

## Verbesserung der Methoden zur Prognose der Kfz-Bemessungsverkehrsstärken

FA 1.166

Forschungsstelle: PTV Planung, Transport Verkehr AG, Karlsruhe

Bearbeiter: Johanning, K. / Walther, C. / Waßmuth, V. / Wieczorek, T. / Tucharaktschiew, S.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: März 2008

### 1 Aufgabenstellung

Die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen orientiert sich unter ökonomischen Aspekten nicht an der absoluten Spitzenstunde der Belastung, sondern an einem darunterliegenden Wert. Dieser wird mithilfe von Dauerlinien ermittelt, die die 8 760 Stunden des Jahres nach der Höhe ihres Verkehrsaufkommens absteigend sortieren. Als ein Maß für die Festlegung der benötigten Kapazität für eine Straßenverkehrsanlage ist in der Vergangenheit in der Regel die 30. Stunde der Dauerlinie verwendet worden, wobei dieses Vorgehen in der Fachwelt viel diskutiert wird.

Wesentliche Kritikpunkte an diesem Verfahren sind,

- dass die benötigten Dauerlinien nur für die Dauerzählstellen der Bundesfernstraßen gemessen vorliegen und daher für alle anderen Strecken festgelegt werden muss, welche Dauerzählstelle für die Ableitung der dort anzuwendenden Dauerlinie maßgebend ist,
- dass bei hoch ausgelasteten Strecken, für die ein Ausbau vorgesehen ist, die tatsächliche Spitzennachfrage aufgrund von Ausweichverkehren und Staus nicht durch die Dauerlinie abgebildet wird,
- dass bei Neubaustrecken historische Dauerlinien nicht vorliegen und
- dass die Bemessung von Neu- und Ausbaumaßnahmen prinzipiell im Hinblick auf die zukünftig erwartbare Nachfrage ausgelegt sein muss und sich weniger an historischen Daten orientieren sollte, also prognostische Elemente in das Verfahren aufgenommen werden sollten.

Konsequenter Weise hat die Bundesanstalt für Straßenwesen das vorliegende Forschungsprojekt "Verbesserung der Methoden zur Prognose der Kfz-Bemessungsverkehrsstärken" ausgeschrieben, mit dem insbesondere der Einfluss sich verändernder Rahmenbedingungen, z. B. der Einwohner- und Beschäftigungssituation, auf die Ausprägung der Dauerlinien untersucht werden soll. Um dabei netzweite Informationen zu den Dauerlinien zu erhalten, wurde der Einsatz eines Verkehrsmodells gefordert. Die vorliegende Untersuchung kann nur einen ersten wichtigen Einstieg in diese Thematik darstellen, da sie sich der Ausschreibung folgend auf die Bundesfernstraßen im Außerortsnetz und hierbei in ihrer prognostischen Abschätzung auf Einflussgrößen für den Pkw-Verkehr beschränkt.

### 2 Erhebung bei den Baulasträgern

Die im Rahmen des Projekts zu Beginn durchgeführte Erhebung bei den Baulasträgern hatte zum Ziel, die dort üblichen Vorgehensweisen bei der Festlegung von Bemessungsverkehrsstärken zu ermitteln. Es sollten mögliche Defizite der bis-

herigen Verfahren sowie Aussagen abgefragt werden, welche Aspekte in Erweiterung bisheriger Verfahren berücksichtigt werden sollten, um eine bessere Prognosefähigkeit von Kfz-Bemessungsverkehrsstärken zu ermöglichen. Da der Schwerpunkt der gesamten Untersuchung vorrangig auf dem Außerortsnetz lag, richtete sich die Erhebung insbesondere an die Straßenbauverwaltungen der Bundesländer. Insgesamt wurden 12 der daher 16 Fragebögen beantwortet.

Die zuständigen Verwaltungen der einzelnen Bundesländer gaben an, dass jeweils anzuwendende Verfahren zur Bestimmung der Bemessungsverkehrsstärken in den meisten Fällen selbst festzulegen. Eine klare Trennung lässt sich bei der Durchführung (Anwendung) des Verfahrens aber nicht feststellen. Diese wird sowohl extern (Planungs- bzw. Ingenieurbüro) als auch von Länderverwaltungen selbst vorgenommen. Aus der Tatsache, dass die Länderverwaltungen überwiegend sowohl am Prozess der Festlegung als auch an dem Prozess der Durchführung des Verfahrens beteiligt sind, lässt sich auf eine entsprechende Sensibilisierung der Verwaltungen schließen, da sie durch die im Rahmen der Befragung getroffenen Aussagen und Hinweise mit den daraus ableitbaren Schlussfolgerungen und den damit verbundenen Verfahrenserweiterungen später unmittelbar konfrontiert werden. Es wurde ferner hervorgehoben, dass die Erarbeitung eines prognosefähigen Verfahrens von den Länderverwaltungen begrüßt wird.

Die Länderverwaltungen machten deutlich, dass Modellrechnungen im Rahmen der Bestimmung von Kfz-Bemessungsverkehrsstärken bereits schon bei kleineren Projekten (Ausbau) zum Einsatz kommen. Trotz der Bedeutung von Modellrechnungen findet allerdings auch die Trendprognose gemäß HBS 2001 noch häufige Anwendung, was durch eine Fortschreibung von Zunahmefaktoren unter Beachtung zusätzlicher Einflussparameter (z. B. regionale Einflüsse) berücksichtigt werden kann. Generell beabsichtigen die Länderverwaltungen diese Methoden auch zukünftig einzusetzen. Allerdings wurde bemängelt, dass keine hinreichende regionale Differenzierung erfolgt (die im HBS enthaltenen Zunahmefaktoren der Fahrleistungen beinhalten keine regionale Differenzierung). Eine solche regionale Differenzierung sei aber notwendig, da zum Teil gravierende Unterschiede zwischen den Regionen bekannt sind.

