



Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Stuttgart

**Maßnahmenplan zur Minderung
der PM10- und NO₂-Belastungen
Anhang 1**



Baden-Württemberg
REGIERUNGSPRÄSIDIUM STUTTGART

Aufbau eines Wirtschaftsverkehrsmodells für die Region Stuttgart



Karlsruhe, Juni 2005

Dokument-Informationen

Auftraggeber:	Stadt Stuttgart, Stadtplanungsamt Verband Region Stuttgart Industrie- und Handelskammer Region Stuttgart
Auftragnehmer:	PTV Planung Transport Verkehr AG
Auftrags-Nr.:	
Bearbeiter:	
Version:	
Autor:	JOSEF JANKO
Datum:	9. Juni 2005
Speicherort:	D:\411161_Stuttgart\Organisation\Dokumente\Bericht\411161_20050609.doc

Inhalt

Dokument-Informationen	2
Inhalt	3
Verzeichnis der Abbildungen	5
Verzeichnis der Tabellen	7
1 Einführung	9
2 Aufbau des Verkehrsmodells	10
2.1 Methodik	10
2.2 Modellierung des Wirtschaftsverkehrs	12
2.3 Modellsoftware VISEVA	13
2.4 Bemerkung zu den Lkw-Größen	14
3 Aufbereitung des Netzmodells	16
3.1 Definition des Untersuchungsgebiets	16
3.2 Strecken und Knoten	17
3.3 Streckentypen	19
3.4 Knotentypen des Netzmodells	20
3.5 Bezirke und Anbindungen	21
3.5.1 Oberbezirke	25
3.5.2 Gebiete	26
3.6 Zählstellen	26
3.7 Verkehrssysteme und Nachfragesegmente	29
4 Strukturdaten und Parameter zur Nachfrageberechnung im Wirtschaftsverkehr	31
4.1 KiD 2002	31

4.2	Strukturdaten von der Stadt Stuttgart.....	35
4.3	Strukturdaten vom Verband Region Stuttgart.....	35
4.4	Strukturdaten von der IHK Region Stuttgart.....	36
4.5	Strukturdaten von der Handwerkskammer Region Stuttgart	37
4.6	Bestand an Kraftfahrzeugen nach Schadstoffklassen	39
5	Einbeziehung sekundärer Daten	44
5.1	Daten der Bundesverkehrswegeplanung	44
5.2	Personenverkehr des Untersuchungsgebiets.....	46
5.3	Untersuchungen der DaimlerChrysler AG.....	47
5.4	Mülltransporte.....	47
6	Modellkalibrierung	49
6.1	Kalibrierung in der Nachfrage	50
6.2	Kalibrierung im Netzmodell.....	50
7	Prognoseberechnung	55
8	Ergebnisse des Modells.....	56
8.1	Generelle Ergebnisse	56
8.2	Auswertungen für den Wirtschaftsverkehr	57
9	Anpassung an Emissionsberechnungen.....	60
10	Schlussbemerkungen und Ausblick	62
11	Anhang.....	63
11.1	Räumliche Ausdehnung des Untersuchungsgebiets nach Postleitbereichen	63
11.2	Typisierung der Strecken im Netzmodell.....	66

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Modellierung des Gesamtverkehrs mit VISEVA und VISUM	10
Abbildung 2: Gliederung des Verkehrsaufkommens	11
Abbildung 3: Modellierung des Wirtschaftsverkehrs	12
Abbildung 4: Widerstandsfunktion Reisezeit	14
Abbildung 5: Lage des Untersuchungsgebiets	17
Abbildung 6: Darstellung von Buslinien in der Stuttgarter Innenstadt	18
Abbildung 7: Bezirkseinteilung Stadt Stuttgart (506 Verkehrsbezirke 4. Ordnung)	22
Abbildung 8: Bezirkseinteilung Untersuchungsgebiet außerhalb der Stadt Stuttgart (286 Verkehrsbezirke 3. Ordnung)	23
Abbildung 9: Verteilung des Verkehrsaufkommens eines Bezirks auf mehrere fiktive Einspeisungsstrecken	25
Abbildung 10: Oberbezirke im Untersuchungsgebiet	26
Abbildung 11: Lage der Zählstellen und screenlines	28
Abbildung 12: Fahrten nach Fahrzeugarten und Branchen 2002 (Wirtschaftsbinnenverkehr)	33
Abbildung 13: Fahrten nach Fahrzeugarten und Branchen 2005 (Wirtschaftsbinnenverkehr)	34
Abbildung 14: Fahrten nach Fahrzeugarten und Branchen 2010 (Wirtschaftsbinnenverkehr)	34
Abbildung 15: Anzahl der Einwohner und Beschäftigten im Untersuchungsraum	36
Abbildung 16: Anzahl der Beschäftigten im Untersuchungsraum nach Branchen	38
Abbildung 17: Anteile der Schadstoffklassen an der Pkw-Flotte in den Jahren 2002, 2005 und 2010	42

Abbildung 18: Anteile der Schadstoffklassen an der Flotte der Lkw mit bis zu 3,5 t Nutzlast in den Jahren 2002, 2005 und 2010	42
Abbildung 19: Anteile der Schadstoffklassen an der Flotte der Lkw mit mehr als 3,5 t Nutzlast in den Jahren 2002, 2005 und 2010	43
Abbildung 20: Netzausschnitt der Bundesverkehrswegeplanung	45
Abbildung 21: Belastung an Zählstellen. Gewichtete Abweichung zwischen Zählwert und Modellwert	52
Abbildung 22: Belastung an Zählstellen. Schwankungsbreite bei der Abweichung des Modellwerts vom Zählwert.	53
Abbildung 23: Verkehrsaufkommen im Wirtschaftsverkehr nach Fahrzeugarten	56
Abbildung 24: Analyse 2002 relativer Anteil der Fahrzeugarten	57

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Strecken-Obertypen	20
Tabelle 2:	Abbiegewiderstände in Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen	21
Tabelle 3:	Typisierung der Verkehrsbezirke im Netzmodell	23
Tabelle 4:	Datenquellen für Querschnittszählungen	27
Tabelle 5:	Typisierung der Zählstellen	29
Tabelle 6:	Verkehrssysteme	29
Tabelle 7:	Verkehrsarten	30
Tabelle 8:	Nachfragesegmente	30
Tabelle 9:	Gliederung der Wirtschaftszweige in der Erhebung KiD 2002 und in der Nachfragemodellierung des Wirtschaftsverkehrs für die Region Stuttgart.	32
Tabelle 10:	Parameter zur Nachfrageberechnung im Wirtschaftsverkehr	33
Tabelle 11:	Klassierung der Betriebsgrößen bei der IHK Region Stuttgart	37
Tabelle 12:	Betriebsgrößen von Handwerksbetrieben in der Region Stuttgart	38
Tabelle 13 :	Fahrzeugkategorien bei der Modellierung von Emissionen und Immissionen durch die UMEG	39
Tabelle 14:	Pkw-Bestand in Baden Württemberg 2002 nach Schadstoffgruppen	40
Tabelle 15:	Zuordnung der Emissionsschlüsselnummer zur Schadstoffklasse	40
Tabelle 16:	Pkw-Bestand nach Schadstoffgruppen	41
Tabelle 17:	Anteil des Personenwirtschaftsverkehrs	46

Tabelle 18:	Müllverbrennungsanlagen mit künftigem Müllaufkommen aus der Region Stuttgart	48
Tabelle 19:	Kenngößen der Kalibrierung der Verkehrsstärken	54
Tabelle 20:	Anteile der Verkehrsarten im motorisierten Individualverkehr an der Verkehrsleistung nach räumlichem Bezug (2002)	58
Tabelle 21:	Anteile der Verkehrsarten im motorisierten Individualverkehr an der Verkehrsleistung nach Straßentyp (2002)	58
Tabelle 22:	Anteile der Verkehrsarten im motorisierten Individualverkehr an der Verkehrsleistung im Untersuchungsgebiet nach Jahr	59
Tabelle 23:	Zunahme der Verkehrsleistung im motorisierten Individualverkehr nach Verkehrsarten	59
Tabelle 24:	Datensatzstruktur für die Emissionsberechnungen	60
Tabelle 25:	Orte des Untersuchungsgebiets	65
Tabelle 26:	Streckentypen des Netzmodells	68

1 Einführung

Für die Stadt und die Region Stuttgart existieren bereits verschiedene Verkehrsmodelle, die sich jedoch im Wesentlichen auf den Personenverkehr konzentrieren. Für eine Vielzahl von Fragestellungen ist aber gerade die Betrachtung des Wirtschaftsverkehrs von besonderem Interesse. Deshalb haben sich die Stadt Stuttgart, das Umwelt- und Verkehrsministerium des Landes Baden-Württemberg, der Verband Region Stuttgart und die Industrie- und Handelskammer Region Stuttgart entschlossen, den Aufbau eines Personen- und Wirtschaftsverkehrsmodells in Auftrag zu geben.

Dieses Modell soll als Grundlage für Luftreinhalteplanungen in der Region Stuttgart, sowie für weitere regionale Verkehrsuntersuchungen wie beispielsweise Engpassanalysen in der Region Stuttgart dienen.

Um in Zukunftsszenarien Einzelmaßnahmen oder Maßnahmenbündel untersuchen zu können, ist die Existenz eines prognosefähigen und maßnahmensensitiven Nachfragemodells für den Wirtschaftsverkehr erforderlich. Die bisherige Vorgehensweise, bei der bekannte Lkw-Anteile an der Verkehrsbelastung zur Beurteilung der Situation herangezogen wurden, muss zwangsläufig unter geänderten Netz- und Nachfragestrukturen versagen, da diese Mengen nicht bzw. nur bedingt umlegbar sind.

Darüber hinaus müssen die Matrizen nach Fahrzeugklassen differenziert vorliegen,

Als Datengrundlage für die Modellierung des Wirtschaftsverkehrs sind zum einen Strukturdaten und zum anderen Verhaltensdaten erforderlich. Die Strukturdaten – im Wesentlichen branchenspezifische Angaben zu Arbeitsplätzen – konnten von den Auftraggebern zur Verfügung gestellt werden. Die Verhaltensparameter, über die das strukturelle Potential in Fahrten umgesetzt wird, wurden im wesentlichen aus einer bundesweiten Befragung zum Wirtschaftsverkehr – KiD 2002 Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland – abgeleitet.

Das Modell wurde anhand von Verkehrszählungen für den Analysestand 2002 kalibriert. Daran schlossen sich Prognoserechnungen für die Bezugsjahre 2005 und 2010 an.

Die Modellergebnisse in Form von streckenbezogenen Verkehrsstärken, gegliedert nach Pkw und drei Lkw-Klassen, werden bereitgestellt zur weiteren Bearbeitung, beispielsweise in Modellen zur Abschätzung der verkehrlich bedingten Emissionen.

2 Aufbau des Verkehrsmodells

2.1 Methodik

Ziel verkehrsplanerischer Modellrechnungen ist eine adäquate Abbildung des realen Verkehrsverhaltens in einem vorgegebenen Untersuchungsgebiet. Das erfordert insbesondere zur vollständigen Abbildung der Verkehrsbelastung im Straßenverkehr eine Berechnung des Wirtschaftsverkehrs. Der Wirtschaftsverkehr umfasst dabei alle Ortsveränderungen von Gütern und Personen, die im Zusammenhang mit erwerbswirtschaftlichen Tätigkeiten durchgeführt werden. Die Wege von und zur eigenen Arbeitsstätte sind nicht Bestandteil des Wirtschaftsverkehrs.

Für die Modellierung der Gesamtverkehrsnachfrage im Personen- und Wirtschaftsverkehr von Städten und Regionen stehen die zur *ptv vision*-Familie gehörenden Programmsysteme VISEVA und VISUM zur Verfügung. In der folgenden Abbildung ist die Modellierung des Gesamtverkehrs mit VISEVA und VISUM in einem Ablaufschema dargestellt.

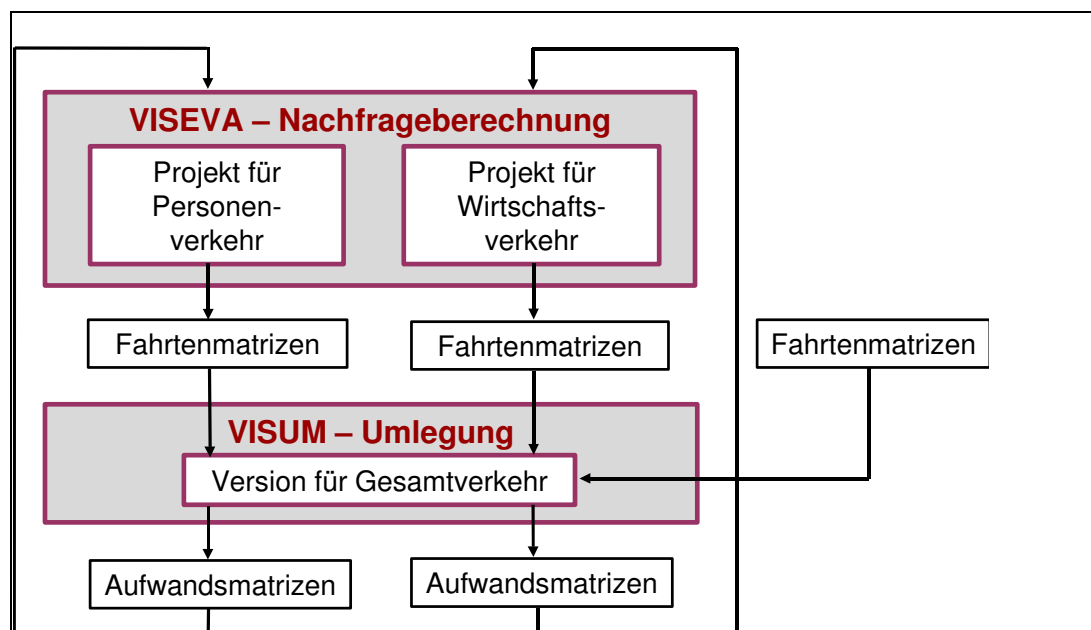


Abbildung 1: Modellierung des Gesamtverkehrs mit VISEVA und VISUM

Der gesamte Modellablauf kann in die Hauptarbeitsschritte Nachfrageberechnung mit dem Programmsystem VISEVA und Verkehrsumlegung mit dem Programmsystem VISUM untergliedert werden. Ergebnis der Nachfrageberechnung sind Fahrtenmatrizen für den Personen- und / oder Wirtschaftsverkehr, welche auf das Straßennetzmodell simultan umgelegt werden. Dabei können – soweit vorhanden –

auch extern ermittelte Fahrtenmatrizen (z. B. Fernverkehrsmatrizen aus der Bundesverkehrswegeplanung) berücksichtigt werden. Mit der Umlegung wird die Verkehrsbelastung der einzelnen Knoten und Strecken im Straßennetzmodell berechnet. Gleichzeitig resultieren aus der Umlegung Aufwandsmatrizen (z. B. Reisezeit, Kosten, Entfernung), welche wiederum Eingangsdaten für den nächsten Iterationsschritt sind. Der gesamte Modellablauf wird solange durchlaufen, bis sich ein Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage einstellt.

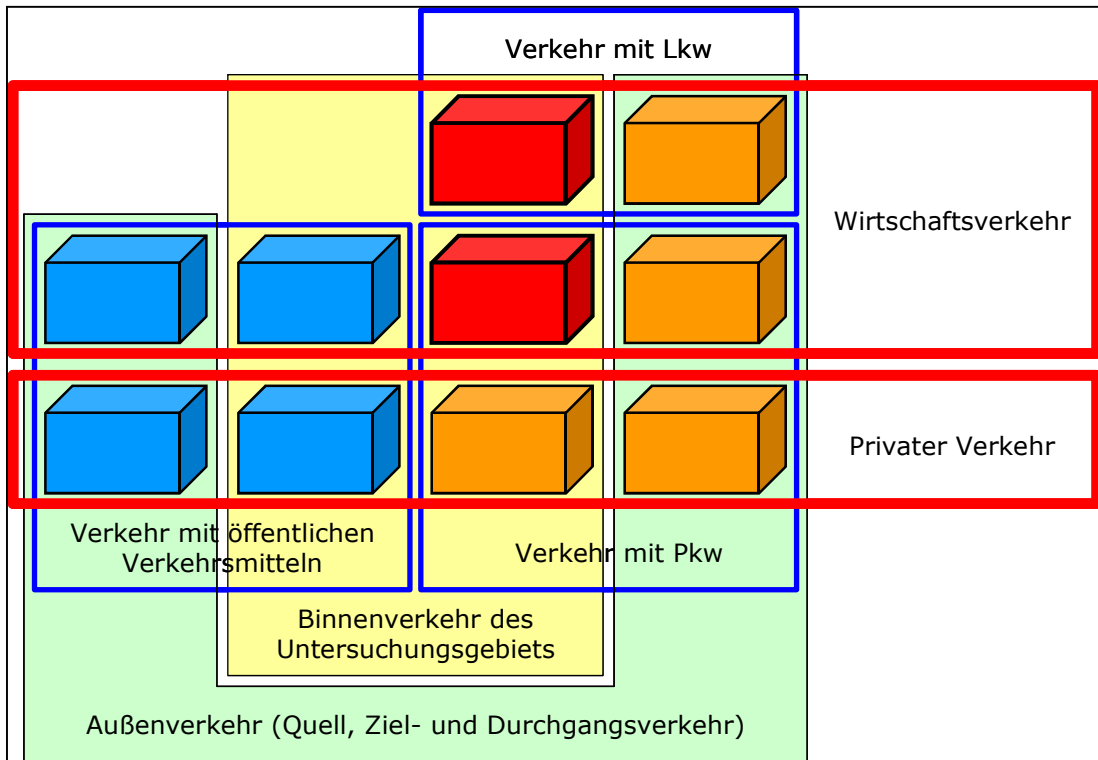


Abbildung 2: Gliederung des Verkehrsaufkommens

In Abbildung 2 ist das gesamte Verkehrsaufkommen in einem Untersuchungsgebiet dargestellt. In dieser Studie wird jedoch nur ein Teil dieses Verkehrs, der Individualverkehr mit Pkw und Lkw (in der Abbildung rot bzw. hellrot dargestellt), betrachtet und modelliert. Der Verkehr mit öffentlichen Verkehrsmitteln (in der Abbildung hellblau dargestellt) ist nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

In diesem Vorhaben beschäftigt sich die Modellierung mit dem Wirtschaftsverkehr des Untersuchungsgebiets (die beiden roten Blöcke in der Abbildung). Weiter sind zu berücksichtigen der Personenverkehr (ohne den Personenwirtschaftsverkehr) der Region sowie die Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehre sowohl im Personenverkehr wie im Güterverkehr (die hellroten Blöcke in der Abbildung). Diese Segmentierung der Nachfrage findet ihren Niederschlag in der Erstellung getrennter Matrizen von Fahrtbeziehungen.

Eine spezielle Betrachtung ist dabei für den Personenverkehr des Untersuchungsgebietes erforderlich. Seine Basis sind die Berechnungen, die für den Regionalverkehrsplan der Region Stuttgart durchgeführt wurden. Dort wurde der Personenwirtschaftsverkehr mit dem privaten Personenverkehr gemeinsam modelliert. In dieser Studie hingegen ist der in der Verkehrsnachfrage enthaltene Personenwirtschaftsverkehr vom übrigen Personenverkehr abzuspalten.

Die zugehörige Nachfrage im Personenverkehr wurde auf der Basis des Nachfragemodells aus dem Regionalverkehrsplan (RVP) Stuttgart von 2001 ermittelt. Der Binnenverkehr in der Stadt Stuttgart wurde dabei mit dem Programmsystem VISEM berechnet. In das Modell gingen Strukturdaten (Einwohner, Beschäftigte, Schüler) der Stadt Stuttgart mit dem Stand 31.12.1999 ein. Diese Daten lagen differenziert nach Verkehrsbezirken 4. Ordnung vor. Ergebnis der VISEM-Berechnungen sind Fahrtenmatrizen für den Pkw-Verkehr und den ÖV. Für den Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr wurden vorhandene Fahrtenmatrizen aus dem RVP und der BVWP verwendet.

