



## MODELLIERUNG HISTORISCHER REISEZEITEN IM MOTORISIERTEN INDIVIDUALVERKEHR IN DEUTSCHLAND

von VERONIKA KILLER, DENNIS GUTH, CHRISTIAN HOLZ-RAU UND KAY W. AXHAUSEN



## Inhalt

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ENTWICKLUNG DER GESCHWINDIGKEITEN AUF DEN STRASSEN DEUTSCHLANDS 1970-2006 .....</b>	<b>1</b>
2.1	Historischer Rückblick zu den PW-Geschwindigkeiten.....	1
<b>3</b>	<b>GRUNDLAGEN ZUR MODELLIERUNG VON REISEZEITEN UND STRASSENNETZDISTANZEN .....</b>	<b>2</b>
3.1	Historisches Autobahn- und Bundesstraßennetz .....	2
3.1.1	Vorgehen bei Autobahnen.....	2
3.1.2	Vorgehen bei Bundesstraßen .....	4
3.1.3	Unsicherheiten und Ungenauigkeiten.....	4
3.2	Historische durchschnittliche Geschwindigkeiten von Straßentypen .....	5
3.2.1	Das Validate-Verkehrsmodell .....	5
3.2.2	Grundlagen der historischen Geschwindigkeiten.....	6
3.2.3	Geschwindigkeitsunterschiede.....	7
<b>4</b>	<b>PARAMETERSCHÄTZUNG ZUR MODELLIERUNG VON REISEZEITEN UND STRASSENNETZDISTANZEN ...</b>	<b>8</b>
4.1	Modellparameter .....	8
<b>5</b>	<b>VALIDIERUNG DER HISTORISCHEN REISEZEITSCHÄTZUNG .....</b>	<b>9</b>
5.1	Vergleich der Geschwindigkeiten: Validate-Geschwindigkeit – eigene Geschwindigkeitsannahmen .....	9
5.2	Veränderung der Reisezeiten: Alte Bundesländer – Neue Bundesländer – Schweiz.....	10
<b>6</b>	<b>FAZIT .....</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>LITERATUR.....</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>13</b>
8.1	Attributierung des historischen Netzes.....	13

Dipl.-Geogr. Veronika Killer  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme  
CH-8093 Zürich  
Tel +41 1 633-3340  
Fax +41 1 633-1057  
[veronika.killer@ivt.baug.ethz.ch](mailto:veronika.killer@ivt.baug.ethz.ch)

Dipl.-Geogr. Dennis Guth  
Technische Universität Dortmund  
Fakultät Raumplanung  
Fachgebiet Verkehrswesen und Verkehrsplanung  
D-44221 Dortmund  
Tel 0231/755-7862  
Fax 0231/755-2269  
[dennis.guth@tu-dortmund.de](mailto:dennis.guth@tu-dortmund.de)

Prof. Dr.-Ing. Christian Holz-Rau  
Technische Universität Dortmund  
Fakultät Raumplanung  
Fachgebiet Verkehrswesen und Verkehrsplanung  
D-44221 Dortmund  
Tel 0231/755-2270  
Fax 0231/755-2269  
[christian.holz-rau@tu-dortmund.de](mailto:christian.holz-rau@tu-dortmund.de)

Prof. Dr.-Ing. Kay W. Axhausen  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme  
CH-8093 Zürich  
Tel +41 1 633-3943  
Fax +41 1 633-1057  
[axhausen@ivt.baug.ethz.ch](mailto:axhausen@ivt.baug.ethz.ch)

## MODELLIERUNG HISTORISCHER REISEZEITEN IM MOTORISIERTEN INDIVIDUALVERKEHR IN DEUTSCHLAND

VERONIKA KILLER, DENNIS GUTH, CHRISTIAN HOLZ-RAU UND KAY W. AXHAUSEN

**Zusammenfassung:** Die Straßeninfrastruktur ist während der letzten 40 Jahre stark ausgebaut worden. Der vorliegende Bericht beschreibt die Datengewinnung zur Abbildung der historischen Reisezeiten und Netzdistanzen im motorisierten Individualverkehr von 1970 bis 2006 in Deutschland.

**Summary:** The road infrastructure has been greatly expanded during the past 40 years. This report describes the data collection and modelling of the historical travel times and network distances of private transport from 1970 to 2006 in Germany.

### 1 Einleitung

Dieser Arbeitsbericht ist Teil des DFG/SNF-geförderten Forschungsprojektes „Räumliche Erreichbarkeiten und die Dynamik der Pendlerverflechtungen in Deutschland und der Schweiz, 1970-2005“. Übergeordnetes Ziel dieses Projekts ist die Analyse der räumlichen Veränderungen des Pendelns in den vergangenen Jahrzehnten. Dazu werden u.a. historische Daten zur Entwicklung des Berufsverkehrs auf der räumlichen Ebene der Gemeinden aufgearbeitet (vgl. LINK/GUTH 2010). Das Verständnis des Pendelns ist stark von den entsprechenden Reisezeiten im motorisierten Individualverkehr und im öffentlichen Verkehr abhängig. Allerdings gibt es historisch für Deutschland keinen genügend detaillierten Datensatz gemeindescharfer Reisezeiten, welcher vergleichbar mit den schweizerischen Daten wäre. Als Grundlage existiert in Deutschland zwar ein historischer Straßendatensatz (IRPUD). Einerseits ist dieser für die Zielsetzungen des Projekts von ungenügender Auflösung<sup>1</sup> und andererseits konnte aus datenrechtlichen Gründen nur eingeschränkt darauf zugegriffen werden.

Dieser Arbeitsbericht beschreibt die Aufarbeitung der Reisezeiten- und Netzdistanzmatrix auf Gemeindeebene zu vier verschiedenen Zeitpunkten: 1970, 1987, 1999, 2006. Die Zeitpunkte sind so festgesetzt, dass sie mit den im Projekt verfügbaren Pendlerdaten übereinstimmen. Die Aufarbeitung besteht aus zwei Grundlagen. Ein erster Schritt beschreibt die manuelle Rekonstruktion des historischen Netzwerkes (siehe Kapitel 3.1). Der zweite Schritt befasst sich mit den historischen Geschwindigkeiten auf den Strecken dieses Netzwerkes (siehe Kapitel 3.2). Die entstehenden Reisezeit- und Netzwerkdistanzmatrizen bilden große Datensätze, die sich aus der Anzahl der 12.302 deutschen Gemeinden zum Gebietsstand 2007 ergeben. Das Vorgehen bei dieser Aufarbeitung und die gewählten Parameter bei der Modellierung werden in Kapitel 4 beschrieben.

### 2 Entwicklung der Geschwindigkeiten auf den Straßen Deutschlands 1970-2006

#### 2.1 Historischer Rückblick zu den PW-Geschwindigkeiten

Die Straßeninfrastruktur ist in Deutschland in den letzten 40 Jahren stark erweitert worden. Dies gilt insbesondere für den Ausbau des deutschen Autobahnnetzes (siehe Abbildung 1; vgl. auch Reichert 2005).

Zur Modellierung der Reisezeiten sind nebst der historischen Netzentwicklung unterschiedliche Geschwindigkeiten ausschlaggebend. Anfang der 1970er Jahre existierte in der Bundesrepublik Deutschland außerhalb geschlossener Ortschaften keine Geschwindigkeitsbegrenzung. Die Zahl der Verkehrstoten lag im Jahr 1972 bei 21.000 und war fast dreimal so hoch wie zur Zeit der Einführung der Statistik um 1953 (STATISTISCHES BUNDESAMT 2006). Weil die Zahl der Verkehrsunfälle von 251.000 im Jahr 1953 auf 378.000 in 1972 anstieg, wurde 1972 die Einführung einer Höchstgeschwindigkeit für nicht richtungsgetrennte Straßen beschlossen (100 km/h). Seither ist die Anzahl der Verkehrstoten in Deutschland stark rückläufig (BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR 1991). Während der ersten Ölkrise galt zwischen November 1973 und März 1974 zum Zweck der Treibstoffeinsparung ein generelles Tempolimit von 100 km/h auch auf Autobahnen. Schließlich wurde dieses aufgehoben und 1974 stattdessen für Autobahnen eine Richtgeschwindigkeit von 130 km/h und richtungsgetrennte Straßen außerorts eine Richtgeschwindigkeit von 130 km/h eingeführt. In der DDR galt auf Landstraßen eine Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h und auf Autobahnen von 100 km/h<sup>2</sup>.