Weiterhin merkten die Länderverwaltungen an, dass sich veränderte Rahmenbedingungen (z. B. Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftsleistung, Raumstruktur/Siedlungsentwicklung) und damit veränderte verkehrliche Beziehungen auf die Aussagekraft der ermittelten Kfz-Bemessungsverkehrsstärken auswirkten, sodass durch eine entsprechende Einbeziehung prognostischer Elemente bzw. die Berücksichtigung veränderter Rahmenbedingungen ein erhebliches Potenzial für Verfahrensverbesserungen besteht. Bezüglich der Anforderungen an ein zukünftiges Verfahren wird deutlich, dass die befragten Länderverwaltungen trotz der damit in Verbindung stehenden erhöhten Anforderungen an eine benötigte Datenbasis mehrheitlich für ein detaillierteres Verfahren sind, welches auch Einzelaspekte, also z. B. regionale Besonderheiten, berücksichtigt.

### 3 Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Bestimmung der Einflussfaktoren auf Umfang und Struktur der Personenverkehrsnachfrage im Straßenverkehr

Der Verlauf von Ganglinien wird maßgeblich durch die Zusammensetzung der Verkehrszwecke – Aktivitäten, zu deren Teilnahme Ortsveränderungen notwendig sind – und deren

charakteristische zeitliche Strukturen beeinflusst. Die Zeitstrukturen werden wiederum selbst durch rechtliche, organisatorische und institutionelle Rahmenbedingungen bestimmt. Das Verkehrsaufkommen variiert zudem mit dem Angebotssystem, d. h. sowohl mit dem örtlich vorhandenen Verkehrsangebot als auch mit der Lage und Funktion des betrachteten Streckenelements im Siedlungsraum und Standortssystem potenzieller Aktivitätenstandorte. In diesem Zusammenhang können somit die Siedlungs- und Flächennutzungsstruktur wie auch die Bevölkerungsstruktur des betrachteten Gebiets – mit dem Begriff "Raumstruktur" zusammengefasst – Einflussgrößen für die Nachfrageganglinien und letztlich die Streckenbelastungen darstellen.

Das Mobilitätsverhalten wird hinsichtlich der zeitlichen Strukturen zudem durch soziodemografische (Alter, Geschlecht der Person, etc.) und sozioökonomische Personenmerkmale (Bildung, Stellung im Haushalt, Erwerbstätigkeit, Pkw-Verfügbarkeit, etc.) sowie durch individuelle Einstellungen und Präferenzen bestimmt. Ändern sich die hier genannten Einflussfaktoren, so treten auch Veränderungen bezüglich des Verkehrsbildes bzw. der Ganglinien auf. Dabei kann sich sowohl die Gesamtbelastung oder die Spitzenbelastung als auch die zeitliche Verteilung an einem Querschnitt, d. h. die Belastungsganglinie, verändern.

Auf Basis der bisherigen Eingangsparameter (Aktivitäten, Raumkategorien, Soziodemografie) des im Forschungsvorhaben verwendeten Straßennetz- und Datenmodells VALIDATE der PTV wird die repräsentative Erhebung zum Verkehrsverhalten "Mobilität in Deutschland" (MiD) aus dem Jahre 2002 ausgewertet. Es werden die Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Personen- und Wegemerkmalen überprüft, um so ihren charakteristischen Einfluss auf die Nachfragestrukturen zu ermitteln.

Bisher werden in VALIDATE fünf Aktivitäten unterschieden: Wohnen, Beruf, Dienstlich/Geschäftlich, Einkauf und Sonstiges. Auf Basis der MiD lassen sich jedoch noch drei weitere Aktivitäten differenzieren: Ausbildung, Begleitung und Freizeit. Anhand einer Analyse bezüglich der Wegelängenanteile ist deutlich zu erkennen, dass Begleit- und Ausbildungswege im Vergleich zu Freizeitwegen überwiegend im Nahbereich (Entfernung < 6 km) durchgeführt werden. Aufgrund dieser Ergebnisse und vor dem Hintergrund, dass sich das Forschungsvorhaben auf die Prognose der Kfz-Bemessungsverkehrsstärke für Außerorts beschränkt, wird "Freizeit" aus der bisherigen Aktivitätengruppe "Sonstiges" herausgelöst und als eigenständige Aktivität betrachtet. Da die Aktivität "Ausbildung" im Vergleich zur Aktivität "Begleitung" ausgeprägte Spitzenstunden im tageszeitlichen Verlauf erkennen lässt und dies im Zusammenhang mit Dauerlinien von Bedeutung ist, wird auch "Ausbildung" eigenständig im Modell berücksichtigt. Die Aktivität "Begleitung" bleibt weiterhin in der Aktivitätengruppe "Sonstiges" enthalten. Die Anzahl der im Modell VALIDATE berücksichtigten Aktivitäten erhöht sich damit auf sieben: Wohnen, Beruf, Ausbildung, Dienstlich/Geschäftlich, Einkauf, Freizeit und Sonstiges.

Die Analysen bezüglich neuer Raumkategorien lassen die Möglichkeit einer stärkeren Differenzierung der drei bisher betrachteten BBR-Regionsgrundtypen (Agglomerationsräume, Verstädterte Räume und Ländliche Räume) erkennen. Hierzu werden die in der MiD erkennbaren neun BBR-Kreistypen, die den drei BBR-Regionsgrundtypen eindeutig zugeordnet werden können, in Bezug auf verschiedene Wegemerkmale (Startzeiten der Wege, Wegezwecke, Zuordnung Quelle-Ziel-Gruppe etc.) statistisch untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass nicht alle Kreistypen innerhalb eines Regionsgrundtyps signifikante Unterschiede erkennen lassen. Es werden daher im Modell nicht alle neun BBR-Kreistypen unterschieden, sondern einige

von ihnen werden zu neuen Typen zusammengefasst. Es ergeben sich so insgesamt sechs neue Kreistypen.