2.2 Modellierung des Wirtschaftsverkehrs

Bei der Modellierung des Wirtschaftsverkehrs sind gegenüber dem Personenverkehr eine Reihe von Besonderheiten zu beachten. So ist die Einteilung in verhaltenshomogene Gruppen (Wirtschaftsverkehrsklassen) nach speziellen Kriterien (in erster Linie nach Branchenzugehörigkeit sowie Fahrzeugart) vorzunehmen. Die Berechnungen werden für jede Wirtschaftsverkehrsklasse gesondert durchgeführt. Dabei werden die Fahrten jeder Wirtschaftsverkehrsklasse nach dem folgenden Schema differenziert (Abbildung 3):

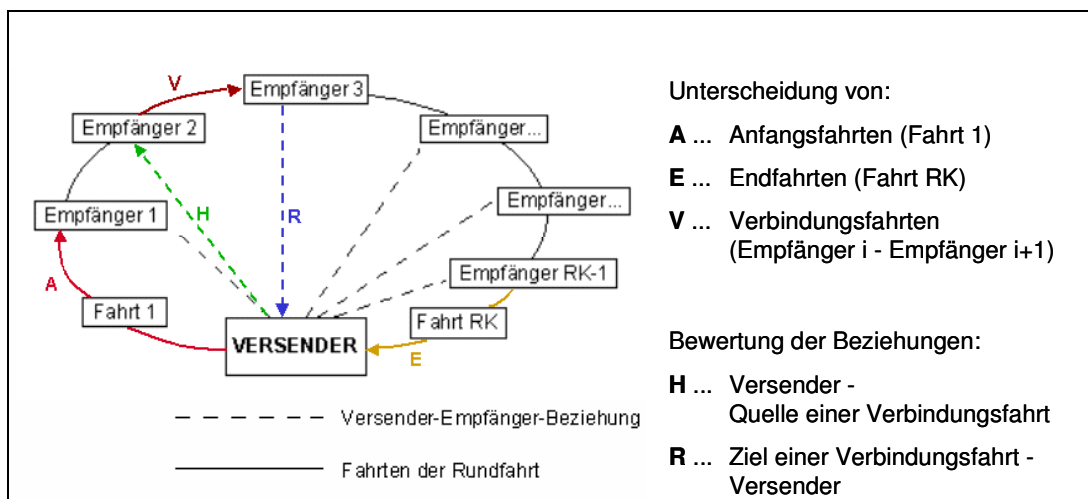


Abbildung 3: Modellierung des Wirtschaftsverkehrs

Mit dieser Einteilung lassen sich sowohl einfache Hin- und Rückfahrten als auch Fahrketten (Rundfahrten) mit einer beliebigen Anzahl von Verbindungsfahrten zwischen Anfangs- und Endfahrt nachbilden. Als weiteres Kriterium für die Verkehrsverteilung werden bei der Berechnung der Verbindungsfahrten die Beziehungen H (Versender – Quelle einer Verbindungsfahrt) und R (Ziel einer Verbindungsfahrt – Versender) bewertet, welche die Bindung des Fahrzeugs an den Heimatstandort widerspiegeln.

2.3 Modellsoftware VISEVA

Für die verkehrsplanerische Berechnung des Wirtschaftsverkehrs steht mit dem Programmsystem VISEVA-W ein umfassendes Werkzeug zur Verfügung. Insgesamt kann das Wirtschaftsverkehrsmodell in die Arbeitsschritte Verkehrserzeugung, Bewertung und Verkehrsverteilung gegliedert werden.

Mit dem Arbeitsschritt **Verkehrserzeugung** werden auf der Grundlage der Angaben zu den Beschäftigten am Arbeitsplatz und der Verkehrskennwerte aus der KiD-Erhebung die Versand- und Empfangsaufkommen der einzelnen Wirtschaftsverkehrsklassen berechnet.

Eingangsdaten für den Arbeitsschritt **Bewertung** sind die Aufwandsmatrizen (z. B. Reisezeit, Entfernung, Kosten) und Widerstandsfunktionen für alle betrachteten Fahrzeugarten. Diese Aufwandsmatrizen werden direkt aus dem Netzmodell mit dem Programmsystem VISUM generiert. Im daran anschließenden Arbeitsschritt wird im Programmsystem VISEVA für alle Relationen der Matrix eine Bewertungswahrscheinlichkeit für die Fahrten/Beziehungen A, E, V, H und R (Abbildung 3) berechnet. Grundlage für die Berechnung der Bewertungswahrscheinlichkeit sind neben den Aufwandsmatrizen die dazugehörigen Widerstandsfunktionen (Abbildung 4), welche in Abhängigkeit von der Aufwandgröße die Wahrscheinlichkeit für das Zustandekommen einer Ortsveränderung widerspiegeln.

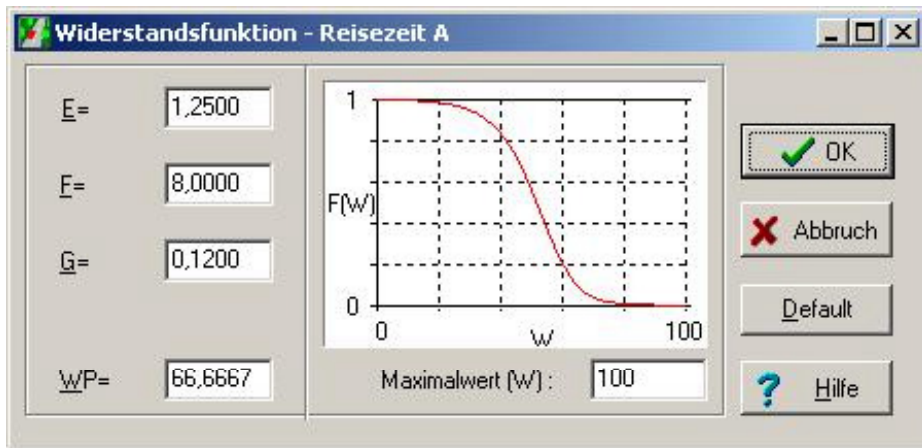


Abbildung 4: Widerstandsfunktion Reisezeit

Im daran anschließenden Arbeitsschritt **Verkehrsverteilung** werden auf der Grundlage der Versand- und Empfangsaufkommen sowie der Bewertungsmatrizen die Verkehrsströme zwischen den einzelnen Verkehrsbezirken berechnet. Ergebnis des Arbeitsschrittes Verkehrsverteilung sind für alle Wirtschaftsverkehrsklassen Fahrtenmatrizen für die Fahrten/Beziehungen A, E und V, welche mit dem Programmsystem VISUM auf das Netzmodell umgelegt werden können.

2.4 Bemerkung zu den Lkw-Größen

Lastkraftwagen sind Kraftfahrzeuge, die nach ihrer Bauart und Einrichtung zur Beförderung von Gütern bestimmt sind. Die Einteilung der Lkw in Größenklassen kann nach der Nutzlast oder dem zulässigen Gesamtgewicht erfolgen. Im Rahmen der KiD 2002 wurde für alle erhobenen Fahrzeuge die Nutzlast erfasst. Dabei wurden nach der Nutzlast die folgenden Größenklassen gebildet:

- ▶ Pkw
- ▶ Lkw < 3.5 t Nutzlast
- ▶ Lkw mit mehr als 3.5 t Nutzlast.

Zusätzlich ist in den KiD-Datensätzen aber auch die Angabe zum zulässigen Gesamtgewicht des jeweiligen Fahrzeugs enthalten, welches auf der Grundlage des Fahrzeugzentralregisters ermittelt wurde. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ist entsprechend der Aufgabenstellung eine Einteilung der Lkw nach dem zulässigen Gesamtgewicht erforderlich. Deshalb wurde im Rahmen der Auswertung der KiD 2002 nach den folgenden Größenklassen unterschieden:

- ▶ Pkw
- ▶ Lkw-kleinen (bis 3.5 t zulässiges Gesamtgewicht)

- ▶ Lkw -mittel (3.5 ... 7.5 t zulässiges Gesamtgewicht)
- ▶ Lkw-groß (mehr als 7.5 t zulässiges Gesamtgewicht).

Dabei wurden die in der KiD 2002 erfassten Lkw < 3.5 t Nutzlast der Gruppe Lkw-klein bzw. Lkw-mittel zugeordnet.

3 Aufbereitung des Netzmodells

3.1 Definition des Untersuchungsgebiets

Die Festlegung der Größe des Untersuchungsgebiets besteht immer aus der Abwägung zwischen einerseits dem Wunsch, das Gebiet möglichst so groß zu halten, dass die Auswirkungen von zu betrachtenden Maßnahmen in ihren Wirkungen auf das Gebiet beschränkt bleiben, und andererseits den ökonomischen und zeitlichen Bedingungen für die Durchführung der Studie.

Aus methodischen Gründen wäre es zu begrüßen gewesen, wenn sich diese Arbeit auf das gesamte Gebiet der Region Stuttgart, wie sie im Regionalverkehrsplan betrachtet wird, erstreckt hätte. Dies war jedoch aus finanziellen Gründen nicht möglich.

Deshalb musste ein Kompromiss gefunden werden, der darauf hinauslief, dass in einem ersten Schritt um die Stadt Stuttgart ein Gürtel gezogen wurde, der im wesentlichen die Kommunen

- ▶ Kornwestheim
- ▶ Ludwigsburg
- ▶ Waiblingen
- ▶ Esslingen
- ▶ Filderstadt
- ▶ Leinfelden-Echterdingen
- ▶ Böblingen
- ▶ Sindelfingen
- ▶ Leonberg

umfasste. In einer räumlichen Ergänzung wurden dazu unter anderem die Orte

- ▶ Bietigheim-Bissingen
- ▶ Winnenden
- ▶ Weinstadt
- ▶ Schorndorf
- ▶ Göppingen
- ▶ Kirchheim/Teck
- ▶ Nürtingen

- ▶ Herrenberg
- ▶ Holzgerlingen

hinzugenommen. Abbildung 5 zeigt das Untersuchungsgebiet. Im Anhang befindet sich in Tabelle 25 ein detailliertes Ortsverzeichnis für das Untersuchungsgebiet auf Basis der Postleitzahlen.

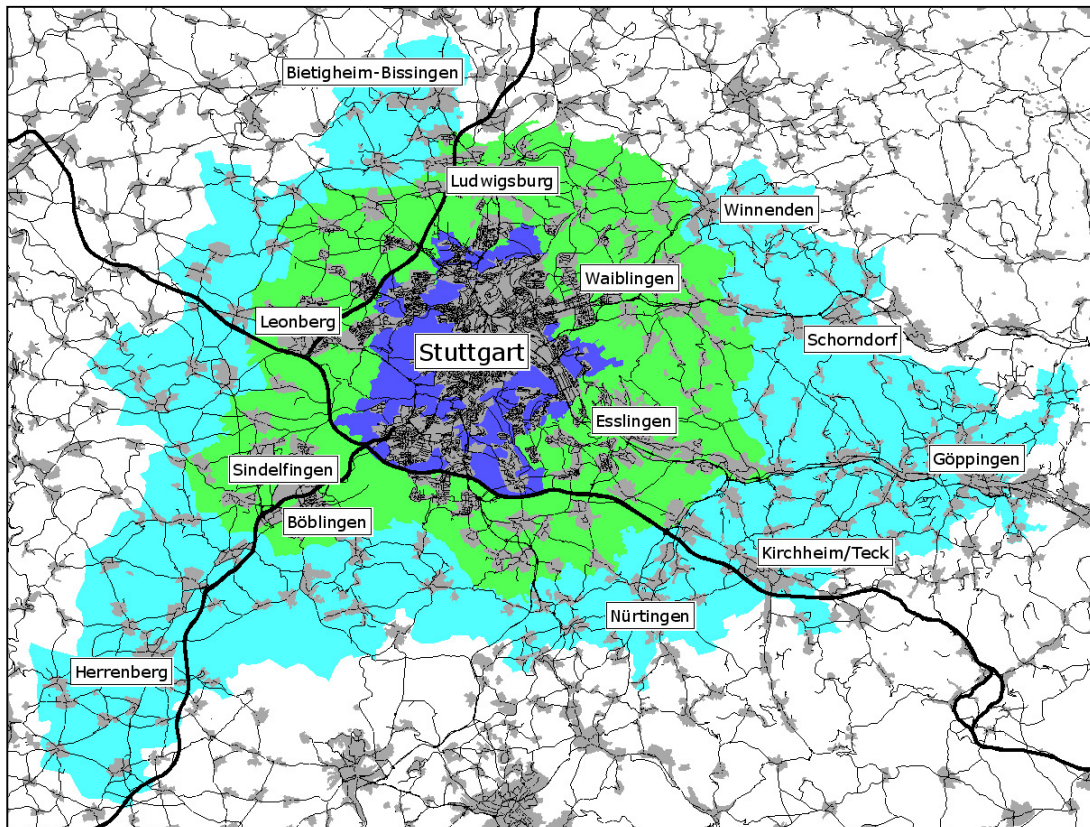


Abbildung 5: Lage des Untersuchungsgebiets

Für dieses Untersuchungsgebiet sind Bezirke zu definieren, in denen die Nachfragedaten hinterlegt werden, und es ist ein Modell des Straßennetzes zu erstellen, in dem die Verkehrsnachfrage abgebildet werden kann.

3.2 Strecken und Knoten

Um verkehrsplanerische Modellrechnungen durchführen zu können, wird ein Netzmodell des Untersuchungsraumes benötigt. Für die Stadt Stuttgart liegen aus vorangegangenen Untersuchungen bereits mehrere Netzmodelle vor, aus denen eines als Basis auszuwählen ist:

- ▶ das Modell des Stadtplanungsamtes Stuttgart

- ▶ das Modell des Verkehrs- und Tarifverbundes Stuttgart (VVS)
- ▶ das Modell aus dem Forschungsprojekt Mobilist

Die für die Problematik in diesem Modell nicht ausreichende Abdeckung der Region schließt das Modell des Stadtplanungsamtes von der weiteren Betrachtung aus. Jedes der beiden anderen Modelle weist Defizite in einzelnen Bereichen auf, die sich jedoch voneinander unterscheiden und deshalb durch eine geeignete Kombination überwunden werden können.

Im Netzmodell des VVS ist das Straßennetz, insbesondere in der Region, detaillierter abgebildet als im Mobilist-Netz. Damit wird eine Grundlage gelegt, die ausreicht, um gegebenenfalls zu einem späteren Zeitpunkt eine weitere Ausdehnung des Untersuchungsgebiets in der Region vornehmen zu können. Weiter enthält dieses Netzmodell auch das ÖV-Angebot für die Stadt Stuttgart und die Region. Dazu gehören die Linienwege von Bussen und Bahnen mit genauen Haltestellenlagen im Straßennetz (Abbildung 6) sowie deren Fahrplan (Fahrplanstand 2000). Damit bietet sich die Möglichkeit, die Emissionen der Linienbusse in das Modell zu integrieren.

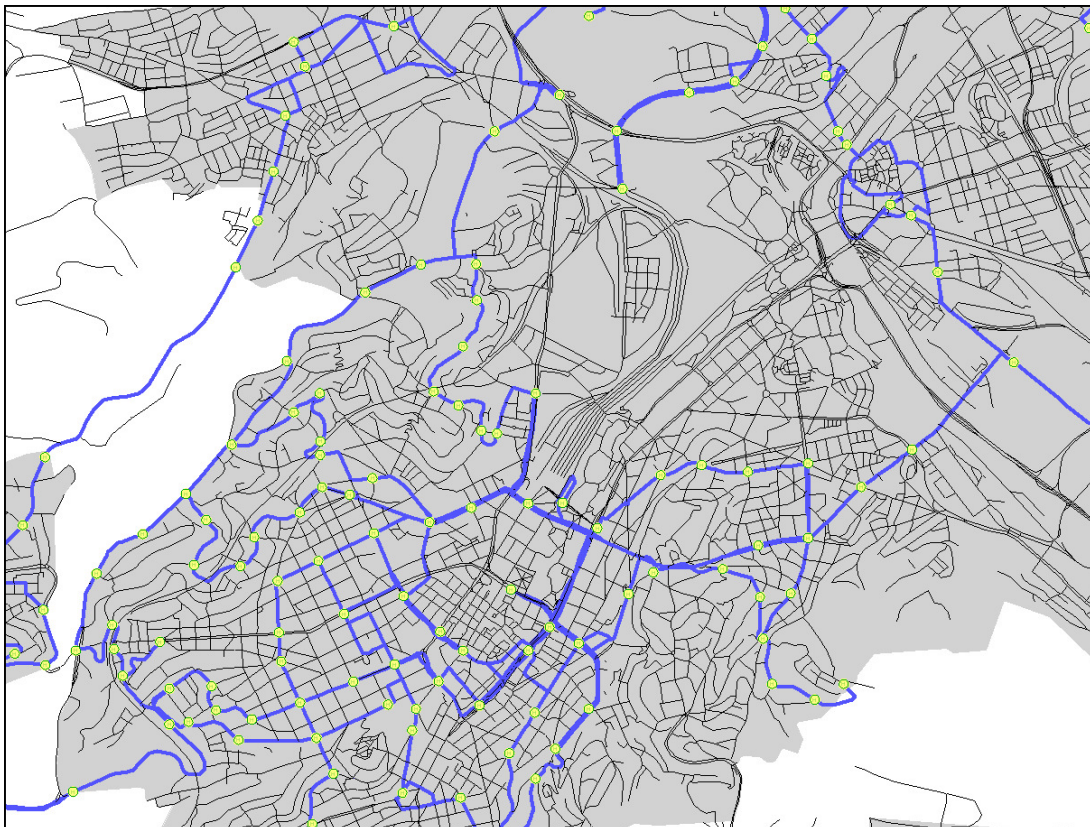


Abbildung 6: Darstellung von Buslinien in der Stuttgarter Innenstadt

Die Strecken sind im Modell richtungsbezogen unter anderem mit den Attributen Länge, Kapazität und Ausgangsgeschwindigkeit definiert und für bestimmte Verkehrssysteme zugelassen oder gesperrt.

Das beschriebene Netzmodell ist für die Berechnung des Wirtschaftsverkehrs aufzubereiten und gegebenenfalls zu erweitern. Dazu sind entsprechend der vorgesehenen Differenzierung der Fahrzeugarten für den Wirtschaftsverkehr eigene Verkehrssysteme zu definieren und einzufügen. Daran anschließend sind die Strecken für diese Verkehrssysteme gesondert zu parametrisieren. Dazu gehören

- ▶ Berücksichtigung von Streckenabschnitten mit Tonnagebeschränkungen bzw. mit Lkw-Verbot
- ▶ Berücksichtigung von Höchstgeschwindigkeiten; bei Lkw wird eine maximale Geschwindigkeit von 80 km/h angesetzt, bei Lieferwagen 120 km/h
- ▶ Berücksichtigung von Streckenlängsneigungen

Mit Hilfe dieser gesonderten Parametrisierung für den Schwerverkehr wird eine realistischere Wegesuche im Netzmodell ermöglicht.

Die ursprünglichen Festlegungen der Attribute werden im Zuge der Modellkalibrierung überarbeitet und korrigiert. Dabei hat es sich als hilfreich erwiesen, wenn die Elemente nach Typen kategorisiert werden und dann nicht individuell, sondern klassiert modifiziert werden können. Deshalb werden für Knoten und Strecken Kategorien definiert.

3.3 Streckentypen

Die Charakteristik der Strecken wird im wesentlichen durch die beiden Parameter Ausgangsgeschwindigkeit und Kapazität abgebildet. Als dritte Eigenschaft ist die Zuordnung zu einer Capacity-Restraint-Kurve zu vorzunehmen, die die Veränderung des Streckenwiderstandes bei zunehmender Belastung beschreibt.

Aus mehreren Gründen ist es vorteilhaft, die Eigenschaften von Strecken nicht individuell, sondern nach Streckentypen strukturiert zu vergeben:

- ▶ Gruppierung von Strecken nach Funktion oder Ausprägung
- ▶ Über die Typisierung ist eine unterschiedliche graphische Darstellung möglich
- ▶ Änderung des Attributs eines Streckentyps ist für alle Elemente gleichzeitig möglich
- ▶ Zuordnung einer CR-Kurve zu einer Strecke ist nur über den Typ möglich

Insgesamt können 100 Streckentypen definiert werden. Die in dieser Untersuchung verwendete Typisierung ist im Anhang in Tabelle 26 dokumentiert. Hier soll lediglich

in einer kurzen Übersicht in Tabelle 1 die Klassierung nach den Obertypen dargestellt werden.

Typ-Nr	Bezeichnung	Anzahl	Anteil Länge	Anteil Leistung
0 ... 9	Sonderstrecken			
10 ... 19	Autobahnen	460	1,6 %	21,5 %
20 ... 28	Bundesstraßen (außerorts)	2 700	3,6 %	19,1 %
29 ... 37	Bundesstraßen (innerorts)	7 500	2,8 %	9,6 %
38 ... 49	Sonderstrecken (Tunnels, Rampen)	1 700	0,7 %	4,0 %
50 ... 59	Landesstraßen (außerorts)	9 400	13,1 %	12,2 %
60 ... 69	Hauptstraßen (innerorts)	30 200	10,4 %	24,0 %
70 ... 79	Nebenstraßen (innerorts)	48 800	16,2 %	7,9 %
80 ... 89	Sonstige Straßen (innerorts)	195 900	51,6 %	1,7 %
90 ... 99	ÖV-Strecken			

Tabelle 1: Strecken-Obertypen

Im Vorgriff auf die Ergebnisse der Modellierung sind hier bereits die Anteile der in den einzelnen Kategorien erbrachten Fahrleistungen [Kfz*km] genannt. Man kann die Bedeutung der Autobahnen und Bundesstraßen (Typen 10 ... 49) erkennen, auf denen bei einem Längenanteil von weniger als 9% etwa 54% der Verkehrsleistungen abgewickelt werden.

Dabei darf allerdings nicht außer Acht gelassen werden, dass im Modell kein Bezirksbinnenverkehr enthalten ist. Wenn man diese kurzen Fahrten, die innerhalb eines Verkehrsbezirks durchgeführt werden, mit berücksichtigen würde, würde sich der Anteil an der erbrachten Verkehrsleistung bei den Innerortsstraßen erhöhen und entsprechend bei den Außerortsstraßen verringern.

3.4 Knotentypen des Netzmodells

Als Attribut der Streckentypen wird auch ein Rang vergeben. Damit lassen sich Vorfahrtsregelungen an Verknüpfungspunkten (Kreuzungen, Einmündungen, Autobahnauffahrten) über Abbiegewiderstände realisieren. Diese Abbiegewiderstände können individuell für jeden Knoten im Netz vergeben werden. Es ist jedoch von Vorteil, wenn dies typbezogen global definiert und ausgeführt werden kann. Aus diesem Grund wurden Knotentypen je nach der Steuerung unterschiedlich vergeben. Zu diesem Zweck wurde vom Amt für Öffentliche Ordnung der Stadt Stuttgart eine Liste mit den Namen und den Koordinaten der lichtsignalgesteuerten Kreuzungen geliefert, die über eine Geocodierung mit dem Knotentyp 80 in das Netzmodell aufgenommen wurden. In Tabelle 2 sind die Abbiegewiderstände für

die Fahrtbeziehungen in den LSA-geregelten Knoten aufgeführt. Die Einstufung einer Straße als über- oder untergeordnet orientiert sich dabei an den Streckentypen, wie sie in Tabelle 1 genannt sind.

