erfolgt auf der Basis von Kfz-Fahrten. Hierbei kommen fünf unterschiedliche Kfz-Typen zum Einsatz, und zwar:

- Pkw und Kombi (= Lkw < 2,8 t zul. GG)
- Lkw 2.8 t – 3,5 t zul. GG
- Lkw 3,5 t – 7,5 t zul. GG
- Lkw 7,5 t – 12,0 t zul. GG
- Lkw > 12 t zul. GG.

Der Ablauf der Modellrechnungen erfolgt in mehreren Stufen und kann wie folgt für die Teilmodelle zusammengefasst werden:

Das **Verkehrsaufkommen** der einzelnen Verkehrszellen wird in Form von Start- und Stopppotentialen getrennt für die Aktiv- und die Passivseite auf der Basis von spezifischen Erzeugungsraten ermittelt. Die Verkehrszellenstruktur wird durch die dort vorhandene (oder geplante) Anzahl an Einwohnern und Beschäftigten unterschiedlicher Wirtschaftszweige (Branchenmix) charakterisiert.

Ähnlich wie bei den Reisezwecken des privaten Personenverkehrs wird das Verkehrsaufkommen im Wirtschaftsverkehr nach Verkehrs- (Personenwirtschaftsverkehr) bzw. Transportzwecken (Lkw-/Güterverkehr und disperse Verkehre) differenziert. Dabei werden die fünf folgenden Verkehrs- bzw. Transportzwecke unterschieden:

- Verkehrs-/Transportzweck 1: Von Produktionsstandorten zu Produktionsstandorten
- Verkehrs-/Transportzweck 2: Von Produktionsstandorten zu Verbrauchern, den Handelsstandorten und den Standorten des Transportgewerbes
- Verkehrs-/Transportzweck 3: Von Handels- und Dienstleistungsstandorten zu Verbrauchern, dem Handel und den Standorten des Transportgewerbes
- Verkehrs-/Transportzweck 4: Von den Standorten des Transportgewerbes/Nachrichtenwesens zu den Verbrauchern und den Handelsstandorten
- Verkehrs-/Transportzweck 5: Von den Standorten des Bau-/Ausbaugewerbes zu den Verbrauchern sowie zu Baustellen

Hinzu kommt beim Lkw-Verkehr noch der private Lkw-Verkehr als sechster Transportzweck. Der private Lkw-Verkehr wurde hinzugenommen, da er bei den Modellen des privaten Personenverkehrs keine Berücksichtigung erfährt.

Beim Personenwirtschaftsverkehr erfolgt im Zuge der Aufkommensberechnung auch die Aufteilung nach den drei Verkehrsmittelwahlsituationen (IV, ÖV, Wahlfrei) unter Ansatz von Bindungsraten, so dass hier der sogenannte **Modal-Split I** für Personen ohne Entscheidungsmöglichkeit (Gebundene) berücksichtigt wird. Die Aufteilung der Wahlfreien erfolgt unter Berücksichtigung der Relationswiderstände nach der räumlichen Verteilung (s. Modal-Split II). Das Verkehrsaufkommen im Personenwirtschaftsverkehr wird also

sowohl nach Verkehrszwecken als auch nach den Verkehrsmittelwahlsituationen differenziert berechnet.

Das Verkehrsaufkommen im Lkw-/Güterverkehr sowie im dispersen Verkehr wird anhand von Bindungsraten direkt auf die fünf Fahrzeugarten aufgeteilt. Somit wird hier das Start- und Zielpotential des Verkehrsaufkommens je Verkehrszelle nach Transportzwecken und Fahrzeugarten differenziert ermittelt.