Bisher wurden in VALIDATE acht Altersklassen unterschieden, auf deren Basis sich zusammen mit den Merkmalen "Erwerbsstatus" und "Pkw-Verfügbarkeit" insgesamt 21 verschiedene verhaltenshomogene Personengruppen unterscheiden lassen. Innerhalb der bisherigen Altersklasseneinteilung umfassen zwei Klassen eine größere Jahresspanne als die anderen Klassen: Altersklasse 6 (25-44 Jahre) und Altersklasse 8 (> 64 Jahre). Diese werden nun jeweils in zwei neue Klassen aufgeteilt und bezüglich verschiedener soziodemografischer Merkmale und Wegemerkmalen statistisch untersucht: Altersklasse 6neu (25-34 Jahre), Altersklasse 7neu (35-44 Jahre), Altersklasse 9neu (65-74 Jahre) und Altersklasse 10neu (> 74 Jahre).

Es zeigen sich signifikante Unterschiede in Bezug auf die angrenzenden Altersklassen. Im Hinblick auf den demografischen Wandel – vor allem die Alterung der Bevölkerung – ist in Zukunft mit einer stärkeren Besetzung der höheren Altersklassen zu rechnen. Des Weiteren ist zu erwarten, dass die älteren Menschen der Zukunft aufgrund der heutigen Mobilitätsmöglichkeiten (zunehmender Führerscheinbesitz) im Vergleich zu den gleichaltrigen Personen von heute ein größeres Mobilitätsangebot zur Verfügung haben und dadurch vergleichsweise mobiler sein werden. Auf Basis von nun zehn Altersklassen ergeben sich insgesamt 27 verhaltenshomogene Personengruppen.

### 3.2 Modellrechnungen zur Erzeugung von Gang- und Dauerlinien

Grundlage der Verkehrsprognose ist das deutschlandweite Verkehrsmodell VALIDATE, für das eine komplette und detaillierte Netz- und Nachfrageabbildung für die Analyse 2004 vorliegt. Ausgehend von den zur Verfügung stehenden Ganglinien der Verkehrsnachfrage für verschiedene Fahrzwecke bzw. Quelle-/Zielgruppen wurden für die Strecken des verwendeten Netzmodells Belastungsganglinien für unterschiedliche Tage bzw. Tagestypen berechnet. Dazu wurden zunächst tagfeine sowie stundenfeine Nachfragematrizen für jeden Wochentag (bzw. jede Gruppe von Wochentagen) erstellt. Die Matrizen wurden dann auf das Netz umgelegt, woraus sich der zeitliche Verlauf der Verkehrsbelastung ergab.

Der Schlüssel zur Aufteilung der Verkehrsnachfrage in verschiedene Tages- und Stundengruppen ist dabei die Betrachtung der einzelnen Wegezwecke. Die räumliche und zeitliche Verteilung der Mobilität wird maßgeblich durch die Wegezwecke determiniert. Für die Hochrechnung der stündlichen Belastungswerte einer Woche wurden Jahresganglinientypen verwendet. Die Zuweisung der einzelnen Strecken zu Jahresganglinientypen erfolgte hierbei durch die Umlegung spezieller Ferienmatrizen und der damit möglichen Identifizierung des Einflusses des Ferienverkehrs auf dem jeweiligen Streckenabschnitt. Mit diesen Einflussfaktoren (zeitliche Verteilung für jeden Wochentag und Hochrechnung auf Jahreswerte) ist es möglich, für alle 8 760 Stunden eines Jahres eine Verkehrsmenge abzuschätzen und durch entsprechende Reihung eine Dauerlinie aufzustellen. Durch dieses Vorgehen liegen die Dauerlinieninformationen nicht nur für die (wenigen) Strecken mit Dauerzählstellen vor, sondern flächendeckend für alle Strecken des Verkehrsmodells und somit auch in nachgeordneten und weniger belasteten Netzteilen.

Die modellhaft ermittelten Dauerlinien, aber auch alle dazu erforderlichen Zwischenschritte wie Tagesfaktoren, Ganglinien usw., lassen sich mit den Aufbereitungen der Dauerzählstellen streckenfein vergleichen. Der Vergleich zwischen der Modellierung und den Zählwerten zeigt die grundsätzliche Möglichkeit des Modells, die Besonderheiten der Dauerlinien-

verläufe abzubilden. Der für die Projektbearbeitung relevante Untersuchungsschwerpunkt der Änderung des Dauerlinienverlaufs in der Zukunft kann mit diesem Ansatz gewährleistet werden.

**3.3 Clustering der Tagesganglinien auf Basis der Modellergebnisse**

Aus den sich aus dem Verkehrsmodell ergebenden rund 230 000 richtungsbezogenen Tagesganglinien der Analyse 2004 für die Tagestypen Montag–Donnerstag (Mo–Do), Freitag (Fr), Samstag (Sa) und Sonntag (So) wurde ein Set möglichst repräsentativer Tagesganglinien abgeleitet. Hierfür wurde zunächst geprüft, welche Einflussfaktoren eine Unterscheidung der Tagesganglinien (Belastungsganglinien) ermöglichen. Als Unterscheidungskriterien wurden die Merkmale Streckentyp, DTV/Fahrstreifen, Lkw-Anteil und Regionstyp mit entsprechenden Merkmalsklassen herangezogen. Anschließend wurden die Tagesganglinien den sich jeweils ergebenden Kombinationen von Merkmalsklassen zugeordnet.

