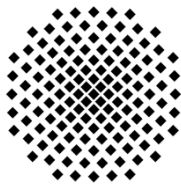


Projekt-Nr. 23.0012/2010
Nachhaltige Mobilität in Baden-Württemberg:
Wissenschaftliche Begleitung eines Klimaschutzszenarios im Verkehr
Prüfung und Bewertung der Methodik
der Verkehrsmodellierung

Auftraggeber:
Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg
Hauptstätter Straße 67
70178 Stuttgart

17.02.2017



Universität Stuttgart
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik

Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich, Dipl.-Ing. Matthias Schmaus



PTV Transport Consult GmbH

Dr.-Ing. Volker Waßmuth

Prof. Dr.-Ing. Peter Vortisch

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Qualität von Verkehrsnachfragemodellen	3
2.1	Verkehrsnachfragemodelle	3
2.2	Anforderungen an das Verkehrsnachfragemodell	4
2.3	Einflussgrößen auf die Qualität	6
2.4	Validierung des Modells	6
3	Bewertung des Verkehrsnachfragemodells	7
3.1	Segmentierung der Verkehrsnachfrage	7
3.2	Segmentierung des Verkehrsangebots	10
3.3	Räumliche Segmentierung	11
3.4	Genauigkeit der Strukturdaten	13
3.5	Detailierungsgrad und Korrektheit der Verkehrsangebotsdaten	15
3.6	Modellannahmen zur Nachbildung der Prozesse der Verkehrsentstehung	16
3.6.1	Gesamtmodell	16
3.6.2	Teilmodell Verkehrserzeugung Personenverkehr	17
3.6.3	Teilmodell Verkehrsverteilung Personenverkehr	18
3.6.4	Teilmodell Moduswahl Personenverkehr	19
3.6.5	Teilmodell Marginalmodell Personenverkehr	21
3.6.6	Teilmodell Güterverkehrsnachfrage	22
3.6.7	Teilmodell Umlegung	24
3.7	Numerische Genauigkeit des Modells	28
4	Fazit	29

1 Einleitung

Zentrales Ziel des Projekts „Nachhaltige Mobilität in Baden-Württemberg“ ist es, ein Klimaschutzszenario 2030 zu erstellen, das die verkehrspolitischen Ziele der Landesregierung möglichst gut erfüllt.

Das Projekt besteht aus zwei Teilen:

- ein Projekt **P1**, in dem die Rahmenbedingungen und die wissenschaftliche Vorgehensweise festgelegt bzw. koordiniert und qualitätsgesichert werden und
- ein Projekt **P2**, bei dem die quantitativen Ermittlungen mit Hilfe der für die BVWP-Arbeiten entwickelten Datengrundlagen und Verkehrsmodellen erfolgen.

Um die verkehrlichen Wirkungen eines Klimaschutzszenarios abschätzen zu können, sollen im Projekt P2 Modellrechnungen durchgeführt und den Ergebnissen der Bundesverflechtungsprognose 2030 gegenübergestellt werden. Das Projekt P1 hat u.a. die Aufgabe, die Methodik des Projekts P2 zu überprüfen und zu bewerten (AP 3 des Angebots von P1). Diese Prüfung und Bewertung der Methodik der Verkehrsmodellierung ist Gegenstand des vorliegenden Berichts. Da die Methodik der Verkehrsmodellierung aufgrund der Vergleichbarkeit mit der BMVI Bundesprognose im Wesentlichen vorgegeben ist, ist das Ziel des vorliegenden Berichts nicht eine grundlegende Modellkritik, sondern in erster Linie Aussagen zur Aussagekraft des Modells (im Folgenden als BVWP-Modell bezeichnet) im Hinblick auf die Anforderungen des Klimaschutzszenarios zu treffen. Grundlage der Bewertung sind die Zwischenberichte „Nachhaltigkeitsszenario BW 2030“ aus dem Projekt P2 (im Folgenden als P2-Bericht bezeichnet).

2 Qualität von Verkehrsnachfragemodellen

2.1 Verkehrsnachfragemodelle

Ein Verkehrsnachfragemodell ist ein Modell, das als Eingangsgrößen das Verkehrsangebot, die Siedlungsstruktur und die Verhaltensparameter in einem Untersuchungsgebiet nutzt und darauf aufbauend alle verkehrsrelevanten Entscheidungsprozesse der Menschen und Institutionen nachbildet, die zu Ortsveränderungen im Personen- und im Güterverkehr führen. Im Personenverkehr umfassen diese Entscheidungen die Aktivitätswahl, die Zielwahl, die Verkehrsmittelwahl, die Abfahrtszeitwahl und die Routenwahl. Im Güterverkehr werden die Entscheidungen über die Ortsveränderung von Gütern von mehreren Beteiligten (Versender, Empfänger, Spediteur, Frachtführer, Fahrer) getroffen. Als primäres Ergebnis liefert ein Verkehrsnachfragemodell u.a. Matrizen der Angebotsqualität (Kenngrößenmatrizen), Verkehrsnachfragematrizen, Verkehrsstärken auf Netzelementen sowie Kenngrößen des Verkehrsaufwands (u.a. Personenkilometer, Fahrzeugkilometer, Personenstunden). Diese primären Ergebnisse können als Input für weitere Modellrechnungen genutzt werden, die dann beispielsweise den Energieverbrauch und Schadstoffemissionen ermitteln.

2.2 Anforderungen an das Verkehrsnachfragemodell

Qualität wird im Allgemeinen definiert als ein Maß, in dem ein Produkt die an es gestellten Anforderungen erfüllt. Im konkreten Fall soll das Produkt „Verkehrsnachfragemodell“ die in der Ausschreibung für P2 formulierten Anforderungen erfüllen.

Nachstehende Tabelle 1 enthält eine Zusammenstellung der Eingangsgrößen, die das Ergebnis des Klimaschutzszenarios 2030 beeinflussen. Das Verkehrsnachfragemodell soll so konzipiert werden, dass es die Wirkungen dieser Eingangsgrößen abbildet. Tabelle 2 zeigt die Anforderungen an die Differenzierung der Modellergebnisse. Diese räumlich und inhaltlich differenzierten Daten liegen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht für alle Kenngrößen vor.

Eingangsgröße	Bedeutung
Räumlich differenzierte Soziodemographie 2030 in Baden-Württemberg	Input Nachfragemodell
Räumlich differenzierte Strukturdaten 2030 in Baden-Württemberg	Input Nachfragemodell
Wirtschaftliche Entwicklung (differenziert regional, national, international)	Input Nachfragemodell
Entwicklung Motorisierungsgrad und Verkehrsverhalten	Input Nachfragemodell
Intermodale Ketten und Transportoptimierungen	Input Nachfragemodell
Entwicklung der Preise Pkw, ÖV, Luftverkehr, Lkw, Schienengüterverkehr, Binnenschifffahrt	Input Nachfragemodell
Kfz-Flottenzusammensetzung und Kfz-Flottenverbrauch	Input Energieberechnung
Strommix	Input CO ₂ -Berechnung
Straßennetz 2030 mit den derzeit zu erwartenden Maßnahmen und zusätzlichen Maßnahmen	Input Nachfragemodell
Verkehrsangebot ÖV 2030 mit den derzeit zu erwartenden Maßnahmen und zusätzlichen Maßnahmen	Input Nachfragemodell
Verkehrsangebot Rad 2030 mit den derzeit zu erwartenden Maßnahmen und zusätzlichen Maßnahmen	Input Nachfragemodell oder Abschätzungen außerhalb des Nachfragemodells

Tabelle 1: Eingangsgrößen des Klimaschutzszenarios
(Quelle: Ausschreibung für P2 „Nachhaltigkeitsszenario Mobilität in Baden-Württemberg 2030“)

Modellergebnis	räumliche Differenzierung	inhaltliche Differenzierung
Verkehrsaufkommen Personenverkehr (Personenwege pro Jahr)	<ul style="list-style-type: none"> • Wege Deutschland auf Kreisebene • Wege BW gesamt (BV, QV, ZV, DV) • Wege je Kreis BW (BV, QV, ZV, DV) 	<ul style="list-style-type: none"> • Modus • Wegezweck • Wege pro Einwohner
Verkehrsaufkommen Güterverkehr (Tonnen pro Jahr)	<ul style="list-style-type: none"> • Tonnen Deutschland auf Kreisebene • Tonnen BW gesamt (BV, QV, ZV) • Tonnen je Kreis BW (BV, QV, ZV) 	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsträger
Verkehrsleistung und Fahrleistung Personenverkehr aus Nachfragematrizen ohne Umlegung (Personen- bzw. Fahrzeugkilometer pro Jahr)	<ul style="list-style-type: none"> • Deutschland • BW gesamt (BV, QV, ZV, Schätzung DV) 	<ul style="list-style-type: none"> • Modus • Wegezweck • pro Einwohner
Verkehrsleistung/Fahrleistung Güterverkehr aus Nachfragematrizen ohne Umlegung (Tonnen- bzw. Fahrzeugkilometer pro Jahr)	<ul style="list-style-type: none"> • Deutschland • BW gesamt (BV, QV, ZV, Schätzung DV) 	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsträger (bei Fahrleistung nur Lkw)
Fahrleistung aus Umlegung (Fahrzeugkilometer pro Jahr)	<ul style="list-style-type: none"> • BW gesamt (BV, QV, ZV, DV) • nach Straßenklasse in BW 	<ul style="list-style-type: none"> • Pkw • Lkw • ÖV-Fahrzeuge
Verkehrsleistung aus Umlegung (Personenkilometer pro Jahr)	<ul style="list-style-type: none"> • BW gesamt (BV, QV, ZV, DV) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pkw (Selbstfahrer & Mitfahrer) • ÖV-Fahrgäste
Verkehrsstärken Kfz DTV (Fahrzeuge/ Werktag) Kartendarstellung	<ul style="list-style-type: none"> • BAB und Bundesstraßen (mit Validierung), Landesstraßen • Sonstige Straßen (ohne Validierung) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pkw, Lkw und Kfz pro Netzelement • mittlerer DTV je Straßenklasse und Fahrzeugart
Verkehrsstärken ÖV DTV (Reisende/ Werktag) Kartendarstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Schienennetz 	<ul style="list-style-type: none"> • SPNV • mittlerer DTV
Energieverbrauch Endenergie (GWh pro Jahr) ²	<ul style="list-style-type: none"> • Deutschland • BW gesamt 	<ul style="list-style-type: none"> • Pkw • Lkw • ÖV • pro Einwohner
Energieverbrauch Primärenergie (GWh pro Jahr) ²	<ul style="list-style-type: none"> • Deutschland • BW gesamt 	<ul style="list-style-type: none"> • Pkw • Lkw • ÖV • pro Einwohner
CO ₂ Emissionen (t pro Jahr) ²	<ul style="list-style-type: none"> • BW gesamt 	<ul style="list-style-type: none"> • Pkw • Lkw • ÖV • pro Einwohner
Reisezeitmatrizen und Reiseweitenmatrizen	<ul style="list-style-type: none"> • Kreisebene • Ebene der Verkehrszellen der Umlegung 	<ul style="list-style-type: none"> • Pkw • Lkw • ÖV
Erläuterungen		