Die räumliche **Verkehrsverteilung** des Wirtschaftsverkehrs erfolgt durch die Verknüpfung der nach Verkehrs- bzw. Transportzweck und Verkehrsmittelwahlsituation bzw. Fahrzeugart differenzierten Start- und Stopppotentiale zu räumlich definierten Verkehrsbeziehungen (Relationen). Dies geschieht mittels eines Gravitationsansatzes, der die Widerstände zwischen den betrachteten Zellen und die Konkurrenzsituation zu den anderen Zellen berücksichtigt. Die Verteilungsrechnung erfolgt hierbei getrennt für jede Verkehrszweck-Verkehrsmittelwahl-Situations-Kombination des Personenwirtschaftsverkehrs sowie für jede Transportzweck-Fahrzeugart-Kombination des Lkw-/Güterverkehrs und des dispersen Verkehrs unter Berücksichtigung der spezifischen Widerstände in den Netzsystemen.

Im Personenwirtschaftsverkehr erfolgt danach die Bestimmung des **Modal-Split II**, bei dem die Wahlfreien auf die Verkehrsmittel IV und ÖV aufgeteilt werden. Hierfür kommt ein schon in den etablierten Modellen des Personenverkehrs genutzter Nutzenmaximierungsansatz zur Anwendung. Die Berechnungen erfolgen im Prinzip für jeden Verkehrszweck getrennt. Es ist jedoch anzumerken, dass zurzeit keine entsprechend differenzierten Grundlagendaten vorliegen, die es erlauben, die im vorliegenden Modellansatz impliziert enthaltenen Möglichkeiten vollauf zu nutzen. Weder die Ergebnisse zu MID noch die für die betrachteten Modellstädte vorliegenden Modelle zum Personenverkehr liefern zur Differenzierung nach Wirtschaftszweigen verwertbare Angaben.

Die so bestimmten Personenfahrten im öffentlichen Verkehr (Gebundene + Wahlfreie) können – sofern keine weitere Aufteilung nach Tageszeiten erforderlich ist – direkt dem ÖV-Umlegungsmodell zugeführt werden, da hier keine weitere Bearbeitung in Form einer Tourengenerierung erfolgt.

Die bestimmten Start-Stopp-Relationen des Kfz-affinen Anteils des Personenwirtschaftsverkehrs werden, unter Berücksichtigung des nach Verkehrs-

zwecken differenzierten Ansatzes von Kfz-Besetzungsgraden, in Pkw-Relationen umgerechnet.

Sowohl für die Start-Stopp-Beziehungen des Pkw-Verkehrs als auch des Lkw-Verkehrs erfolgt unter Verwendung des Savingsmodells eine **Tourengenerierung**. Dabei werden in Abhängigkeit von den spezifischen Tourenparametern (Transportzeitenbudget, Aufenthaltszeiten bei Stopps, maximale Stoppzahlen) die je Fahrzeugart und Verkehrs- bzw. Transportzweck ermittelten Relationen zu Touren zusammengefügt und verknüpft. Je nach Intensität der Nachoptimierung können dabei mehr oder weniger optimierte Touren (hohes oder niedriges Savingsniveau) entstehen.

Die Tourengenerierung erfolgt differenziert nach den Verkehrs- bzw. Transportzwecken sowie den fünf Fahrzeugarten. Es ergeben sich somit 5x1 Tourensätze für den Personenwirtschaftsverkehr, (5+1)x5 Tourensätze für den Lkw-/Güterverkehr und bis zu 5x5 Tourensätze für die 5 definierbaren dispersen Verkehre. Aus diesen insgesamt bis zu 60 Tourensätzen werden die Fahrten zwischen den einzelnen Verkehrszellen bestimmt, die dann zu den Verflechtungsmatrizen der einzelnen Fahrzeugarten zusammengestellt werden.

Zur Betrachtung einzelner Tageszeiten werden die Matrizen für die verschiedenen Zeitintervallgruppen direkt aus den Tourensätzen – unter Einrechnung von spezifischen Tagesganglinien der Tourenstarts – berechnet. Durch die modellmäßig ermittelte tageszeitliche Verteilung der Tourensätze ist es auch möglich, Fahrtensätze mit Startzeiten für die Verwendung in dynamischen Umlegungsmodellen zu erzeugen.