In einem weiteren Schritt wurde aus den einzelnen Kombinationen von Merkmalsklassen zugeordneten Ganglinien eine Repräsentativganglinie (Musterganglinie) gebildet, welche als Repräsentant jeder Merkmalsklassenkombination angesehen werden kann. Um eine sinnvolle Bestimmung von Repräsentativganglinien zu ermöglichen, mussten die Tagesganglinien außerdem hinsichtlich ihres Verlaufs typisiert werden. Dabei wurden sowohl beim Tagestyp Montag–Donnerstag als auch beim Tagestyp Freitag die Ganglinientypen Morgenspitze, tagsüber relativ ausgeglichen, Doppelspitze, Nachmittagsspitze, beim Tagestyp Samstag die Ganglinientypen Vormittagsspitze, Nachmittagsspitze, Abendsspitze, tagsüber relativ ausgeglichen, Doppelspitze (Vormittag–Nachmittag) und beim Tagestyp Sonntag die Ganglinientypen tagsüber relativ ausgeglichen, Nachmittagsspitze und Abendsspitze berücksichtigt. Insgesamt resultierte daraus in Abhängigkeit des Tagestyps eine bestimmte Anzahl von Merkmalsklassenkombinationen.

Aus jenen Tagesganglinien, die bezüglich eines definierten Ähnlichkeitsmaßes homogen waren, konnte dann eine "neue" Repräsentativganglinie gebildet werden. Zu diesem Zweck wurden mittels einer Clusteranalyse die vorhandenen Merkmalsklassenkombinationen bzw. die den Merkmalsklassenkombinationen zugeordneten Tagesganglinien entsprechend ihrer Homogenitätsstruktur zusammengefasst. Zusätzlich wurde ein Abstandsvergleich durchgeführt, um die durch die Clusteranalyse zusammengefassten Ganglinien hinsichtlich ihrer Homogenität zu prüfen.

**Tabelle 1: Anzahl Ganglinien-Cluster**

	Mo–Do	Freitag	Samstag	Sonntag
<b>Resultierende Cluster</b>	103	125	96	51

Das Ergebnis des Clusterungsprozesses ist im Umfang in Tabelle 1 dargestellt. Jedes Cluster besteht dabei aus einer oder mehreren Merkmalsklassenkombinationen (resultierend aus dem Fusionierungsprozess) und wird von genau einer Tagesganglinie repräsentiert.

**4 Prognose der Modelleingangsgrößen**

Zur Berechnung des Verkehrsaufkommens für das Jahr 2020 ist eine Prognose der Modelleingangsgrößen notwendig. Davon sind im Besonderen die drei folgenden Punkte betroffen: Strukturdaten bzw. die Besetzung der verhaltenshomogenen Personengruppen, Mobilitätsraten für die verhaltenshomogenen

Personengruppen und tagesbezogene Nachfrageganglinien für die Wegezwecke in Abhängigkeit der Raumkategorien. Für die Modellierung liegen der PTV Strukturdaten auf Basis der "alten" 21 verhaltenshomogenen Personengruppen sowohl für das Analysejahr 2004 als auch für das Prognosejahr 2020 bereits vor. Mobilitätsraten bezüglich des motorisierten Individualverkehrs (Anzahl MIV-Wege pro Person und Tag) können für die Analyse auf Grundlage der MiD und des deutschen Mobilitätspanels (MoP) ermittelt werden. Mobilitätsraten für das Jahr 2020 sind daher noch abzuleiten. Gleiches gilt für die tagesbezogenen Nachfrageganglinien.

Zur Bestimmung des Einflusses des demografischen Wandels auf das MIV-Wegeaufkommen im Vergleich zum Einfluss der prognostizierten Mobilitätsraten erfolgt die Prognose in mehreren Teilschritten. Zunächst werden die Auswirkungen auf das MIV-Wegeaufkommen infolge des demografischen Wandels bestimmt. Hierfür werden die Mobilitätsraten der Analyse (Jahr 2004) mit den prognostizierten Strukturdaten (Jahr 2020) verknüpft und das MIV-Wegeaufkommen berechnet (Prognosenußfall). Dieses wird dem Aufkommen aus dem Analysejahr gegenübergestellt. Im nächsten Schritt werden die Änderungen der Mobilitätsraten für das Prognosejahr abgeschätzt, mit denen dann erneut das MIV-Wegeaufkommen in Kombination mit den prognostizierten Strukturdaten bestimmt wird. Da die Strukturdaten für das Prognosejahr 2020 nur auf Basis der alten 21 verhaltenshomogenen Personengruppen vorliegen, werden auch die Mobilitätsraten zunächst auf Basis der 21 Personengruppen bestimmt. In einem abschließenden Arbeitsschritt werden dann diese prognostizierten Mobilitätsraten auf die neuen 27 verhaltenshomogenen Personengruppen übertragen. In der Summe bleiben die Wirkungseffekte (MIV-Wegeaufkommen) erhalten. Im Anschluss an die Prognose der Mobilitätsraten erfolgt die Prognose der Tagesverläufe der Nachfrageganglinien.

Aufgrund des demografischen Wandels ist bis zum Jahr 2020 ein sehr leichter Bevölkerungsrückgang (-0,1 %) zu verzeichnen. Bei einer nahezu konstanten Bevölkerungsanzahl, jedoch einer Verschiebung der verhaltenshomogenen Personengruppenanteile, bleibt auch das MIV-Wegeaufkommen bei unveränderten Mobilitätsraten nahezu konstant. Es steigt lediglich um rund 1,0 %. Laut Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) wirkt sich der demografische Wandel erst nach 2020 stärker aus. Dies bedeutet, dass nach 2020 noch deutlichere Verschiebungen in den Personengruppenanteilen zu verzeichnen und dadurch dann auch stärkere Änderungen im MIV-Wegeaufkommen zu erkennen sind.