Tabelle 1 zeigt, dass die Fahrleistungen aller Kraftfahrzeugarten gestiegen sind, was wesentlich auf die steigende Anzahl der Fahrzeuge zurückzuführen ist. Der durchschnittliche tägliche Verkehr (DTV) in Tabelle 2 und Tabelle 3 gibt die daraus resultierende

<sup>1</sup> Es fehlen insbesondere Informationen zu Art und Umfang der baulichen Veränderungen im Zeitverlauf (z.B. Ausbau eines Streckenabschnitts von x auf y Fahrstreifen).

<sup>2</sup> <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/517246>

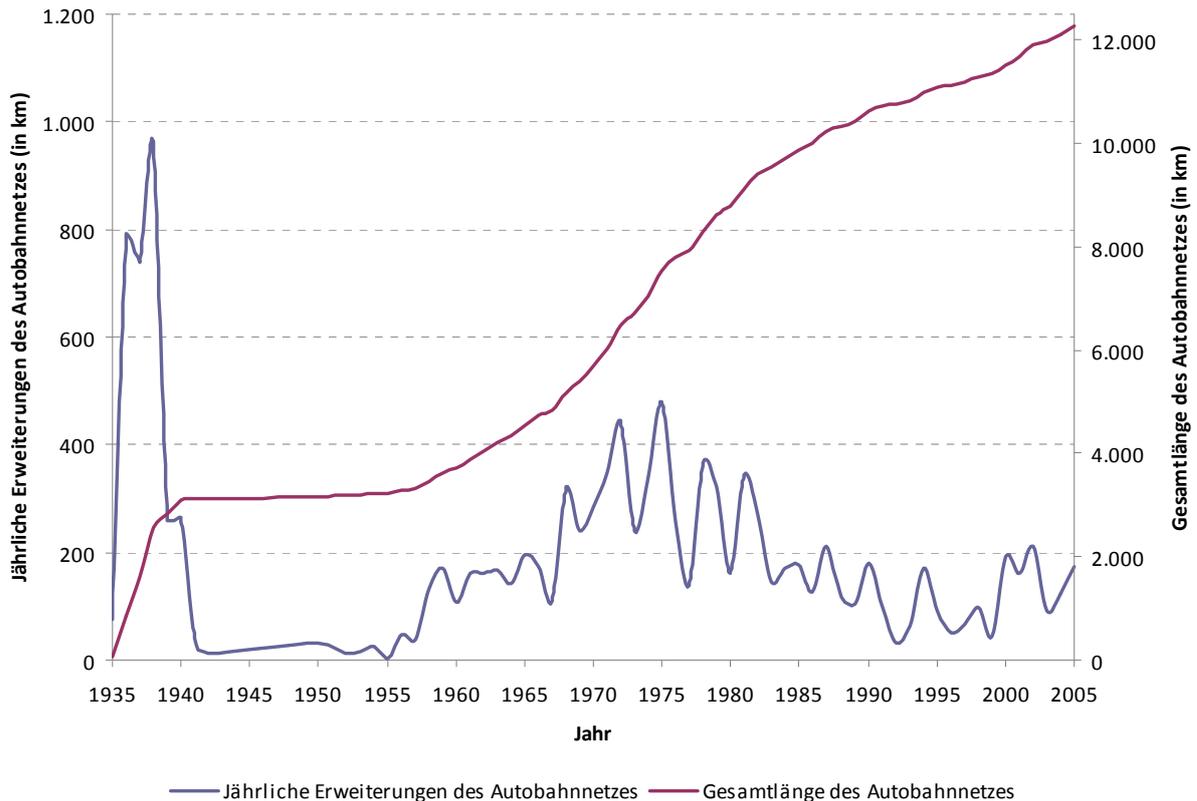


Abbildung 1: Längenentwicklung der Autobahnen in Deutschland

Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: Validate-Netz PTV, COST 340 Projekt, Straßenbauberichte, www.autobahn-online.de

zunehmende Belastung wider. Der DTV nimmt auf Autobahnen stärker zu als auf Bundesstraßen.

### 3 Grundlagen zur Modellierung von Reisezeiten und Straßennetzdistanzen

#### 3.1 Historisches Autobahn- und Bundesstraßennetz

Als Basis der Modellierung von Reisegeschwindigkeiten wurden zunächst das Autobahn- und Bundesstraßennetz manuell anhand von Karten, Tabellen und Internetquellen für die Untersuchungszeitpunkte rekonstruiert (siehe Abbildung 2). Dabei liefern v.a. die Karten sowie die zugehörigen Erläuterungstabellen der Straßenbauberichte (herausgegeben von den Bundesministerien für Verkehr) der Jahre 1971-2005/6 wertvolle Informationen. Es können grundsätzlich folgende Erkenntnisse zur Qualität und Vollständigkeit des historischen Datenmaterials festgehalten werden:

- Erst ab 1990 sind die Berichte für die Neuen Bundesländer vorhanden.

- Die Qualität der Karten ist je nach Jahr unterschiedlich:
  - 1971-1980: Räumliche Auflösung ungenau und unterschiedliche Kategorien schwierig erkennbar.
  - 1980-1995: Räumliche Auflösung genauer.
  - 1995-2005: Zusätzlich zur räumlich genaueren Auflösung sind die Kategorien besser unterscheidbar, z.B. sind die Unterschiede zwischen Autobahnen und Bundesstraßen besser ersichtlicher.

##### 3.1.1 Vorgehen bei Autobahnen

Die Neueröffnungen und Ausbaustrecken der Autobahnen werden seit Beginn des Autobahnbaus im Jahre 1921 für ganz Deutschland aufgearbeitet. Dabei werden folgende Schritte durchgeführt:

1. **Schritt:** Die Angaben zur Autobahneröffnung können aus einem gröber aufgelösten historischen Netz übernommen werden, welches im Rahmen des Transitverkehrs-System und Raumentwicklung (COST 340) Projekts am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich erarbeitet wurde. Diese Angaben werden auf das detailliertere Validate-Netz der PTV AG Deutschland mittels ArcGIS-Funktionen übertragen (Buffering und Spatial Join) und manuell korrigiert.

	1970 <sup>1)</sup>	1980 <sup>1)</sup>	1985	1990 <sup>2)</sup>	1995	2000
Mofas, Mopeds	4.60	7.60	4.70	2.70	4.30	3.80
Krafträder (inkl. LKR, KKR)	1.90	3.30	6.10	5.90	9.30	13.00
Pkw	212.90	314.30	332.50	431.50	535.10	559.50
Total Personenverkehr	219.40	325.20	343.30	440.10	548.70	576.30
Busse (und Obusse)	2.00	3.00	2.90	3.10	3.70	3.70
Lkw	26.40	33.10	29.90	33.10	52.80	58.70
Sattelzugmaschinen	2.00	4.00	4.40	5.80	9.70	13.10
Total Schwerverkehr	30.40	40.10	37.20	42.00	66.20	75.50
Anteil Schwerverkehr (%)	12.17	10.98	9.78	8.71	10.77	11.58
Total	249.80	365.30	380.50	482.10	614.90	651.80

<sup>1)</sup> Nur Alte Bundesländer für 1970 und 1980

<sup>2)</sup> Änderung der Modellierung: Die Fahrleistung wurde in den Jahren 1990, 1993, 2006 mit einer Haushaltsbefragung erhoben. Durch diese Erhebung wurde festgestellt, dass in früheren Modellierungen auf der Grundlage des Kraftstoffverbrauchs, die Fahrleistungen eher unterschätzt wurden.