Straßenübergang	Rechtsabbiegen	Geradeaus	Linksabbiegen
übergeordnet → übergeordnet	10 s	10 s	15 s
übergeordnet → untergeordnet	10 s	10 s	15 s
untergeordnet → übergeordnet	20 s	20 s	25 s
untergeordnet → untergeordnet	25 s	25 s	30 s

Tabelle 2: Abbiegewiderstände in Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen

Als Problem stellte es sich jedoch dar, dass die Kreuzungen in einer Reihe von Fällen durch mehrere Knoten im Netzmodell abgebildet sind. In diesem Fall wurde ein Primärknoten als Typ 80 definiert, und die anderen Knoten der Kreuzung wurden als Typ 81 oder Typ 85 definiert, in denen alle Abbiegebeziehungen den gleichen Widerstand von 5 s (Typ 81) oder 0 s (Typ 85) erhielten.

3.5 Bezirke und Anbindungen

Die Nachfragemodellierung wird für das Stadtgebiet Stuttgart auf der Ebene der Verkehrsbezirke 4. Ordnung und im Untersuchungsgebiet außerhalb der Stadt Stuttgart auf der Ebene der Verkehrsbezirke 3. Ordnung ausgeführt. Die Bezirke erhalten einen „Bezirkstyp“ als Attribut, mit dem sie räumlich oder funktional geordnet werden können.

Bezirkstyp 0 – Stadt Stuttgart

Die Bezirkseinteilung des VVS-Netzes ist nur zum Teil geeignet zur weiteren Bearbeitung. Im Mobilist-Netz liegt für das Stadtgebiet die Einteilung in Verkehrsbezirke 4. Ordnung vor, und deshalb werden diese Polygone nach einer erforderlichen Koordinatentransformation übernommen (Abbildung 7).

Bezirkstyp 1 – Untersuchungsgebiet außerhalb der Stadt Stuttgart

Für den Bereich außerhalb der Stadt Stuttgart entsprechen im VVS-Netz zwar die Grenzen der Bezirke der Einteilung der Verkehrsbezirke 3. Ordnung, nicht jedoch ihre Numerierung. Die Bezirke des Netzmodells werden an die Benennung der Verkehrsbezirke 3. Ordnung angepasst (Abbildung 8).

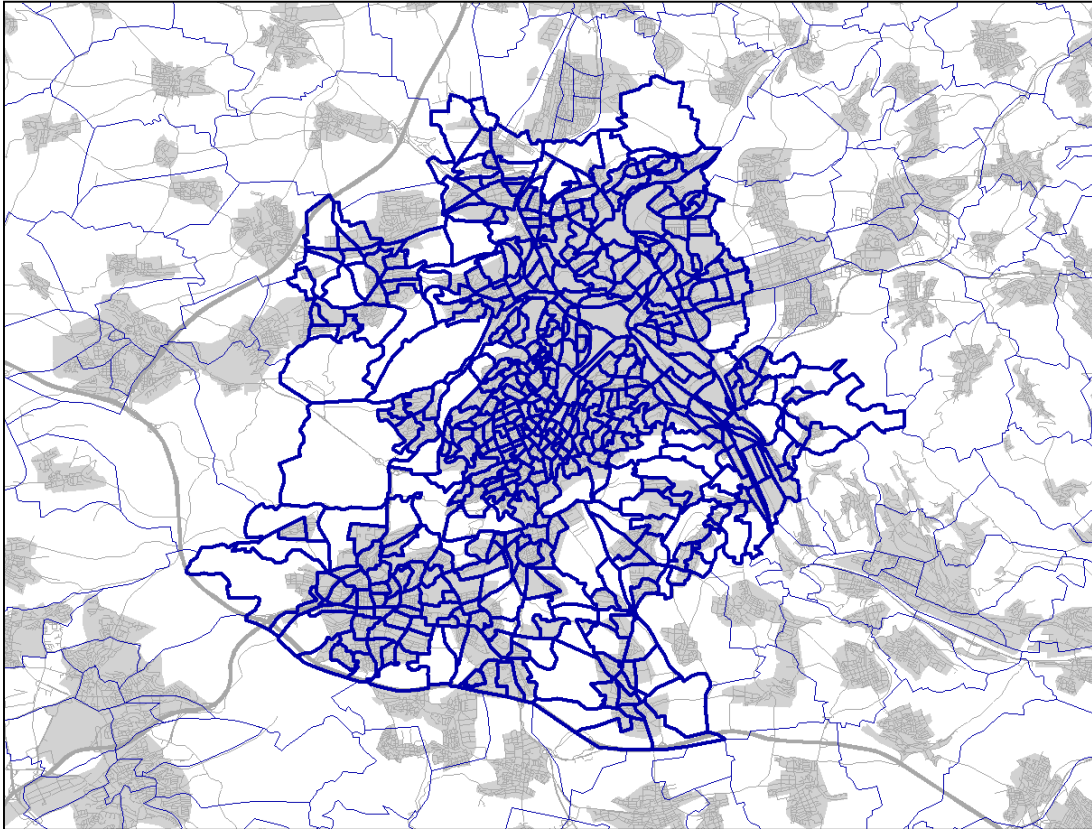


Abbildung 7: Bezirkseinteilung Stadt Stuttgart (506 Verkehrsbezirke 4. Ordnung)

Bezirkstyp 2 – Außenbezirke

Abschließend werden Außenbezirke hinzugefügt. Dabei handelt es sich um virtuelle Bezirke, die am Rand des Untersuchungsgebiets liegen, und über die der externe Verkehr in das Netz eingespeist wird. Für jede Straße, die den Rand des Untersuchungsgebiets schneidet, wird ein derartiger Bezirk definiert.

Im ursprünglichen Netz waren noch weitere Bezirke digitalisiert, z. B. die Kreise des Landes Baden-Württemberg. Sie werden hier nicht verwendet, blieben jedoch im Netz erhalten. Im Netzmodell werden sie als Typ 8 und Typ 9 attribuiert.

In Tabelle 3 werden die Bezirkstypen zusammengestellt.

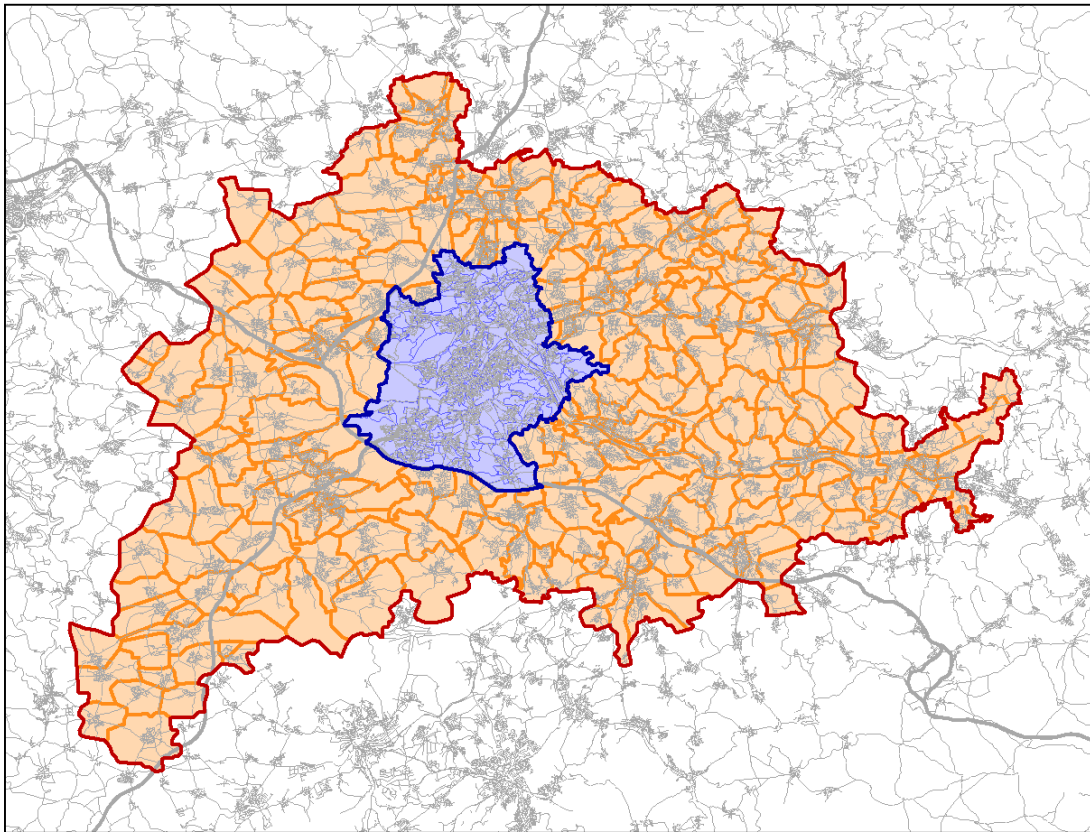


Abbildung 8: Bezirkseinteilung Untersuchungsgebiet außerhalb der Stadt Stuttgart (286 Verkehrsbezirke 3. Ordnung)

Bezirkstyp	Kategorie	Anzahl
0	Stadt Stuttgart (Verkehrsbezirke 4. Ordnung)	506
1	Untersuchungsgebiet außerhalb der Stadt Stuttgart (Verkehrsbezirke 3. Ordnung)	286
2	Virtuelle Außenbezirke	117
8	Regionale Verkehrsbezirke auf Gemeindebasis aus dem VVS-Netz	119
9	Kreiseinteilung in Baden-Württemberg aus dem VVS-Netz	30

Tabelle 3: Typisierung der Verkehrsbezirke im Netzmodell

Die nach Bezirken aufgeteilten Fahrten werden über sogenannte Anbindungen in das Netzmodell eingespeist. Die für den Individualverkehr existierenden Anbindungen im Netzmodell werden entsprechend den Erfordernissen des Wirtschaftsverkehrs überprüft und angepasst. Gegebenenfalls werden für den Wirtschaftsverkehr neue Anbindungen eingefügt.

Eine erste Netzprüfung ergab, dass eine Reihe von Bezirken nicht vollständig angebunden war. Deshalb wurden alle Anbindungen des ÖV entfernt und neu generiert.

Die Anbindung der Verkehrsbezirke für den ÖV erfolgte in einer Reihe von Einzelschritten, durch die die Attraktivität und Akzeptanz einer Haltestelle oder eines Bahnhofs abgebildet werden kann. Die Bevorzugung drückt sich aus durch die Kategorien

- ▶ Bedienende Verkehrsart (Schiene oder Straße),
- ▶ Taktdichte (Anzahl Ankünfte/Abfahrten),
- ▶ Nähe (Länge des erforderlichen Zugangswegs).

Für den Individualverkehr ergab eine Netzprüfung, dass auch hier nur ein Teil der Bezirke angebunden war. Diese Anbindungen wurden übernommen. Die restlichen Anbindungen wurden über folgende Filtereinstellungen erzeugt:

- ▶ es werden lediglich Knoten an einstreifigen Innerortsstraßen der zweiten bis vierten Ordnung als Anbindungsknoten zugelassen.
- ▶ als maximale Anbindungslänge werden 1000 m zugelassen
- ▶ für einen Bezirk wird maximal eine Anbindung erzeugt
- ▶ für die danach noch immer nicht angebundenen Bezirke wird die Entfernungsschranke aufgehoben.

Diesem ersten formalen Schritt folgten im Zug der Kalibrierung eine permanente Betrachtung und Überarbeitung. Kenntnisse lokaler Eigenheiten und Verhältnisse flossen darin ein (Abbildung 9). Die Anzahl von Anbindungen, über die ein Bezirk an das Straßennetz angebunden wird, richtet sich in der Regel nach der lokalen Vermaschung im Straßennetz, so dass für Bezirke in größeren Orten mehr Anbindungen definiert werden als für Bezirke in kleineren Gemeinden.

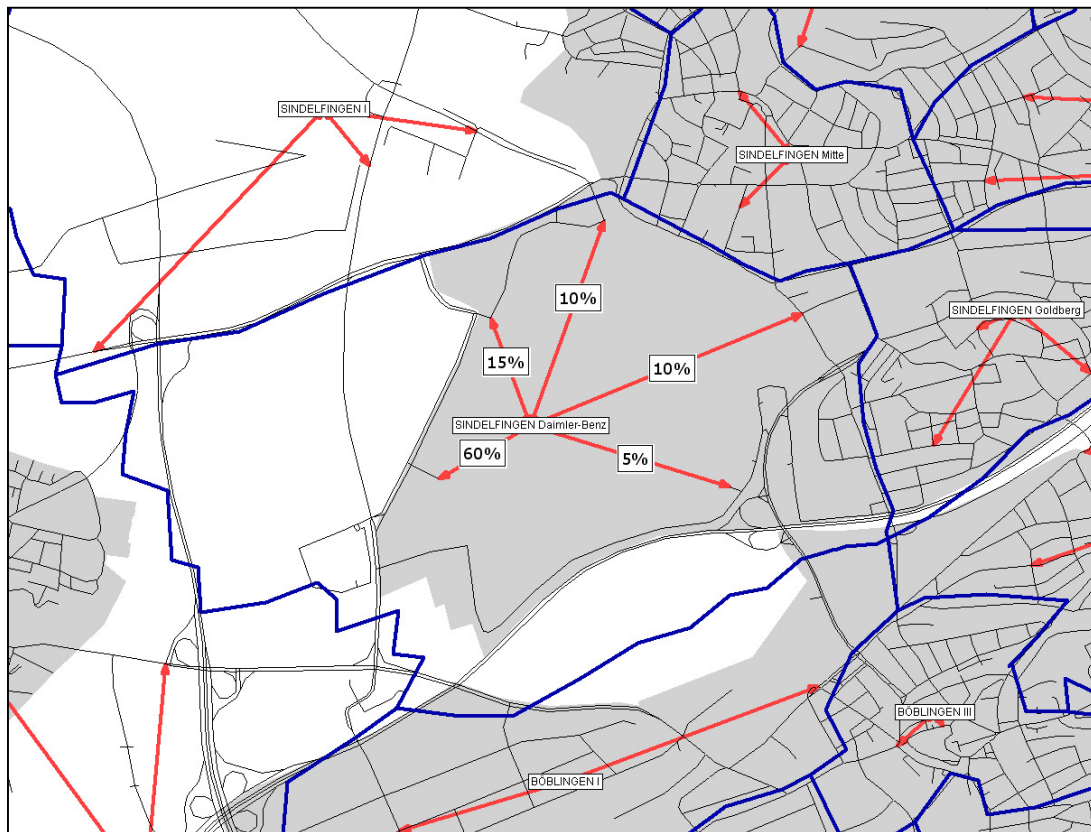


Abbildung 9: Verteilung des Verkehrsaufkommens eines Bezirks auf mehrere fiktive Einspeisungsstrecken

3.5.1 Oberbezirke

Die Bezirke des Netzmodells werden zu Oberbezirken aggregiert, für die die Ergebnisse der Nachfrageberechnungen in aggregierter Form bereitgestellt werden. Im Verlauf der Kalibration können dann Verkehrsbeziehungen zwischen Stadtteilen oder Gemeinden korrigiert werden.

Für den Bereich der Stadt Stuttgart werden die 23 Stadtbezirke als Oberbezirke des Verkehrsmodells definiert.

Im Bereich der Region entspricht die Gliederung der Oberbezirke der Einteilung der Verkehrsbezirke 1. Ordnung.

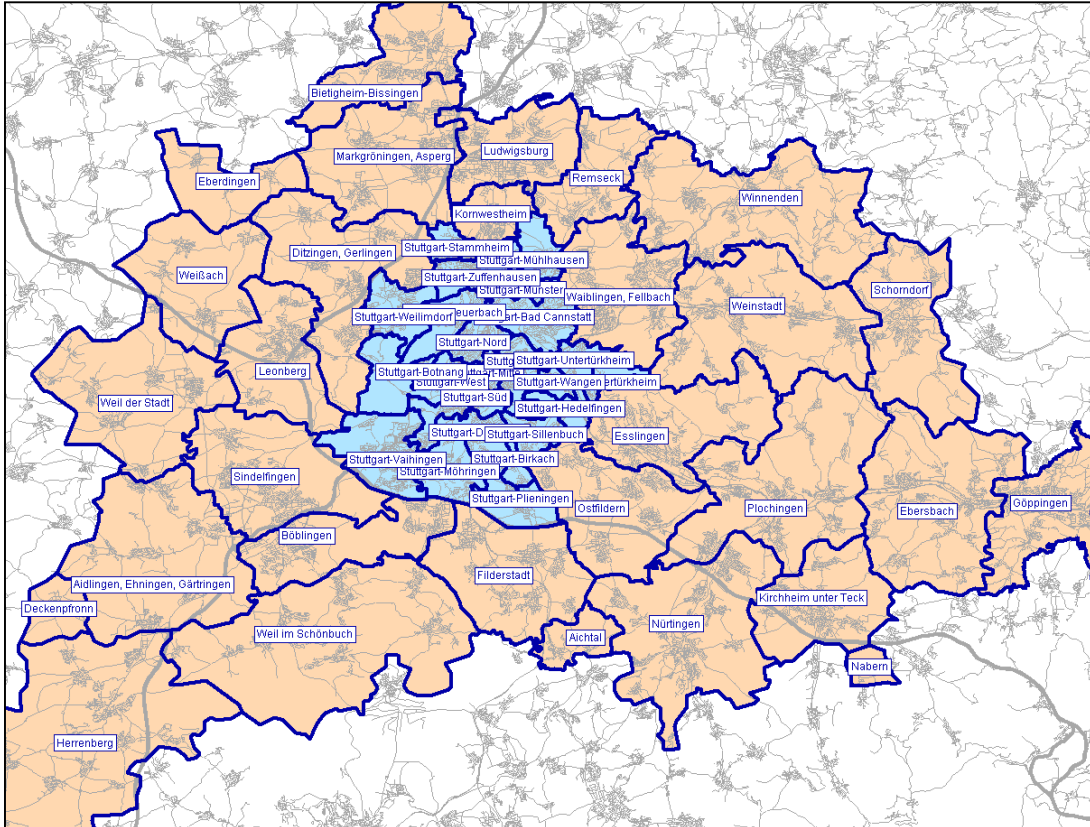


Abbildung 10: Oberbezirke im Untersuchungsgebiet

3.5.2 Gebiete

Gebiete sind Objekte, die bei Arbeit mit dem Modell hilfreich sein können. Durch Filtern der Netzobjekte innerhalb von Gebieten können verkehrliche Kenngrößen für aktive Bereiche ermittelt und ausgegeben werden.

Gebiete wurden definiert als die im vorigen Abschnitt genannten Oberbezirke sowie weiter für den Bereich der Stuttgarter Innenstadt (Stadtbezirke 1-5), der Stadt Stuttgart sowie das gesamte Untersuchungsgebiet.

3.6 Zählstellen

Die Kalibrierung des Verkehrsmodells erfolgt anhand von Vergleichen zwischen modellierten und an Zählstellen erhobenen Verkehrsstärken.

Die Daten dieser Zählstellen stammen aus verschiedenen Quellen und liegen in unterschiedlicher Ausprägung vor. In Tabelle 4 sind diese Daten aufgeführt.

Nr	Zählung	Bemerkung	Anzahl Querschnitte
1	Stadt Stuttgart: Verkehrserhebungen an den Straßen der Markungsgrenze 2002	Hochrechnungsfaktor von 16 auf 24 Std. 1,0790	41
2	Stadt Stuttgart: Verkehrserhebungen an den Straßen des Kesselrandes 2003	Hochrechnungsfaktor von 16 auf 24 Std. laut Stadt Stuttgart: 1,1040	21
3	Stadt Stuttgart: Knotenpunktzählungen in den Stadtbezirken Mitte und Ost		80
4	Stadt Ludwigsburg: Zählungen Juni und Oktober 2003	4-Stunden-Werte auf den Tag hochgerechnet; Schwerverkehr ab 3,5 t	14
5	Automatische Straßenverkehrszählungen in Baden-Württemberg	Jahresergebnisse für 2003; DTV Werktage	40
6	Straßenverkehrszählung 2000	angegeben ist jeweils der DTV-W mit entsprechendem Schwerverkehrsanteil	5
7	VRS: Teilraumuntersuchung Schurwaldquerung 2000	4-Stunden-Werte auf den Tag hochgerechnet; Schwerverkehr ab 6 m Länge	3
8	VRS: Teilraumuntersuchung Zabergräu/Neckartal 2001	4-Stunden-Werte auf den Tag hochgerechnet; Schwerverkehr ab 2,8 t	10
9	Stadt Remseck: Verkehrsuntersuchung "Neue Mitte" 2003	Hochrechnungsfaktor von 16 auf 24 Std. 1,10; Beschreibung des Schwerverkehrs fehlt	9

Quelle: Stadt Stuttgart (1, 2, 3)
 Verband Region Stuttgart (4, 5, 7, 8, 9)
 Bundesanstalt für Straßenwesen (6)

Tabelle 4: Datenquellen für Querschnittszählungen

Der Lkw-Verkehr wird als Schwerverkehr erfasst. Wie aus den Bemerkungen zu ersehen ist, wird er jedoch von Untersuchung zu Untersuchung anders definiert. Ein weiterer Unsicherheitsfaktor besteht darin, dass einige lokale Zählungen lediglich über 4 Stunden erfolgten und daraus dann DTV-Werte hochgerechnet wurden.