Hinsichtlich der Prognose der Mobilitätsraten für das Jahr 2020 werden mehrere Einflussfaktoren untersucht: Die mögliche Änderung bezüglich des Führerscheinerwerbalters (Führerschein ab 17 Jahren statt wie bisher ab 18 Jahren) wurde bisher nicht in den Strukturdaten bzw. in den verhaltenshomogenen Personengruppen berücksichtigt. Um die Auswirkungen infolge des geänderten Führerscheinerwerbalters abzubilden, werden die Analysemobilitätsraten für alle Zwecke angepasst. Die 15–16-jährigen übernehmen die Analysemobilitätsraten der 15–17-jährigen, die 17-jährigen erhalten neue Mobilitätsraten, die sich aus den Mobilitätsraten der 18–24-jährigen ableiten. Dabei wird berücksichtigt, dass zwischen 17-jährigen und 18–24-jährigen Verhaltensunterschiede aufgrund der unterschiedlichen Lebensphasen bestehen und der Führerschein ab 17 Jahren als begleitetes Fahren geplant ist.

Bezüglich des Renteneintrittsalters wird davon ausgegangen, dass dieses bis zum Jahr 2020 auf 67 Jahre angehoben sein wird. Um die Auswirkungen infolge des geänderten Renteneintrittsalters abzubilden, werden die Analysemobilitätsraten für alle Zwecke angepasst. Die 65–67-jährigen übernehmen die

Mobilitätsraten der Erwerbstätigen, die über 67-jährigen die Mobilitätsraten der Nichterwerbstätigen. Dabei wird auch eine Änderung der prozentualen Verteilung bezüglich Erwerbstätigkeit und Pkw-Verfügbarkeit in den verhaltenshomogenen Personengruppen berücksichtigt.

Hinsichtlich Telearbeit ist ein Einsparungspotenzial bezüglich der Berufswege festzustellen. Die Auswirkungen verteilen sich dabei nicht gleich über die verschiedenen Altersklassen, da die Anteile von Telearbeitern in den Altersklassen variieren. Junge sowie ältere Personen üben tendenziell weniger Telearbeit aus. Dieser Aspekt wird bei der Änderung der Mobilitätsraten berücksichtigt. Es werden sowohl die Mobilitätsraten zum Zweck "Beruf (Vollzeit)" als auch zum Zweck "Beruf (Teilzeit)" der Erwerbstätigen angepasst.

Experten sind der Meinung, dass das Verkehrsaufkommen durch E-Commerce eher ansteigt und sich auf keinen Fall verringern wird. E-Commerce stellt eine zusätzliche Aktivität dar und bildet keinen Ersatz zum "normalen" Einkaufen. Demnach werden sich die Einkaufswege in naher Zukunft nicht reduzieren, sondern das allgemeine motorisierte Verkehrsaufkommen wird noch zusätzlich durch die Lieferverkehre erhöht. Da jedoch im Modell lediglich der motorisierte Individualverkehr berechnet wird, d. h. Lkw-Verkehr wird nicht direkt berücksichtigt, und die Auswirkungen eher auf städtischer Ebene als auf der hier interessierenden überregionalen Ebene zu vermuten sind, bleiben die MIV-Mobilitätsraten bezüglich der Aktivität "Einkauf" unverändert.

Analog zu den Auswirkungen des demografischen Wandels auf das MIV-Wegeaufkommen, ist auch durch die zusätzliche Berücksichtigung der sich bis zum Jahr 2020 geänderten Mobilitätsraten keine stärkere Änderung des MIV-Wegeaufkommens zu erkennen. Es steigt ebenfalls um rund 1,0 %. Die sehr geringe Erhöhung ist demnach vor allem dem demografischen Wandel zuzurechnen.

Analog zu der Prognose der Mobilitätsraten werden auch die Ganglinienverläufe der zweckspezifischen täglichen Nachfrage für das Jahr 2020 angepasst. Um einen ersten Eindruck bezüglich möglicher Änderungen im Verlauf über die Jahre zu erhalten, werden Tagesganglinien aus den MoP-Daten für zwei Betrachtungszeiträume (1995/1996 und 2003/2004) gegenübergestellt. Es ergeben sich nur geringfügige Anpassungen, die sich zudem auf einige wenige Stunden (z. B. Morgen- oder Nachmittagsspitze) beziehen. Die Grundverläufe der Ganglinien bleiben erhalten. Die Tagesganglinien zu den Wegezwecken "Beruf (Teilzeit)", "Ausbildung", "Dienstlich/Geschäftlich" sowie "Sonstiges" werden hier nicht geändert. Zum einen liegen diesbezüglich keine Forschungserkenntnisse vor und zum anderen sind die zeitlichen Ganglinienverläufe teilweise sehr inhomogen – vor allem bezüglich "Beruf (Teilzeit)", "Dienstlich/Geschäftlich" und "Sonstiges". Eine Prognose der Verläufe ist daher nicht angebracht bzw. möglich.

## 5 Strukturdatenszenario 2020

Basis für verkehrsplanerische Modellierungen der Prognose-situation sind drei zentrale Grundlagen:

- Raumwiderstände (Verkehrsnetze),
- Verkehrsverhaltensdaten (Aufkommensraten) und
- Strukturdaten.