Mit dem im Rahmen dieser Forschungsarbeit abgeleiteten Modellansatz zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr lassen sich somit sowohl für den Personenwirtschaftsverkehr als auch den Lkw-/Güterverkehr und dispersen Verkehr umlegungsfähige Nachfragematrizen bestimmen. Diese sind je nach ihrem Inhalt im Rahmen von weiterführenden Modellen zur Belastungsermittlung in den Netzmodellen zu verarbeiten. Hierbei sind die mit öffentlichen Verkehrsmitteln durchgeführten Personenfahrten des Wirtschaftsverkehrs gemeinsam mit den privaten Personenfahrten umzulegen. Die im Wirtschaftsverkehr mit Pkw durchgeführten Fahrten (umgerechnet in Kfz) werden den im privaten Personenverkehr anfallenden Pkw-Fahrten zugeschlagen und anschließend mit den mit Pkw durchgeführten Güterverkehrsfahrten zu einer Gesamt-Pkw-Matrix überlagert.

Im Lkw-Verkehr werden entsprechend dem entwickelten Modellansatz auf direktem Wege Lkw-Matrizen abgeleitet, die je nach Bedarf und Aufbau des zu nutzenden Straßennetzmodells einzeln (differenziert nach Gewichtsklassen) oder zu einer Gesamt-Lkw-Matrix zusammengefasst umgelegt werden können.

Der Modellansatz zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr ist in eine PC-geeignete EDV-Software mit benutzerfreundlicher Oberfläche umgesetzt worden. Außerdem wurden entsprechende Schnittstellen vorgesehen, die es erlauben, den hier entwickelten Modellansatz in bereits vorliegende Programmsysteme zu integrieren und damit die Anwendungsmöglichkeiten soweit wie möglich auszuweiten.

Somit ist sowohl die parallele Bearbeitung des privaten Personenverkehrs durch den Einsatz anderer Verkehrserzeugungsmodelle als insbesondere auch die Umlegung der generierten Verkehrsnachfrage auf die Netzmodelle anderer Programmsysteme möglich. Ebenfalls zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang die Übernahme von Widerstandsmatrizen aus den Netzmodellen.

Durch die Einbeziehung der Städte Bonn, Bremen und Dortmund in das Forschungsvorhaben "Kleinräumige Wirtschaftsverkehrsmodelle" wurde die Möglichkeit geschaffen, die praktische Anwendung der erarbeiteten Modellansätze zu prüfen. Dementsprechend wurde für alle 3 Modellstädte eine komplette Verkehrsnachfrage- und Belastungsberechnung durchgeführt, so dass hiermit die Funktionstüchtigkeit der erarbeiteten Modellansätze für verschiedene Städte geprüft werden konnte. Für den Abgleich der simulierten Daten wurden dabei spezielle örtlichen Erhebungen zum Verkehrsaufkommen wie auch detaillierte, nach Pkw und Lkw getrennte Belastungsangaben herangezogen.

Aus der Ergebnisanalyse für die 3 Modellstädte geht hervor, dass die im Zusammenhang mit dem neuen Modellansatz zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftsverkehr abgeleiteten Daten eine gute Aussagegenauigkeit aufweisen und der Realität weitgehend entsprechen. Da der Modellaufbau so gestaltet ist, dass auch prognostische Veränderungen berücksichtigt werden können, lässt sich diese Aussage auch auf zukünftige Zustände und Entwicklungen übertragen.

Trotz der mit dem neuen Modell erzielbaren Erfolge bleibt dennoch festzustellen, dass der Modellansatz nur so gut sein kann, wie die in ihn eingeflosse-



nen Modellparameter, die das Verkehrsverhalten im Einzelnen beschreiben. Diese Parameter wurden im Rahmen dieser Studie weitgehend aus den in der jüngeren Vergangenheit durchgeführten Erhebungen

- MID - Mobilität in Deutschland
- KID - Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland

sowie unter Nutzung von Statistiken des BAG (Bundesamt für Güterverkehr) und des KBA (Kraftfahrt Bundesamt) sowie aus speziellen örtlichen Erhebungen (z. B. Betriebsbefragungen) abgeleitet.