Von besonderer Bedeutung für die Kalibrierung sind die Zählstellen des Stadtplanungsamtes Stuttgart. Die gezählten Werte werden turnusmäßig alle zwei Jahre im Wechsel zwischen zwei Zählringen („screenlines“) erhoben. So stehen Daten zur Verfügung von der

- ▶ Markungsgrenze (41 Querschnitte) aus dem Jahr 2002, und vom
- ▶ Kesselrand (21 Querschnitte) aus dem Jahr 2003.

In der Regel handelt es sich um Zählungen für die Dauer von 6-22 Uhr, lediglich an insgesamt sieben Querschnitten wird über 24 Stunden gezählt. Aus den Daten dieser sieben Querschnitte werden Faktoren zur Ermittlung des DTV und des DTV-SV ermittelt, getrennt nach Markungsgrenze und Kesselrand sowie Fahrtrichtung (stadteinwärts, stadtauswärts).

Die auf einen DTV-W hochgerechneten Belastungszahlen werden für den Pkw und den Lkw getrennt als benutzerdefinierte Zusatzwerte der Zählstellen in das Netzmodell integriert.

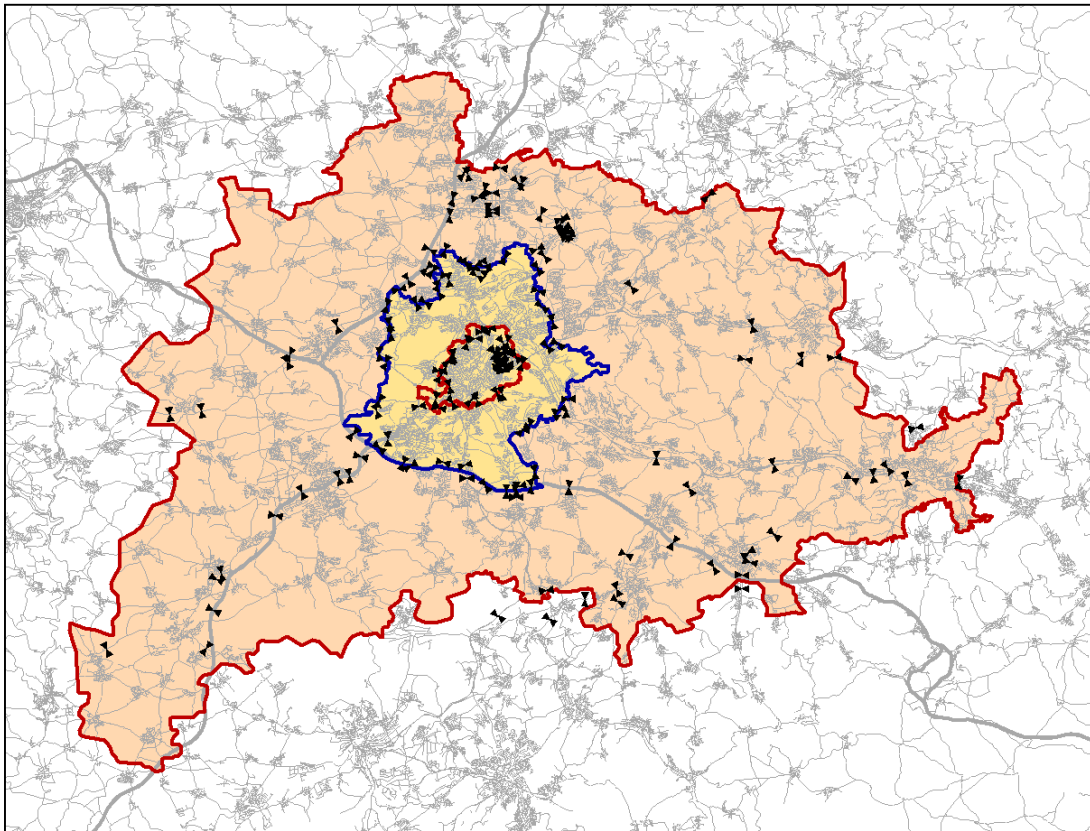


Abbildung 11: Lage der Zählstellen und screenlines

Die Zählstellen werden für die Kalibrierung in vier Kategorien eingeteilt, wie es in Tabelle 5 aufgeführt ist. Der Zählstellentyp 1 wird nicht zur Kalibrierung verwendet; bei ihm handelt es sich um Detektorquerschnitte und andere Messquerschnitte, deren Lage im Netz definiert ist, für die jedoch keine Daten hinterlegt sind.

Zählstellentyp	Kategorie
2	Gemarkungsgrenze Stuttgart
3	Kesselrand Stuttgart
4	Dauerzählstellen außerhalb Stuttgart
5	Lokale Messquerschnitte

Tabelle 5: Typisierung der Zählstellen

3.7 Verkehrssysteme und Nachfragesegmente

Im Netzmodell werden Strecken und Abbiegebeziehungen für Verkehrssysteme zugelassen oder gesperrt. Damit lassen sich beispielsweise Durchfahrverbote für Lkw oder Busspuren realisieren.

In diesem Modell werden die ursprünglich vorhandenen Verkehrssysteme des VVS-Netzes übernommen und um weitere Verkehrssysteme ergänzt, die für die detaillierte Abbildung des Wirtschaftsverkehrs erforderlich sind.

VSysCode	VsysName	VsysModus	Pkw-Einheiten
P	Pkw	IV	1
X	Temp	IV	1
D	Deutsche Bahn	ÖV	
2	SSB-Bus	ÖV	
4	Schiff	ÖV	
5	Privatbus	ÖV	
6	Regionalbus	ÖV	
7	S-Bahn	ÖV	
8	SSB-Schiene	ÖV	
C	Züge	ÖV	
F	Fußweg	OF	
L	Lkw	IV	2
K	Lkw (klein)	IV	1.5

Tabelle 6: Verkehrssysteme

Beim Verkehrssystem K handelt es sich um Kombis und Lieferwagen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von weniger als 3,5 t. Das Verkehrssystem X ist vorgesehen für bestimmte Verkehre, die beispielsweise Strecken nur zeitweilig benutzen dürfen. Bei dieser Untersuchung bleibt es unberücksichtigt.

Die Angaben für Pkw-Einheiten sind erforderlich zur Feststellung der Auslastungsgrade der Strecken, aus denen die belastungsabhängigen Reisezeiterhöhungen ermittelt werden.

Verkehrssysteme werden zusammengefasst in Verkehrsarten (Modi).

Code	Name	Verkehrssysteme
P	Pkw	P
X	temp	X
D	OEV	D245678CF
L	Lkw	L
K	Lkw (klein)	K

Tabelle 7: Verkehrsarten

Die Fahrtbeziehungsmatrizen, die auf die Strecken des Netzes umgelegt werden, sind für Nachfragesegmente definiert.

Code	Name	Modus
P	Pkw	P
X	Temp	X
D	OEV	D
E	Pkw (extern)	P
L	Lkw (groß)	L
T	Lkw (extern groß)	L
W	Pkw-WV	P
K	Lkw (klein)	K
M	Lkw (mittel)	L
F	Pkw-WV (extern)	P
U	Lkw (extern mittel)	L
V	Lkw (extern klein)	K

Tabelle 8: Nachfragesegmente

Einige Nachfragesegmente sind nur vorsorglich definiert worden und werden in diesem Vorhaben nicht benutzt (X, F, U, V). Bei Vorliegen detaillierterer Nachfragedaten ist es damit nicht mehr erforderlich, hier etwas zu ändern. Ebenfalls nicht für eine Umlegung eingesetzt wird das Nachfragesegment D, da eine Umlegung des öffentlichen Verkehrs nicht vorgenommen wird.

4 Strukturdaten und Parameter zur Nachfrageberechnung im Wirtschaftsverkehr

Die in einem Nachfragemodell einzusetzenden Strukturdaten stehen in engem Zusammenhang mit den für das Modell als signifikant betrachteten Verkehrskennwerten.

Die Modellparameter werden bei dieser Untersuchung erstmalig aus Daten der im Jahr 2002 durchgeführten bundesweiten Erhebung "Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland" (KiD 2002) ermittelt.

Die Strukturdaten werden im Wesentlichen von den Auftraggebern zur Verfügung gestellt.

4.1 KiD 2002

Analog zum Personenverkehr wurde in den Jahren 2001 und 2002 erstmals eine Wirtschaftsverkehrserhebung nach der KONTIV-Methode durchgeführt. Im Rahmen dieser Erhebung „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland“ (KiD 2002) wurden auch in der Stadt Stuttgart Daten erhoben. Dabei lag der Schwerpunkt auf dem Verkehr mit kleineren Fahrzeugen (bis 3,5 t Nutzlast). Deshalb müssen zur Bestimmung der Parameter für den Wirtschaftsverkehr mit Lkw zusätzliche Daten aus der bundesweiten Gesamterhebung herangezogen werden.

Die Auswertung der Daten aus der Untersuchung „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland“ (KiD 2002) erfolgte als Unterauftrag durch die daran maßgeblich beteiligte WVI GmbH in Braunschweig.

Im Rahmen der Statistiken zum Wirtschaftsverkehr wird mit 16 Wirtschaftszweigen gearbeitet. Diese Zahl wurde für die KiD-Erhebung auf zehn Gruppen aggregiert.

Ein wichtiger Aspekt in dieser Untersuchung ist die Aufteilung der Fahrten auf unterschiedliche Fahrzeugklassen. Um die Berechnungen der Parameter auf eine statistisch sichere Grundlage zu stellen, ist es erforderlich, die Zahl der zu betrachtenden Wirtschaftszweige in der Modellierung der Nachfrage weiter in vier Gruppen zusammenzufassen (Tabelle 9).

KiD 2002			Modell Region Stuttgart	
Gruppe	Code	Wirtschaftszweig	Gruppe	Bezeichnung
1	A	Land- und Forstwirtschaft	1	Produzierendes Gewerbe
	B	Fischerei und Fischzucht		
2	C	Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden		
	E	Energie- und Wasserversorgung		
3	D	Verarbeitendes Gewerbe		
4	F	Baugewerbe		
5	G	Handel, Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen und Gebrauchsgütern	2	Handel
7	I	Verkehr und Nachrichtenübermittlung	3	Verkehr und Gastgewerbe
6	H	Gastgewerbe		
	J	Kredit- und Versicherungsgewerbe	4	Sonstige Dienstleistungen
	M	Erziehung und Unterricht		
	N	Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen		
8	K	Grundstücks- und Wohnungswesen, Datenverarbeitung, Forschung und Entwicklung, Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen		
9	L	Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung		
	Q	Exterritoriale Organisationen und Körperschaften		
10	O	Erbringung von sonstigen öffentlichen und persönlichen Dienstleistungen		
	P	Überwiegend private Nutzung		

Tabelle 9: Gliederung der Wirtschaftszweige in der Erhebung KiD 2002 und in der Nachfragemodellierung des Wirtschaftsverkehrs für die Region Stuttgart.

Für diese vier Gruppen wurden aus der Erhebung KiD 2002 die folgenden Parameter zur Nachfrageberechnung im Wirtschaftsverkehr ermittelt:

- ▶ Anzahl der Fahrer pro Beschäftigten
- ▶ Anzahl der Touren pro Fahrer
- ▶ Anzahl der Ziele pro Tour
- ▶ Erzeugungsraten für den Zielverkehr

In der folgenden Tabelle 10 sind die für die Berechnung des Wirtschaftsverkehrs in der Region Stuttgart ermittelten Nachfrageparameter dargestellt.

WVK	Fahrzeug	Quelbranche	Fahrer pro Beschäftigte			Einwohner						
			Fahrer pro Beschäftigte	Touren pro Fahrer	Ziele pro Tour	Beschäftigte	Branche 1	Branche 2	Branche 3	Branche 4	Branche 3+4	
1	Pkw	Branche 1	0,085	0,880	1,363	0,008908	0,029274	0,062690	0,000000	0,000000	0,000000	0,001993
2	Lkw-k	Branche 1	0,019	1,286	1,925	0,009067	0,014513	0,041622	0,000000	0,000000	0,000000	0,001173
3a	Lkw-m	Branche 1	0,009	1,286	1,925	0,009067	0,014513	0,041622	0,000000	0,000000	0,000000	0,001173
3b	Lkw-m	Branche 1	0,002	1,281	3,213	0,002392	0,010524	0,016864	0,000000	0,008320	0,000000	0,000000
4	Lkw-g	Branche 1	0,012	1,281	3,213	0,002392	0,010524	0,016864	0,000000	0,008320	0,000000	0,000000
5	Pkw	Branche 2	0,103	0,872	1,359	0,005803	0,012959	0,000000	0,067735	0,000000	0,000000	0,001053
6	Lkw-k	Branche 2	0,009	1,139	5,212	0,005866	0,008002	0,000000	0,020481	0,000000	0,000000	0,002859
7a	Lkw-m	Branche 2	0,007	1,139	5,212	0,005866	0,008002	0,000000	0,020481	0,000000	0,000000	0,002859
7b	Lkw-m	Branche 2	0,001	1,178	4,904	0,002147	0,004681	0,000000	0,014603	0,005062	0,000000	0,000000
8	Lkw-g	Branche 2	0,010	1,178	4,904	0,002147	0,004681	0,000000	0,014603	0,005062	0,000000	0,000000
9	Pkw	Branche 3	0,126	0,803	2,470	0,018360	0,044000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,115864
10	Lkw-k	Branche 3	0,009	1,187	5,007	0,005518	0,017098	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,027859
11a	Lkw-m	Branche 3	0,005	1,187	5,007	0,005518	0,017098	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,027859
11b	Lkw-m	Branche 3	0,001	1,273	2,159	0,001146	0,011745	0,000000	0,000000	0,055637	0,000000	0,000000
12	Lkw-g	Branche 3	0,048	1,273	2,159	0,001146	0,011745	0,000000	0,000000	0,055637	0,000000	0,000000
13	Pkw	Branche 4	0,126	0,803	2,470	0,018360	0,044000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,115864
14	Lkw-k	Branche 4	0,009	1,187	5,007	0,005518	0,017098	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,027859
15a	Lkw-m	Branche 4	0,005	1,187	5,007	0,005518	0,017098	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,027859
15b	Lkw-m	Branche 4	0,000	1,175	3,763	0,000895	0,003987	0,000000	0,000000	0,004341	0,005727	0,000000
16	Lkw-g	Branche 4	0,003	1,175	3,763	0,000895	0,003987	0,000000	0,000000	0,004341	0,005727	0,000000

Tabelle 10: Parameter zur Nachfrageberechnung im Wirtschaftsverkehr

Erste Ergebnisse des Nachfragemodells für den Wirtschaftsverkehr innerhalb des Untersuchungsgebiets sind in den Abbildungen Abbildung 12 bis Abbildung 14 dargestellt. Für die drei betrachteten Zeitpunkte 2002, 2005 und 2010 sind die nach Fahrzeugkategorie und Branche gegliederten Verkehrsaufkommen im Binnenverkehr als Fahrtenzahlen / Tag dargestellt.

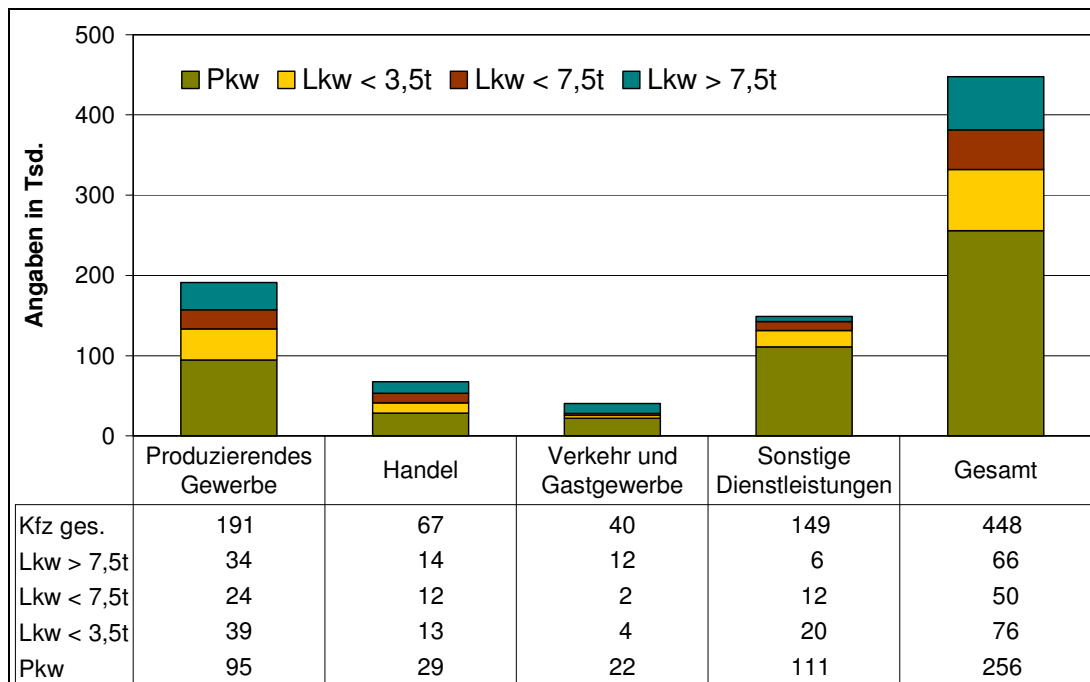


Abbildung 12: Fahrten nach Fahrzeugarten und Branchen 2002 (Wirtschaftsbinnenverkehr)

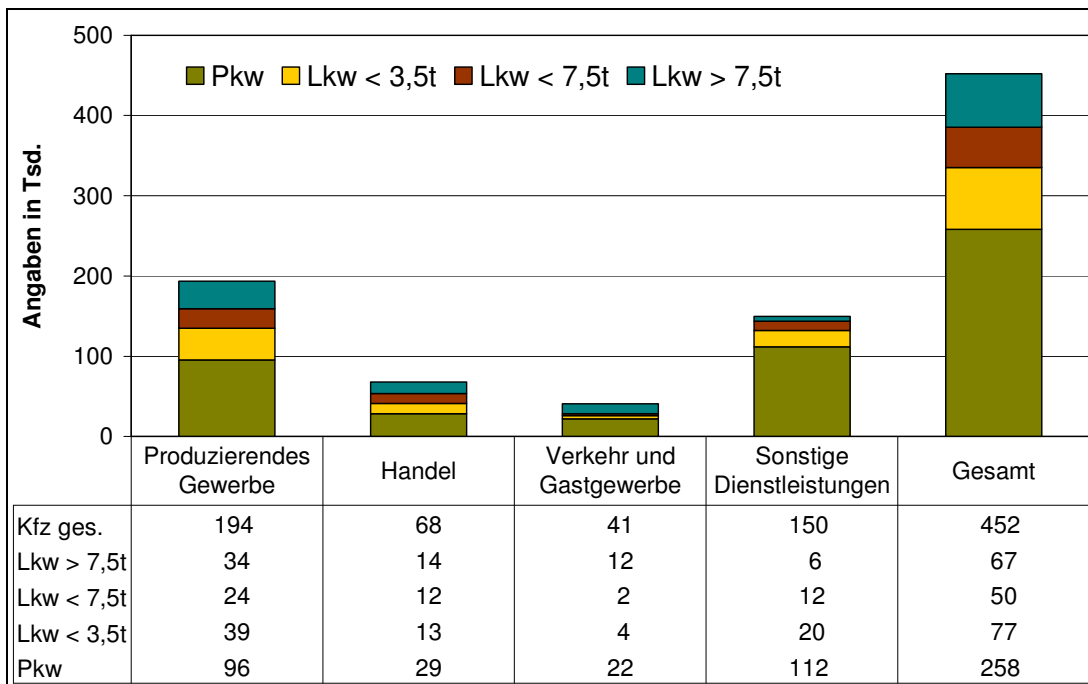


Abbildung 13: Fahrten nach Fahrzeugarten und Branchen 2005 (Wirtschaftsbinnenverkehr)

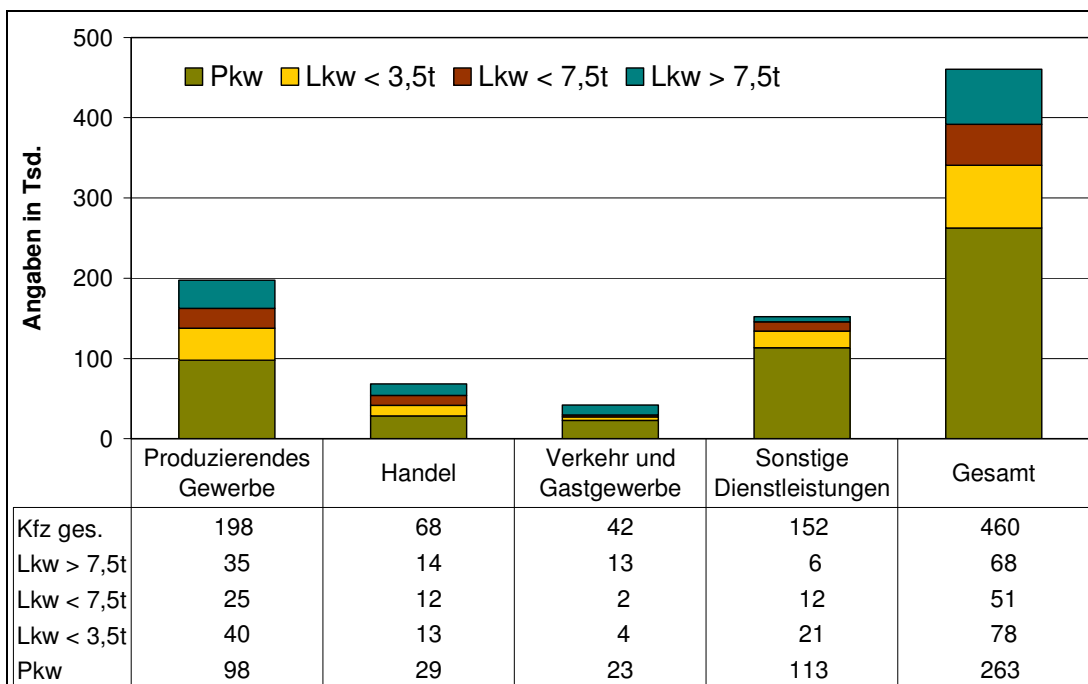


Abbildung 14: Fahrten nach Fahrzeugarten und Branchen 2010 (Wirtschaftsbinnenverkehr)

4.2 Strukturdaten von der Stadt Stuttgart

Die Stadt Stuttgart stellte Zahlen von Einwohnern und Beschäftigten zur Verfügung.