QV	Quellverkehr	Modus Personenverkehr	Verkehrsträger
ZV	Zielverkehr	• Pkw Fahrer	• Straße
BV	Binnenverkehr	• Pkw Mitfahrer	• Schiene
DV	Durchgangsverkehr	• ÖV	• Wasser
		• Rad	
		• Fuß	
		• Luft	

Tabelle 2: Modellergebnisse, die im Rahmen des Projekts zu ermitteln sind.
(Quelle: Ausschreibung für P2 „Nachhaltigkeitsszenario Mobilität in Baden-Württemberg 2030“)

2.3 Einflussgrößen auf die Qualität

Die Qualität eines Verkehrsnachfragemodells wird von mehreren Einflussgrößen beeinflusst. Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass die Qualität und damit die Aussagekraft eines Verkehrsnachfragemodells von den folgenden Einflussgrößen abhängen:

1. Segmentierung der Verkehrsnachfrage
2. Segmentierung des Verkehrsangebots
3. Räumliche Segmentierung
4. Genauigkeit der Strukturdaten
5. Detaillierungsgrad und Korrektheit der Verkehrsangebotsdaten
6. Modellannahmen zur Nachbildung der Prozesse der Verkehrsentstehung
7. Numerische Genauigkeit des Modells
8. Modellannahmen zur Ermittlung der Emissionen

Diese Einflussgrößen werden in Kapitel 3 herangezogen, um die Methodik der Verkehrsmodellierung im Projekt P2 zu bewerten.

2.4 Validierung des Modells

In deutschsprachigen Ländern existieren, anders als in UK¹ und in den USA², keine etablierten Modellierungsrichtlinien zur Ermittlung der Qualität von Verkehrsnachfragemodellen. Um eine angemessene Qualität sicherzustellen, werden im deutschsprachigen Raum in Ausschreibungen von Verkehrsnachfragemodellen allerdings zunehmend Qualitätsnachweise und eine Modelldokumentation gefordert. Dieses Vorgehen wurde auch

¹ Department for Transport, UK (2013/2014): Transport analysis guidance: WebTAG, <https://www.gov.uk/transport-analysis-guidance-webtag>

² Cambridge Systematics, Inc (2010): Travel Model Validation and Reasonableness Checking Manual, Second Edition, erstellt für die Federal Highway Administration der USA, 2010

in der Ausschreibung für das Modell P2 gewählt. Bild 1 zeigt die in der Ausschreibung geforderten Maßnahmen zur Qualitätssicherung und Modellvalidierung.

Im Angebot sind Maßnahmen zur Qualitätssicherung darzustellen. Hierbei ist vorzusehen:

- Heranziehen von Vergleichsdaten, Darstellung und Begründung von Abweichungen,
- Sensitivitätstests,
- Transparente Darstellung von Matrixkorrekturen und Kalibrierung,
- Plausibilisierung der Matrix(eck)werten und deren Änderung zwischen einzelnen Fällen.

Die Qualität des Verkehrsnachfragemodells soll durch einen Vergleich von berechneten Modellwerten und erhobenen Werten für das Analysejahr 2010 nachgewiesen werden.

Eine wesentliche Validierungsgröße für die Umlegung im Straßenverkehr ist hierbei der GEH, der wie folgt definiert ist:

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \cdot (M - C)^2}{M + C}}$$

mit

M Verkehrsstärke im Modell (M = Model)

C Verkehrsstärke in der Zählung (C = Count)

Für alle Dauerzählstellen auf Autobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen im Land Baden-Württemberg soll der GEH für den Pkw, den Lkw und den Gesamtverkehr in einer Tabellen- und einer Kartendarstellung ausgewiesen werden. Für die Umlegung im Schienenverkehr soll der Anbieter geeignete Verfahren vorschlagen.

Außerdem ist in einem Elastizitätstest die Sensitivität des Modells darzustellen. Dazu soll einmal die Fahrzeit im Pkw-Verkehr pauschal um 10% erhöht werden. Die Kosten für diesen Test sollen im Angebot als optionale Position ausgewiesen werden.

Bild 1: Maßnahmen zur Qualitätssicherung und Modellvalidierung
(Quelle: Ausschreibung für P2 „Nachhaltigkeitsszenario Mobilität in Baden-Württemberg 2030“)

3 Bewertung des Verkehrsnachfragemodells

3.1 Segmentierung der Verkehrsnachfrage

Bedeutung

Die Segmentierung der Nachfrage in Personengruppen, Wegezwecke und Modi bzw. in Gütergruppen ermöglicht eine detailliertere Nachbildung der Entscheidungsprozesse. Die Erzeugungsraten (Mobilitätsraten) und Verkehrsmittelpräferenzen werden maßgeblich von den Eigenschaften der Personengruppe (Alter, Tätigkeit, Pkw-Verfügbarkeit) beeinflusst. Mit den Wegezwecken und Gütergruppen sind bestimmte Aktivitätenorte und Reiseweiten verbunden. Eine angemessene Segmentierung ist besonders für die Prognose von Bedeutung, da sich hier Verschiebungen in den Segmenten ergeben können (z.B. demografischer Wandel).

Im Güterverkehr ist ergänzend zu betrachten, inwieweit die Segmentierung der Gütergruppen ausreichend ist, um die Wirkungsabbildung der Optimierung logistischer Prozesse darstellen zu können.

Modellbeschreibung

Das BVWP-Modell unterscheidet im Personenverkehr die folgenden Modi (Verkehrsmittel)

- Pkw
- Bahn (Züge im Fern- und Nahverkehr ohne U-Bahn)
- Verkehrsmittel des öffentlichen Straßenpersonenverkehrs (ÖSPV), inkl. Linienbusse
- Flugzeug
- Fahrrad
- Fuß

Bei den Aktivitäten werden 10 Aktivitäten- bzw. Wegezwecke unterschieden. Die Wegezwecke werden, zumindest in der Verkehrserzeugung, weiter differenziert und einer oder mehreren Personengruppen anhand von Altersklassen zugeordnet:

- Arbeit (Erwerbstätige)
- Ausbildung (3 Altersgruppen)
- Einkauf/Erledigung (7 Altersgruppen)
- Geschäft (Erwerbstätige)
- Urlaub (7 Altersgruppen)
- Privat Freizeit eintägig (7 Altersgruppen)
- Privat Kurzreisen 2-4 Tage (7 Altersgruppen)
- Privat Verwandten/Bekanntesbesuch (7 Altersgruppen)
- Privat Wochenpendler (Erwerbstätige)
- Privat Fahrten am Urlaubsort (eine Gruppe)

Im Güterverkehr werden im BVWP-Modell die folgenden Verkehrsmittel (Produktionssysteme) differenziert:

- Lkw
- Bahn Ganzzug
- Bahn Einzelwagenverkehr
- Bahn Unbegleiteter Kombiniertes Verkehr
- Bahn Rollende Landstraße
- Binnenschiff

Bei der Nachfrage im Güterverkehr werden die folgenden Gütergruppen unterschieden:

- Land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse
- Erzeugnisse
- Steinkohle
- Braunkohle

- Erdöl und Erdgas
- Erze
- Düngemittel
- Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse
- Nahrungs- und Genussmittel
- Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren
- Holz und Kork, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse
- Koks
- Mineralölerzeugnisse
- Chemische Erzeugnisse
- Sonstige Mineralerzeugnisse
- Metalle und Halbzeug
- Maschinen und Geräte, optische Erzeugnisse, Uhren
- Fahrzeuge
- Möbel, Schmuck, Musikindustrie, Sport, Spiel
- Sekundärrohstoffe, Abfälle
- Post, Pakete
- Geräte und Material für Güterbeförderung
- Umzugsgut, sonstige nichtmarktbestimmte Güter
- Sammelgut
- Gutart unbekannt

Modellbewertung

Die Segmentierung der Personenverkehrsnachfrage in die sechs Modi und 10 Wegezwecke ist angemessen. Eine Segmentierung in die Modi Pkw-Fahrer und Pkw-Mitfahrer erfolgt nicht, da das Modell generell in der Einheit Personenfahrten pro Jahr arbeitet. Die Umrechnung in Fahrzeuge erfolgt erst nach der Moduswahl mit Hilfe von spezifischen Besetzungsgraden, die den Wegezweck und die Reiseweite berücksichtigen. Der Besetzungsgrad wird damit vorgegeben und kann nicht modelliert werden. Dieses Vorgehensweise ist bei nationalen Modellen akzeptabel.