**Tabelle 1: Entwicklung der Fahrleistungen in Deutschland nach Kraftfahrzeugarten (in Mrd. km)**

Quelle: Bundesanstalt für Straßenwesen, August 2008, StBA, KBA, BMVBS, DIW, BASt

	Netzlänge [km]	DTV [Kfz/24h]	Jahresfahrleistung [Mrd*km]	DTV-Veränderung [%] (2006 = 100%)
1970 <sup>1)</sup>	5'900	22'385	35.0	47
1987 <sup>1)</sup>	8'528	35'400	110.2	74
1999	11'473	47'600	199.5	99
2006	12'447	48'100	218.7	100

<sup>1)</sup> Nur Alte Bundesländer für 1970 und 1987

**Tabelle 2: Entwicklung der Verkehrsstärken auf Autobahnen**

Quelle: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007; für 1970: Verkehr auf den Bundesautobahnen 1974, Verkehr in Zahlen 1991

	Netzlänge [km]	DTV [Kfz/24h]	Jahresfahrleistung [Mrd*km]	DTV-Veränderung [%] (2006 = 100%)
1970 <sup>1)</sup>	25'499 <sup>2)</sup>	5'500	51.6	59
1987 <sup>1)</sup>	24'559	8'010	71.8	86
1999	31'859	9'160	108.2	99
2006	32'127	9'280	102.4	100

<sup>1)</sup> Nur Alte Bundesländer für 1970 und 1987

<sup>2)</sup> Wert für das Jahr 1975

**Tabelle 3: Entwicklung der Verkehrsstärken auf außerörtlichen Bundesstraßen**

Quelle: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007; für 1970: Schätzwert aus Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1997

**2. Schritt:** Die historischen Angaben zur Neueröffnung werden in diesem Schritt mit den Karten der Straßenbauberichte 1971-2005 korrigiert und ergänzt. Insbesondere Ausbaustrecken müssen neu erhoben werden. Wenn die Karten zu ungenaue Angaben liefern, werden die tabellarischen Auflistungen der Straßenbauberichte von 1971-2005 zur weiteren Korrektur verwendet. Die Genauigkeit der tabellarischen Auflistung ist besser, da die Strecken mit Anfangs- und Endpunkt beschrieben werden („von Ausfahrt X zu Ausfahrt Y“), aber zugleich auch

aufwendiger, da die Ausfahrten zuerst auf <http://maps.google.de> genau eruiert und auf den historischen Validate-Layer übertragen werden müssen. Teilweise kann die Längenangabe (in km) zur Verifizierung der Neu- oder Ausbaustrecken verwendet werden.

**3. Schritt:** Die bis zu diesem Schritt noch unklaren Strecken werden mit Hilfe der Verkehrsfreigaben (auf [www.autobahn-online.de](http://www.autobahn-online.de)) ermittelt. Diese Daten werden jedoch schon auf der Homepage als unvoll-

ständig („ohne Gewähr, wird ergänzt“) deklariert. Zudem weist die Datengrundlage des historischen Netzwerkes (aus dem COST 340-Projekt) eine überdurchschnittlich große Anzahl von Strecken mit Neubaujahr 1950 auf. Diese werden mit Daten derselben Homepage und Angaben aus dem Forum der Homepage korrigiert.

**4. Schritt:** Zudem wurde in einem letzten Schritt überprüft, dass die neu gebauten Autobahnabschnitte an eine Ein- oder Ausfahrt (wenn möglich beides) angeschlossen sind.

### 3.1.2 Vorgehen bei Bundesstraßen

Für die Darstellung der Entwicklung der deutschen Bundesstraßen werden sämtliche Angaben zu den baulichen Veränderungen seit dem Jahr 1970 berücksichtigt. Die Straßenbauberichte differenzieren nach mehreren Arten von Baumaßnahmen (Neubau, Verlegung, Ortsumgehung und Ausbau) und ermöglichen somit ein exaktes und bundesweit einheitliches Abbild der jährlichen Netzveränderungen. Die Rekonstruktion der historischen Netzzustände basiert auf folgenden Schritten:

**1. Schritt:** Die Bundesstraßengeometrien sind in einem ersten Schritt aus dem Validate-Gesamtnetz zu extrahieren, wodurch sich die Editierperformance des Datensatzes (Lade- und Speichervorgänge) deutlich erhöht. Die Anzahl der Polylinien reduziert sich durch dieses Vorgehen von ca. 668.000 auf 140.000 Elemente. Die Datei weist somit immer noch eine beachtliche – jedoch insgesamt gut zu verwaltende – Größe auf.

**2. Schritt:** Die jährlichen Veränderungen zwischen 1970 und 2006 sind anschließend mittels Karten und Tabellen nachzuvollziehen. Das ursprüngliche Netz wird zu diesem Zweck um einige zusätzliche Attributspalten erweitert (komplette Metadaten siehe Anhang):

*Attribut „ver\_jahr“:* Einzutragen ist das jeweilige Jahr, in dem die baulichen Veränderungen für den Verkehr freigegeben wurden.

*Attribut „ver\_art“:* Erfasst wird die Art der baulichen Veränderung. Unterschieden wird zwischen Neubau- und Ausbaumaßnahmen sowie zwischen Verlegungen und Ortsumgehungen.

*Attribut „Besch“:* Sofern es sich um Neu- oder Ausbaumaßnahmen handelt, wird zusätzlich vermerkt, wie viele Fahrstreifen je Fahrtrichtung zur Verfügung stehen. Die Anzahl der Fahrbahnen, d.h. das Vorliegen einer baulichen Trennung der Fahrstreifen durch einen Mittelstreifen, wird ebenfalls erfasst.

**3. Schritt:** In vereinzelten Fällen sind Unterteilungen der Polylinien zu kleinteiligeren Linienelementen erforderlich. Eine „Stückelung“ ist immer dann notwendig, wenn ein zu editierender Teilabschnitt eine

Streckenlänge aufweist, die deutlich von den Angaben im Straßenbaubericht abweicht. Um ein Beispiel zu nennen: Wurde auf einem 14 km langen Teilstück ein Ausbau von zwei auf vier Fahrstreifen vorgenommen, so ist eine Zerschneidung des Streckenabschnitts erforderlich, wenn das markierte Linienelement eine zu starke Längenabweichung von den vorgegebenen 14 km aufweist. Um ein zu häufiges „Splitten“ zu vermeiden, wurde als Toleranzschwelle eine Abweichung von  $\pm$  zwei Kilometern akzeptiert. Editierungen auf einem Teilstück zwischen 12 und 16 km gelten somit als akzeptabel; größere Unterschiede sind hingegen durch feinere Streckenaufteilungen anzupassen.

**4. Schritt:** Bei der Bearbeitung der Strecken ist generell zu prüfen, dass keine Lücken im System entstehen und die „Geschlossenheit“ somit bewahrt bleibt. Speziell bei Ortsumgehungen besteht das Problem, dass auch vor dem Bau, d.h. beim „Zurückblenden“ in die Vergangenheit, ein durchgängiger Straßenverlauf erkennbar sein sollte. Die Editierung von Ortsumgehungen erfordert somit einen visuellen Abgleich, ob der „alte Straßenverlauf“ (d.h. die Ortsdurchfahrt) im Netz erkennbar ist.

### 3.1.3 Unsicherheiten und Ungenauigkeiten

Einschränkungen bei der Rekonstruktion der historischen Netzzustände ergaben sich einerseits aufgrund unsicherer bzw. ungenauer Datenquellen sowie andererseits aufgrund festgestellter Lageungenauigkeiten.

#### Unsichere bzw. ungenaue Datenquellen:

- Es sind keine Straßenbauberichte mit Karten vor 1971 vorhanden. Daher stützen sich die Angaben für Autobahnen von früheren Jahren auf z.T. unsichere Internetquellen.
- Zum Teil stimmten die tabellarischen Daten der Straßenbauberichte nicht mit den korrespondierenden Karten überein.
- Wenn unterschiedliche Jahresangaben auftrafen, wird im Zweifelsfall das neuere Datum verwendet, da es sich womöglich beim älteren Datum um die geplante, beim späteren Fall jedoch um die tatsächliche, Eröffnung handelte.
- Bei unklaren Eröffnungsdaten von Aus- respektive Einfahrten wird immer die ältere Jahresangabe angenommen, da diese Strecke wohl als erste gebaut und damit sichergestellt wird, dass eine Autobahnstrecke nicht ohne Ein- und Ausfahrt bleibt.
- Nicht alle Baumaßnahmen in den Straßenbauberichten können eindeutig einem Straßenabschnitt im Validate-Netz zugeordnet werden. Ab Mitte der 1980er Jahre (und v.a. davor) nimmt die Genauigkeit der zeichnerischen und textlichen Darstellungen ab. Insbesondere in den 1970er Jahren nimmt die Zahl der nicht zuordbaren Fälle zu. Das Problem besteht v.a. in den



**Abbildung 2: Änderungen des Straßennetzes der Autobahnen und Bundesstraßen**

Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: Validate-Netz PTV, COST 340 Projekt, Straßenbauberichte, [www.autobahn-online.de](http://www.autobahn-online.de)

größeren Verdichtungsräumen (z.B. Ruhrgebiet, Köln, Frankfurt) und betrifft insbesondere die Bearbeitung der Bundesstraßen.