Einwohnerdaten standen aus der Regionalverkehrsplanung für die Zeitpunkte 1995 und 2010 zur Verfügung. Die Stadt Stuttgart stellte Daten für das Jahr 2002 auf der Ebene der 23 Stadtbezirke zur Verfügung. Entsprechend diesen Randsummen wurden die aus dem Jahr 1995 stammenden Daten auf der Ebene der Verkehrsbezirke fortgeschrieben.

Für die Jahre 2005 und 2010 wurde keine Veränderung angenommen.

Daten für Beschäftigte standen zur Verfügung getrennt nach dem sekundären und tertiären Sektor für das Jahr 2002 auf der Aggregationsebene der Verkehrsbezirke 4. Ordnung.

In Absprache mit dem Auftraggeber wurden für die Prognosezeitpunkte 2005 und 2010 keine Prognosen durchgeführt. Es wurden lediglich an einzelnen Stellen Änderungen von Arbeitsplatzzahlen nach Angaben des Stadtplanungsamtes der Stadt Stuttgart vorgenommen.

4.3 Strukturdaten vom Verband Region Stuttgart

Vom Verband Region Stuttgart wurden Daten zu Einwohnern und Arbeitsplatzzahlen auf der Ebene der Verkehrsbezirke 3. Ordnung für den Analysezeitpunkt 2002 zur Verfügung gestellt.

Die Prognose für 2005 und 2010 basiert auf diesen Daten und den Annahmen zur Regionalverkehrsplanung. Dabei stellte sich das Problem, dass die Entwicklung in den zurückliegenden zehn Jahren in den Bezirken von den Annahmen im Regionalverkehrsplan teilweise abweicht:

- ▶ die Entwicklung verläuft entgegen den Annahmen des Regionalverkehrsplans (Beispiel: die Zahl der Einwohner, die laut RVP konstant bleiben soll, hat zwischen 1995 und 2002 abgenommen)
- ▶ die Entwicklung gestaltet sich intensiver als angenommen (Beispiel: bereits 2002 liegt die Zahl der Arbeitsplätze höher als für 2010 erwartet).

Vom VRS wurden dazu drei Bezirkskategorien mit unterschiedlicher Entwicklungscharakteristik definiert, für die unterschiedliche Entwicklungsszenarien angesetzt wurden.

In Abbildung 15 sind die auf dieser Basis ermittelten Angaben zur Anzahl der Einwohner und Beschäftigten für das Analysejahr 2002 und die Prognosehorizonte 2005 und 2010 dargestellt.

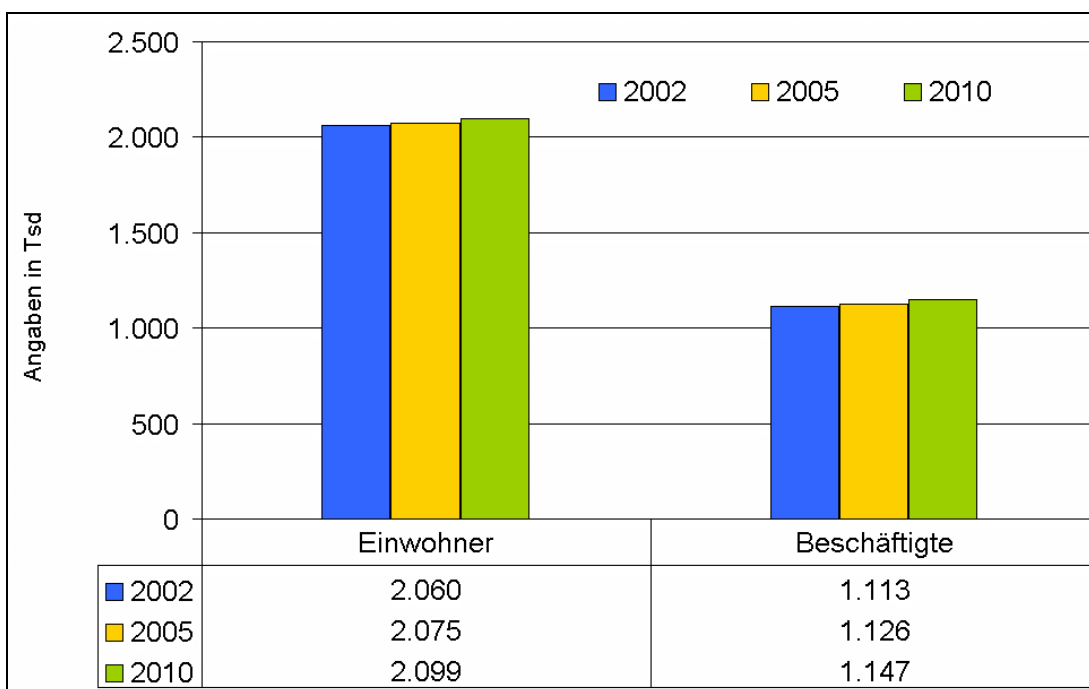


Abbildung 15: Anzahl der Einwohner und Beschäftigten im Untersuchungsraum

4.4 Strukturdaten von der IHK Region Stuttgart

Für den in dieser Untersuchung gewählten detaillierten Ansatz zur Modellierung des Wirtschaftsverkehrs sind branchenbezogene Beschäftigungszahlen auf Verkehrsbezirksbasis erforderlich. Diese Daten sind allerdings in der erforderlichen Feinheit bei der Stadt Stuttgart und dem Verband Region Stuttgart nicht verfügbar.

Andererseits verfügt die Industrie- und Handelskammer Region Stuttgart über diese Daten. Dank ihrer Kooperation konnten die erforderlichen Modellparameter ermittelt und kalibriert werden.

Zum Zweck dieser Untersuchung wurden von der IHK für 34 000 Mitgliedsbetriebe die Adressen, die Zugehörigkeit zu einer Betriebsgrößenklasse (Tabelle 11) und die Einordnung in eine Branche gemäß WZ 93 zur Verfügung gestellt.

Betriebsgrößenklasse	Beschäftigtenzahl
0	Keine Angabe
1	1 ... 3
2	4 ... 6
3	7 ... 9
4	10 ... 19
5	20 ... 49
6	50 ... 99
7	100 ... 199
8	200 ... 499
9	500 ... 999
10	1 000 ... 4 999
11	5 000 ... 9 999
12	10 000 und mehr
99	Unbekannt

Tabelle 11: Klassierung der Betriebsgrößen bei der IHK Region Stuttgart

Die Adressen wurden geocodiert und konnten damit den Bezirken des Netzmodells zugeordnet werden. Über die Betriebsgrößenklasse konnte dann mit einem Abgleich über die vorgegebene Summe von Arbeitsplätzen in einem Bezirk eine Aufteilung der Arbeitsplätze auf die im Modell gewählten Branchen vorgenommen werden.

Allerdings waren dazu teilweise erhebliche manuelle Zusatzarbeiten nötig:

- ▶ Für Postfachadressen mussten die baulichen Adressen ermittelt werden
- ▶ Eine Reihe von Betrieben fiel in die Betriebsgrößenklasse 0 („Keine Angaben“). Dabei handelte es sich zu einem erheblichen Teil um große Betriebe, deren Arbeitsplatzzahlen gemäß Statistikgesetz nicht veröffentlicht werden. Für diese Betriebe wurden ersatzweise Schätzungen vorgenommen.

4.5 Strukturdaten von der Handwerkskammer Region Stuttgart

Die Handwerkskammer Region Stuttgart stellte ebenfalls dankenswerterweise Daten ihrer Mitgliedsbetriebe zur Verfügung. Es handelte sich dabei um über 20 300 Adressen und Branchenzugehörigkeiten von Betrieben im Untersuchungsgebiet. Allerdings geben diese Daten keine Aufschlüsse über die Größe der einzelnen Betriebe.

Die nicht bekannten Angaben über Betriebsgrößen wurden deshalb abgeleitet aus Angaben im Strukturbericht 2003 der Handwerkskammer¹, die in Tabelle 12 dargestellt sind.

Die Adressen wurden geocodiert und den Verkehrsbezirken zugeordnet. Die Branchenzugehörigkeit wurde aggregiert auf die in diesem Projekt verwandte.

Wirtschaftszweig	Betriebe	Durchschnittliche Betriebsgröße (Beschäftigte)
Verarbeitendes Gewerbe	2 727	11.7
Baugewerbe	9 117	10.1
Handel und Kfz-Reparatur	2 660	7.1
Dienstleistungen für Unternehmen	378	48.1
Sonstige Dienstleistungen	5 474	4.6

Tabelle 12: Betriebsgrößen von Handwerksbetrieben in der Region Stuttgart

Abbildung 16 zeigt für das Analysejahr 2002 und die Prognosehorizonte 2005 und 2010 die auf der Grundlage der Daten der IHK und der Handwerkskammer Region Stuttgart ermittelten Beschäftigtendaten nach Branchen differenziert.

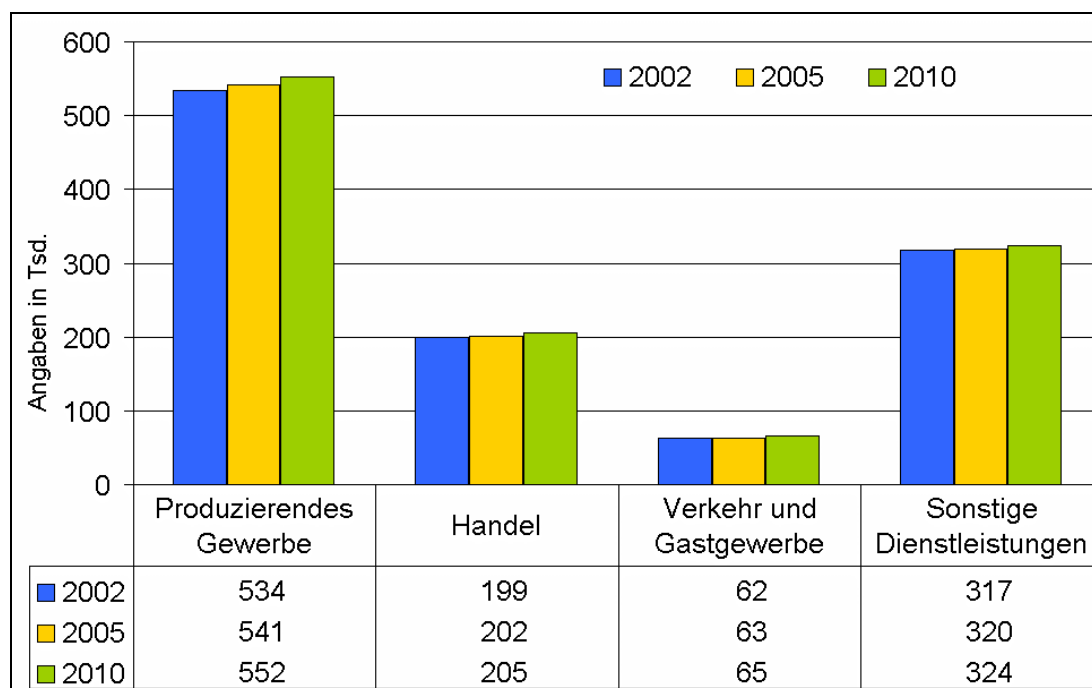


Abbildung 16: Anzahl der Beschäftigten im Untersuchungsraum nach Branchen

¹ Dispan, Jürgen: Regionale Strukturen und Beschäftigungsperspektiven im Handwerk – Tabelle 3-3.

4.6 Bestand an Kraftfahrzeugen nach Schadstoffklassen

Zur Modellierung der Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs ist es erforderlich, die Anteile der untersuchten Schadstoffklassen an der gesamten Fahrzeugflotte zu wissen.

Die Modellierung der verkehrlich verursachten Emissionen, die vom Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg (UMEG) durchgeführt werden soll, betrachtet dabei die in Tabelle 13 genannten Schadstoffklassen bei Fahrzeugen.

Die Anteile der Fahrzeuge in den unterschiedlichen Schadstoffklassen sind aus verschiedenen Quellen zusammenzutragen.

Für Pkw zum Analysezeitpunkt 2002 stammen die Daten vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg (Tabelle 14). Für Lkw können Daten der KiD 2002 ausgewertet werden. Über die in der Zulassung genannte Emissions-Schlüsselnummer (Tabelle 15) kann die Schadstoffklasse eines Fahrzeugs festgestellt werden.

#	Beschreibung
1	Ottomotor konventionell
2	GKat
3	GKat EURO1
4	GKat EURO2
5	GKat EURO3
6	GKat EURO4
7	Diesel (vor EURO1)
8	Diesel EURO1
9	Diesel EURO2
10	Diesel EURO3
11	Diesel EURO4

Tabelle 13 : Fahrzeugkategorien bei der Modellierung von Emissionen und Immissionen durch die UMEG

Personenkraft- wagen (Pkw) insgesamt	Davon						
	Pkw mit Schadstoff- reduzierung	davon					Alt-Pkw ²⁾
		schadstoff- arm nach US-Norm ¹⁾	schadstoffarm nach EU-Richtlinie				
			Euro 1	Euro 2	Euro 3 ³⁾	Euro 4 ⁴⁾	
Insgesamt							
5 976.0 100%	5 341.8 89.4%	1 348.5 22.6%	987.0 16.5%	1 124.4 18.8%	1 463.9 24.5%	418.0 7.0%	634.2 10.6%
Ottomotor							
4 867.4 100%	4 334.8 89.1%	1 225.6 25.2%	838.4 17.2%	783.9 16.1%	1 069.1 22.0%	417.8 8.6%	532.6 10.9%
Dieselmotor							
1 108.6 100%	1 007.0 90.8%	122.9 11.1%	148.6 13.4%	340.5 30.7%	394.8 35.6%	0.2 0.0%	101.6 9.2%

Angaben in Tausend – Stand jeweils am 1. Januar des Jahres.

¹⁾ US-Norm (XXIII).

²⁾ Europa-Norm (XXV); bedingt schadstoffarm (XXIV); Pkw ohne Schadstoffminderung sowie sonstige Antriebe.

³⁾ Einschließlich D3/D3I.

⁴⁾ Einschließlich D4/D4I.

Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg. © Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

Tabelle 14: Pkw-Bestand in Baden Württemberg 2002 nach Schadstoffgruppen

Schadstoffklasse	Schlüsselnummer Pkw	Schlüsselnummer Lkw
ohne	00 ... 10, 88, 98	00 ... 02, 88
GKat	11 ... 13	
EURO 1	14...24, 34, 40, 77	10 ... 12, 30 ... 32, 40 ... 43, 50 ... 53
EURO 2	25 ... 33, 35 ... 39, 41 ... 43	20 ... 22, 33, 44, 54, 60, 61
EURO 3	44 ... 61	34, 45, 55, 70, 71
EURO 4	62 ... 75	35, 80, 81
EURO 5		83, 84, 90, 91

Tabelle 15: Zuordnung der Emissionsschlüsselnummer zur Schadstoffklasse

Für die Prognose können Daten verwendet werden, die aus einer Modellrechnung des Umweltbundesamtes stammen. In Tabelle 16 sind alle Daten für die drei Betrachtungszeitpunkte zusammengestellt.

Schadstoffgruppe	Fahrzeugklasse								
	Pkw			Lkw <= 3,5t NL			Lkw >3,5t NL		
	2002	2005	2010	2002	2005	2010	2002	2005	2010
Otto konventionell	8.91%	1.83%	0.10%	6.55%	1.01%	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%
GKat	22.57%	3.18%	0.48%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
GKat Euro1	14.03%	17.90%	3.71%	1.80%	2.86%	1.17%	0.00%	0.00%	0.00%
GKat Euro2	13.12%	12.06%	5.61%	3.28%	1.33%	0.76%	0.00%	0.00%	0.00%
GKat Euro3	17.89%	17.07%	11.93%	0.05%	1.95%	1.32%	0.00%	0.00%	0.00%
GKat Euro4	6.99%	24.66%	46.12%	0.05%	3.00%	5.72%	0.00%	0.00%	0.00%
Diesel konventionell	1.70%	0.17%	0.00%	41.25%	13.91%	4.61%	31.44%	12.64%	2.97%
Diesel Euro1	2.49%	3.17%	0.75%	30.76%	15.65%	7.74%	12.55%	8.38%	3.41%
Diesel Euro2	5.70%	3.94%	2.31%	15.36%	23.95%	14.97%	45.80%	37.97%	17.74%
Diesel Euro3	6.61%	11.81%	9.47%	0.88%	27.85%	22.40%	10.21%	40.27%	35.18%
Diesel Euro4	0.00%	4.20%	19.52%	0.00%	8.48%	38.34%	0.00%	0.74%	15.33%
Diesel Euro5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.90%	0.00%	0.00%	25.37%

Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Pkw 2002)
 KiD2002 (Lkw 2002)
 Umweltbundesamt (Prognosewerte für 2005 und 2010)

Tabelle 16: Pkw-Bestand nach Schadstoffgruppen

Getrennt nach den Fahrzeugklassen sind die Anteile der einzelnen Schadstoffklassen auch graphisch dargestellt in Abbildung 17 bis Abbildung 19.

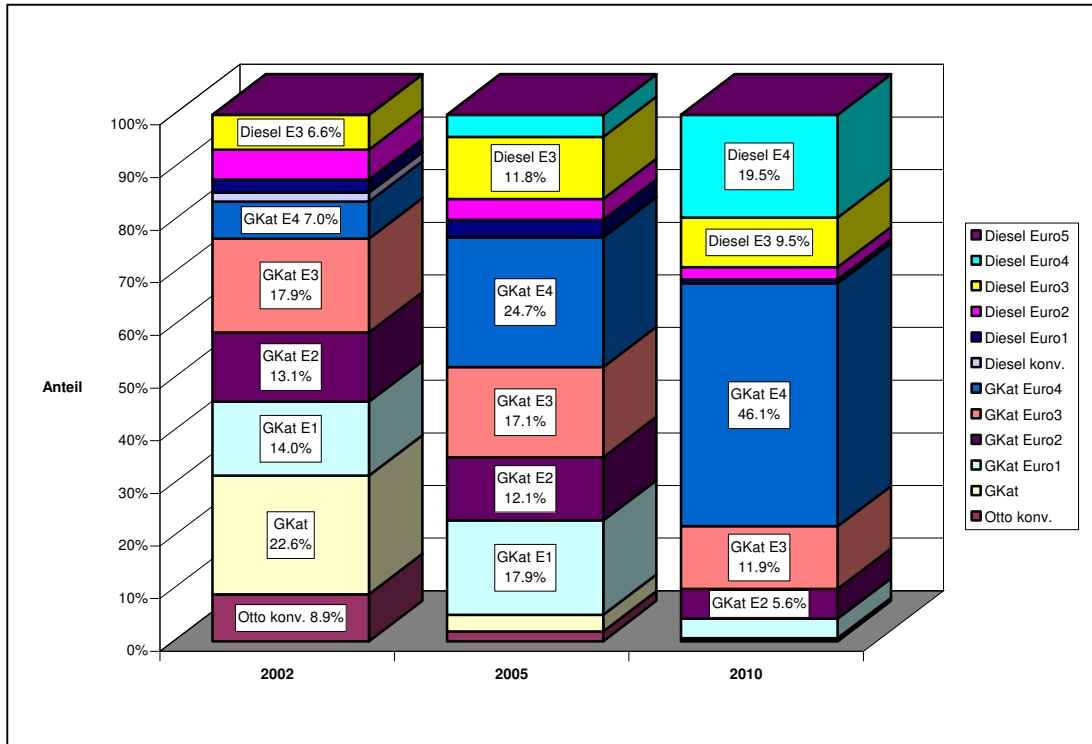


Abbildung 17: Anteile der Schadstoffklassen an der Pkw-Flotte in den Jahren 2002, 2005 und 2010