Das Konzept der Personengruppen kommt im Modell nur in der Verkehrserzeugung zum Einsatz.

Das Modell unterscheidet bei den Personengruppen mehrere Altersklassen, aber keine Pkw-Verfügbarkeit. Deshalb können Veränderungen beim Motorisierungsgrad und damit bei der Pkw-Verfügbarkeit nicht direkt durch eine Veränderung bei den Personengruppen modelliert werden. Die Pkw-Verfügbarkeit wird stattdessen bei der Verkehrserzeugung

gung durch einen Faktor berücksichtigt, der aus dem Verhältnis Motorisierung Region/Motorisierung Deutschland abgeleitet wird. Bei der Moduswahl wird die Pkw-Verfügbarkeit nicht berücksichtigt.

Die Segmentierung der Güterverkehrsnachfrage in die Modi Lkw, Bahn und Binnenschiff und in die dargestellten Gütergruppen ist angemessen.

Auswirkungen der Segmentierung der Verkehrsnachfrage auf die Aussagekraft des BVWP-Modells:

- Die Segmentierung der Verkehrsnachfrage im Personen- und Güterverkehr ist für ein nationales Modell angemessen.
- Der Motorisierungsgrad und damit die Pkw-Verfügbarkeit werden nicht direkt über Personengruppen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit abgebildet. Damit ist der Einfluss eines veränderten Motorisierungsgrad auf das Modellergebnis schwerer nachzuvollziehen.
- Der Pkw-Besetzungsgrad wird vorgegeben und nicht modelliert.

3.2 Segmentierung des Verkehrsangebots

Bedeutung

Die Abstraktion des Verkehrsangebots (Detaillierungsgrad des Verkehrsnetzes und des Verkehrsangebots im ÖV, Auswahl der betrachteten Verkehrssysteme) bestimmt die im Modell verfügbare Kapazität und die Zahl der Verkehrsmittel (Fuß, Rad, Pkw, ÖV bzw. Lkw, Güterzug, Binnenschiff, kombinierter Verkehr), die bei der Verkehrsmittelwahl berücksichtigt werden.

Modellbeschreibung

Das Netzmodell Straße des BVWP-Modells umfasst alle klassifizierten Straßen (A, B, L, K) und wichtige Gemeindestraßen.

Das Netzmodell Schiene des BVWP-Modells enthält alle relevanten Knoten und Kanten des Schienennetzes. Die Kanten enthalten Informationen, mit denen die Leistungsfähigkeit von Netzabschnitten ermittelt werden kann. Die Linien im Schienenpersonenverkehr werden als Fahrwege mit einer Bedienungshäufigkeit abgebildet. Das Netzmodell enthält die Produkte des Schienenpersonenfernverkehrs (ICE, IC, ...) und des Schienenpersonennachverkehrs (RE, RB, S-Bahn). Der Fernlinienbusverkehr wird in einem eigenen, einfachen Netzmodell beschrieben.

Das Wasserstraßennetz wird in einem eigenen Netzmodell modelliert, in dem die Häfen als Einspeisungspunkte codiert sind.

Die Verkehrsinfrastruktur im öffentlichen Straßenpersonenverkehr (inkl. U-Bahn), im Rad- und im Fußverkehr wird nicht abgebildet. Die Widerstände dieser Verkehrsmittel werden deshalb auf vereinfachte Weise abgeleitet.

Modellbewertung

Die Segmentierung des Verkehrsangebots im BVWP-Modell orientiert sich an den Anforderungen eines nationalen Modells. Deshalb wird die Verkehrsinfrastruktur im öffentlichen Straßenpersonenverkehr, im Rad- und im Fußverkehr nicht abgebildet.

Auswirkungen der Segmentierung des Verkehrsangebots auf die Aussagekraft des BVWP-Modells:

- Die Segmentierung des Verkehrsangebots ist für ein nationales Modell angemessen.
- Die Aufteilung der Zahl der Wege auf einzelnen Quelle-Ziel-Relationen und die feineräumige Bestimmung der streckenspezifischen Verkehrsleistung im Personennahverkehr können mit dem BVWP-Nachfragemodell aufgrund der unzureichenden Abbildung des Verkehrsangebots im Straßennetz, im öffentlichen Straßenpersonenverkehr, im Rad- und im Fußverkehr nur näherungsweise abgeschätzt werden.

3.3 Räumliche Segmentierung

Bedeutung

Die bei der räumlichen Segmentierung der Verkehrsnachfrage in Verkehrszellen gewählte Zellengröße beeinflusst die Aussagegenauigkeit relationsbezogener Kenngrößen (z.B. Reisezeit) und die Menge des Zellbinnenverkehrs, der nicht auf das Netz umgelegt wird. Bei zu großen Zellen wird ein Großteil der Wege nicht modelliert. Das ist angesichts der Tatsache, dass etwa 50% aller Wege kürzer als 4 Kilometer sind, für den innerörtlichen Verkehr und die Lärmemissionen von Bedeutung.

Modellbeschreibung

Das BVWP-Modell unterscheidet bei den Raumeinheiten (Verkehrszellen) drei Ebenen der räumlichen Segmentierung:

- Mikroebene 1: Raumeinheiten sind Stadt- und Landkreise (NUTS 3 Ebene, 44 Raumeinheiten in BW). Diese Ebene wird für die Ermittlung der Verkehrsnachfragematrizen im Güterverkehr verwendet.

- Mikroebene 2: Die Raumeinheiten der Mikroebene 1 werden in BW in 206 Raumeinheiten untergliedert. Diese Ebene wird für die Ermittlung der Verkehrsnachfragematrizen im Personenverkehr und für die Umlegung im Schienenpersonenverkehr verwendet.
- Mikroebene 3: Die Raumeinheiten der Mikroebene 3 bestehen aus einem Raumraster mit einer Rastergröße von 250 m x 250 m. in BW. Diese Raster werden über rund 50.000 Einspeisungspunkte mit dem Straßennetz verbunden. Diese Ebene wird für die die Umlegung im Kfz-Verkehr verwendet.

Modellbewertung

Die modusübergreifende Verkehrsnachfrageberechnung erfolgt im Personenverkehr auf der Mikroebene 2. Die Raumeinheiten dieser Ebene haben im Landesmittel einen Luftlinienabstand von rund 13 km³. Nach MiD 2008 liegt die mittlere Reiseweite einer Ortsveränderung mit dem Pkw bei 15 km, mit dem ÖV bei 13 km, mit dem Rad bei gut 3 km und bei Fußwegen bei gut einem Kilometer. Die Größe der gewählten Raumeinheiten ist deshalb nicht geeignet, um belastbare Aussagen zum Fuß- und Radverkehr und zum nähräumigen ÖV- und Pkw-Verkehr zu machen. Die für die Maßnahmen der Bundesverkehrswegeplanung relevanten Ortsveränderungen können mit der gewählten räumlichen Untergliederung angemessen abgebildet werden.

Die räumliche Differenzierung der Mikroebene 2 ist angemessen um die Personenkilometer im Schienenpersonennahverkehr bis zur Ebene der Regionalzüge abzuschätzen. Für belastbare Aussagen zu Personenkilometern im S-Bahnverkehr und im städtischen ÖV ist die räumliche Differenzierung nicht ausreichend.

Die räumliche Differenzierung der Mikroebene 3 ist angemessen für die Umlegung im Kfz-Verkehr. Sie ermöglicht eine Einspeisung in das Straßennetz, so dass Verkehrsstärken und Kfz-Kilometer auf dem Bundesfernstraßennetz und mit Einschränkungen auf dem Landesstraßennetz abgebildet werden können. Das ist für die Bewertung der BVWP-Maßnahmen von Bedeutung. Die räumliche Differenzierung ermöglicht ausreichend genaue Werte für die aggregierte Kfz-Fahrleistung auf dem Bundesstraßen- und Landesstraßennetz. Die räumliche Differenzierung würde sich besonders für die CO₂-Ermittlung eignen, diese erfolgt aber auf der Ebene der Mikroebene 1 und 2. Die Qualität der Ergebnisse bei der Fahrleistung wird aber nicht nur von der Größe der Raumeinheiten bestimmt, sondern von der Übertragung der Nachfrageberechnungen der Mikroebene 2 auf die Mikroebene 3. Diese Vorgehensweise ist im P2-Bericht nicht genauer beschreiben.

Für die Ermittlung der Nachfragematrizen und der aggregierten Fahrleistungen im überregionalen Güterverkehr ist die räumliche Differenzierung der Mikroebene 1 angemessen.

³ Landesfläche = 35.750 km², Anzahl Zellen =206
→ Mittlerer Luftlinienabstand der Mittelpunkte benachbarter Raumeinheiten bei Annahme quadratischer Raumeinheiten = $\sqrt{35.750/206} = 13 \text{ km}$

sen. Die Fahrleistung im regionalen Güterverkehr kann mit dieser räumlichen Differenzierung nicht modelliert, sondern nur abgeschätzt werden. Die Aussagekraft der Fahrzeugkilometer im Lkw-Verkehr wird außerdem von der Zuordnung zu den Einspeisungspunkten bestimmt, die im P2-Bericht nicht genauer beschrieben ist.

Auswirkungen der räumlichen Segmentierung auf die Aussagekraft des BVWP-Modells:

- Die räumliche Differenzierung ist angemessen, um Aussagen über die aggregierte Pkw-Fahrleistung zu machen.
- Für die Zwecke der CO₂-Ermittlung im Klimaschutzszenario wäre die Verwendung der feinräumigeren Mikroebene 3 vorzuziehen.
- Die Verkehrsleistung im Personennahverkehr können mit dem BVWP-Modell nur näherungsweise abgeschätzt werden.
- Die Verkehrsleistung im regionalen Güterverkehr kann mit dem BVWP-Modell nur näherungsweise abgeschätzt werden.