Wenngleich mit den o.g. Grundlagen sehr aufschlussreiches Material zur Verfügung stand, so ist jedoch darauf hinzuweisen, dass bei künftigen Erhebungen nach Möglichkeit eine Optimierung des Befragungs-Designs der verschiedenen Erhebungen erfolgen sollte. Von großem Nutzen wäre eine vertiefte Aussage über die Zielseite der Verkehrsströme, um hiermit den Verkehrs- bzw. Transportzweck im Wirtschaftsverkehr eindeutiger zuordnen zu können. Wünschenswert wäre auch eine eindeutige Zuordnung der gemeldeten Kfz zu Wirtschaftssektoren. Hier haben die Auswertungen der KID zu erkennen gegeben, dass zwischen den Angaben der KID-Erhebung und der Kfz-Meldestatistik des Kraftfahrt-Bundesamtes nennenswerte Diskrepanzen bestehen.

Als ein weiteres Problemfeld bei der Erarbeitung des Modellansatzes zur Bestimmung der Verkehrsnachfrage im kleinräumigen Wirtschaftverkehr hat sich auch die Quantifizierung der so genannten dispersen Verkehre (wie Müllabfuhr, Rettungswesen, Polizei u.a.) herausgestellt. Diese Verkehre lösen insbesondere im Nahbereich ihrer Standorte (Mülldeponie, Rettungswache/Krankenhaus, Polizeiwache) oftmals erhebliche Verkehrsbelastungen aus und sind im Rahmen der Planungen von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Hier ergibt sich ein Forschungsbedarf insoweit, als das Verkehrsaufkommen der Startpunkte – differenziert nach ihrer Bedeutung bzw. ihrem räumlichen Einflussbereich – festgestellt und im Zusammenhang mit seinen Einflussgrößen quantifiziert wird. Diese Aussagen sollten dazu genutzt werden, ein genaueres Bild über das Verkehrsnachfrageverhalten dieser dispersen Verkehre modelltechnisch zu ermitteln.

## 14 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Betrachtete Verkehrsträger	11
Abbildung 2: Zuordnung zwischen zul. Gesamtgewicht und Nutzlast (Quelle: KID)	36
Abbildung 3: Aufteilung des Wirtschaftsverkehrs auf Fahrzeugarten	40
Abbildung 4: Aufteilung auf Teilmodelle	41
Abbildung 5: Einordnung der Sonder-/Mischformen in eines der Teilmodelle	41
Abbildung 6: Differenzierung der Pkw-Fahrleistung nach Haltergruppen (Quelle: KID)	44
Abbildung 7: Prinzipskizze zur Auflösung der Touren in Start-Stopp- Beziehungen	64
Abbildung 8: Verteilung der Entfernungen zwischen dem Touren- ausgangspunkt und den Stopppunkten für den Personenwirtschaftsverkehr differenziert nach Wirtschafts- zweigen (Quelle: KID)	65
Abbildung 9: Beispielhafte Darstellung der Gravitationsgewichtungs- kurven für den Personenwirtschaftsverkehr (Quelle: Integrative Verkehrsplanung Bremen)	66
Abbildung 10: Benutzungswahrscheinlichkeit des ÖPNV durch die Wahl- freien in Abhängigkeit von den verschiedenen privaten Reisezwecken und dem Personenwirtschaftsverkehr (Geschäft)	69
Abbildung 11: Definition von ÖV-Korridoren am Beispiel Bremen	71
Abbildung 12: Besetzungsgrad (Personen je Kfz) differenziert nach Wirtschaftszweigen im Personenwirtschaftsverkehr (Quelle: KID)	73