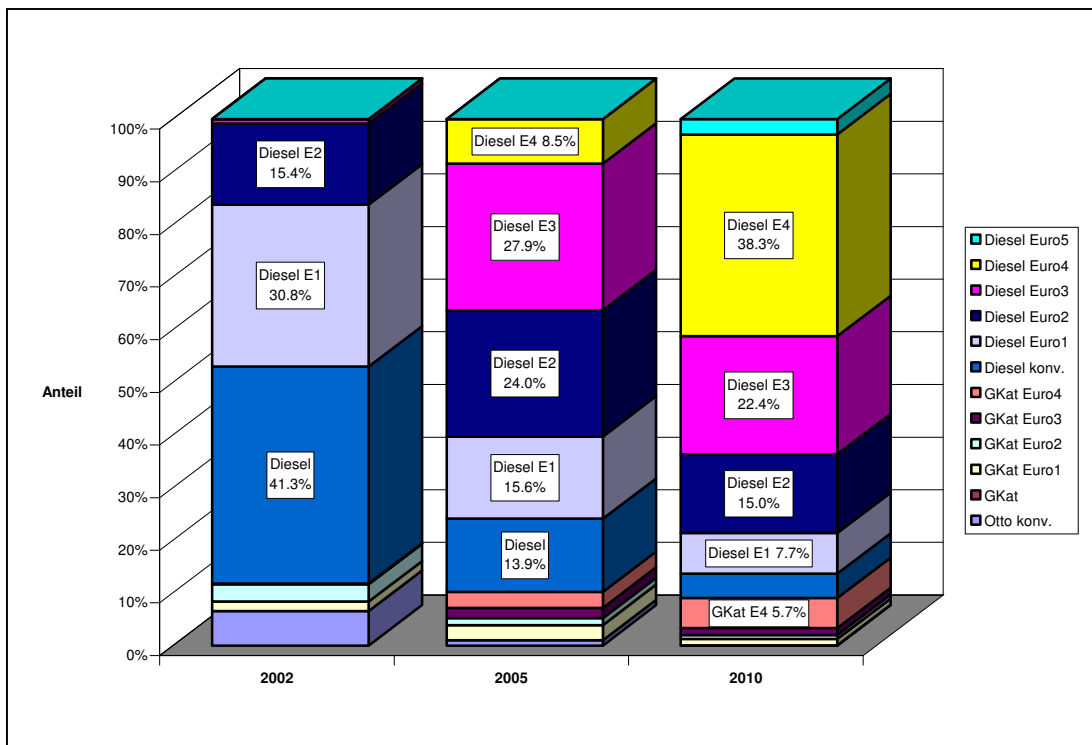


Abbildung 18: Anteile der Schadstoffklassen an der Flotte der Lkw mit bis zu 3,5 t Nutzlast in den Jahren 2002, 2005 und 2010

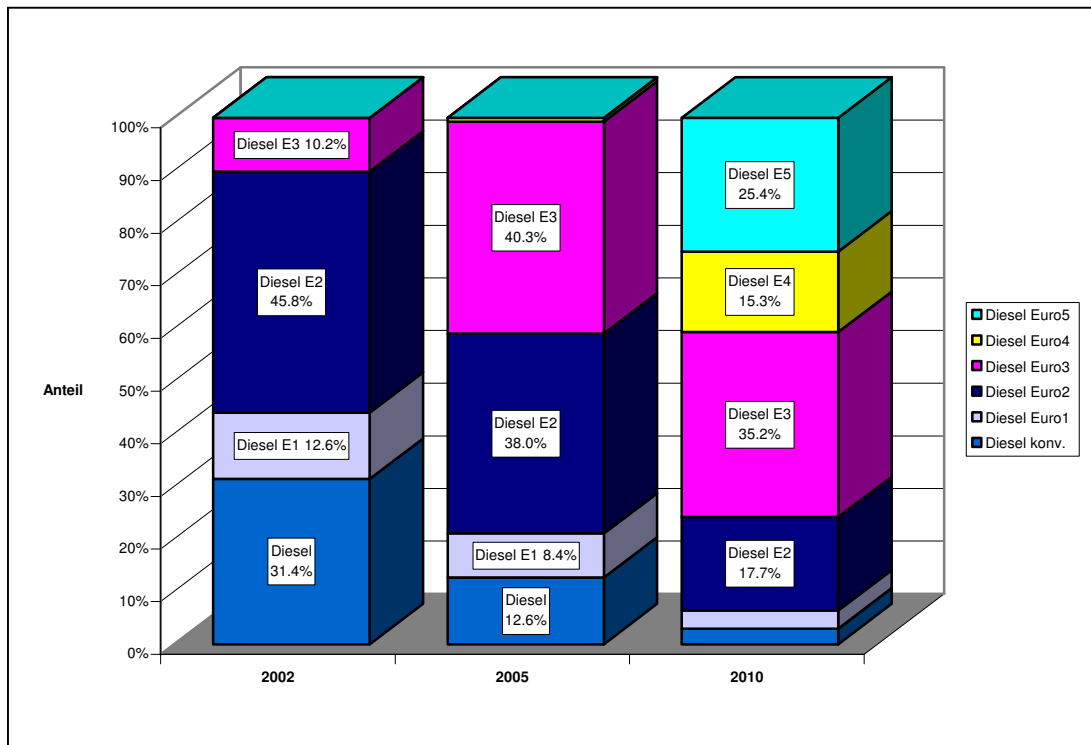


Abbildung 19: Anteile der Schadstoffklassen an der Flotte der Lkw mit mehr als 3,5 t Nutzlast in den Jahren 2002, 2005 und 2010

5 Einbeziehung sekundärer Daten

Wesentliche Bestandteile des Modells basieren auf Arbeiten, die im Zusammenhang mit anderen Vorhaben beim Auftragnehmer zur Verfügung stehen. Dazu gehören die Fortschreibung der Bundesverkehrswegeplanung und der Regionalverkehrsplan der Region Stuttgart.

Daneben standen zur Bearbeitung noch Informationen der DaimlerChrysler AG zum Verkehr im Zusammenhang mit ihrem Standort Sindelfingen zur Verfügung.

Im Zuge der Bearbeitung stellte sich die Frage, inwieweit andere Verkehre explizit zu modellieren seien. Ein Beispiel hierfür sind die ab dem Jahr 2005 in erhöhtem Maße zu erwartenden Müllferntransporte in Baden-Württemberg.

5.1 Daten der Bundesverkehrswegeplanung

Um den gesamten Verkehr im Untersuchungsgebiet erfassen zu können, müssen neben dem Binnenverkehr auch die relevanten Verkehrsbeziehungen des Quell-Ziel- und Durchgangsverkehrs in Nachfragematrizen bekannt sein. Durch die Beteiligung der PTV AG an der Fortschreibung der Bundesverkehrswegeplanung liegen Nachfragematrizen vor. Das Untersuchungsgebiet ist im Modell der Bundesverkehrswegeplanung mit 140 Bezirken abgebildet, von denen 29 die Stadt Stuttgart repräsentieren. Damit ist eine adäquate Abbildung des Durchgangsverkehrs gewährleistet. Der Quell- und Zielverkehr kann ebenfalls auf der Grundlage der Daten der Bundesverkehrswegeplanung ermittelt werden. Dazu sind die entsprechenden Ströme aus den Matrizen der Bundesverkehrswegeplanung zu selektieren und entsprechend der Verkehrszelleneinteilung des Stuttgarter Modells aufzubereiten. Ein analoges Vorgehen kann auch zur Ergänzung der Binnenverkehrsberechnung für den Schwerverkehr genutzt werden. Durch eine Auswertung der Beziehungen des BVWP kann in Verbindung zur Nachfrageberechnung unter Verwendung der Strukturdaten sowie sekundären Statistiken (Statistiken des Kraftfahrtbundesamtes und des Bundesamtes für Güterverkehr) auch ohne zusätzliche Erhebung singulärer Verkehrserzeuger der Schwerverkehr abgeleitet werden.

Der Verwendung der Daten aus der Bundesverkehrswegeplanung für dieses Vorhaben wurde vom Bundesministerium für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen zugestimmt.

Aus dem Gesamtnetz der Bundesverkehrswegeplanung wird ein Teilnetz herausgeschnitten, das das Untersuchungsgebiet abdeckt. Dieses Teilnetz enthält 111 äußere Schnittstellen zum Gesamtnetz. Diese Schnittstellen sind als virtuelle Verkehrsbezirke in das Netzmodell des Untersuchungsgebiets einzufügen. Die Anbin-

dungen müssen manuell nachgetragen werden, da die Knotennummern im BVWP-Netz sich vom Netzmodell der Region Stuttgart unterscheiden.

Das Untersuchungsgebiet umfasst im BVWP-Netz 140 Verkehrsbezirke. Das Quell- und Zielaufkommen dieser Bezirke ist auf die Verkehrsbezirke des Wirtschaftsverkehrsmodells zu verteilen. Dies erfolgt zweistufig. Im ersten Schritt wird auf die Verkehrsbezirke 3. Ordnung gesplittet anhand der Einwohner- bzw. Arbeitsplatzzahlen für das Jahr 1995 aus den Berechnungen des RVP. Im zweiten Schritt wird für das Gebiet der Stadt Stuttgart anhand der vom Stadtplanungsamt zur Verfügung gestellten Split-Faktoren auf das Niveau der Verkehrsbezirke 4. Ordnung disaggregiert.

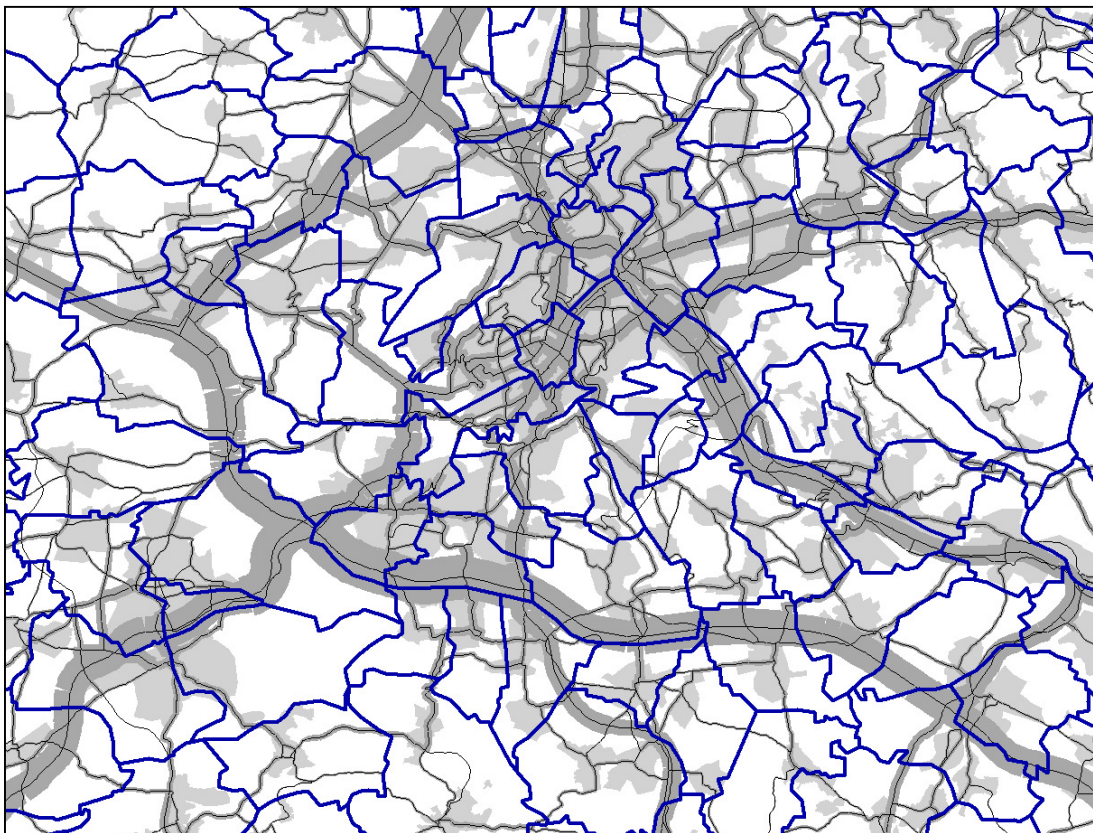


Abbildung 20: Netzausschnitt der Bundesverkehrswegeplanung

Die Nachfrage aus den Berechnungen zum BVWP steht für die Jahre 1997 und 2015 zur Verfügung. Für die Berechnungszeitpunkte des Wirtschaftsverkehrsmodells – Analyse 2002, Prognose 2005 und 2010 – werden daraus die erforderlichen Matrizen durch lineare Interpolation entwickelt.

5.2 Personenverkehr des Untersuchungsgebiets

Die Modellierung des Personenverkehrs des Untersuchungsgebietes basiert auf Berechnungen, die für den Regionalverkehrsplan der Region Stuttgart durchgeführt wurden. In dieser Studie wurde jedoch der Personenwirtschaftsverkehr mit dem privaten Personenverkehr gemeinsam modelliert. Da der Personenwirtschaftsverkehr hier jedoch als Teil des Wirtschaftsverkehrs modelliert wird, ist sein Anteil von der ursprünglichen Personenverkehrsmatrix abzutrennen (Tabelle 17).

Binnenverkehr im MIV der Region Stuttgart	1995	2010 (Bezugsfall)
Wege im Personenverkehr	4 391 000	5 019 000
Wege im Personenwirtschaftsverkehr	660 000	772 000
Anteil des Wirtschaftsverkehrs am Personenverkehr	15.0%	15.4%

Quelle: Regionalverkehrsplan Region Stuttgart

Tabelle 17: Anteil des Personenwirtschaftsverkehrs

Die Abspaltung des Personenwirtschaftsverkehrs erfolgte mit den Arbeitsschritten:

- ▶ Ermittlung der Ecksumme der Wege im Personenwirtschaftsverkehr für das Analysejahr 2002 durch Interpolation aus den Ausgangsmatrizen
- ▶ Bestimmung des Quell- und Zielverkehrsaufkommens im Personenwirtschaftsverkehr für die Verkehrsbezirke:
 - ▶ $Q_i \sim AP_i$
 - ▶ $Z_i \sim 0.95 AP_i + 0.05 E_i$
- ▶ Normierung der Quell- und Zielverkehrssummen auf die im ersten Schritt ermittelte Ecksumme
- ▶ Feststellung der Personenwirtschaftsverkehrsmatrix auf die Zielsumme mit dem Multi-Verfahren (nach Lohse). Damit werden die ursprünglichen Fahrtbeziehungen entsprechend dem Quell- und Zielverkehrsaufkommen der Bezirke an die gewünschte Gesamtsumme angepasst.
- ▶ Bildung der neuen Personenverkehrsmatrix durch Subtraktion des Personenwirtschaftsverkehrs von der ursprünglichen Matrix.

Der Prognosezeitpunkt im Regionalverkehrsplan war für das Jahr 2010 angesetzt. Dazu wurden drei Szenarien gerechnet. In Abstimmung mit den Auftraggebern wurde lediglich das Bezugsszenario als für dieses Projekt relevant betrachtet. Die beiden anderen Szenarien („Anforderungsplanung“ und „Zukunftsfähige Region“) wurden nicht weiter verfolgt.

5.3 Untersuchungen der DaimlerChrysler AG

Um detaillierte Annahmen zum Verkehrsaufkommen und zur Verkehrsverteilung im Wirtschaftsverkehr treffen zu können und um diese Annahmen zu verifizieren, ist es erforderlich, die Modellergebnisse an realen Daten zu kalibrieren. Derartige Daten wurden für den Gebrauch innerhalb dieses Projekts dankenswerterweise von der DaimlerChrysler AG für ihr Werk in Sindelfingen zur Verfügung gestellt. Es handelte sich dabei um die Ergebnisse betriebsinterner Erhebungen aus dem Frühjahr 2004.

Das Verkehrsaufkommen wurde nach Pkw und Lkw gegliedert auf die Werkstore bezogen dargestellt.

Die Verkehrsverteilung stellte die Ströme in ihrer Verteilung auf die umliegenden Autobahnabschnitte dar.

Diese Informationen wurden sowohl in die Nachfragemodellierung wie auch in die Netzmodellierung eingearbeitet.

5.4 Mülltransporte

Bei den Mülltransporten ist zu unterscheiden zwischen der Hausmüllentsorgung und den Transporten von den Müllsammelstationen zu den Müllverbrennungsanlagen und dann gegebenenfalls weiter zu den Deponien.

Die Hausmüllentsorgung ist nicht explizit modelliert, da sie bereits in die allgemeine Nachfrageberechnung für den Wirtschaftsverkehr einbezogen ist.

Zu den Müllfernttransporten wurden Mengenabschätzungen getroffen. Es kommen für diese Studie als relevante Ziele vier Müllverbrennungsanlagen in Frage: Stuttgart-Münster, Böblingen, Göppingen und Buchen (Neckar-Odenwald-Kreis). Diese Anlagen haben unterschiedliche Größe (Tabelle 18).

Anlage	Kapazität	Herkunft	Menge
Stuttgart-Münster	420 000 t/a	Rems-Murr-Kreis	60 000 t/a
		Esslingen	65 000 t/a
		Tübingen	27 000 t/a
		Reutlingen	43 000 t/a
		Zollernalbkreis	30 000 t/a
		Stuttgart	110 000 t/a
		restl. BW-Gewerbemüll	50 000 t/a
		Bodenseekreis	35 000 t/a
Böblingen	140 000 t/a	Böblingen	71 000 t/a
		Freudenstadt	14 000 t/a
		Calw	31 000 t/a
		Teile aus Stuttgart	24 000 t/a (?)
Göppingen	158 000 t/a (Auslastung 120 000 t/a)	Göppingen	57 000 t/a
		Schwarzwald-Baar-Kreis	45 000 t/a (?)
Buchen (Neckar-Odenwald-Kreis)	150 000 t/a	Ludwigsburg	85 000 t/a; werden gesammelt an den 5 Umschlagplätzen Kirchheim a. Neckar, Remseck-Hochberg, Hofgut Muer bei Münchingen, Benningen und Deponie Burghof

Quelle: VRS; Web-Präsenzen der Betreiber

Tabelle 18: Müllverbrennungsanlagen mit künftigem Müllaufkommen aus der Region Stuttgart

Informationen über das zu erwartende Fahrzeugaufkommen stehen für die MVA Stuttgart-Münster und Buchen zur Verfügung.

Die rund 300 000 t/a Müll von auswärts in Richtung Stuttgart-Münster werden laut einer Studie zu ca. 26 000 Lkw-Fahrten/a bzw. ca. 115 Lkw-Fahrten je Tag und Richtung von bzw. nach Stuttgart-Münster führen.

Die Anfahrt aus dem Untersuchungsgebiet zur MVA Buchen erfolgt über die A81, AS Osterburken. Gerechnet wird mit 25 Lkw-Fahrten je Richtung und Tag.

Angesichts dieser Größenordnungen wurde in Absprache mit dem Auftraggeber auf eine explizite Modellierung der Mülltransporte zu den Müllverbrennungsanlagen verzichtet. Dieses Verkehrsaufkommen ist also in den Verkehrsbeziehungsmatrizen nicht enthalten.

6 Modellkalibrierung

Die Aussage- und Prognosefähigkeit eines Verkehrsmodells hängt davon ab, wie gut das Modell kalibriert wird. Die Kalibrierungsarbeit hat dabei sowohl am Nachfragemodell wie auch am Netzmodell zu erfolgen. Als Elemente der Kalibrierung sind vorgesehen:

- ▶ Kalibrierung der Reisezeit- und Entfernungsverteilungen der einzelnen Wirtschaftsverkehrsklassen,
- ▶ Kalibrierung von Quell- und Zielverkehrsaufkommen, soweit dazu Daten verfügbar sind, sowie
- ▶ Kalibrierung der gesamten Verkehrsumlegung anhand von definierten Screenlines und Einzelzählquerschnitten.

Weitere wünschenswerte Überprüfungen des Netzmodells können aufgrund fehlender Daten nicht vorgenommen werden. Dazu gehören

- ▶ eine Gegenüberstellung der berechneten mit tatsächlich gewählten Routenverläufen
- ▶ eine Überprüfung der im Netz modellierten Reisegeschwindigkeiten.

Eine Kalibrierung in bezug auf Reisegeschwindigkeiten wäre im übrigen bei einer Umlegung für den gesamten Tag, wie es hier der Fall ist, nur in sehr eingeschränkter Form zu verifizieren.

Auf folgende empirische Daten wird bei der Kalibrierung des Verkehrsmodells zurückgegriffen:

- ▶ Ergebnisse der KiD 2002,
- ▶ Verkehrszählungsdaten, wie sie oben in Tabelle 4 beschrieben werden.

Anhand der Auswertung der KiD 2002 und der Betrachtungen an den beiden screenlines können die Nachfragematrizen des Wirtschaftsverkehrs kalibriert werden.

Es wird bei der Modellkalibrierung davon ausgegangen, dass das Aufkommen und die Verteilung im Personenverkehr unabhängig von den Veränderungen in der Netzmodellierung bleiben und somit keine Rückkopplungen zur Nachfrageberechnung im Personenverkehr erforderlich sind.

6.1 Kalibrierung in der Nachfrage

Ziel der Kalibrierung des Nachfragemodells ist ein Abgleich der Reiseweiten für die jeweiligen Fahrzeug- und Fahrtenkategorien. Bei der Auswertung der Reiseweiten ist jedoch zu berücksichtigen, dass im Nachfragemodell nur der Teilweg enthalten ist, der im Untersuchungsraum realisiert wird. Auf Grund der im Vergleich zu den durchschnittlichen Reiseweiten im Wirtschaftsverkehr relativ geringen Ausdehnung des Untersuchungsraumes können die für den Untersuchungsraum ermittelten durchschnittlichen Reiseweiten nicht direkt mit den Angaben aus der Erhebung KiD 2002 verglichen werden. Deshalb wurde bei der Kalibrierung der Reiseweiten für die Anfangs-, End- und Verbindungsfahrten vor allem auf Übereinstimmung der Proportionen der Wegelängen dieser Teilwege zueinander geachtet.