3.4 Genauigkeit der Strukturdaten

Bedeutung

Die Genauigkeit der Strukturdaten (Einwohnerzahlen, Arbeitsplatzzahlen, etc.) beeinflusst unmittelbar die Menge der Ortsveränderungen und die räumliche Verteilung der Aktivitätenorte.

Modelbeschreibung

In den gemeinsamen Workshops zu den Modellannahmen wurde vereinbart, dass für das Klimaschutzszenario die aktuelle Bevölkerungsprognose des Statistischen Landesamtes verwendet werden soll. P2 korrigiert die Daten des Landesamtes um den Zensus-Effekt. Diese Korrektur umfasst auch die Bevölkerungsstruktur (z.B. Erwerbstätige am Wohnort).

Die verkehrsanziehenden Strukturdaten für das Verkehrsverteilungsmodell im Personenverkehr werden mit Ausnahme der Erwerbstätigen am Arbeitsort nicht direkt aus den zugehörigen Strukturdaten (z.B. Zahl der Hochschulplätze oder Zahl der Einkaufsgelegenheiten) abgeschätzt. Stattdessen werden für den Ausbildungs-, den Einkaufs- und den Erledigungsverkehr die Einwohner und Erwerbstätigen am Arbeitsort als anzie-

hende Größe herangezogen. Diese Anziehungspotenziale werden mit Faktoren gewichtet, die von den Raumstrukturtypen⁴ abhängen. Damit soll dem Umstand Rechnung getragen werden, dass z.B. Oberzentren eine höhere Attraktivität haben und daher z.B. mehr Geschäftsreisen pro Erwerbstätigen anziehen als ländliche Gebiete. Welchen Wert die Faktoren annehmen, ist im P2-Bericht nicht dargestellt.

Im Güterverkehr wird die Nachfrage im Analysefall nicht mit einem Modell ermittelt, sondern auf der Basis statistischer Daten auf Kreisebene, so dass die Strukturdaten im Analysefall keinen Einfluss auf die Nachfragematrix haben. Für die Prognose werden folgende Strukturdaten auf Kreisebene genutzt: die Bevölkerung, die Erwerbstätigkeit, die reale Entwicklung des BIP sowie die Entwicklung des BIP nach Wirtschaftsbereichen.

Modellbewertung

Vereinfacht kann man davon ausgehen, dass eine Über- oder Unterschätzung der Bevölkerungszahl im Jahr 2030 zu einer Über- oder Unterschätzung der Verkehrsnachfrage im Personenverkehr im gleichen Umfang führt. Das erlaubt nach Abschluss der Modellierungsrechnungen einfache Abschätzungen der Wirkungen einer Über- oder Unterschätzung der Bevölkerungszahl. Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Anziehungspotenziale ist pragmatisch, wird aber aufgrund der Tatsache, dass sich mehr als 50% aller Wege aus dem Ausbildungs-, Einkaufs- und Erledigungsverkehr erklären, zu Ungenauigkeiten in unbekannter Größenordnung bei der Zielwahl führen. Die Ungenauigkeiten betreffen nicht die gesamte Zahl der Wege und auch nicht die Gesamtverkehrsleistung im Untersuchungsgebiet, wohl aber die räumliche Verteilung der Verkehrsnachfrage und auch den Modal-Split.

Anders als im Personenverkehr, in dem sich die Zahl der Wege gut aus den Einwohnerzahlen ableiten lässt, sind die erklärenden Variablen für das Güterverkehrsaufkommen mit der vorliegenden Datenbasis schwerer zu bestimmen. Die Strukturdaten im Güterverkehr erscheinen für die Prognose auf der Kreisebene (Mikroebene 1) angemessen. Die kleinräumige Aufteilung der Güterverkehrsnachfrage auf Einspeisungspunkte im Verkehrsnetz wird die tatsächliche Aufteilung nur eingeschränkt wiedergeben können.

⁴ Die Raumstrukturtypen sind im P2-Bericht nicht genauer beschreiben. Vermutlich handelt es sich um Raumtypen nach BBSR (2012): 1. sehr peripher, 2. peripher, 3. zentral und 4. sehr zentral

Auswirkungen der Genauigkeit der Strukturdaten auf die Aussagekraft des BVWP-Modells:

- Ungenauigkeiten bei der Bevölkerungsprognose werden zu Abweichungen zwischen prognostizierter und tatsächlicher Verkehrsnachfrage im Jahr 2030 führen. Die Größenordnung der Abweichung kann durch einfache Berechnungen nach Abschluss der Modellierungsarbeiten abgeschätzt werden. Ungenauigkeiten bei der Bevölkerungsprognose liegen nicht in der Verantwortung von P2.
- Ungenauigkeiten bei den verkehrsanziehenden Strukturdaten werden zu vertretbaren Ungenauigkeiten bei der Gesamtzahl der Wege und der Gesamtverkehrsleistung führen. Die modellierte räumliche Verteilung der Verkehrsnachfrage wird von der tatsächlichen räumlichen Verteilung in größerem Maß abweichen.
- Die Verkehrsleistung im regionalen Güterverkehr kann mit dem BVWP-Modell aufgrund der Nutzung von Strukturdaten auf Kreisebene nur näherungsweise abgeschätzt werden.

3.5 Detailierungsgrad und Korrektheit der Verkehrsangebotsdaten

Bedeutung

Verkehrsangebotsdaten (Netztopologie, ÖV-Fahrpläne, Preise) enthalten Informationen über die Qualität des Verkehrsangebots aus Sicht des Verkehrsteilnehmers bzw. der Entscheider im Güterverkehr. Damit beeinflusst die Genauigkeit der Netzdaten unmittelbar die Kenngrößen der Angebotsqualität (Reisezeit, Umsteigehäufigkeit, Bedienungshäufigkeit), die in die Zielwahl, die Verkehrsmittelwahl und in die Routenwahl eingehen. Um Aussagen über die Verkehrsmittelwahl zwischen Pkw und ÖV machen zu können, müssen das ÖV-Angebot und die Verknüpfungspunkte der Verkehrsträger hinreichend genau abgebildet werden.

Modellbeschreibung

Das BVWP-Modell ermittelt die Widerstände bzw. generalisierte Kosten u.a. aus den Kenngrößen Reisezeit, Nutzerkosten, Umsteigehäufigkeit, Bedienungshäufigkeit, Zuverlässigkeit / Pünktlichkeit. Die Streckenfahrzeiten im Pkw-Verkehr werden für mehrere verkehrliche Lastzustände (1/12, 1/14, 1/16 der Tageslast pro Stunde) berechnet. Die Reisezeit und die Bedienungshäufigkeiten im Fernlinienbusverkehr werden als Matrix für Städtepaare erfasst.

Modellbewertung

Die Differenzierung der Angebotskenngrößen ist für die Modellierungsaufgabe angemessen. Aussagen zur Qualität der Verkehrsangebotsdaten erfordern eine Analyse der

Kenngößenmatrizen. Entsprechend der Ausschreibung (siehe Tabelle 2) soll P2 Kenngrößenmatrizen für die Reisezeit und die Reiseweite auf der Mikroebene 2 bereitstellen. Damit kann die Qualität der Verkehrsangebotsdaten für den BW-Analysefall 2010 auf der Ebene der Kenngrößenmatrizen durch die Berechnung von Luftliniengeschwindigkeiten, Reisezeitverhältnissen ÖV/Pkw, durch einen Vergleich mit anderen Verkehrsmodellen oder stichprobenartig anhand von Auskunftssystemen geprüft werden.

Auswirkungen der Korrektheit der Verkehrsangebotsdaten auf die Aussagekraft des BVWP-Modells:

- Ungenauigkeiten bei den Verkehrsangebotsdaten haben dann große Auswirkungen auf die Ergebnisqualität, wenn für einzelne Relationen fehlerhafte Werte berechnet werden. Ob das der Fall ist, lässt sich nur durch Plausibilitätsprüfungen erkennen. Der Einfluss eventueller lokaler Ungenauigkeiten auf die aggregierten Werte der Verkehrsleistung wird eher gering sein.

3.6 Modellannahmen zur Nachbildung der Prozesse der Verkehrsentstehung

3.6.1 Gesamtmodell

Bedeutung

Mit den Annahmen werden in einem Nachfragemodell grundlegende Festlegungen über die Abbildung des Mobilitätsverhaltens der Menschen und der Güterverkehrsprozesse getroffen. Welche Entscheidungen werden modelliert und welche entscheidungsrelevanten Alternativen (Choice Set) werden berücksichtigt? Welche Aufwandskenngrößen beeinflussen Wahlentscheidungen und welchen Einfluss haben die einzelnen Aufwandskenngrößen?

Modellbeschreibung Personenverkehr

Das BVWP-Modell unterscheidet im Personenverkehr die üblichen vier Modellstufen Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung (Zielwahl), Moduswahl und Umlegung. In den ersten drei Modellstufen wird die Verkehrsnachfrage disaggregiert nach Wegezwecken ermittelt. In der Verkehrserzeugung und in der Verkehrsverteilung wird zusätzlich nach Personengruppen bzw. Altersgruppen unterschieden. Wie die Ergebnisse der Nachfrageberechnung im Analysefall mit empirischen Nachfragedaten korrigiert werden, ist im P2-Bericht nicht dokumentiert. Die Prognose der Nachfragematrizen erfolgt mit einem inkrementellen Modell (Marginalmodell), das die prognostizierte Verkehrsnachfrage aus Änderungen im Verkehrsangebot ableitet.

Modellbewertung Personenverkehr

Der Einsatz empirischer Matricelemente bei der Aufstellung der Analysematrix wird von den Gutachtern in einer Übersichtstabelle beschrieben.