Entsprechend des Untersuchungsziels des Projekts wurden die Verkehrsnetze für die Prognoseberechnungen unverändert belassen. Die Prognose basiert demnach auf dem Netz der Analysesituation. Jede Änderung der Verkehrsnetze wäre ein Eingriff, der die hier zu untersuchenden Einflüsse des demo-

grafischen Wandels unzulässig verschleiern würde. Die Raumwiderstände ergeben sich durch diese Annahme ebenfalls als weitestgehend konstant; lediglich geringfügige Änderungen durch unterschiedliche Auslastungssituationen werden in den Umlegungsrechnungen berücksichtigt.

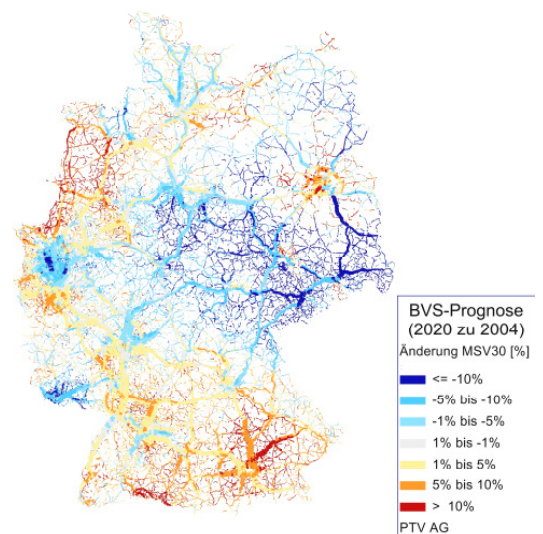
Die ermittelten Änderungen der Verkehrsverhaltensdaten je verhaltenshomogener Personengruppe wurden hier umgesetzt. Als zweiter Einfluss im Bereich der Verkehrsverhaltensdaten sind die veränderten Nachfrageganglinien je Wegezweck zu nennen, die für die zeitliche Verteilung des Beginns jedes Weges relevant sind.

Die dritte und einflussreichste Veränderung ergibt sich durch die veränderte Siedlungsstruktur. Als Grundlage für die Prognose 2020 wurden die räumlich differenzierten Deskriptoren, also die Einwohnerzahl unterteilt in Altersklassen, die Pkw-Verfügbarkeit und eine Abschätzung der Beschäftigtenzahl kleinräumig aufbereitet und auf die rund 7 000 Verkehrsbezirke angewendet.

Die Bevölkerung wird in den nächsten Jahren in etwa konstant bleiben, während sich die Altersverteilung spürbar verändert. Diese Annahme basiert auf den Vorausberechnungen des BBR von 2004. Die Prognose des BBR geht von einer insgesamt stagnierenden Bevölkerungsentwicklung bei einer Einwohnerzahl von 82,1 Mio. im Jahre 2020 aus. Dies sind knapp 1,5 Mio. Menschen weniger als die 83,5 Mio. Einwohner, die im BVWP für 2015 angenommen wurden.

Auffällig sind hierbei die regionalen Unterschiede. Während die alten Bundesländer ihre derzeitigen Bevölkerungszahlen im Wesentlichen stabilisieren, nehmen in den neuen Bundesländern die Rückgänge zum Teil dramatische Ausmaße an. Die Einwohnerzahl wird in den alten Bundesländern um knapp 2 Prozent zunehmen. In den neuen Ländern liegt der Rückgang bei fast 8 Prozent.

Diese Grundlagen wurden entsprechend den Anforderungen des Modells aufbereitet und zu einer Prognoseberechnung unter den genannten Einschränkungen (ceteris-paribus-Untersuchung ohne Netzänderung) aufbereitet. Dabei wurde der gesamte Prozess der Ganglinien- und Dauerlinienberechnung analog zur Berechnung für den Analysezeitraum unabhängig wiederholt. Die Zuordnung des Jahresganglinientyps zu den einzelnen Strecken wurde unverändert gelassen.



**Bild 1: Prozentuale Veränderung der Maßgeblichen Stündlichen Verkehrsstärke in der 30. Stunde (MSV 30) Szenario 2020 zu Analyse 2004**

Im Ergebnis dieser Betrachtung liegen für alle untersuchten Strecken in Deutschland nicht nur die Analysebelastungen, -ganglinien und -dauerlinien vor, sondern die identischen Informationen auch für das untersuchte Szenario 2020. Exemplarisch ist in Bild 1 die relative Änderung der Verkehrsmenge in der 30. höchstbelasteten Stunde des Jahres (im Vergleich von 2004 bis 2020) dargestellt. Zu erkennen sind die deutlichen regionalen Unterschiede der Entwicklung, die sich jedoch nicht auf das viel zitierte Ost-West-Gefälle reduzieren lassen. Für alle untersuchten Strecken wurden die Stützstellen der Dauerlinie (d30, d50, d100, d150 und d200) sowie die dazugehörigen Stunden- und Tagesverkehrsmengen für Analyse und Prognose aufbereitet und an den nachfolgenden Clusterungsprozess übergeben.

### Zusammenfassung

Folgende zentrale Aussagen lassen sich aus den Szenario-betrachtungen ableiten:

- Das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsmengen auf den Straßen werden sich in Zukunft sehr heterogen entwickeln, z. T. sind deutliche regionale Unterschiede zwischen Verkehrswachstum und Verkehrsrückgang festzustellen.
- Ähnlich heterogen verhalten sich die Änderungen von Spitzenstundenanteilen und relativen Dauerlinien, wobei hier die regionalen Unterschiede jedoch nicht mehr deutlich hervortreten.
- Grundsätzlich lässt sich jedoch festhalten, dass bei der Mehrzahl der Strecken von einer Abflachung der Dauerlinie und einer Reduzierung von Spitzen ausgegangen werden kann, dies insbesondere bei nach wie vor hochbelasteten Strecken bzw. Strecken mit Verkehrswachstum.
- Es ist jedoch auch festzuhalten, dass die im Rahmen des Forschungsprojekts gemachten Aussagen sich in erster Linie auf den Pkw-Verkehr beschränken, der Lkw-Verkehr jedoch anderen Gesetzmäßigkeiten unterworfen ist.