Abbildung 13: Normierte Häufigkeitsverteilung (Klasseneinteilung) der durchschnittlichen Aufenthaltszeit je Stopp im Personenwirtschaftsverkehr differenziert nach Wirtschaftsbereichen (Quelle: KID)	74
Abbildung 14: Häufigkeit der Fahrten in Abhängigkeit von den Stoppzahlen (Quelle: Institut für Seeverkehr und Logistik (ISL) der Universität Bremen)	76
Abbildung 15: Prinzipskizze „Savingsmodell“	76
Abbildung 16: Verteilung der Entfernungen zwischen dem Tourenausgangspunkt und den Stopppunkten für Lkw zwischen 3,5 t und 7,5 t zul. Gesamtgewicht differenziert nach Wirtschaftszweigen	87
Abbildung 17: Prinzipskizze zum Ablauf der Verkehrsverteilung	88
Abbildung 18: Normierte Häufigkeitsverteilung (Klasseneinteilung) der durchschnittlichen Aufenthaltszeit je Stopp differenziert nach Fahrzeugarten im Wirtschaftsverkehr (Quelle: KID)	89
Abbildung 19: Verteilung der Tourenstartzeiten über den Tag differenziert nach der Unterwegszeit im Wirtschaftsverkehr – Pkw und Kleintransporter (Quelle: KID)	101
Abbildung 20: Verteilung der Tourenstartzeiten über den Tag differenziert nach der Unterwegszeit im Wirtschaftsverkehr – Transporter und kleine Lkw (Quelle: KID)	102
Abbildung 21: Verteilung der Tourenstartzeiten über den Tag differenziert nach der Unterwegszeit im Wirtschaftsverkehr – mittlere und große Lkw (Quelle: KID)	103
Abbildung 22: Verteilung der Tourenstartzeiten über den Tag differenziert nach Wirtschaftszweig (Quelle: KID)	104
Abbildung 23: Verteilung der Startzeiten von Personenfahrten im Reisezweck Dienstleistung (Quelle: MID)	105

Abbildung 24: Beispielhafte Darstellung von Fahrten im Zeit-Weg-Diagramm	108
Abbildung 25: Beispielhafte Darstellung von Fahrten im Zeit-Weg-Diagramm und Projektion des berücksichtigten Fahrtanteils auf das Streckennetz im Zeitintervall $T_1 - T_2$	109
Abbildung 26: Programmfenster der Benutzeroberfläche (Editor) mit Darstellung des Fensters zur Strukturdatenbearbeitung	119
Abbildung 27: Programmfenster der Benutzeroberfläche (Editor) mit Darstellung des Fensters zur Bearbeitung von Erzeugungsraten	120
Abbildung 28: Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für die Stadt Bremen (Pkw-Verkehr) – Tageswerte	125
Abbildung 29: Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für die Stadt Bremen (Schwerverkehr) – Tageswerte	127
Abbildung 30: Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für die Stadt Dortmund (Pkw-Verkehr) – Tageswerte	130
Abbildung 31: Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für die Stadt Dortmund (Schwerverkehr) – Tageswerte	131
Abbildung 32: Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für die Stadt Dortmund (Pkw-Verkehr) – Nachmittag	132
Abbildung 33: Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für die Stadt Dortmund (Schwerverkehr) – Nachmittag	133

Abbildung 34 Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen  
von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für  
die Stadt Bonn (Pkw-Verkehr) – Tageswerte 136

Abbildung 35 Gegenüberstellung der simulierten und der im Rahmen  
von Verkehrszählung gewonnenen Belastungswerte für  
die Stadt Bonn (Schwerverkehr) – Tageswerte 137

## 15 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zuordnung der Kfz-Fahrzwecke zu privatem Verkehr bzw. Wirtschaftsverkehr (mit Nennung ausgewählter Beispiele)	15
Tabelle 2:	Einteilung der 23 Kalibrierungsgruppen im WIVER-Modell	20
Tabelle 3:	Anteile der eingesetzten Fahrzeuge mit Wirtschaftsverkehrsfunktion (Quelle: KID)	37
Tabelle 4:	Anteile am Fahrtenaufkommen der eingesetzten Fahrzeuge mit Wirtschaftsverkehrsfunktion (Quelle: KID)	38
Tabelle 5:	Durchschnittlicher Besatz je Fahrzeugart und Verkehrszelle für die Modellstädte Bonn, Bremen und Dortmund	43
Tabelle 6:	Einwirkungsbereiche zukünftiger Entwicklungen im Wirtschaftsverkehr	48
Tabelle 7:	Zusammenstellung der möglichen zukünftigen Entwicklungen im Wirtschaftsverkehr (Teil 1)	50
Tabelle 8:	Zusammenstellung der möglichen zukünftigen Entwicklungen im Wirtschaftsverkehr (Teil 2)	51
Tabelle 9:	Zusammenstellung der möglichen zukünftigen Entwicklungen im Wirtschaftsverkehr (Teil 3)	52
Tabelle 10:	Modellbausteine	54
Tabelle 11:	Erzeugungsraten für die Startpotenziale im Personenwirtschaftsverkehr	58
Tabelle 12:	Erzeugungsraten für die Stopppotenziale im Personenwirtschaftsverkehr	58
Tabelle 13:	Bindungsraten an die drei Verkehrsmittelwahlsituationen für die Startpotenziale im Personenwirtschaftsverkehr	60