Modellbeschreibung Güterverkehr

Auch das Modell für den Güterverkehr ist aus den üblichen vier Stufen Verkehrsaufkommen, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl und Umlegung zusammengesetzt. Es wird wie beim Personenverkehr mit einem Marginalansatz für die Güterverkehrsnachfrage gearbeitet. Beim Aufkommen wird mit 20 Gütergruppen gearbeitet, bei der Verkehrsmittelwahl mit 5. Der Modellansatz ist an den empirischen Daten des Jahres 2010 kalibriert.

Modellbewertung Güterverkehr

Der Modellansatz im Güterverkehr ist in der beschriebenen Form grundsätzlich für die Aufgabenstellung geeignet. Die für die Ergebnisbeurteilung erforderlichen Parameterwerte sind im P2-Bericht nicht enthalten.

3.6.2 Teilmodell Verkehrserzeugung Personenverkehr

Bedeutung

Die Verkehrserzeugung bestimmt die Zahl der Wege im Untersuchungsgebiet. Die Zahl der Wege hängt maßgeblich von der Bevölkerungszahl, der Bevölkerungszusammensetzung und von spezifischen Mobilitätsraten ab.

Modellbeschreibung

Die Verkehrserzeugung erfolgt mit Mobilitätsraten, die nach Wegezwecken und Personen- bzw. Altersgruppen differenziert werden. Abhängig vom Einkommen und von der Pkw-Verfügbarkeit werden die Mobilitätsraten mit einem Faktor korrigiert. Die erforderlichen jährlichen Mobilitätsraten werden aus der MiD 2008 abgeleitet und an die Eckwerte von Verkehr in Zahlen angepasst. In der Prognose ergibt sich das Verkehrsaufkommen nicht nur aus veränderten Bevölkerungsdaten, sondern zusätzlich aus Änderungen im BIP und in der Pkw-Dichte.

Modellbewertung

Die gewählte Vorgehensweise einer Verkehrserzeugung differenziert nach Wegezwecken und Altersgruppen entspricht dem Stand der Technik in nationalen Modellen. Die gewählte Methode zur Anpassung der Mobilitätsraten in Abhängigkeit der Pkw-Dichte (Pkw pro 1000 Einwohner ab 18 Jahre) und des regionalen BIP unterstellt einen Zusammenhang zwischen sozialem Status bzw. Motorisierungsgrad und der Mobilitätsrate.

Dieser Zusammenhang ist im P2-Bericht in Tabelle 2-3 dokumentiert. Die Mobilitätsraten pro Bundesland in Tabelle 2-2 lassen jedoch keinen Zusammenhang zwischen Wirtschaftsleistung und Mobilitätsrate erkennen. Mögliche Erklärung für diesen Unterschied: die Zahl der Personen mit niedrigem/hohem sozialem Status hängt kaum von der Wirtschaftsleistung ab. Insofern ist der Befund eines Zusammenhangs zwischen dem sozioökonomischen Status und dem Verkehrsaufkommen nicht als Erklärung für einen Zusammenhang zwischen Wirtschaftsentwicklung und Prognose geeignet.

Auswirkungen der Annahmen im Teilmodell Verkehrserzeugung Personenverkehr auf die Aussagekraft des BVWP-Modells:

- Die Annahmen können zu einer unrealistischen Zunahme der Zahl der Wege in der Prognose führen.

3.6.3 Teilmodell Verkehrsverteilung Personenverkehr

Bedeutung

In der Verkehrsverteilung wird die Zielwahl der Verkehrsteilnehmer ermittelt. Damit werden die Reiseweite der Wege und die Personenverkehrsleistung festgelegt. Die Reiseweite hat einen großen Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl, da nicht-motorisierte Verkehrsmittel nur bei kurzen Reiseweiten genutzt werden. Die Personenverkehrsleistung hat einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch im Verkehrssektor.

Modellbeschreibung

Die Verkehrsverteilung erfolgt mit einem sogenannten Gravitationsmodell, das als Widerstandsfunktion eine Potenzfunktion annimmt. Der α -Parameter der Potenzfunktion wird so geschätzt, dass die modellierte Reiseweitenverteilung und die Reiseweitenverteilung der MiD für jeden Wegezweck und jede Personengruppe möglichst gut übereinstimmen. Bei der Verkehrsverteilung wird ein „Quelle-Ziel-Ausgleich“ vorgenommen, der sicherstellen soll, dass alle potenziellen Ziele "ausreichend genutzt" werden.

Es wird weiter angenommen, dass alle Wege heimatgebunden sind, d.h. es wird nur der Hinweg modelliert. Der Rückweg wird dann in der Matrix durch Spiegeln der Verkehrsbeziehung ergänzt. Hierdurch fehlen nicht-heimatgebundene Zwischenwege von Wegekettens, die allerdings häufig nur eine kurze Wegelänge aufweisen.

Als Widerstand bei der Zielwahl wird der Widerstand jenes Verkehrsmittels gewählt, dass den niedrigsten Widerstand aufweist. Dieser Widerstand wird mit einem Abschlagsfaktor reduziert, der den Widerstand der Verkehrsmittel mit einem höheren Widerstand berücksichtigt.

Modellbewertung

Das gewählte Verteilungsmodell mit einer Potenzfunktion und der Kalibrierung anhand von Entfernungsverteilungen entspricht dem Stand der Technik. Die Vorgehensweise beim „Quelle-Ziel-Ausgleich“ erscheint willkürlich. Sie entspricht dem bei der Verkehrsverteilung üblichen Randsummenausgleich bei sogenannten quell- und zielseitig gekoppelten Verteilungsmodellen, allerdings wird dabei nur ein Iterationsschritt gerechnet. Das führt zu einem unvollständigen Randsummenausgleich, so dass die Randsummenbedingungen auf der Quellseite und der Zielseite nicht eingehalten werden. Veränderungen bei der Pkw-Verfügbarkeit und Änderungen der ÖV-Angebotsqualität werden bei der Verkehrsverteilung über einen sogenannten Erschließungsquotient berücksichtigt.

Die Annahme, dass alle Wege heimatgebunden sind, stellt eine Vereinfachung dar, die bei einem nationalen Modell vertretbar ist. In einem Regionalverkehrsmodell wären Wegezwecke „Sonstiges-Sonstiges“ oder „Arbeit – Sonstiges“ angemessen.

Die Methode zur Ermittlung des maßgebenden Widerstands für die Zielwahl bildet näherungsweise allgemein anerkannte Ansätze bei der Zielwahlmodellierung (z.B. Logsums) nach. Die Wahl der Parameterwerte für die Relevanzschwelle und die Exponenten stellen eine Setzung dar, die von der Größenordnung nachvollziehbar ist, sich aber schwer erklären lässt. Es ist nicht dokumentiert, welchen Wertebereich der Abschlagsfaktor im Modell annimmt.

Auswirkungen der Annahmen im Teilmodell Verkehrsverteilung Personenverkehr auf die Aussagekraft des BVWP-Modells:

- Durch die Kalibrierung der α -Parameter anhand beobachteter Reiseweitenverteilungen wird das Modell für den Analysezustand die Personenkilometer hinreichend genau abbilden.
- Veränderungen bei der Pkw-Verfügbarkeit und Änderungen der ÖV-Angebotsqualität werden berücksichtigt.

3.6.4 Teilmodell Moduswahl Personenverkehr

Bedeutung

Das Teilmodell „Moduswahl Personenverkehr“ bestimmt die Aufteilung des Gesamtverkehrs einer Quell-Ziel-Relation auf die zur Verfügung stehenden Verkehrsmodi. Ein Verkehrsmodus kann von mehreren Verkehrsmitteln realisiert werden (z.B. MIV durch Pkw und motorisierte Zweiräder).

Modellbeschreibung

Bei der Modellierung der Moduswahl wird unterschieden zwischen dem Verkehr zwischen den Zellen der Mikroebene 2 und dem Binnenverkehr dieser Zellen.

Für den Verkehr zwischen den Zellen wird ein Discrete-Choice-Modell angesetzt, das als Nutzenfunktion generalisierte Kosten und als Aufteilungsfunktion eine Box-Cox-Funktion verwendet. Die Box-Cox-Funktion erlaubt eine gewichtete Berücksichtigung sowohl des Verhältnisses der Nutzen als auch der absoluten Nutzendifferenz. Die generalisierten Kosten beinhalten einerseits die Reisezeiten sowie Zuschläge dazu zur Berücksichtigung von Komfort, Erschließung und Zuverlässigkeit und andererseits die Nutzerkosten. Die reisezeitbezogenen Anteile werden mit dem Zeitwert (Value of Time) monetarisiert. Für Fahrzeiten im MIV werden belastungsabhängige Werte verwendet, die aus dem Straßennetzmodell kommen. Da die Umlegung von einem anderen Gutachter durchgeführt wird, ist die Möglichkeit der Rückkopplungen von Nachfrage und Fahrzeit begrenzt. Es wird erwähnt, dass empirisch eine Abhängigkeit der Verkehrsmittelwahl von der Pkw-Verfügbarkeit nachgewiesen werden kann. Im formulierten Modell taucht die Pkw-Verfügbarkeit dann aber nicht mehr explizit auf. Beim MIV sind nur die fahrtabhängigen Nutzerkosten Bestandteil der generalisierten Kosten. Ein Fahrzeugbeschaffungsmodell (Car-Ownership Model), das die Kosten der Anschaffung und Haltung eines Fahrzeugs berücksichtigt, ist nicht Bestandteil des Modells.

Das Modell für den Verkehr zwischen den Zellen ist kalibriert worden, indem die beiden Parameter der Box-Cox-Funktion eingestellt wurden, um Eckwerte aus der MiD und aus „Verkehr in Zahlen“ zu treffen. Es ist nicht klar, auf welches Jahr sich die Kalibrierung bezieht. Eine Anpassung von Gewichten der generalisierten Kostenfunktion ist anscheinend nicht Gegenstand der Kalibrierung, sondern diese wurden „aufgrund der Erfahrung der Gutachter“ festgelegt.