- Teilweise bestehen Lücken im Validate-Ausgangsnetz in Form zweier oder mehrerer nichtverbundener Polylinien, so dass eine Netzgeschlossenheit nicht überall gegeben ist. In solchen Fällen wird ein Netzschluss „manuell“ hergestellt.
- Fälschliche Straßenbezeichnungen sind nachträglich anzupassen.
- Aufgrund von Umwidmungen im Zeitverlauf sind bestimmte Streckenabschnitte im Validate-Netz nicht als Bundesstraße, sondern z.B. als Autobahn oder als Landstraße, klassifiziert. Zu bearbeitende (Teil-)Abschnitte sind somit nicht immer sofort und eindeutig auffindbar und erfordern teilweise eine vertiefte Recherche der jeweiligen Straßenhistorie. Als hilfreich erweist sich in diesem Zusammenhang die „Liste der Bundesstraßen in Deutschland“, die unter <http://de.wikipedia.org> zur Verfügung steht.
- Die Angaben zur (aktuellen) Anzahl der Fahrstreifen weichen im Validate-Netz teilweise von den Tabellen der Straßenbauberichte ab. In diesen Fällen ist unter Zuhilfenahme von „Google Maps“ (<http://maps.google.de>) die Richtigkeit

der jeweiligen Angabe zu klären. Bei den Autobahnen ist meist unklar, ob bei einer Teileröffnung die Strecke bereits in beiden oder nur einer Richtung befahrbar ist.

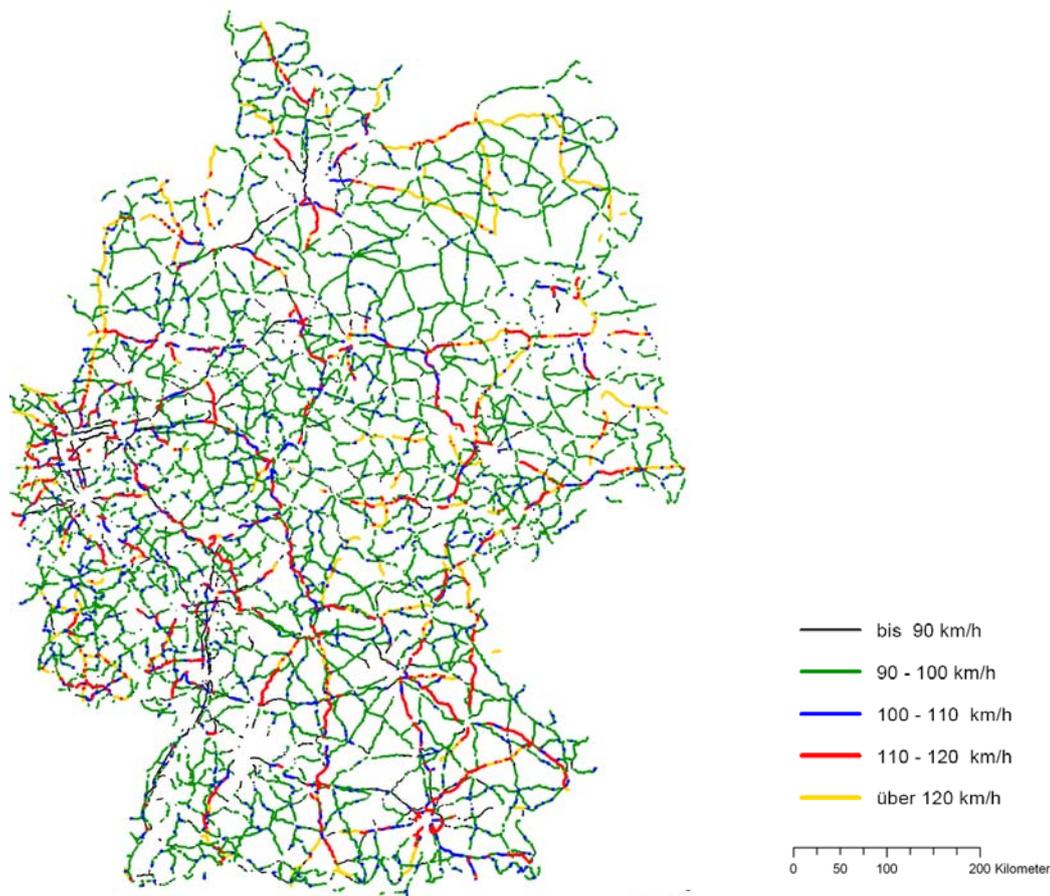
#### Lageunsicherheiten:

- Lageungenauigkeiten sind vor allem für Anfangs- und Endpunkte von Neubaustrecken entstanden, da diese auf der Karte nicht exakt lokalisierbar sind.

## 3.2 Historische durchschnittliche Geschwindigkeiten von Straßentypen

### 3.2.1 Das Validate-Verkehrsmodell

Mit dem Verkehrsmodell Validate (PTV) berechnen die Verkehrsplanungsexperten der PTV AG bereits seit einigen Jahren die Verkehrsmengen des motorisierten Individualverkehrs auf den Straßen Deutschlands. Mit seinem hohen Detaillierungsgrad bietet das Validate-Verkehrsmodell flächendeckende Verkehrsmengendaten und eine detaillierte und routingfähige Netzgrundlage für alle Hauptverkehrsstraßen



**Abbildung 3: Geschwindigkeiten von Autobahnen und Bundesstraßen im Validatenetz 2006**  
Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: Validate-Netz PTV

an. In dieser Arbeit wurde mit dem Validate-Verkehrsmodell (Release 5) für das Jahr 2006 gearbeitet. Für sämtliche Strecken ist von der PTV AG ein Attribut namens FZT\_S berechnet worden, welches die Fahrzeit unter tagesdurchschnittlicher Belastung werktags in Sekunden enthält (siehe Abbildung 3). Diese dient als Grundlage der Geschwindigkeiten auf allen Strecken. Anhand der Kurzwegsuche wird mit VISUM eine Reisezeit und Reismatrix von allen Visum-Bezirken des Jahres 2006 erstellt. Die in diesem Projekt verwendeten Bezirke sind nicht deckungsgleich mit den regulären Validate-Bezirken. Da die Reisezeiten später auf Gemeindedaten bezogen werden, wurden von der PTV AG eigens für dieses Projekt Bezirke und Anbindungen generiert, welche nie größer als einzelne Gemeinden sind. So wurde ein Überlappen der Gemeindegrenzen vermieden. Nur bei Städten bestehen die administrativen Gemeinden aus mehreren PTV Bezirken. Mit 18.900 Bezirken, 1.336.000 Strecken und 570.000 Knoten stößt man bei der Berechnung jedoch an die Grenze des technisch Machbaren. So dauerte die Berechnung der Reisezeit und Netzdistanz mit der VISUM Software auf einer Windows XP dual Core Maschine (3.33GHz) mit 3 GB RAM rund 12 Stunden. Um Daten auf Gemeindeebene zu erhalten, wurden in einem weiteren Schritt die Bezirke kleiner

der Gemeindegröße anhand des Mittelwertes auf die Gemeindeebene zusammengefügt. Dazu wurden die Matrizen in eine My-SQL Datenbank importiert und verknüpft. Aber bei diesen großen Datensätzen stößt auch die Datenbank an ihre Grenzen.