Ein weiterer Schritt der Nachfragekalibrierung besteht im Abgleich der auf der Grundlage der Nachfrageparameter erzeugten Quell- und Zielverkehrsaufkommen mit empirisch ermittelten Kontroll- und Prüfgrößen. Dies wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durch die Einbeziehung der Daten singulärer Verkehrserzeuger (z.B. Angaben der DaimlerChrysler AG) und die Auswertung der Straßenverkehrszählungen durchgeführt.

6.2 Kalibrierung im Netzmodell

Die wichtigste Kenngröße bei der Kalibrierung ist die Abweichung der modellierten Verkehrsstärken von den gezählten an den Stellen, an denen dazu Daten verfügbar sind. Diese Abweichung kann in unterschiedlicher Ausprägung erfasst werden:

- ▶ Als einfache Differenz. Dabei werden alle Abweichungen gleich gewertet, unabhängig vom absoluten Wert der Verkehrsstärke:

$$d = q_m - q_z$$

- ▶ Als relativer Fehler. Dabei wird der Prozentsatz der Abweichung vom gezählten Wert ermittelt:

$$r_d = (q_m - q_z) / q_z$$

- ▶ Als gewichteter relativer Fehler. Dabei wird die Abweichung mit einem Faktor multipliziert, der die Bedeutung der betrachteten Strecke im Straßennetz berücksichtigt; eine hohe Verkehrsstärke erhöht das Gewicht des relativen Fehlers:

$$r_{dg} = r_d * (q_z / \bar{q}_z)$$

- ▶ Als statistische Kenngröße. Hier kann der aus dem angelsächsischen Bereich stammende GEH-Wert eingesetzt werden, der seit einiger Zeit in Großbritannien bei der Bewertung größerer verkehrlicher Vorhaben anzuwenden ist. Der GEH-Wert ist eine dimensionslose Größe und bestimmt sich als

$$GEH = \sqrt{\frac{2(q_m - q_z)^2}{q_m + q_z}}$$

Allen diesen Kenngrößen ist gemein, dass sie als Ergebnis der Kalibrierung möglichst klein werden sollen.

Im Prozess der Kalibrierung wurde zunächst auf die Einhaltung globaler Werte geachtet, um die Struktur des Untersuchungsgebiets zu erfassen. In einer zweiten Stufe wurde dann auch auf wichtige einzelne Querschnitte geachtet.

Im Abschluss wurden dann einige Nachfragesegmente mit einem Matrixausgleichsverfahren behandelt, um die noch bestehenden Abweichungen weiter zu verringern. Diese Optimierung wurde jedoch nicht vollständig ausgenutzt. Die von den Algorithmen ermittelten Matrizen wurden vor den Umlegungsrechnungen symmetriert, da es sich um Betrachtungen für den Tagesverkehr handelt, bei denen das Verkehrsaufkommen in Hin- und Rückrichtung gleich sein sollte. Die beiden Nachfragesegmente für den Personenwirtschaftsverkehr und für den Verkehr mit kleinen Lkw, bei denen das Tourenkonzept in der Verkehrserzeugung eine essentielle Rolle spielt, wurden nicht in dieses Ausgleichsverfahren einbezogen.

Zur Verbesserung der Ergebnisse des Modells konnte auch dadurch beigetragen werden, dass die Streckenlängsneigung als Widerstandsparameter in die Routenwahl mit einbezogen wurde. Dabei wurden für die drei Verkehrssysteme P, L und K unterschiedliche Koeffizienten angesetzt. Die Wahl des Terms

$$t_n = a * l * n^2$$

für den Zusatzwiderstand in einem Streckenabschnitt der Länge l und der Neigung n ist allerdings nur als provisorisch zu bezeichnen, da keine Ressourcen für eine genauere Betrachtung gegeben waren.

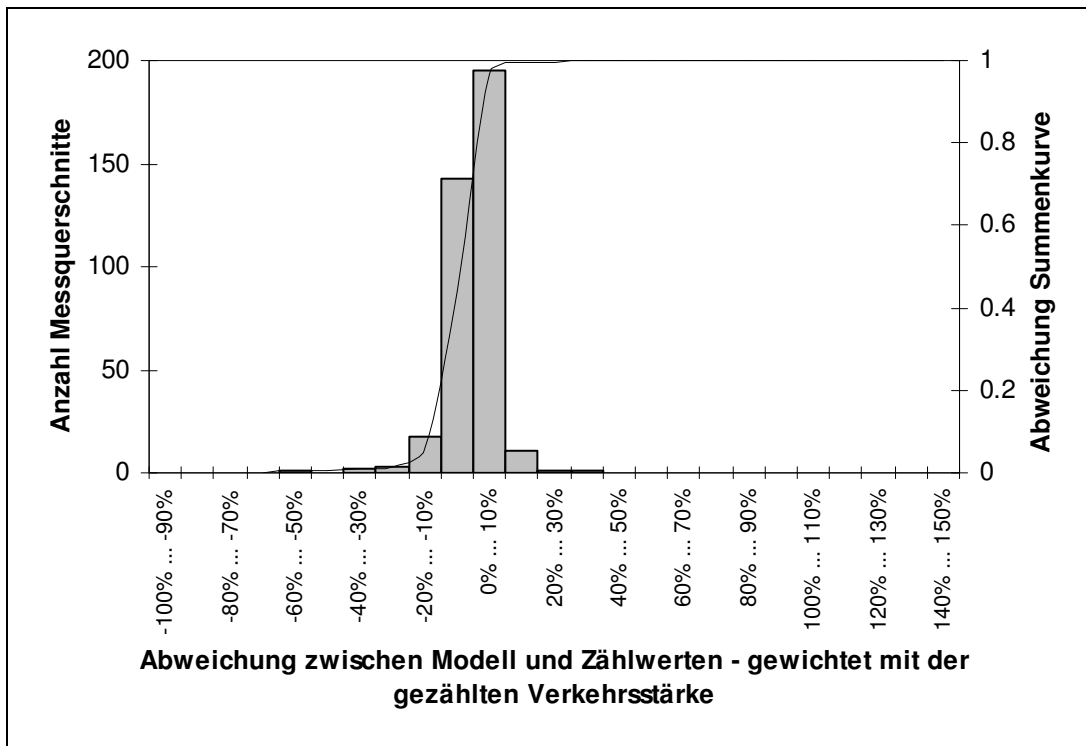


Abbildung 21: Belastung an Zählstellen. Gewichtete Abweichung zwischen Zählwert und Modellwert

In Abbildung 21 ist die Verteilung des gewichteten relativen Fehlers der gesamten Verkehrsstärke (DTV-W) dargestellt. An 70% der Zählstellen liegt die Abweichung des modellierten Wertes unter 5%, an 87% liegt sie niedriger als 10%.

Ein besonderes Problem zeigte sich an den Zählstellen in der Stadt Ludwigsburg, wo die Abweichungen zwischen Zähl- und Modellwerten teilweise erheblich sind. Dies ist auf zwei Ursachen zurückzuführen:

- ▶ Die Einteilung in Verkehrsbezirke. Für eine detaillierte Betrachtung der Situation in Ludwigsburg ist die Einteilung in Verkehrsbezirke dritter Ordnung zu grob. Trotz einer Aufteilung der Einspeisung des Verkehrsaufkommens auf eine Reihe von Stellen ist immer noch mit örtlichen Belastungssprüngen zu rechnen.
- ▶ Die Zählwerte sind mit Zurückhaltung zu betrachten, da sie aus einer Vier-Stunden-Zählung hochgerechnet worden sind.

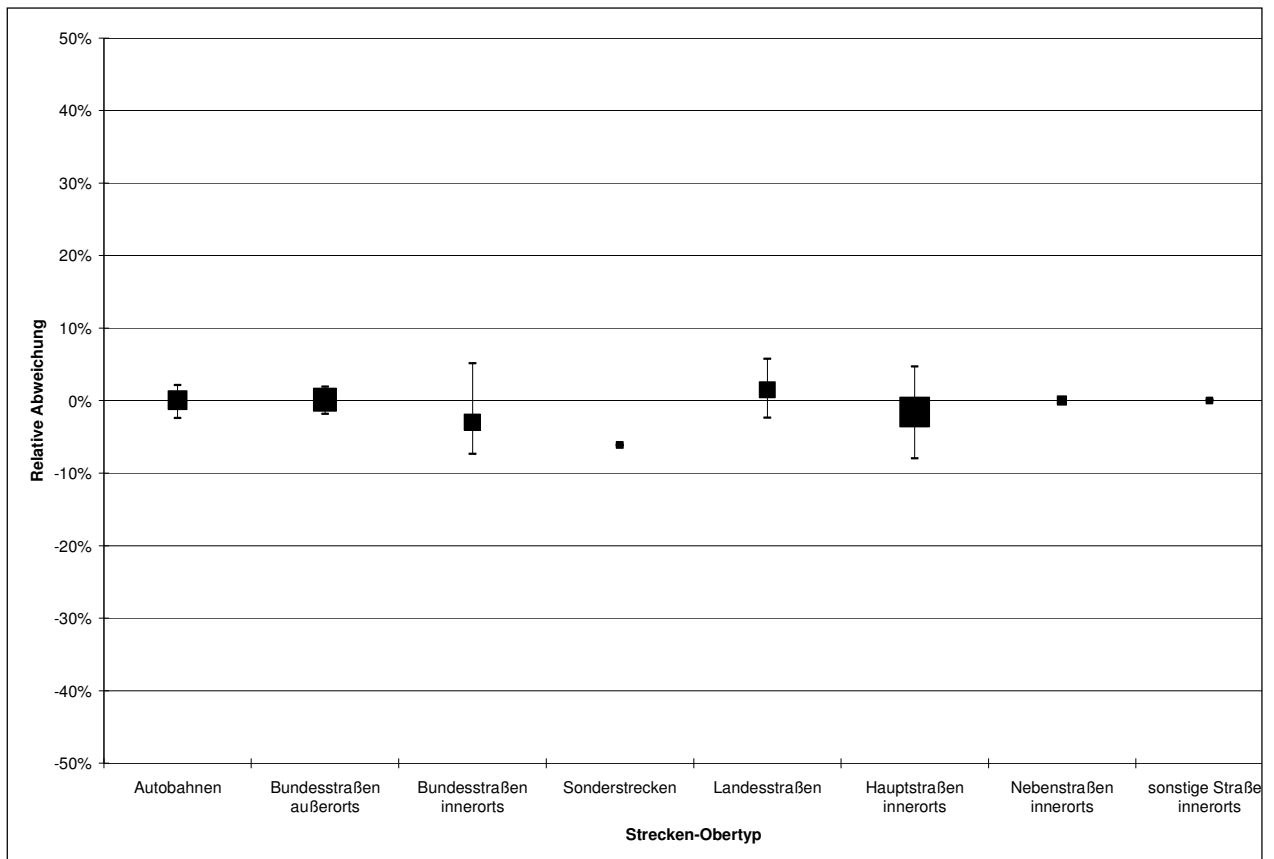


Abbildung 22: Belastung an Zählstellen. Schwankungsbreite bei der Abweichung des Modellwerts vom Zählwert.

Das oben gezeigte globale Bild wird in Abbildung 22 noch einmal differenziert. Dargestellt ist darin die Verteilung derselben Kenngröße, des gewichteten relativen Fehlers, disaggregiert auf die Streckenkategorien des Netzmodells. Für jede Streckenkategorie sind der Erwartungswert und die Breite der Verteilung (zwischen dem 15%- und dem 85%-Wert) dargestellt. Die Größe des Symbols für den Erwartungswert weist auf die Anzahl der Messwerte in der jeweiligen Streckenkategorie hin. Naturgemäß nimmt die Schwankungsbreite mit abnehmender Verkehrsstärke zu. Bei den Autobahnen und Bundesstraßen liegen die Abweichungen unter 1%. Die Anzahl von Messwerten aus den Sonderstrecken und den sonstigen Innerortsstraßen liegt unter 10, so dass auf eine Feststellung von Schwankungsbreiten verzichtet wurde.

Tabelle 19 betrachtet sämtliche Messquerschnitte und erfasst dabei zum einen eine Unterscheidung zwischen Pkw und Lkw sowie eine Betrachtung der screenlines am Kesselrand und an der Gemarkungsgrenze. Dabei stellt sich die Frage, wo bei den Modellwerten die Grenze zwischen Pkw und Lkw gezogen werden soll (vgl. Tabelle 4). Es wurde die Entscheidung getroffen, die Klasse der kleinen Lkw (mit einem zulässigen Gesamtgewicht bis zu 3,5 t) zu den Pkw zu zählen. Dabei handelt es sich in der Regel um Kombis oder Lieferwagen wie den VW-Bus, den Sprinter von DaimlerChrysler oder den Ford Transit.

Kfz	Zählung	Modell	Differenz	Abweichung	GEH
	5770198	5753061	-17137	0%	7.14
Stadt	890969	893841	2872	0%	3.04
Kessel	499207	496689	-2518	-1%	3.57
Region	2476825	2476349	-476	0%	0.30
Lokal	719530	714133	-5397	-1%	6.37
Pkw	Zählung	Modell	Differenz	Abweichung	GEH
	5271936	5244823	-27113	-1%	11.82
Stadt	835297	835186	-111	0%	0.12
Kessel	483559	479827	-3732	-1%	5.38
Region	2143568	2143300	-268	0%	0.18
Lokal	673654	667213	-6441	-1%	7.87
Lkw	Zählung	Modell	Differenz	Abweichung	GEH
	498278	496078	-2200	0%	3.12
Stadt	55672	57079	1407	3%	5.93
Kessel	15648	15563	-85	-1%	0.68
Region	333265	331262	-2003	-1%	3.47
Lokal	45884	45263	-621	-1%	2.91

Tabelle 19: Kenngrößen der Kalibrierung der Verkehrsstärken

Als Kriterium für den GEH-Wert wird gefordert, dass er an 90% aller untersuchten Stellen unter 5 liegen soll. Dieser Wert wird für den Lkw mit über 91% erreicht. Allerdings wurden der GEH-Wert und dieses Kriterium konzipiert für Modellrechnungen, die einzelne Spitzenstunden betrachten. Der GEH-Wert reagiert auf eine gleiche relative Abweichung mit zunehmender Verkehrsstärke sensitiv und sollte damit bei einer Tagesumlegung, wie sie hier vorliegt, nicht zu streng gesehen werden.

Abschließend sei bemerkt, dass nur in den örtlichen Bereichen das Netz kalibriert werden kann, für die Zählungen vorliegen. In Gebieten, für die keine Zählungen zum Abgleich des Modells vorliegen, ist – auch wenn die Größenordnungen der Belastungen korrekt sind – sicherlich im Einzelfall mit teilweise größeren Abweichungen von der tatsächlichen Situation zu rechnen. Dies sollte bei der Bewertung lokaler Kennwerte nicht außer Acht gelassen werden.

Des Weiteren darf nicht vergessen werden, dass es sich bei diesem Modell um ein strategisches Modell handelt, mit dem Planungsszenarien betrachtet werden sollen. Es kann daher keine Grundlage für lokale operative Maßnahmen darstellen.

7 Prognoseberechnung

Aufbauend auf dem kalibrierten Analysemodell werden die Modelle für die Nachfrage und das Netz zu den Prognosezeitpunkten 2005 und 2010 erzeugt. Die erwarteten Änderungen in den Strukturdaten und die bis zu den jeweiligen Zeitpunkten vollzogenen Modifikationen im Straßennetz wurden von den Auftraggebern mitgeteilt und in Absprache mit ihnen in das Modell integriert.

Die Veränderungen bei den Strukturdaten sind in Abschnitt 4 bereits angesprochen worden.

Für den Zeitraum von 2002 bis 2005 weist das Netzmodell keine größeren Veränderungen auf. Bis 2010 ist jedoch mit der Inbetriebnahme einer Reihe von Maßnahmen zu rechnen, die mehr als punktuelle Auswirkungen haben werden. Dazu gehören unter anderem

- ▶ die Untertunnelung des Pragsattels im Zug der B 10
- ▶ der Umzug der Stuttgarter Messe zum Flughafen mit einer Neugestaltung der Autobahnanschlüsse
- ▶ dreistreifiger Ausbau der Richtungsfahrbahnen auf der A 8 zwischen dem AD Leonberg und Pforzheim
- ▶ Verlängerung der B 464

sowie eine Reihe weiterer Maßnahmen, überwiegend Ortsumgehungen.

Die Kenngrößen des Wirtschaftsverkehrs wurden in Rücksprache mit den Auftraggebern aus der Analyse übernommen.

Unter Berücksichtigung der für den Prognosehorizont vorgegebenen Strukturdaten und Verkehrskennwerte sowie der im Netz geplanten Maßnahmen erfolgt die Erarbeitung des Prognosenachfragemodells. Durch die Umlegung der Prognoseverkehrsstrommatrizen auf das Prognosenetzmodell werden so die zukünftig zu erwartenden Verkehrsbelastungen berechnet.

Die in der Kalibrierung bei den Matrixausgleichsverfahren entstandenen Abweichungen zu den ursprünglichen Matrizen werden in der Form von Differenzmatrizen auch in der Prognose mitgeführt.

Für den Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr liegen aus der Bundesverkehrswegeplanung Prognosen für das Jahr 2015 vor, die als Berechnungsgrößen auf die Jahre 2005 und 2010 angepasst werden können. Die Prognosefähigkeit des Modells ist durch die Verwendung von Regressionsansätzen bei dem Aufbau der Analysedaten sichergestellt.

8 Ergebnisse des Modells

Die Umlegungsrechnungen werden mit der Verkehrsplanungssoftware VISUM durchgeführt.

Primäre Ergebnisse dieser Rechnungen sind Belastungen von Streckenabschnitten. Darüber hinaus lässt sich eine Vielzahl weiterer Kenngrößen ermitteln, die wiederum als Basis für umfangreiche Analysen genommen werden können.

Im Rahmen dieses Berichts kann lediglich eine Auswahl der Ergebnisse dargestellt und näher betrachtet werden.

8.1 Generelle Ergebnisse

In der folgenden Abbildung 23 ist für das Analysejahr 2002 und die Prognosehorizonte 2005 und 2010 das Verkehrsaufkommen im Wirtschaftsverkehr differenziert nach Fahrzeugarten dargestellt. Die hier angegebenen Fahrtenzahlen enthalten das gesamte Verkehrsaufkommen des Untersuchungsgebiets, also neben dem Binnenverkehr auch den Quell- und Zielverkehr.

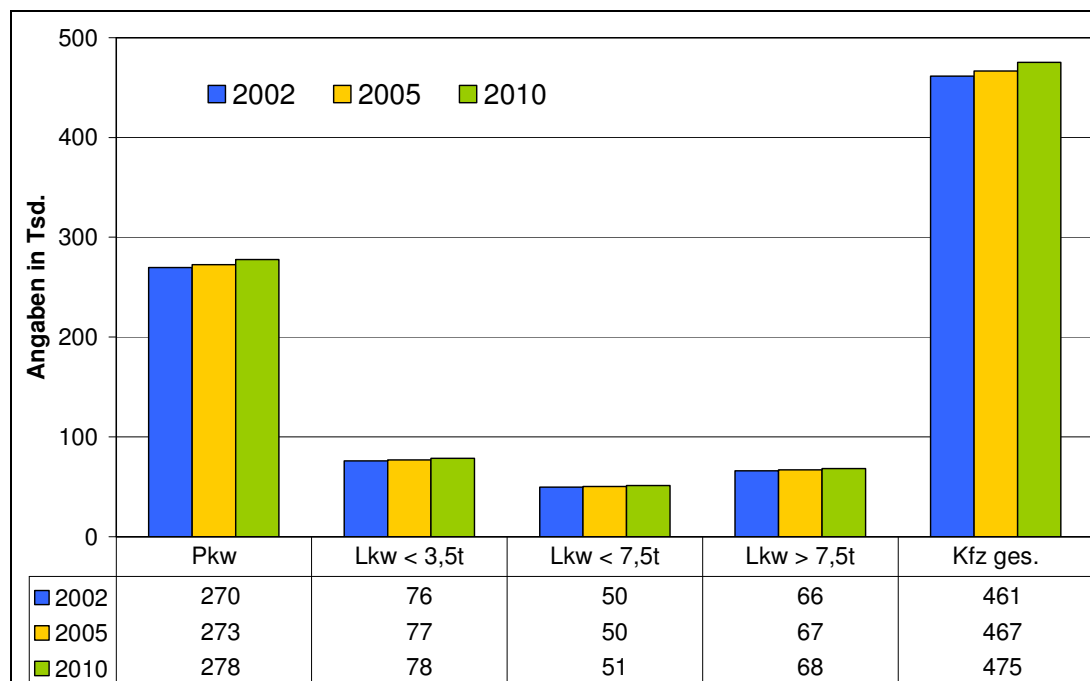


Abbildung 23: Verkehrsaufkommen im Wirtschaftsverkehr nach Fahrzeugarten

Die Abbildung zeigt, dass der Pkw den größten Anteil am Verkehrsaufkommen im Wirtschaftsverkehr hat. Beim Lkw-Wirtschaftsverkehr entfällt der größte Anteil am Verkehrsaufkommen auf Fahrzeuge unter 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht. Die

relativen Anteile der einzelnen Fahrzeugarten am gesamten Verkehrsaufkommen im Wirtschaftsverkehr sind in der folgenden Abbildung 24 dargestellt.