Beim Binnenverkehr innerhalb der Zellen werden die Verkehrswiderstände nicht aus den Verkehrsnetzen berechnet, sondern pauschal für die Zelle aus Fahrtweite und Durchschnittsgeschwindigkeit. Die Fahrtweite wird fahrtzweckspezifisch aus der Größe der Zelle abgeleitet, die Durchschnittsgeschwindigkeit wird nach Fahrtzweck, Verkehrsmittel und Raumtyp festgelegt. Von der vereinfachten Ermittlung der Verkehrswiderstände abgesehen, wird das gleiche Modell wie für den Verkehr zwischen den Zellen eingesetzt.

Modellbewertung

Das Modal-Split-Modell für den Verkehr zwischen den Zellen entspricht dem Stand der Technik. Die Einbeziehung eines Erschließungsfaktors in die generalisierten Kosten erlaubt die Abbildung von Effekten, die durch die Ausweitung des Verkehrsangebots in der Fläche entstehen.

Die Pkw-Verfügbarkeit wird wie bei der Zielwahl durch einen Erschließungsquotienten berücksichtigt. Die Beschränkung auf die Berücksichtigung der fahrtbezogenen (variablen) Kosten in den generalisierten Kosten des MIV ist sinnvoll und angemessen.

Die Vereinfachung der Bestimmung der Verkehrswiderstände im Zell-Binnenverkehr bedeutet in der Anwendung des Modells, dass für bestimmte Maßnahmen, die sich auf die Durchschnittsgeschwindigkeit einzelner Verkehrsmittel auswirken, diese Änderung der Durchschnittsgeschwindigkeit modellextern vorgegeben werden muss und sich dann direkt auf die Moduswahl auswirkt. Das Modell bleibt aber grundsätzlich sensitiv gegenüber solchen Maßnahmen. Betroffen von dieser Vereinfachung werden vor allem Maßnahmen sein, die den ÖPNV und den Radverkehr verbessern. Beim Radverkehr kann man davon ausgehen, dass aufgrund der geringen Fahrtweiten die Bedeutung für die spätere CO₂-Berechnung gering ist.

Auswirkungen der Annahmen im Teilmodell Moduswahl Personenverkehr auf die Aussagekraft des BVWP-Modells:

- Das Modell ist grundsätzlich geeignet die Verkehrsmittelwahl abzubilden.
- Das Modell kann im Personennahverkehr keine belastbaren Aussagen zum feinkörnigen Modal Split im Fuß- und Radverkehr machen.

3.6.5 Teilmodell Marginalmodell Personenverkehr

Bedeutung

Die Tatsache, dass ein sogenanntes Marginalmodell angewendet wird, besagt, dass als Ergebnis der Prognoserechnung nicht der Absolutwert verwendet wird, den das Prognosemodell (ohne Marginalmodell) für eine Quell-Ziel-Beziehung liefert, sondern dass die Differenz bzw. die Änderung zwischen Analysefall und Prognosefall für eine Quelle-Ziel-Beziehung im Modell auf den bekannten Ausgangszustand aufgeschlagen wird. Die Modellierung berechnet also „nur“ die Änderungen.

Modellbeschreibung

Der Prognosewert für eine Quell-Ziel-Beziehung wird berechnet, indem die Veränderung vom Analysefall auf den Prognosefall jeweils sowohl in Form der absoluten Differenz als auch in Form des Verhältnisses auf den Ausgangswert aufgeschlagen wird. Die beiden so gewonnenen Werte werden ungewichtet arithmetisch gemittelt. Aus dem vorliegenden P2-Bericht wird klar, wie die Verkehrsmittelwahl in der Prognose abläuft: Die Vorgehensweise bei der Zielwahl ist jedoch nicht beschrieben. Die Erläuterungen von P2 zum induzierten Verkehr lassen vermuten, dass das Klimaschutzszenario 2030 im Gegensatz zur BMVI-Prognose 2030 nicht als eigenständiger Prognosezustand mit dem Marginalmodell aus dem Analysezustand 2010 berechnet wurde. Stattdessen wurden die Ergebnisse des Klimaschutzszenario 2030 als induzierter bzw. negativ induzierter Verkehr aus der BMVI-Prognose 2030 abgeleitet.

Modellbewertung

Der Marginalansatz ist ein sinnvoller Ansatz, da er die Einbeziehung von empirischen Informationen ermöglicht und robust ist. Nachteilig ist die schwierige Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse. Der Ansatz die Differenz und das Verhältnis der Änderung dabei zu berücksichtigen, erscheint sinnvoll. Marginalmodelle können inkrementelle Änderungen auf der Ebene einzelner Matrixelemente oder auf der Ebene der Randsummen ermitteln.

Im Bericht werden die Formeln für den Marginalansatz nur für den Modellschritt des Modal-Splits angegeben. Hier erfolgt die Berechnung auf der Ebene einzelner Relationen. Nach Auskunft von P2 wird bei der Zielwahl analog vorgegangen. Das Klimaschutzszenario 2030 wird nicht als eigenständiger Prognosezustand aus dem Analysezustand 2010 abgeleitet. In welchem Umfang diese Vorgehensweise die Ergebnisse beeinflusst, kann nicht beurteilt werden.

Auswirkungen der Annahmen im Teilmodell Marginalmodell Personenverkehr auf die Aussagekraft des BVWP-Modells:

- Das Marginalmodell ist grundsätzlich für die Prognose geeignet.
- Das Klimaschutzszenario wird nicht als eigenständiger Prognosezustand aus dem Analysezustand 2010 abgeleitet. Welchen Einfluss diese Vorgehensweise auf die Ergebnisqualität hat, kann nicht beurteilt werden.

3.6.6 Teilmodell Güterverkehrsnachfrage

Bedeutung

Das Güterverkehrsnachfragemodell ermittelt die transportierten Gütermengen im Untersuchungsgebiet und deren Aufteilung auf die Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasser.

Modellbeschreibung

Ausgangspunkt der Güterverkehrsmodellierung ist die Matrix der bekannten transportierten Mengen auf Kreisebene in Deutschland für das Jahr 2010. Es wird ein Verkehrserzeugungsmodell angesetzt und an der Matrix für 2010 geeicht. Das Modell stellt über eine Regressionsfunktion den Zusammenhang von gütergruppenspezifischen Strukturgrößen (meistens sektorales BIP) und dem Quell- und Zielaufkommen her. Mit diesem Verkehrserzeugungsmodell wird aus prognostizierten Strukturdaten der Versand- und der Empfangsverkehr auf Kreisebene für 2030 berechnet. Als Prognoseergebnis der Verkehrserzeugung wird aber nicht dieses Modellergebnis verwendet, sondern es wird die prozentuale Veränderung zwischen den Modellergebnissen für 2010 und 2030 auf

die Bestandswerte von 2010 aufgeschlagen (Marginalansatz). Anschließend wird mit einem Gravitationsansatz das Versandvolumen auf die Zielzellen verteilt. Auch dieses Verkehrsverteilungsmodell wird anhand der Bestandsdaten von 2010 kalibriert. In den Gravitationsansatz geht der Widerstand zwischen Versand- und Empfangsort in Form einer „Verbindungsqualität“ ein. Das beschriebene Vorgehen gilt für den deutschen Binnenverkehr. Für Außenhandelsverkehre werden „relations- und gruppenspezifisch Wachstumsentwicklungen herausgearbeitet“; eine genauere Beschreibung ist nicht enthalten.

Die Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr wird mit einem Nested-Logit-Modell nachgebildet, das durch eine Stated-Preference-Befragung geeicht wurde. Die Nutzenfunktion wird Box-Cox-transformiert, so dass sowohl Nutzendifferenz als auch Nutzenverhältnis berücksichtigt werden können. Es werden 5 Gütergruppen unterschieden. Die Struktur des Nested-Logit Modells unterscheidet auf oberster Ebene Straße, Bahn und Schiff und gliedert eine Ebene darunter die Bahn weiter auf in Ganzzug, Einzelwagen, unbegleiteter und begleiteter kombinierter Verkehr (Rollende Landstraße). Die Nutzenfunktion des Modells beinhaltet die Transportpreise, Transportzeiten und Pünktlichkeit. Preise und Zeiten werden aus den Umlegungsmodellen geliefert, deshalb werden Nachfrageberechnung und Umlegung mehrmals iteriert, bis ein Gleichgewichtsnaher Zustand erreicht ist.

Modellbewertung

Das Güterverkehrsnachfragemodell ist von seiner Struktur her für die Aufgabenstellung geeignet und entspricht dem Stand der Technik. Schwer zu beurteilen ist die Plausibilität der Steigerung zwischen 2010 und 2030. Sie resultieren im Modell zu einem guten Teil aus der Verkehrserzeugung, die sich aus den Änderungen des BIP in den einzelnen Gütergruppen ergibt. Wie die Parameter des Marginalmodells für die Prognose des Güterverkehrsaufkommens geschätzt wurden, ist im Bericht nicht dokumentiert.

Die Gewichtungparameter der Nutzenfunktion bei der Verkehrsmittelwahl sind im Bericht ebenfalls nicht aufgeführt, so dass diese konkret nicht geprüft werden können. Die beschriebene Kalibrierungsmethode durch eine Stated-Preference-Befragung ist aber eine angemessene Methode, so dass davon ausgegangen werden kann, dass der Einfluss von Kosten und Fahrzeit im Modell realitätsnah abgebildet werden.