### 3.2.2 Grundlagen der historischen Geschwindigkeiten

Zur Schätzung der historischen Geschwindigkeiten wird auf die Arbeit von ERATH/FRÖHLICH (2004) zur Geschwindigkeits- und Leistungsfähigkeitsentwicklung in der Schweiz, Deutschland und den USA über den Zeitraum von 1950 bis 2000 zurückgegriffen. Methodisch stützt sich das Vorgehen auf die Arbeit von FRÖHLICH ET AL. (2004), in der aufgezeigt wird, wie ein historisches Verkehrsnetz der Schweiz erstellt wurde. Einer Strecke werden daher die durchschnittliche Geschwindigkeit und die Verkehrstärke sowie die maximale Kapazität zugeordnet. Für die Schätzung der Geschwindigkeiten in der Periode 1970 bis 2000 ist die Geschwindigkeit bei tagesdurchschnittlicher Belastung über alle Strecken des jeweiligen Typs in ganz Deutschland ausschlaggebend. Es wird im Rahmen dieser Arbeit aufgrund des Maßstabes der Untersuchung darauf verzichtet, historische Verkehr-

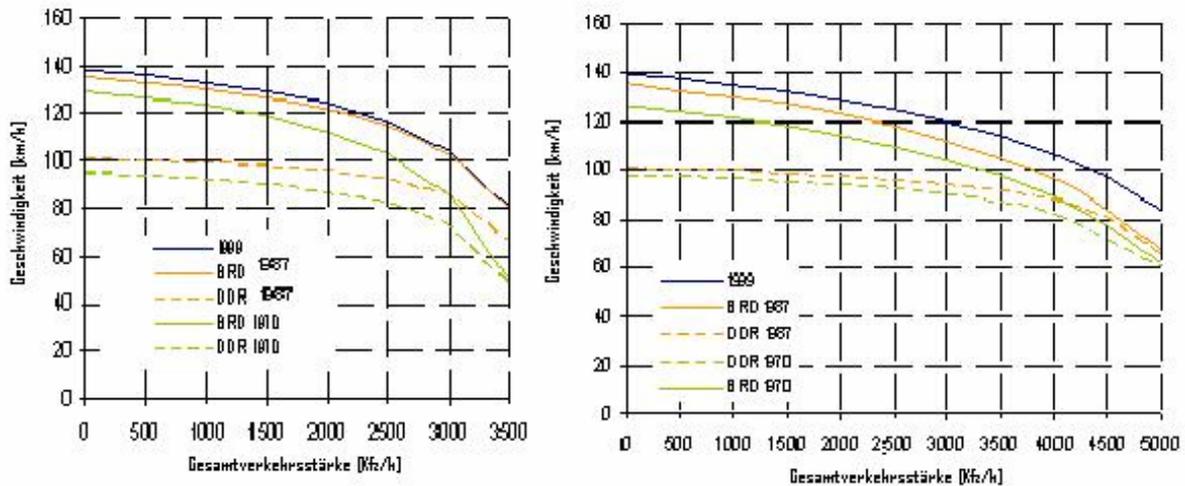


Abbildung 4: Annahmen für historische Fundamentaldiagramme  
Quelle: Eigene Darstellung

zählenden aufzuarbeiten. Deshalb sind die Schätzungen relativ schwach abgestützt. Es können keine lokalen und/oder kurzzeitigen Überlastungen modelliert werden. Dafür fehlen die notwendigen tagesfeinen historischen Datengrundlagen. Es ist jedoch mit den vorhandenen Daten möglich, eine realistische großräumige Nachbildung der historischen Verkehrsverhältnisse zu erreichen.

Problematischer sind die fehlenden historischen Daten der Verkehrszählung. Es müssen daher eine Vielzahl an Annahmen getroffen werden. Wichtige Einflussfaktoren der Verkehrsstärken werden nach DIETRICH (1964) in die zwei Grundkategorien Umwelt- und Verkehrseinflüsse sowie individuelles Fahrerverhalten eingeteilt. Es wird angenommen, dass viele Einflüsse dieser Art zusammenwirken und sich auf die Geschwindigkeitswahl und Fahrzeugabstände auswirken. Deshalb sind die q-v-Funktionen (siehe Abbildung 4) der Autobahnen und Bundesstraßen unter folgenden Vorannahmen entstanden:

- Steigung: < 3%
- Lkw/Güterverkehr-Anteil: 10%
- außerhalb Ballungsraum
- Ideale Wetterbedingungen und Straßenbreiten
- Kurvigkeit: 0-155 gon/km

Der Verlauf der q-v-Funktionen wurde unter anderem für Autobahnen und Bundesstraßen in Deutschland, wie Abbildung 4 zeigt, anhand folgender Faktoren bestimmt:

- Verlauf aus vergleichbaren Funktionen (ERATH/FRÖHLICH 2004)
- aktuelle q-v-Funktionen Deutschland (FGSV 2001)
- Messdaten der Geschwindigkeiten im freien Verkehr (ERATH/FRÖHLICH 2004)
- Geschwindigkeitsbeschränkungen (Kapitel 2)

### 3.2.3 Geschwindigkeitsunterschiede

Die Geschwindigkeiten verändern sich mit der Nachfrage. Da die Nachfragedaten historisch nicht erhältlich sind, wird hier ein vereinfachtes Verfahren gewählt. Es werden unterschiedliche Geschwindigkeitsannahmen für drei Raumkategorien unterschiedlicher Siedlungsdichte getroffen. Dies geschieht durch die Berücksichtigung unterschiedlicher Geschwindigkeitsparameter für verdichtete, unverdichtete und ländliche Regionen. Es wird davon ausgegangen, dass in verdichteten Zonen der Verkehr im Verlauf der Zeit stärker zugenommen hat als in ländlichen Gebieten. Zudem war die Verkehrszunahme auf Autobahnen größer als auf Bundesstraßen. Zwischen 1999 und 2006 war die Veränderung der Verkehrsstärken relativ gering.

Zur Abgrenzung von verdichteten und unverdichteten Regionen stützen wir uns auf die siedlungsstrukturellen Kreistypen nach Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) Stand 2008. Die Kategorien werden unterteilt in hochverdichtete Kreise und Kernstädte, verdichtete Kreise und ländliche Kreise (siehe Abbildung 5). Die Geschwindigkeitsveränderungen sind nicht eindeutig den unterschiedlichen Verdichtungszone zuzuordnen. Es wird je nach Straßentyp mit unterschiedlichen Verdichtungszone gearbeitet.

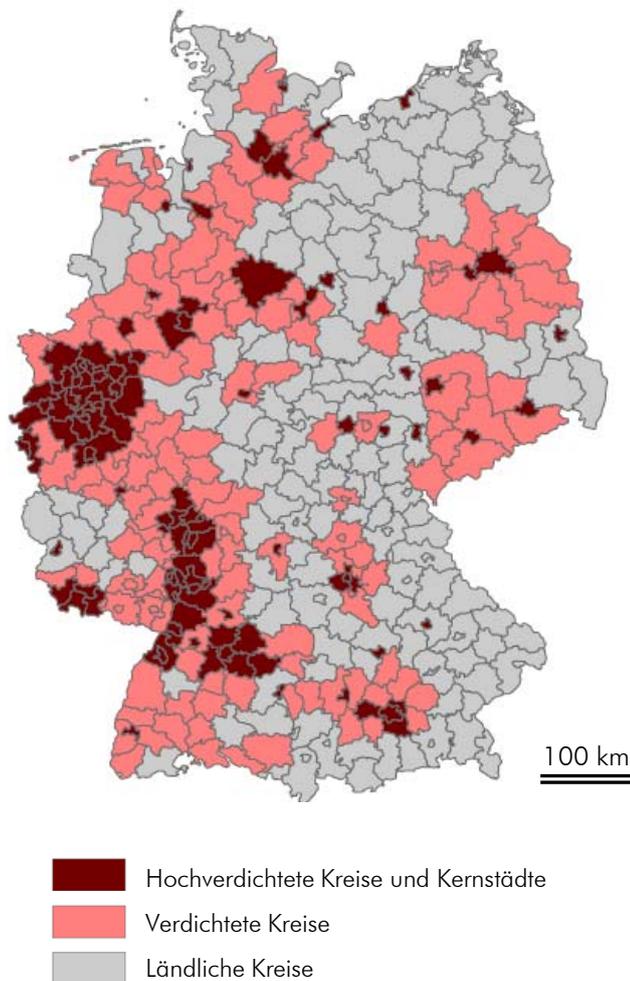


Abbildung 5: Verdichtungszone

Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: Verwaltungsgrenzenlayer des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie

## 4 Parameterschätzung zur Modellierung von Reisezeiten und Straßennetzdistanzen

### 4.1 Modellparameter

Anhand der Entwicklung des durchschnittlichen täglichen Verkehrs DTV (Tabelle 2 und Tabelle 3) wurden in einem ersten Schritt die Verkehrsstärken zu den jeweiligen Zeitpunkten (1970, 1987, 1999) abgeschätzt. In einem zweiten Schritt wurde anhand der erstellten q-v-Diagramme die Geschwindigkeit abgeleitet. Somit resultieren erste Einschätzungen der Geschwindigkeiten nach drei verschiedenen Straßentypen. Die Schätzungen der historischen Geschwindigkeiten wurden aber im Weiteren auf Grundlage der Ergebnisse der Geschwindigkeiten für 2006 des Verkehrsmodells Validate (PTV) noch weiter angepasst.