Tabelle 14:	Bindungsraten an die drei Verkehrsmittelwahlsituationen für die Stopppotenziale im Personenwirtschaftsverkehr	61
Tabelle 15:	Besetzungsgrad (Personen je Kfz) für die Verkehrszwecke im Personenwirtschaftsverkehr	73
Tabelle 16:	Durchschnittliche Aufenthaltszeiten bei Stopps innerhalb einer Tour im Personenwirtschaftsverkehr (Quelle: KID)	75
Tabelle 17:	Erzeugungsraten für die Startpotenziale im Lkw-/Güterverkehr	80
Tabelle 18:	Erzeugungsraten für die Stopppotenziale im Lkw-/Güterverkehr	80
Tabelle 19:	Bindungsraten an die fünf Fahrzeugarten für die Startpotenziale im Lkw-/Güterverkehr	82
Tabelle 20:	Bindungsraten an die fünf Fahrzeugarten für die Stopppotenziale im Lkw-/Güterverkehr	83
Tabelle 21:	Durchschnittliche Aufenthaltszeiten bei Stopps innerhalb einer Tour (Quelle: KID sowie Betriebsbefragungen in Düsseldorf und Bremen)	89
Tabelle 22:	Beispiel zur Festlegung von Startpotenzialen für disperse Verkehre (fiktives Systembeispiel: Müllentsorgung)	92
Tabelle 23:	Erzeugungsraten zur Generierung der Stoppgewichte disperser Verkehre aus Strukturdaten	93
Tabelle 24:	Beispielhafte Auswertung der Anteile der Fahrten bzw. ihrer Fahrleistung, die bei der Umlegung von Zeitintervallen anteilige Fehler liefern (Auswertung ohne weiträumigen Durchgangsverkehr)	111
Tabelle 25	Strukturdaten der Stadt Bremen	123
Tabelle 26	Strukturdaten der Stadt Dortmund	128

Tabelle 27	Strukturdaten der Stadt Bonn	134
Tabelle 28:	Beispiele für die mit dem Modellsystem abbildbaren Maßnahmen im Straßen-Wirtschaftsverkehr	147



## **16 Anlagenverzeichnis**

Anlage 1:	Literaturliste
Anlage 2	Verhältnis Kfz-Standort zu Halteradresse
Anlage 3	Unterteilung der Fahrtenketten gewerblichen Kfz nach Standort, Startort und Zielort
Anlage 4	Gegenüberstellung von Angaben zur Zugehörigkeit der gemeldeten Pkw zu den Wirtschaftszweigen
Anlage 5:	Beispiele zur Bestimmung von Erzeugungsraten
Anlage 6	Andrucke von Datensätzen
Anlage 7	Datengrundlagen für die Modellstadt Bonn
Anlage 8	Datengrundlagen für die Modellstadt Bremen
Anlage 9	Datengrundlagen für die Modellstadt Dortmund
Anlage 10	Belastungsdarstellungen für die drei Modellstädte



Ingenieurgruppe für  
Verkehrswesen und  
Verfahrensentwicklung

---

**Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG**

Fon: +49(0241) 9 46 91-0      Oppenhoffallee 171

Fax: +49(0241) 53 16 22      52066 Aachen

Office@IVV-Aachen.de      [www.IVV-Aachen.de](http://www.IVV-Aachen.de)

---

Kontakt: Reiner Vollmer und Theo Janßen