Auswirkungen der Annahmen im Teilmodell Moduswahl Güterverkehrsnachfrage auf die Aussagekraft des BVWP-Modells:

- Aussagen, ob die Steigerungen zwischen 2010 und 2030 realistisch sind, sind für Dritte schwer möglich.
- Die Änderungen zwischen BMVI-Kernszenario 2030 und Klimaschutzszenario 2030 liegen in einer plausiblen Größenordnung.

3.6.7 Teilmodell Umlegung

Bedeutung

Die Verkehrsumlegung bildet die Routenwahl der Verkehrsteilnehmer bzw. der Fahrzeuge ab. Ergebnis der Umlegung sind Verkehrsstärken je Netzelement. Daraus ergibt sich dann der Verkehrswiderstand (Reisezeit, Reiseweite, Kosten) differenziert nach Modus, der in die Zielwahl- und Verkehrsmittelwahlmodelle eingeht.

Modellbeschreibung Umlegung Straße

Die Verkehrsumlegung auf das Straßennetz findet auf einer zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Ebene statt. Dazu müssen die Daten der Verkehrsnachfrage zeitlich und räumlich disaggregiert werden. Die Anbindung des Straßennetzes geschieht, indem die Nachfrage auf ein Raster der Kantenlänge 250 m heruntergebrochen wird. So ergeben sich 1,5 Mio. Rasterzellen, die dann rund 50.000 Einspeisungspunkten im Straßennetz zugeordnet werden.

Bei der Matrixgenerierung wird nach Fern- und Nahverkehr differenziert. Im Fernverkehr erfolgt die Disaggregation von der Mikroebene 1 (Güterverkehr) und von der Mikroebene 2 (Personenfernverkehr) auf die Rasterzellen anhand von „Aufkommengewichten“. Die Vorgehensweise ist nicht weiter erläutert, vermutlich werden die Strukturgrößen in den Rasterzellen als Gewichte herangezogen. Da die Nachfrage für jede Relation als Jahreswert in Personenfahrten oder in Tonnen vorliegt, muss die Nachfrage auf werktägliche Fahrzeugfahrten umgerechnet werden. Das geschieht

- im Personenverkehr differenziert nach Zweck, Weite und Gebietstyp
- im Güterverkehr differenziert nach Gütergruppen

Für den Personen-Nahverkehr wird die Tagesnachfrage aus der „autarken“ Nachfragegenerierung gewonnen. Gemeint ist damit wahrscheinlich das Bottom-Up-Modell mit Ziel- und Verkehrsmittelwahl. Dieser Modellschritt wird nicht beschrieben. Da die so modellierte Nachfrage im Nahverkehr aber über 90% der gesamten Nachfrage ausmacht, ist dieser Teil für die Umlegung sehr ergebnisrelevant. Für den kleinräumigen Wirtschaftsverkehr wird ein Simulationsmodell verwendet. Der Bericht erläutert dieses Modell nicht, sondern verweist auf eine gesonderte Quelle.

Das Umlegungsmodell berücksichtigt die Ganglinie der Verkehrsnachfrage im Lauf eines Tages. Die auf den Tag bezogene Nachfrage muss deshalb noch weiter auf Zeitintervalle, vermutlich Stundenwerte, disaggregiert werden. Im Bericht ist dieser Schritt nicht erläutert. Wahrscheinlich werden auch hier empirische Ganglinien verwendet.

Das eingesetzte Umlegungsverfahren DRUM wurde in den 1990er Jahren an der RWTH Aachen entwickelt. Es handelt sich um ein sogenanntes dynamisches Umlegungsverfahren. Dynamische Umlegungsverfahren berücksichtigen den zeitlichen Verlauf der Verkehrsnachfrage und der Belastungen im Straßennetz. DRUM bildet ab, wie sich der

Verkehr durch das Netz bewegt, und berücksichtigt bei der Routenwahl zukünftige Zustände im Netz. Die Reisezeit auf Strecken wird durch einen streckenspezifisch vorgegebenen Zusammenhang von Verkehrsbelastung und Geschwindigkeit berechnet. Die Berücksichtigung von Rückstauwirkungen ist im Bericht nicht erwähnt und wahrscheinlich im Verfahren nicht enthalten. Die zeitliche Auflösung der Umlegungsrechnung wird im Bericht nicht genannt. Die Umlegungsrechnung wird üblicherweise iteriert, bis sich die Reisezeiten, die bei der Routenwahl angenommen werden, und die Reisezeiten, die sich aus der Routenwahl auf den Strecken ergeben, einander angenähert haben. Die Anzahl der Iterationen oder ein Kriterium für die Umlegungsgüte (z.B. Fahrzeitänderungen zwischen zwei Iterationsschritten) wird nicht genannt.

Ergebnis der Verkehrsumlegung sind die Verkehrsstärken durch Pkw und Lkw auf den Netzelementen des Straßennetzes, die dann als Tageswerte ausgewiesen werden. Außerdem werden die Streckenfahrzeiten zu Kenngrößenmatrizen für die Mikroebene 2 (1.700 Zellen) aggregiert.

Das Straßen-Umlegungsmodell ist an den Zählwerten des Jahres 2010 auf den Bundesfernstraßen kalibriert worden. Die Güte der Kalibrierung ist im ersten P2-Bericht dargestellt [Warum fehlt dieser Teil im 2. Zwischenbericht]. Auf den Straßen niedriger Kategorie ist nicht kalibriert worden.

Modellbewertung Umlegung Straße

Die Verkehrsumlegung Straße verwendet ein Modell, das methodisch und bezüglich der räumlichen und zeitlichen Auflösung der Aufgabenstellung mindestens angemessen ist. Im Vergleich zu anderen Teilen des Gesamtmodells ist die zeitliche und räumliche Auflösung hoch. Ein bei Umlegungen üblicher Nachweis der Konvergenz fehlt.

Der Einsatz eines dynamischen Umlegungsverfahrens ist grundsätzlich zu begrüßen. Falls keine Rückstauwirkungen abgebildet werden (im Bericht nicht erwähnt), ist dies im gegebenen Anwendungszusammenhang akzeptabel. Durch die Betrachtung des Belastungsverlaufs über den Tag können die Verkehrszustände in den Spitzenzeiten viel besser beurteilt werden, als dies mit einem statischen Verfahren möglich wäre. Für die Berechnung des Kraftstoffverbrauchs ist diese genauere Kenntnis des Verkehrszustands wertvoll. Umso bedauerlicher ist, dass die CO₂-Emissionen nicht aus diesen feinen Umlegungen gewonnen werden, sondern aus der deutlich gröberen Betrachtung im Rahmen der Nachfrageberechnung. Dies sichert aber die Konsistenz zur BVWP-Prognose, bei der genauso vorgegangen wurde.

Wie im P2-Bericht beschrieben, werden die meisten Maßnahmen des Klimaschutzeszenarios auf der Globalebene einfließen. Das Umlegungsmodell Straße ist aber grundsätzlich in der Lage, alle Maßnahmen, die sich auf Widerstände im Straßenverkehr abbilden lassen, zu berücksichtigen. Der Rückfluss ins Gesamtmodell geschieht dann über die Widerstandsmatrizen, bei deren Aggregation die Maßnahmenwirkung unschärfer wird.

Schwer zu bewerten ist die Tatsache, dass die Umlegung Straße für den Personennahverkehr ein eigenes Nachfragemodell nutzt. Da die so modellierte Nachfrage über 90%

der gesamten Nachfrage ausmacht, ist dieser Teil für die Umlegungsergebnisse sehr ergebnisrelevant. Im P2-Bericht fehlt eine Beschreibung des Nachfragemodells. Es ist unklar, wie das Modell im Analysezustand bei Abweichungen zwischen Modell- und Zählwerten korrigiert wird.

Auswirkungen der Annahmen im Teilmodell Umlegung Straße auf die Aussagekraft des BVWP-Modells:

- Verkehrsstärken auf Strecken stellen anders als die Verkehrsleistung in einem Bundesland sehr detaillierte Werte dar. Deshalb ist auf einzelnen Netzelementen von größeren relativen Abweichungen als bei aggregierten Werten auszugehen.
- Die am 23.09.2015 in Folien gezeigten Verkehrsstärken und GEH-Werte zeigen eine sehr gute Übereinstimmung von Modellwerten und Zählwerten für den Analysezustand 2010.
- Die gute Reproduktion des Analysezustands ermöglicht allerdings keine unmittelbare Aussage auf die Modellgüte, da nicht beschrieben ist, welche Matrixkorrekturen durchgeführt werden. Es erscheint unwahrscheinlich, dass die Ergebnisse ohne Nachkorrekturen ermittelt wurden.
- Da keine Konvergenzkriterien benannt werden und auch keine Reisezeitdaten vorliegen, ist keine Aussage zur Modellqualität auf Ebene der Strecken im Prognosezustand möglich. Bei einer Straßenverkehrsumlegung können kleine Änderungen immer dann große, zufällige Abweichungen bewirken, wenn das Modell nicht konvergiert ist.
- Die Aussagekraft des Umlegungsmodells ist gut geeignet, um die Zielerreichung des Klimaschutzenszenarios zu überprüfen, da hier keine kleinräumigen Maßnahmen bewertet werden. Inkonsistenzen zwischen den beiden Nachfragemodellen sind möglich.

Modellbeschreibung Umlegung Schiene

Das Modell für die Umlegung im Schienenverkehr besteht aus den beiden Teilmodellen für den Schienenpersonenverkehr und den Schienengüterverkehr.

Ergebnisse sind kantenbezogene Transportmengen, Anzahl Personen- und Güterzüge, Auslastung der Strecken und Fahrzeiten, differenziert nach Tages-Zeitscheiben.

Umlegung Schienenpersonenverkehr

Eingangsgrößen für die Umlegung im Schienenpersonenverkehr sind das Schienennetzmodell und die Verkehrsnachfrage eines Tages in Form von Quell-Ziel-Matrizen auf der Mikroebene 2. Es werden die drei Fahrtzweckgruppen Ausbildung, Geschäft und Sonstiges unterschieden. Fahrtzweckspezifisch sind zum Beispiel die Zeitzuschläge pro Umstieg oder der angesetzte Zeitwert pro Stunde.