Folgende Parametereigenschaften resultieren aus den vorangehenden Analysen:

- Die Reisezeiten pro Strecke, welche aus den tagesmittleren Belastungen im Validate Verkehrsmodell berechnet werden, erscheinen relativ hoch. Wobei für diese Studie keine Belastungsdaten, sondern nur Geschwindigkeiten vorliegen. Die Analysen haben gezeigt, dass sich durch die Anpassung der Geschwindigkeiten an die Werte des Verkehrsmodells Geschwindigkeit ergeben, welche insbesondere in Spitzenstunden realistisch erscheinen. Da die Reisezeiten für die Modellierung der Pendlerbeziehungen verwendet werden, erscheint das Arbeiten mit diesen relativ niedrigen Geschwindigkeiten sinnvoll.
- Bei steigender Anzahl von Fahrstreifen kann auf Grund der zunehmenden Belastung trotz höherer Kapazität eher mit geringeren mittleren Geschwindigkeiten gerechnet werden. Für zwei und drei Fahrstreifen je Fahrbahn wird historisch ein geschätzter Wert verwendet. Da bei einem Ausbau einer Straße mit einem vorangehenden Ka-

	max. Leistungsfähigkeit [Kfz/h]	mögliche Verkehrsstärke [Kfz/h]	Geschwindigkeit – Alte Bundesländer [km/h]			Geschwindigkeit – Neue Bundesländer [km/h]		
			(Code 0)			(Code 1)		
			stark (Code 1)	mittel (Code 2)	schwach (Code 0)	stark (Code 1)	mittel (Code 2)	schwach (Code 0)
<b>Dreistreifige Autobahnen (Validate-Straßentyp 6 oder 10)</b>								
1970	5500	2000 - 2500	110	110	110	94	93	93
1987	5500	2600 - 3500	103	112	112	94	94	94
1999	5500	3000 - 5500	80 <sup>1)</sup>	100 <sup>1)</sup>	110	90 <sup>1)</sup>	110	117
<b>Zweistreifige Autobahnen (Straßentyp 14)</b>								
1970	3500	1100 - 2300	113	113	113	94	93	93
1987	3500	2000 - 2300	111	117	117	95	98	98
1999	3500	2000 - 3500	80 <sup>1)</sup>	100 <sup>1)</sup>	115	90 <sup>1)</sup>	110	130
<b>Bundesstraßen – Geschwindigkeitsbeschränkung 100 km/h (Straßentyp 18 und 27)</b>								
1970	2000	500 - 1000	99	102	102	75	77	77
1987	2300	800 - 1500	91	96	96	76	78	78
1999	2800	800 - 1500	92	96	96	92	96	96
<b>Landesstraßen – Geschwindigkeitsbeschränkung 100 km/h (Straßentyp 64 und 65 bei 1970)</b>								
1970	2000	500 - 1000	99	102	102	74	77	77
1987	2000	500 - 1500	94	97	97	77	79	79
1999	2500	500 - 1500	95	99	99	92	99	99

<sup>1)</sup> Aufgrund erster Auswertungen (siehe Kapitel 5.1) und weiterer Validierungen kann davon ausgegangen werden, dass insbesondere die Geschwindigkeiten 1999 in den stark verdichteten Regionen in den alten Bundesländern auf Grund der nachträglichen Anpassung an die Ergebnisse aus Validate etwas unterschätzt werden. Jedoch ist die Geschwindigkeit des Pendlerverkehrs in den stark verdichteten Regionen von sehr großen Unterschieden geprägt und die Abschätzung daher insgesamt schwierig.

**Tabelle 4: Annahmen für die Entwicklung der Geschwindigkeiten**  
Quelle: Eigene Zusammenstellung

- pazitätsengpass gerechnet werden kann, wird die Geschwindigkeit im Modell nicht erst bei Ausbau, sondern bereits fünf Jahre vorher reduziert (-5 km/h). Bis fünf Jahre nach Ausbau kann aber mit einer erhöhten Geschwindigkeit (+5 km/h) gerechnet werden.
- Die durchschnittlichen Geschwindigkeiten sind, sofern keine Änderungen in der Geschwindigkeitsbeschränkung eingetreten sind, auf Grund historisch steigender Verkehrsstärken eher rückläufig. Dieser Trend ist auch in der schweizerischen Entwicklung ab 1980 ersichtlich (FRÖHLICH ET AL. 2004). Die Verkehrsstärken sind jedoch regional sehr unterschiedlich, daher werden in Tabelle 4 nur grobe Bandbreiten angegeben.
- Die Geschwindigkeiten werden vor 1989 nach Alten Bundesländern (BRD) und Neuen Bundesländern (DDR) aufgeteilt. Es werden auf Grund unterschiedlicher Tempobeschränkungen andere Geschwindigkeiten gewählt und die Grenze zwischen DDR und BRD gilt im Modell als unpassierbar.

- Es werden nur die Straßentypen Autobahn (zwei- und dreistreifig), Bundesstraßen sowie Landesstraßen außerorts modelliert, welche keine streckenspezifischen Geschwindigkeitsbegrenzungen aufweisen. Für die übrigen Strecken werden pauschal die Fahrzeiten von 2006 aus dem Verkehrsmodell der PTV – auch im historischen Rückblick – übernommen.

## 5 Validierung der historischen Reisezeitschätzung

### 5.1 Vergleich der Geschwindigkeiten: Validate-Geschwindigkeit – eigene Geschwindigkeitsannahmen

Der absolute Fehler pro Strecke verteilt sich relativ gleichmäßig (siehe Abbildung 6). Beim relativen Fehler ist ersichtlich, dass die Reisezeiten in der Annahme etwas überschätzt werden, d.h. etwas zu langsame Geschwindigkeiten angenommen werden.

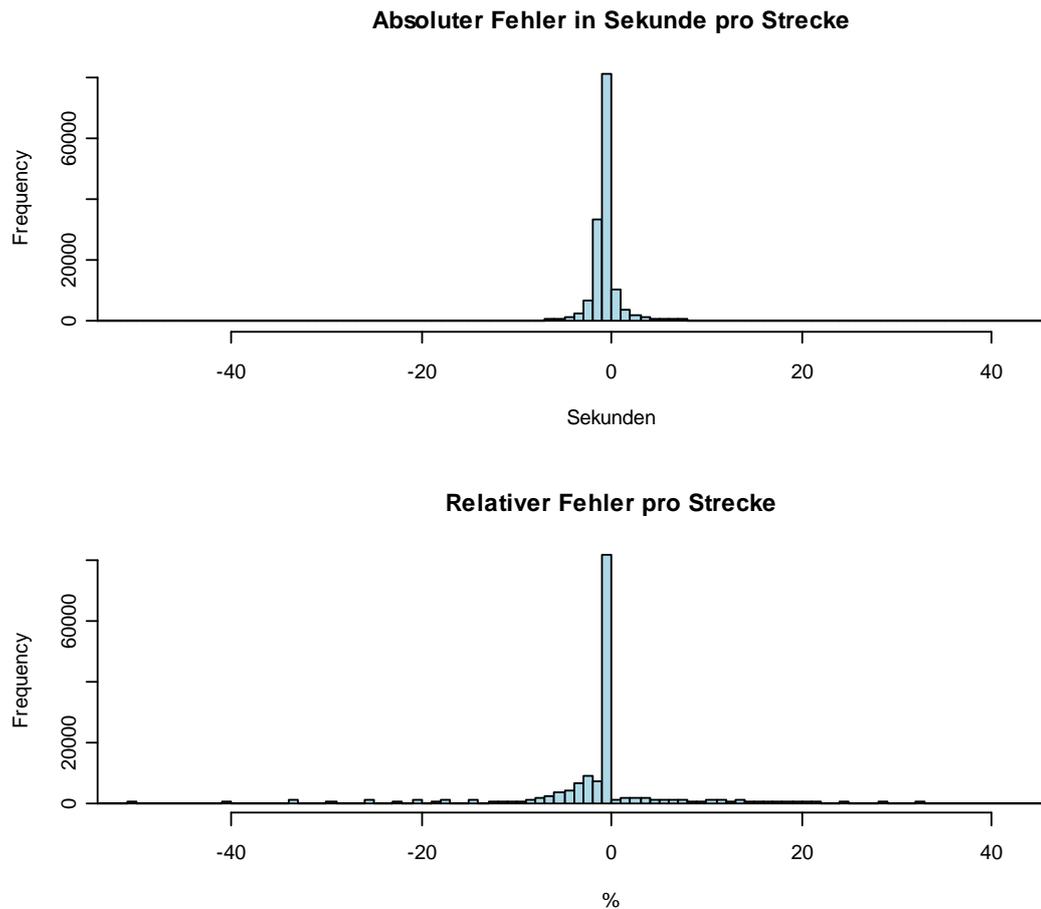


Abbildung 6: Absolute (oben) und relative (unten) Differenz zwischen Geschwindigkeiten aus dem Validate-Modell und eigenen Annahmen 2006