## 6 Veränderung der Dauerlinien bei Variation der Modelleingangsgrößen

Im Rahmen des Projekts wurden die aus den Modellrechnungen für die beiden Zeithorizonte 2004 (Analyse) und 2020 (Prognose) resultierenden Pkw-Verkehrsstärken der 30., 50., 100., 150. und 200. am stärksten belasteten Stunde des Jahres (Stützstellen) der Streckenabschnitte genutzt, um Rückschlüsse auf die Veränderungen der Dauerlinien innerhalb dieses Zeithorizontes ziehen zu können.

Zunächst erfolgte die Ermittlung der Veränderungen der absoluten stündlichen Verkehrsstärke (Pkw) der  $i$  (höchstbelasteten Stunde des Jahres),  $i = 30, 50, 100, 150, 200$  (maßgebliche stündliche Verkehrsstärke  $MSV_i$ ). Es wurden Faktoren ermittelt, um ausgehend von der Analyse-Belastung der  $i$ -ten am stärksten belasteten Stunde des Jahres die prognostische Belastung der  $i$ -ten am stärksten belasteten Stunde des Jahres bestimmen zu können. Die resultierende Änderung von Analyse- und Prognose-Wert kann als das Ergebnis der den Modellannahmen zugrunde liegenden veränderten Rahmenbedingungen interpretiert werden, da das Verkehrsnetz in der Prognose gegenüber der Analyse nicht verändert wurde. Durch Bildung des Verhältnisses aus maßgeblicher stündlicher Pkw-Verkehrsstärke  $MSV_i$  des Prognosefalls und des Analysefalls ("Prognosefaktor") konnte das Ausmaß der Veränderung der einzelnen Stützstellen für die Streckenabschnitte quantifiziert werden.

Insgesamt zeigt sich, dass jeweils auf mehr als der Hälfte der Streckenabschnitte ein Anstieg der maßgeblichen stündlichen Verkehrsstärke  $MSV_i$  (Pkw) zu verzeichnen ist. Diese Analyse konnte weiter spezifiziert werden, indem regionale Einflüsse berücksichtigt wurden, also beispielsweise zusätzlich eine regionale Differenzierung nach "neuen" und "alten" Bundesländern erfolgte. Eine derartige "Ost-West"-Betrachtung lässt sich damit begründen, dass es unterschiedliche Strukturentwicklungen gibt (z. B. Abwanderung der jungen Bevölkerung), die tatsächlich diese (historische) Trennung rechtfertigen. Während nun in den neuen Bundesländern bei der überwiegenden Mehrzahl der Streckenabschnitte ein Rückgang der maßgeblichen stündlichen Verkehrsstärke  $MSV_{30}$  (Pkw) (Prognosefaktor:  $MSV_{30}$  Prognose/ $MSV_{30}$  Analyse  $< 1$ ) zu verzeichnen ist, ist es in den alten Bundesländern umgekehrt, was mit den Modellannahmen zur Bevölkerungsprognose konsistent ist.

Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang, dass in den neuen Bundesländern bei Strecken, auf denen die maßgebliche stündliche Verkehrsstärke (Pkw) im Prognose-Fall abnimmt, dieser Rückgang besonders stark ausfällt (der Prognosefaktor erreicht auf mehr als der Hälfte der Streckenabschnitte einen Wert kleiner 0,90). Demgegenüber sind die Veränderungen der maßgeblichen stündlichen Verkehrsstärken (Pkw) in den "alten Bundesländern" weniger stark ausgeprägt. Der Prognosefaktor bewegt sich hierbei auf über der Hälfte der Streckenabschnitte im Bereich von 0,95–1,05.

Weiterhin kann festgehalten werden, dass sich ein sehr starker Zusammenhang zwischen der den Entwicklungschancen einer Region (gemäß "Zukunftsatlas 2007" der Prognos AG) und dem Prognosefaktor ableiten lässt. In Regionen mit Zukunftschancen weist der Prognosefaktor im Mittel einen Wert  $> 1$  auf, d. h. in diesem Fall sind die maßgeblichen stündlichen Verkehrsstärken (Pkw) der höchstbelasteten Stunden des Jahres im Szenario 2020 im Mittel höher als in der Analyse. Im Falle der Regionen mit Zukunftsrisiken nimmt der Prognosefaktor im Mittel einen Wert  $< 1$  an. Insgesamt zeigt sich, dass der Prognosefaktor mit zunehmenden Zukunftsrisiken kontinuierlich abnimmt, in diesen Regionen also eher mit abnehmenden maßgeblichen stündlichen Pkw-Verkehrsstärken zu rechnen ist. Bei Regionen mit einem perspektivisch ausgeglichenen Chancen-Risiko-Mix ergibt sich ein Prognosefaktor nahe 1. Ein weitaus geringerer Zusammenhang konnte zwischen dem Prognosefaktor und weiteren Einflussgrößen (Streckentyp, Lkw-Anteil, Region gemäß der Einteilung des BBR) festgestellt werden.