Im ersten Schritt werden die sinnvollen Fahrtmöglichkeiten für jede Quell-Ziel-Beziehung gesucht (als „Routenwahl“ im P2-Bericht bezeichnet) im zweiten Schritt wird die Verkehrsnachfrage auf diese Routen aufgeteilt (als „Routensplit“ im P2-Bericht bezeichnet). Für die Routensuche werden für jede Fahrtmöglichkeit die generalisierten Kosten berechnet. Diese setzen sich aus einem Anteil zusammen, der die Angebotsqualität beschreibt (Fahrzeit, Anzahl Umstiege, produktgruppenspezifische Zuschläge etc.), und einem, der die Nutzerkosten beschreibt. Für die Angebotsqualität werden alle berücksichtigten Einflussgrößen in Zeiten umgerechnet und dann mit dem zweckspezifischen Zeitwert monetarisiert. Die Nutzerkosten werden mit einem Tarifmodell bestimmt.

Weil für den Prognosezustand kein Fahrplan vorliegt, wird ein linienfeines Umlegungsverfahren verwendet. Für die Verteilung des Verkehrs auf die möglichen Routen wird die Bedienungshäufigkeit der Linien einbezogen und es wird für jede Line bestimmt, zu welchem Anteil des Tages sie für den Nutzer nach generalisierten Kosten optimal ist. Nach diesen Anteilen wird dann die Verkehrsnachfrage auf die Linien verteilt.

Es wird weder bei der Verkehrsnachfrage noch beim Angebot der Verlauf innerhalb des Tages betrachtet. Dies kann dadurch gerechtfertigt werden, dass typischerweise in Zeiten höherer Nachfrage auch das Angebot dichter ist und damit eine über den Tag gemittelte Betrachtung keine große Verzerrung darstellt.

Umlegung Schienengüterverkehr

Für die Umlegung des Schienengüterverkehrs wird das Verfahren „WiZug“ (Wirtschaftliche Zugführung“) eingesetzt. Eingabegrößen sind das Schienennetzmodell mit Kapazitäten von Strecken und Knoten und die Transportnachfrage auf Kreisebene.

Es werden verschiedene Produktionssysteme des Güterverkehrs betrachtet (Ganzzug, Einzelwagen, begleiteter und unbegleiteter kombinierter Verkehr) und Gütergruppen unterschieden.

Die Transportmengen des Jahres werden mit empirischen Ganglinien erst auf Tage und dann auf Tageszeiten für den Wunschabfahrtszeitpunkt heruntergebrochen. Aus der Transportmenge wird mit einem Beladungsmodell die Menge an Wagen berechnet, zudem werden die Leerwagen abgeschätzt. Die Leerwagendisposition wird zunächst mit einem Optimierungsverfahren optimal berechnet und dann wieder künstlich verschlechtert, um der realen Disposition näher zu kommen.

Die Bildung von Zügen aus Wagen wird mikroskopisch berechnet, d.h. für jeden Wagen wird ein Laufweg mit eventuell mehreren Rangiervorgängen berechnet.

Die Routenwahl der Züge basiert auf generalisierten Kosten mit Fahrzeiten und Trassenpreisen. Die Fahrzeiten können lastabhängig variieren, z.B. sind die Wartezeiten beim Rangieren abhängig von der Auslastung des Rangierknotens. Im Schienennetz wird die Vorbelastung durch den Personenverkehr berücksichtigt. Ein Tag wird in fünf Zeitscheiben eingeteilt, um die schwankende Auslastung des Netzes durch den Personenverkehr besser abzubilden. Die resultierenden Fahrzeiten werden in das Güterverkehrsnachfragemodell rückgekoppelt.

Die Schienengüterumlegung ist an den Zugzahlen des Jahres 2010 kalibriert worden.

Modellbewertung Umlegung Schiene

Die Umlegungsmodelle im Schienenverkehr entsprechen dem Stand der Technik und sind der Aufgabenstellung angemessen. Der Detaillierungsgrad im Schienengüterverkehr ist sehr hoch. Beim Schienenpersonenverkehr wird mit der Annahme der Gleichverteilung der Nachfrage über den Tag eine Vereinfachung gemacht, die im Rahmen des Gesamtmodells vertretbar ist. Über die Kalibrierung der Modellparameter im Schienenpersonenverkehr wird keine Aussage gemacht.

Auswirkungen der Annahmen im Teilmodell Umlegung Schiene auf die Aussagekraft des BVWP-Modells:

- Verkehrsstärken auf Strecken stellen anders als die Verkehrsleistung in einem Bundesland sehr detaillierte Werte dar. Deshalb ist auf einzelnen Netzelementen von größeren relativen Abweichungen als bei aggregierten Werten auszugehen.
- Bei Routenalternativen mit ähnlichen Reisezeiten kann der Fahrplan einen großen Einfluss auf die Routenwahl haben. In diesen Fällen kann es zu deutlichen Abweichungen kommen. Das ist aber keine Unzulänglichkeit des Modells sondern ergibt sich aus dem fehlenden Fahrplan.
- Bei Investitionsentscheidungen, die auf den Umlegungsergebnissen beruhen, sollte der Einfluss des Fahrplans berücksichtigt werden.
- Die Aussagekraft des Umlegungsmodells ist gut geeignet, um die Zielerreichung des Klimaschutzenszenarios zu überprüfen, da hier keine kleinräumigen Maßnahmen bewertet werden.

3.7 Numerische Genauigkeit des Modells

Verkehrsnachfragemodelle basieren auf iterativen Berechnungsverfahren, die notwendig sind, um die Rückkopplungen zwischen Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage abzubilden. Die numerische Genauigkeit hängt deshalb von der erreichten Konvergenz (= Abweichung des Ergebnisses von einem Gleichgewichtszustand) ab. Es ist unklar, ob der Modellansatz an einigen Stellen überhaupt vorsieht, so lange zu iterieren, bis sich Konvergenz einstellt, bzw. bei welcher Annäherung an das Gleichgewicht die Iterationen beendet werden. Eine mangelnde Konvergenz wirkt sich in erster Linie bei kleinräumigen Maßnahmen aus, die zwar im Rahmen der BVWP, nicht aber im Klimaschutzenszenario untersucht werden.

4 Fazit

Die Konzeption des BVWP-Modells ermöglicht es, die Wirkungen bei folgenden Änderungen nachzubilden:

- Bevölkerungszahl und Bevölkerungszusammensetzung,
- Produktion und Logistik,
- Motorisierungsgrad,
- Verkehrsnetze Straße, Schiene, Wasserstraße,
- Angebotsqualität im ÖV,
- Nutzungskosten,
- Flottenzusammensetzung.

Das BVWP-Modell kann Änderungen in der Nahmobilität nur eingeschränkt abbilden, da es ein nationales Modell ist. Es erfordert Annahmen über den Motorisierungsgrad, den Besetzungsgrad und die Fahrzeugflotte.

Das BVWP-Modell ist ein komplexes, anwendungsorientiertes Modell, das – wie jedes Modell – Stärken und Schwächen hat. Nach Einschätzung von P1

- liefert das Modell für den Personenverkehr aggregierte Kenngrößen für die Personenkilometer und die Fahrzeugkilometer in einer plausiblen Größenordnung,
- weist das Modell im Güterverkehr eine höhere Prognoseunsicherheit auf, da hier mehr Annahmen als im Personenverkehr erforderlich sind und globale Entwicklungen einen großen Einfluss haben,
- ist hinreichend gut geeignet, um die Zielerreichung im Klimaschutzszenario zu überprüfen.

Das Modellkonzept enthält viele Besonderheiten und pragmatische Lösungen, die in der Verkehrsnachfragemodellierung sonst nicht üblich sind, aber wegen der speziellen Anforderungen der Abbildung der Verkehrsnachfrage auch unregelmäßiger Verkehrsströme in ganz Deutschland von den Bearbeitern von P2 als zwingend erforderlich erachtet worden. Auch die Absicherung der Prognosewerte mit Hilfe einer Makroprognose ist vor diesem Hintergrund zu sehen. Die Prognosewerte sind damit das Ergebnis einer modellgestützten Expertenmeinung. Auf diesen Umstand weisen die Bearbeiter von P2 im ergänzenden Bericht zur Methodik der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 hin:

„Darüber hinaus ist generell anzumerken, dass die Verkehrsprognose 2030 für Deutschland nicht das Ergebnis eines Verkehrsmodells, sondern das Ergebnis der Expertenmeinung der Bearbeiter unter Verwendung von Verkehrsmodellen darstellt. Letztere sind Werkzeuge, aber nicht Selbstzweck.“

Gerade weil die Verkehrsprognose eine modellgestützte Expertenmeinung darstellt, wäre aus Sicht von P1 eine bessere Dokumentation wünschenswert. Die Modellergebnisse des BVWP-Modells haben eine hohe Bedeutung. Wie viele andere Modellberichte zu Verkehrsnachfragemodellen erfüllt die Modelldokumentation nicht die Anforderungen,

die für ein Modell dieser Bedeutung erforderlich sind. Die Dokumentation ist unvollständig, so dass Dritte mit der Dokumentation das Modell nicht nachvollziehen (im Sinne von nachrechnen) können. Das hat im Rahmen der Projektbearbeitung zu zahlreichen Rückfragen geführt. Ohne die Qualität der Ergebnisse in Frage zu stellen, sollten der Bund und das Land nach Meinung von P1 in der Zukunft bei Nachfrageprognosen auf eine umfassendere Modelldokumentation dringen, die neben der Methode auch die verwendeten Parameter dokumentiert.