Quelle: Eigene Darstellung

Unterschätzt werden insbesondere die Geschwindigkeiten auf dreistreifigen Autobahnen. Dort finden sich jedoch auf Grund unterschiedlicher Belastungen große Geschwindigkeitsunterschiede. Auf Landstraßen scheint das Validate-Modell die Geschwindigkeiten eher zu überschätzen. Die Geschwindigkeiten sind regional jedoch sehr unterschiedlich, was u.a. durch die Topographie bedingt sein kann.

## 5.2 Veränderung der Reisezeiten: Alte Bundesländer – Neue Bundesländer – Schweiz

Der Vergleich der Reisezeiten (in Abhängigkeit von der Distanz) zwischen Neuen und Alten Bundesländern einerseits sowie der Schweiz andererseits verdeutlicht (siehe Abbildung 7):

.... dass sich die Reisezeiten in der Schweiz nach 1980 nur noch sehr geringfügig verbessern.

.... dass sich die Reisezeiten auf Grund des Ausbaus und der Aufhebung der Tempobeschränkungen in

den Neuen Bundesländer über die Periode kontinuierlich verkürzt haben.

.... dass die Reisezeiten in den Alten Bundesländern um 1987 am kürzesten waren. Seither sind die Reisezeiten leicht zunehmend und die aktuellen Reisezeiten grundsätzlich länger als jene in der Schweiz.

.... dass ein realistisches Bild der Reisezeitentwicklung der unterschiedlichen Länder entsteht. Die Ergebnisse dieser Quer- und Längsschnittanalyse können durch den historischen Vorsprung der Alten Bundesländer hinsichtlich Infrastrukturausbau und Mobilisierungsraten gegenüber der Schweiz begründet werden.

Weitere Validierungen zeigen nicht nur nationale sondern auch relativ große regionale Unterschiede der Reisezeiten innerhalb von Deutschland und der Schweiz (KILLER ET AL. 2010).

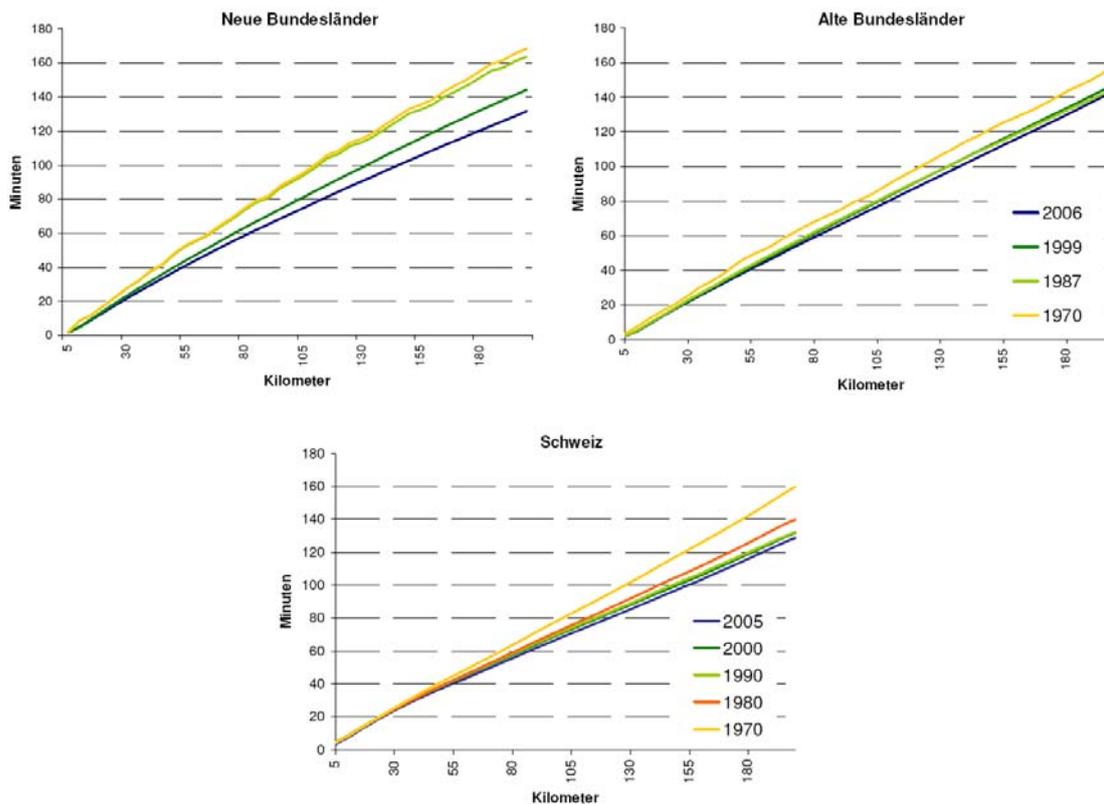


Abbildung 7: Reisezeiten der Länder im Vergleich  
Quelle: Eigene Darstellung

## 6 Fazit

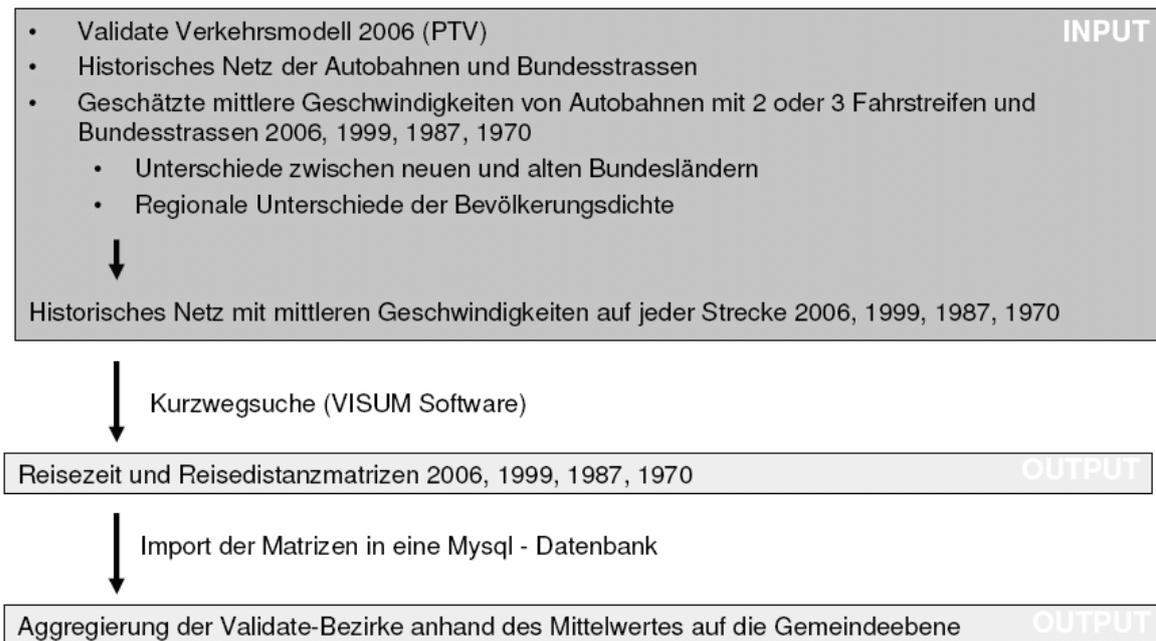
Der Arbeitsprozess (siehe Überblick in Abbildung 8) der Generierung der historischen Reisezeiten war insgesamt sehr zeitaufwändig. Schon die Aufarbeitung des physischen historischen Netzwerkes zeichnete sich durch einen großen manuellen Aufwand aus. Die große Datenmenge erschwerte die verschiedenen Schritte und die nachträglichen Korrekturarbeiten. Das methodische Vorgehen stützt sich auf ein in der Schweiz durchgeführtes Projekt. Zu bedenken ist, dass die entstandenen Reisezeitmatrizen für Deutschland rund 40 mal größer sind, wodurch die hier verwendete Software (VISUM, R und MySQL-Datenbank) an ihre Grenzen geführt wurden. Das Vorgehen erfordert zudem viele Arbeitsschritte und ist durch den kombinierten Einsatz der verschiedenen Programme ungenügend automatisiert. Aus unserer Erfahrung sollte deshalb künftig mit flexibleren Programmen gearbeitet werden, welche eine Programmierung der Arbeitsroutinen zulassen. Dann wären auch Korrekturen und Wiederholungen leichter durchführbar, welche bei diesem eher explorativ geprägten Vorgehen sehr wichtig wären.