Hieran anschließend erfolgte die Ermittlung der Veränderung der  $d$ -Faktoren der einzelnen Stützstellen ( $d_i$ ,  $i = 30, 50, 100, 150, 200$ ). Zu diesem Zweck wurden richtungsgetreunte Dauerlinientypen gebildet, wobei sich an der Arbeit von (Arnold u. a., 2005) orientiert wurde. Die Dauerlinientypen unterscheiden sich dabei hinsichtlich ihres Verlaufs (konvex, konkav, gerade) und Niveaus (Höhe des  $d_{30}$ -Faktors). Darauf aufbauend konnte die prognostische Veränderung der einzelnen Stützstellen analysiert werden (vgl. Tabelle 2).

Zentrale Ergebnisse sind: Im Fall von Dauerlinien mit sehr hohem Niveau gehen die entsprechenden  $d$ -Faktoren aufgrund der veränderten Rahmenbedingungen im Szenario 2020 im Mittel zurück. Bei Dauerlinien, die sich in der Analyse auf niedrigem Niveau befinden, kommt es im Mittel zu keinen Veränderungen bzw. hier gleichen sich Streckenabschnitte mit zunehmenden und abnehmenden  $d$ -Faktoren aus. In welcher Richtung und welcher Stärke zukünftig von Veränderungen der  $d$ -Faktoren ausgegangen werden kann, ist also auch vom Dauerlinientyp, der sich auf einem Streckenabschnitt einstellt, abhängig.

Für Bemessungszwecke ist allerdings neben den für die Bemessung relevanten, d. h. in den höchstbelasteten Stunden des Jahres auftretenden Pkw-Verkehrsstärken auch eine Bestimmung der Lkw-Verkehrsstärken bzw. der bemessungsrelevanten SV-Anteile notwendig. Als Ansatz für den bemessungsrelevanten SV-Anteil wird dabei der mittlere SV-Anteil aus den ersten 200 Stunden der Dauerlinie der Fahrzeuggruppe W vorgeschlagen (vgl. Arnold u. a., 2005). Darauf aufbauend lassen sich die bemessungsrelevanten Lkw-Verkehrsstärken und in Verknüpfung mit den bemessungsrelevanten Pkw-Verkehrsstärken letztlich prognostische Kfz-Bemessungsverkehrsstärken ableiten.

## 7 Folgerungen für die Praxis

Das vorliegende Forschungsprojekt hat gezeigt, dass sich strukturelle Veränderungen von Rahmenbedingungen, wie etwa der Anzahl der Einwohner einer Region oder die Veränderung ihres Verkehrsverhaltens, auf Basis der Simulation in einem Verkehrsmodell in einer Veränderung der Dauerlinien auf Streckenabschnitten des Bundesfernstraßennetzes widerspiegeln. Damit ist der prinzipielle Nachweis gelungen, dass Kfz-Bemessungsverkehrsstärken auch prognostisch abgeleitet

werden können. Die hier ermittelten Veränderungen der Dauerlinien in Form der Veränderungen ihrer Stützstellen konnten für verschiedene Typen (Cluster) von Streckenabschnitten klassifiziert werden, gelten jedoch nur für das zugrunde liegende Strukturdatenszenario 2020. Werden diese Berechnungen – inklusive der streckenbezogenen Clusterbildung – jedoch z. B. für die verbindliche Prognose der Bundesverkehrswegeplanung wiederholt, so ergeben sich allgemeine Anhaltswerte zu prognostischen Kfz-Bemessungsverkehrsstärken im Sinne eines durch Baulastträger anwendbaren Verfahrens. Weiteren Forschungsarbeiten bleibt es jetzt vorbehalten, die hier entwickelte, allgemein anwendbare Methodik auf den Güterverkehr und den gesamten Innerortsbereich zu übertragen.

## 8 Literatur

Arnold, M.; Böttcher, S. (2005): Bemessungsverkehrsstärken vor dem Hintergrund sich verändernder Pegel – Deskriptive Analyse von Dauerlinien und Schätzung von Dauerlinienkennwerten auf Basis von Kurzzeitmessungen. (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik ; 922).

Tabelle 2: Veränderung der Dauerlinientypen

Dauerlinientyp richtungsgetreunt				Mittl. d-Faktoren					
	Niveau Analyse ( $d_{30}$ )	Verlauf	Anzahl Strecken	Analyse/Prognose	$d_{30}$	$d_{50}$	$d_{100}$	$d_{150}$	$d_{200}$
A	> 15,9 (sehr hoch)	konvex	935	Analyse	0,179	0,167	0,145	0,133	0,126
				Prognose	0,171	0,161	0,141	0,130	0,124
				Differenz (P-A)	-0,009	-0,007	-0,004	-0,003	-0,003
B	$0,126 \leq x \leq 15,9$ (hoch)	konvex	3742	Analyse	0,139	0,131	0,119	0,112	0,108
				Prognose	0,136	0,129	0,117	0,111	0,107
				Differenz (P-A)	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	-0,001
C	< 0,126 (niedrig)	konvex	5912	Analyse	0,113	0,107	0,101	0,097	0,095
				Prognose	0,114	0,108	0,101	0,097	0,095
				Differenz (P-A)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
D	< 0,118 (niedrig)	gerade	148400	Analyse	0,104	0,102	0,099	0,096	0,094
				Prognose	0,104	0,102	0,098	0,096	0,094
				Differenz (P-A)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
E	$\geq 0,118$ hoch	gerade	39844	Analyse	0,132	0,129	0,124	0,119	0,115
				Prognose	0,127	0,124	0,120	0,116	0,112
				Differenz (P-A)	-0,004	-0,004	-0,004	-0,003	-0,003
F	sehr hoch	konkav	8882	Analyse	0,137	0,135	0,129	0,123	0,115
				Prognose	0,131	0,128	0,123	0,117	0,111
				Differenz (P-A)	-0,007	-0,007	-0,006	-0,005	-0,004