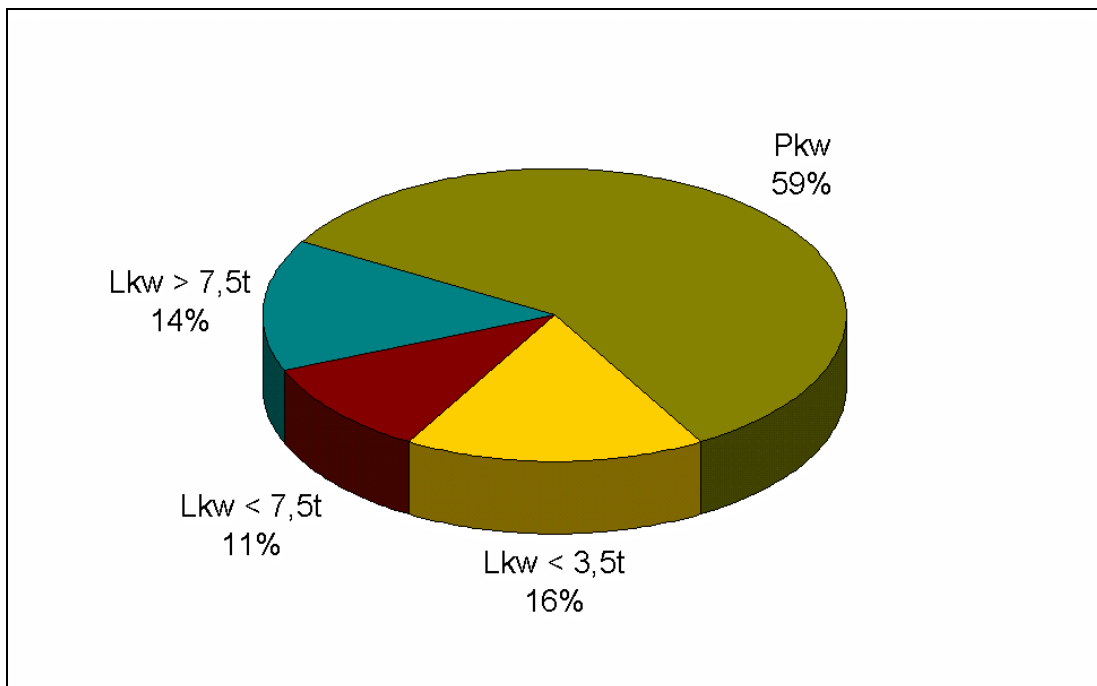


Abbildung 24: Analyse 2002 relativer Anteil der Fahrzeugarten

Im Anhang finden sich in den Abbildungen A-1-1 bis A-1-3 Darstellungen der Verkehrsstärken in den Streckenabschnitten des Netzmodells. Dabei werden Pkw und Lkw getrennt dargestellt.

In der Abbildung A-2-1 finden sich Darstellungen der Streckenauslastungen. Die hier angegebenen Werte für prozentuale Auslastungsgrade dürfen jedoch nicht absolut gesehen werden, sondern müssen vor dem Hintergrund der Modellalgorithmen betrachtet werden. Das Modell betrachtet den Verkehr über einen Zeitraum von 24 Stunden und sagt damit zunächst noch nichts über die Situation in einer bestimmten (Spitzen-)Stunde aus. Auch vereinzelte kurze hoch ausgelastete Streckenabschnitte in Kreuzungs- oder Verflechtungsbereichen mit ansonsten eher niedrigen Auslastungsgraden in ihrer Umgebung bedürfen einer sorgfältigen Betrachtung: möglicherweise bestehen tatsächlich Kapazitätsengpässe, möglicherweise ist aber auch die Streckencodierung im Modell nicht ausreichend präzise.

8.2 Auswertungen für den Wirtschaftsverkehr

Exemplarisch soll eine kleine Statistik von Kenngrößen des Wirtschaftsverkehrs dargestellt werden. Betrachtet wird dabei immer die Verkehrsleistung, ausgedrückt in Kfz*km.

In Tabelle 20 sind für den Analysezeitpunkt die Anteile des Wirtschaftsverkehrs an der Gesamtfahrleistung des Straßenverkehrs angegeben. Es fällt deutlich auf, wie stark sich der Anteil verändert, wenn sich der Ort des Bezugs ändert. Der hohe Anteil von 11.6% Lkw-Verkehr bei Betrachtung der gesamten Region resultiert im wesentlichen aus den hohen Lkw-Anteilen des Verkehrs auf den Autobahnen (vgl. Tabelle 21). In der Innenstadt liegt der Lkw-Anteil mit 5.1% bedeutend niedriger als bei Betrachtung der gesamten Stadt. Dies dürfte auf die geringe Ausprägung des sekundären Sektors in den entsprechenden Stadtbezirken zurückzuführen sein.

Regionalbezug	Privater Verkehr	Wirtschaftsverkehr		
		gesamt	Pkw	Lkw
Gesamtes Untersuchungsgebiet	67.6%	32.4%	20.8%	11.6%
Stadt Stuttgart (einschließlich Innenstadt)	74.9%	25.1%	17.2%	7.9%
Innenstadt Stuttgart (Talkessel)	77.1%	22.9%	17.8%	5.1%

Tabelle 20: Anteile der Verkehrsarten im motorisierten Individualverkehr an der Verkehrsleistung nach räumlichem Bezug (2002)

Ein Licht auf die Verhältnisse auf den unterschiedlichen Straßenkategorien wirft Tabelle 21. Auch hier zeigt sich der vergleichsweise hohe Anteil des Wirtschaftsverkehrs in den Außerortsstraßen.

Straßenkategorie	Privater Verkehr	Wirtschaftsverkehr		
		gesamt	Pkw	Lkw
Autobahn	52.1%	47.9%	29.2%	18.7%
Bundesstraße (außerorts)	60.7%	39.3%	27.0%	12.2%
Bundesstraße (innerorts)	72.4%	27.6%	18.5%	9.1%
Landesstraße	70.8%	29.2%	19.3%	9.9%
Hauptstraße (III)	78.6%	21.4%	13.0%	8.4%
Nebenstraße (IV)	80.1%	19.9%	12.8%	7.1%
Nebenstraße (V)	79.2%	20.8%	12.7%	8.1%

Tabelle 21: Anteile der Verkehrsarten im motorisierten Individualverkehr an der Verkehrsleistung nach Straßentyp (2002)

In Tabelle 22 wird die Entwicklung über die Zeit betrachtet. Bemerkenswerterweise wird für die Zeit bis zum Jahr 2010 ein Rückgang des Anteils des Wirtschaftsverkehrs von mehr als 1% prognostiziert.

Betrachtungszeitpunkt	Privater Verkehr	Wirtschaftsverkehr		
		gesamt	Pkw	Lkw
2002	67.6%	32.4%	20.8%	11.6%
2005	67.9%	32.1%	20.4%	11.7%
2010	68.9%	31.1%	19.3%	11.8%

Tabelle 22: Anteile der Verkehrsarten im motorisierten Individualverkehr an der Verkehrsleistung im Untersuchungsgebiet nach Jahr

Während der Lkw-Anteil nahezu konstant bleibt, nimmt der Anteil des Personewirtschaftsverkehrs ab. Diese Abnahme ist jedoch nur relativ, wie ein Blick auf Tabelle 23 zeigt, in der die Veränderung der Verkehrsleistungen zwischen dem Analysezeitpunkt und den Prognosejahren dargestellt ist. Bei den Fahrleistungen im Wirtschaftsverkehr wird angenommen, dass sie zwischen 2002 und 2010 um etwa 6% zunehmen. Sie bleiben damit aber erheblich hinter den auf 13% geschätzten Zuwächsen im Privatverkehr zurück.

Betrachtungsperiode	Privater Verkehr	Wirtschaftsverkehr		
		gesamt	Pkw	Lkw
2002 ... 2005	4.1%	2.3%	1.4%	3.9%
2002 ... 2010	12.9%	6.0%	2.4%	12.3%

Tabelle 23: Zunahme der Verkehrsleistung im motorisierten Individualverkehr nach Verkehrsarten

9 Anpassung an Emissionsberechnungen

An die Ermittlung der Verkehrsbelastungen schließt sich die Berechnung der dadurch verursachten Emissionen an. Diese Berechnungen werden unabhängig von der Bearbeitung des Verkehrsmodells vom Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg (UMEG) durchgeführt.

Die dafür benötigten Daten werden in einer Struktur bereitgestellt, wie sie von der UMEG gewünscht wurde (Tabelle 24).

Parameter	Beschreibung	Bemerkung
StrNr	Streckennummer	
StrName	Straßenname	
Kn-1	Nummer des Anfangsknotens	
x-1	x-Koordinate des Anfangsknotens	
y-1	y-Koordinate des Anfangsknotens	
Kn-2	Nummer des Endknotens	
x-2	x-Koordinate des Endknotens	
y-2	y-Koordinate des Endknotens	
Länge	Streckenlänge	
Neigung	Längsneigung der Strecke	Klassiert nach 0, ± 2 , ± 4 , ± 6 %
S	Orts-Flag: Lage der Strecke	3 Innenstadt Stuttgart 2 Stadt Stuttgart 1 Region 0 außerhalb des Untersuchungsgebiets
v-0	Ausgangsgeschwindigkeit	
v-Pkw	Geschwindigkeit nach der Umlegung (Pkw)	
v-Lkw	Geschwindigkeit nach der Umlegung (Lkw)	
q-Pkw	Streckenbelastung (Pkw)	
q-Lkw-I	Streckenbelastung (Lkw, zul. GG $\leq 3,5$ t)	
q-Lkw	Streckenbelastung (Lkw, zul. GG $> 3,5$ t)	

Tabelle 24: Datensatzstruktur für die Emissionsberechnungen

Es werden lediglich Daten für die Strecken bereitgestellt, die überhaupt durch Verkehr belastet werden. Dadurch verringert sich die Anzahl der zu übertragenden Daten auf etwa 20% aller Strecken im Netzmodell. Valide Daten zur Strecken-

längsneigung stehen lediglich für Strecken auf der Gemarkung der Stadt Stuttgart zur Verfügung. Außerhalb der Stadt wird als Längsneigung der Wert 0 angegeben.

10 Schlussbemerkungen und Ausblick

In diesem Modell für den Wirtschaftsverkehr in einem ausgewählten Bereich der Region Stuttgart wurde erstmalig in größerem Umfang mit Daten der bundesweiten Erhebung KiD 2002 gearbeitet. Die Erfahrungen zeigen, dass die Daten gut geeignet sind zur Modellierung des Wirtschaftsverkehrs.

Für eine Bewertung des gesamten Individualverkehrs bleibt aber weiterhin der private Personenverkehr maßgeblich. Dieser Bestandteil eines vollständigen Modells konnte hier nur über eine Fortschreibung bestehender Nachfragematrizen aktualisiert und an Ergebnisse neuerer Verkehrszählungen angepaßt werden.

Das Modell umfasst neben der Stadt Stuttgart auch die nähere und weitere Umgebung mit Städten wie Böblingen, Esslingen, Göppingen, Ludwigsburg, Nürtingen, Schorndorf, Sindelfingen und Waiblingen. Das Hauptaugenmerk bei der Kalibrierung musste sich aber aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit von Kontrolldaten auf das Gebiet der Stadt Stuttgart konzentrieren. Dementsprechend sind auch an die Qualität der Ergebnisse unterschiedliche Anforderungen zu stellen.

Es gibt eine Reihe von Bereichen, in denen eine Fortsetzung der Arbeiten sinnvoll erscheint. Dazu gehören unter anderem

- ▶ die regionale Erweiterung des Modells auf die gesamte Region Stuttgart,
- ▶ die Detaillierung des Modells in den Städten der Region, sowie
- ▶ eine Betrachtung des Öffentlichen Verkehrs, der nicht Gegenstand dieses Vorhabens war.

11 Anhang

11.1 Räumliche Ausdehnung des Untersuchungsgebiets nach Postleitbereichen

Ort (Stadt, Gemeinde)	Postleitzahl
Stuttgart	70173, 70174, 70176, 70178, 70180, 70182, 70184, 70186, 70188, 70190, 70191, 70192, 70193, 70195, 70197, 70199, 70327, 70329, 70372, 70374, 70376, 70378, 70435, 70437, 70439, 70469, 70499, 70563, 70565, 70567, 70569, 70597, 70599, 70619, 70629
Fellbach	70734, 70736
Leinfelden-Echterdingen	70771
Filderstadt	70794
Kornwestheim	70806
Korntal-Münchingen	70825
Gerlingen	70839
Böblingen	71032, 71034
Sindelfingen	71063, 71065, 71067, 71069
Herrenberg	71083
Holzgerlingen	71088
Weil im Schönbuch	71093
Schönaich	71101
Magstadt	71106
Waldenbuch	71111
Gärtringen	71116
Grafenau	71120
Gäufelden	71126
Jettingen	71131
Aidlingen	71134
Ehningen	71139
Steinenbronn	71144
Bondorf	71149
Nufringen	71154
Altdorf	71155

Ort (Stadt, Gemeinde)	Postleitzahl
Hildrizhausen	71157
Mötzingen	71159
Leonberg	71229
Ditzingen	71254
Weil der Stadt	71263
Renningen	71272
Rutesheim	71277
Hemmingen	71282
Weißach	71287
Waiblingen	71332, 71334, 71336
Winnenden	71364
Weinstadt	71384
Kernen im Remstal	71394
Korb	71404
Schwaikheim	71409
Ludwigsburg	71634, 71636, 71638, 71640, 71642
Asperg	71679
Remseck	71686
Möglingen	71696
Schwieberdingen	71701
Markgröningen	71706
Tamm	71732
Eberdingen	71735
Nürtingen	72622
Oberboihingen	72644
Wolfschlugen	72649
Unterensingen	72669
Göppingen	73033, 73035, 73037
Ebersbach	73061
Uhingen	73066
Albershausen	73095
Hattenhofen	73110
Wangen	73117
Plochingen	73207
Kirchheim unter Teck	73230

Ort (Stadt, Gemeinde)	Postleitzahl
Wendlingen am Neckar	73240
Wernau (Neckar)	73249
Köngen	73257
Reichenbach an der Fils	73262
Hochdorf	73269
Notzingen	73274
Schlierbach	73278
Schorndorf	73614
Remshalden	73630
Winterbach	73650
Berglen	73663
Baltmannsweiler	73666
Lichtenwald	73669
Esslingen am Neckar	73728, 73730, 73732, 73733, 73734
Ostfildern	73760
Neuhausen auf den Fildern	73765
Denkendorf	73770
Aichwald	73773
Altbach	73776
Deizisau	73779
Bietigheim-Bissingen	74321
Deckenpfronn	75392

Tabelle 25: Orte des Untersuchungsgebiets

11.2 Typisierung der Strecken im Netzmodell

Typ-Nr	Bezeichnung	Kapazität [Kfz/24 h]	Fahr- streifen	Verkehrs- systeme	Ausgangsgeschwin- digkeit [km/h]
0	gesperrt	0	0		0
1	Dummy	99999	1		200
3	Anbindung Hst	99999	1		50
5	Querverbindung	99999	1		50
6	Bahntunnel	99999	1	D	50
7	Bahn	0	1	D	0
8	Bahn außen	99999	1	D	50
9	Fähre	5000	1		15
10	1_5_100_100	100000	5	2,5,6,K,L,P,X	100
11	1_4_120_85	85000	4	2,5,6,K,L,P,X	120
12	1_3_120_85	85000	3	2,5,6,K,L,P,X	120
13	1_3_130_60	60000	3	2,5,6,K,L,P,X	130
14	1_3_120_60	60000	3	2,5,6,K,L,P,X	120
15	1_3_100_60	60000	3	2,5,6,K,L,P,X	100
16	1_2_130_42	42000	2	2,5,6,K,L,P,X	130
17	1_2_120_41	41000	2	2,5,6,K,L,P,X	120
18	1_2_100_40	40000	2	2,5,6,K,L,P,X	100
19	1_2_130_50	50000	2	2,5,6,K,L,P,X	130
20	2_3_100_57	57000	3	2,5,6,K,L,P,X	100
21	2_3_80_51	51000	3	2,5,6,K,L,P,X	80
22	2_2_100_42	42000	2	2,5,6,K,L,P,X	100
23	2_2_80_36	36000	2	2,5,6,K,L,P,X	80
24	2_2_70_32	32000	2	2,5,6,K,L,P,X	70
25	2_2_100_54	54000	2	2,5,6,K,L,P,X	100
26	2_2_80_50	50000	2	2,5,6,K,L,P,X	80
27	2_1_80_18	18000	1	2,5,6,K,L,P,X	80
28	2_1_70_17	17000	1	2,5,6,K,L,P,X	70
29	2_4_60_60	60000	4	2,5,6,K,L,P,X	60
30	2_4_50_56	56000	4	2,5,6,K,L,P,X	50
31	2_3_60_46	46000	3	2,5,6,K,L,P,X	60
32	2_3_50_42	42000	3	2,5,6,K,L,P,X	50

Typ-Nr	Bezeichnung	Kapazität [Kfz/24 h]	Fahr- streifen	Verkehrs- systeme	Ausgangsgeschwin- digkeit [km/h]
33	2_2_70_30	30000	2	2,5,6,K,L,P,X	70
34	2_2_60_28	28000	2	2,5,6,K,L,P,X	60
35	2_2_50_26	26000	2	2,5,6,K,L,P,X	50
36	2_1_50_14	14000	1	2,5,6,K,L,P,X	50
37	2_1_40_13	13000	1	2,5,6,K,L,P,X	40
38	2_2_50_40	40000	2	2,5,6,K,L,P,X	50
39	2_1_60_23	23000	1	2,5,6,K,L,P,X	60
40	3_1_50_16	16000	1	2,5,6,K,L,P,X	50
41	2_3_70_60	60000	3	2,5,6,K,L,P,X	70
42	2_3_50_60	60000	3	2,5,6,K,L,P,X	50
43	R_3_65_36	36000	3	2,5,6,K,L,P,X	65
44	R_2_80_26	26000	2	2,5,6,K,L,P,X	80
45	R_2_65_24	24000	2	2,5,6,K,L,P,X	65
46	R_1_80_14	14000	1	2,5,6,K,L,P,X	80
47	R_1_65_13	13000	1	2,5,6,K,L,P,X	65
48	R_1_50_12	12000	1	2,5,6,K,L,P,X	50
49	BAB-P	2000	1	2,5,6,K,L,P,X	15
50	3_3_70_40	40000	3	2,5,6,K,L,P,X	70
51	3_2_100_34	34000	2	2,5,6,K,L,P,X	100
52	3_2_80_32	32000	2	2,5,6,K,L,P,X	80
53	3_2_70_30	30000	2	2,5,6,K,L,P,X	70
54	3_1_100_17	17000	1	2,5,6,K,L,P,X	100
55	3_1_80_16	16000	1	2,5,6,K,L,P,X	80
56	3_1_70_15	15000	1	2,5,6,K,L,P,X	70
57	3_1_65_13	13000	1	2,5,6,K,L,P,X	65
58	3_1_60_10	10000	1	2,5,6,K,L,P,X	60
59	3_1_55_9	9000	1	2,5,6,K,L,P,X	55
60	3_3_60_30	30000	3	2,5,6,K,L,P,X	60
61	3_3_50_30	30000	3	2,5,6,K,L,P,X	50
62	3_2_70_20	20000	2	2,5,6,K,L,P,X	70
63	3_2_60_20	20000	2	2,5,6,K,L,P,X	60
64	3_2_50_20	20000	2	2,5,6,K,L,P,X	50
65	3_2_45_18	18000	2	2,5,6,K,L,P,X	45
66	3_2_40_16	16000	2	2,5,6,K,L,P,X	40
67	3_1_50_12	12000	1	2,5,6,K,L,P,X	50

Typ-Nr	Bezeichnung	Kapazität [Kfz/24 h]	Fahr- streifen	Verkehrs- systeme	Ausgangsgeschwin- digkeit [km/h]
68	3_1_40_9	9000	1	2,5,6,K,L,P,X	40
69	3_1_35_8	8000	1	2,5,6,K,L,P,X	35
70	4_1_100_15	15000	1	2,5,6,K,L,P,X	100
71	4_1_80_14	14000	1	2,5,6,K,L,P,X	80
74	4_1_50_9	9000	1	2,5,6,K,L,P,X	50
75	4_1_45_8	8000	1	2,5,6,K,L,P,X	45
76	4_1_40_7	7000	1	2,5,6,K,L,P,X	40
77	4_1_35_6	6000	1	2,5,6,K,L,P,X	35
78	4_1_30_5	5000	1	2,5,6,K,L,P,X	30
79	4_1_50_6	6000	1	2,5,6,K,L,P,X	50
80	ErschlGew/1FS	7000	1	2,5,6,K,L,P,X	45
81	5_1_50_3	3000	1	2,5,6,K,L,P,X	50
82	5_1_40_3	3000	1	2,5,6,K,L,P,X	40
83	5_1_30_3	3000	1	2,5,6,K,L,P,X	30
84	5_1_25_3	3000	1	2,5,6,K,L,P,X	25
85	5_1_20_2	2000	1	2,5,6,K,L,P,X	20
86	Verkehrsberuhigter B	1500	1	2,5,6,K,L,P,X	15
90	Anliegerweg	0	1	X	0
91	Fuß-/Radweg	0	1	XF	0
92	Fußgängerzone	0	1	X	0
94	Forstweg	150	1	X	20
95	U-Bahn	99999	1	D8	50
96	Lücke Bahn Hst	99999	1	D8	50
97	Parkplatz	0	1	X	0
98	ÖV-Strecke nur auf Schie- ne	0	1	XD78C	50
99	ÖV-Strecke auf Straße	99999	1	X256	50

Tabelle 26: Streckentypen des Netzmodells