Grundsätzlich ist es eine Herausforderung, die räumliche und zeitliche Komponente der Geschwindigkeitsentwicklung angemessen zu berücksichtigen. Die Größe des Landes macht es sehr schwierig, mit

Geschwindigkeiten pro Straßentyp zu arbeiten, denn Deutschland hat sich sowohl historisch als auch räumlich unterschiedlich entwickelt. Die Schweiz ist auf Grund seiner ausgeprägten Topographie einfacher in Räume unterschiedlicher Geschwindigkeiten zu unterteilen.

Im Gegensatz zum schweizerischen Vorgehen wurde in dieser Arbeit auf ein bestehendes Verkehrsmodell zurückgegriffen. Die Ergebnisse aus dem Validated Verkehrsmodell 2006 basieren jedoch auch auf Modellannahmen und weisen Abweichungen zur Realität auf. Die Geschwindigkeitsannahmen beruhen stark auf den Validated Schätzungen, da keinerlei verlässliche historische Datengrundlagen verfügbar waren. Grundsätzlich sind die Geschwindigkeitsannahmen in dieser Arbeit eher schwach gestützt. Dieser Mangel könnte mit zusätzlichen Detailstudien für einzelne Teilräume (zum Beispiel Region Rhein-Ruhr oder Großraum Berlin) behoben werden. Wenn der Fokus auf einem Teilraum liegt, würde es der Arbeitsaufwand zulassen, regionale Verkehrszählungen aufzuarbeiten. Verschiedene historische Szenarien könnten dann innert vernünftiger Zeit gerechnet werden. Basierend auf diesen Detailstudien könnte das hier vorliegende nationale historische Modell verbessert werden.

Die Modellierung der historischen Reisezeiten und die resultierenden Ergebnisse könnten mit der vorge-



**Abbildung 8: Arbeitsprozess Modellierung der historischen Reisezeiten**  
Quelle: Eigene Darstellung

schlagenen technischen und inhaltlichen Methode verbessert werden. Der Stand, wie er hier vorliegt, wird jedoch den Projektanforderungen soweit gerecht. Die Reisezeiten, welche das Pendlerverhalten maßgeblich beeinflussen, bieten eine substantielle Verbesserung zu den euklidischen Distanzen. Auch die kürzeste Netzwerkdistanz wäre letztlich unzureichend, da große räumliche Unterschiede in der Netzwerkgeschwindigkeit vorliegen.

Das physische Straßennetz für die Autobahnen und Bundesstraßen wurde mit wenigen Lücken seit 1970 aufgearbeitet. Dieses liegt im Shapefile-Format (Attribute siehe Anhang) vor und kann als solches gut für weitere Projekte verwendet werden.

## Dank

Wir danken der Hilfsassistentin Stefanie die Rocco des Institutes für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich und den studentischen Hilfskräften Sascha Denneng, Selina Herrmann, Moritz Lohmann, Carsten André Schulz des Fachgebietes Verkehrswesen und Verkehrsplanung (Fakultät Raumplanung) der TU Dortmund, die das historische Netzwerk bearbeitet haben.

## 7 Literatur

- Bundesminister für Verkehr (1991): Verkehr in Zahlen 1991, 20. Jahrgang, Bonn.
- Dietrich, K. (1964): Zulässige Belastung, Forschungsauftrag: Massgebender Verkehr und zulässige Belastung, 1. Teilbericht, Institut für Orts-, Regional- und Landesplanung, ETH, Zürich.
- Erath, A; Fröhlich, P. (2004): Die Geschwindigkeiten im PW-Verkehr und die Leistungsfähigkeiten von Straßen über den Zeitraum 1950-2000, Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung, 183, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2001): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Köln.
- Fröhlich, P.; Frey, T.; Reubi, S.; Schiedt, H.-U. (2004): Entwicklung des Transitverkehrs Systems und deren Auswirkung auf die Raumnutzung in der Schweiz (COST 340): Verkehrsnetz-Datenbank, Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung, 208, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Killer, V.; Axhausen, K. W.; Guth, D.; Holz-Rau, C. (2010): Understanding regional effects of travel times in Switzerland and Germany 1970-2005, paper presented at the 50th European Regional Science Association (ERSA), Jönköping, Sweden, August 2010.
- Link, C.; Guth, D. (2010): Erschließung gemeindescharfer Pendlerdaten der Volkszählungen 1970 und 1987. Hinweise zu Verfügbarkeit und Aufbereitungsmöglichkeiten, Arbeitspapiere des Fachgebiets Verkehrswesen und Verkehrsplanung, 17, Fakultät Raumplanung, TU Dortmund, Dortmund.
- Reichert, S. (2005): Raum-zeitliche Analyse der Entwicklung des deutschen Autobahnnetzes und seine spezifische Wirkung auf die Flächennutzung und ausgewählte Wirtschafts- und Bevölkerungsdaten, Diplomarbeit, Institut für Geographie, Technische Universität Dresden, Dresden.
- Statistisches Bundesamt (2006): Datenreport 2006 – Zahlen und Fakten über die Bundesrepublik Deutschland, Bonn.

## 8 Anhang

### 8.1 Attributierung des historischen Netzes

*NO*: Streckennummer nach Validate (PTV)

*NAME*: Streckenname nach Validate (PTV)

*ver1\_jahr*: Jahr der ersten Veränderung des Netzes: Historisiert wurden die Daten nach den Straßenbau-berichten 1970-2006. Ergänzt wurden Autobahn-Neubaustrecken seit 1930 (diverse Quellen). Jahrzahl 1900 heißt unbestimmtes Jahr vor 1950

*ver2\_jahr*: Jahr der zweiten Veränderung des Netzes: Historisiert wurden die Daten nach den Straßenbau-berichten 1970-2006. Ergänzt wurden Autobahn-Neubaustrecken seit 1930 (diverse Quellen). Jahrzahl 1900 heißt unbestimmtes Jahr vor 1950

*ver1\_art*: Art der ersten Veränderung: Neubau, Ausbau, Ortsumgehung, Verlegung

*ver2\_art*: Art der zweiten Veränderung: Neubau, Ausbau, Ortsumgehung, Verlegung

*ver1\_FahrV*: Anzahl Fahrstreifen vor erster Veränderung (Neubau: Vorher gab es keinen Fahrstreifen; Verlegung: Vorher hat mindestens 1 Fahrstreifen bestanden; Ausbau: Vorher hat bereits mindestens 1 Fahrstreifen bestanden)

*ver1\_FahrN*: Anzahl Fahrstreifen nach erster Veränderung

*ver2\_FahrV*: Anzahl Fahrstreifen vor zweiter Veränderung

*ver2\_FahrN*: Anzahl Fahrstreifen nach zweiter Veränderung

*besch12*: Bemerkungen zu erster Veränderung

*besch22*: Bemerkungen zu zweiter Veränderung

*trennung*: Getrennte Fahrbahnen

*split*: Veränderung der Validate-Netzgeometrie

*FZT\_NEU*: Neue Fahrzeit mit veränderter Geometrie

*R\_FZT\_NEU*: Neue Fahrzeit mit veränderter Geometrie