

**FE 70.919/2015**

**Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle**  
**Anforderungen an das Verkehrsnachfragemodell**  
**„BMVI Testfall“**

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

**Stand: 18.11.2019**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Anlass der Modellerstellung</b>	<b>4</b>
1.1	Einsatzbereiche	4
1.2	Modellergebnisse	4
<b>2</b>	<b>Räumliche Abgrenzung</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Bezugszeitraum</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Abbildung der Raum- und Siedlungsstruktur</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Abbildung des Verkehrsangebots</b>	<b>8</b>
5.1	Netz des Straßenverkehrs	8
5.2	Netz des öffentlichen Verkehrs	9
<b>6</b>	<b>Abbildung der Verkehrsnachfrage</b>	<b>9</b>
6.1	Segmentierung der Verkehrsnachfrage	9
6.2	Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell	10
6.3	Verkehrserzeugung	10
6.4	Verkehrsverteilung	10
6.5	Verkehrsmoduswahl	11
6.6	Umlegung IV	11
6.7	Umlegung ÖV	11
6.8	Abfahrtszeitwahl	11
<b>7</b>	<b>Externer Verkehr und Wirtschaftsverkehr</b>	<b>12</b>
7.1	Externer Verkehr	12
7.2	Wirtschaftsverkehr	12
<b>8</b>	<b>Prognose</b>	<b>12</b>
<b>9</b>	<b>Validierung des Modells</b>	<b>13</b>
9.1	Überprüfung der Modellgenauigkeit	13
9.2	Einzelwerte	13
9.3	Verteilungen	14
9.4	Zielwerte für die Validierung	15
9.5	Überprüfung des Modellverhaltens	17
<b>10</b>	<b>Verfügbare Daten</b>	<b>18</b>
<b>11</b>	<b>Modellspezifikation und Dokumentation</b>	<b>18</b>
11.1	Modellspezifikation	18
11.2	Modelldokumentation	18
11.3	Übergabe des Modells	19
<b>12</b>	<b>Projektorganisation</b>	<b>19</b>
12.1	Arbeitsschritte und Zeitplan	19
12.2	Meilensteinberichte und Projektgespräche	20

## Hinweise zum Dokument

Das vorliegende Dokument enthält Anforderungen an den Aufbau und die Validierung eines Verkehrsnachfragemodells. Die Anforderungen können als Grundlage für die Erstellung einer Modellspezifikation oder einer Leistungsbeschreibung genutzt werden. Die Inhalte des Dokuments werden mit einem Modellspezifikationsgenerator erstellt. Dieser Modellspezifikationsgenerator baut auf einer Microsoft Word-Vorlage auf und ergänzt das Dokument durch Textbausteine. Die Textbausteine werden regelbasiert ausgewählt. Grundlage für die Auswahl sind allgemeine Angaben zum Anlass der Modellerstellung:

- Angaben zur Struktur des Untersuchungsraumes,
- Angaben zur Veranlassung der Modellerstellung,
- Angaben zu Entwicklungen und Maßnahmen, die untersucht werden sollen,
- Festlegung von Kenngrößen, die mit dem Modell berechnet werden sollen.

Der auf diese Weise erstellte Text muss dann vor der weiteren Verwendung geprüft und überarbeitet werden. Der Text stellt nur einen Textvorschlag dar, die Verantwortung für die Inhalte liegt beim Nutzer des Modellspezifikationsgenerators.

# 1 Anlass der Modellerstellung

Das vorliegende Dokument enthält die Anforderungen an den Aufbau und die Validierung des Verkehrsnachfragemodells „BMVI Testfall“. Die Anforderungen an das Modell ergeben sich aus dem Anlass der Modellerstellung, den zu untersuchenden Maßnahmen und den gewünschten Kenngrößen.

## 1.1 Einsatzbereiche

Das Verkehrsnachfragemodell sollte für folgende Planungsaufgaben genutzt werden:

- Strategische Planung, Bedarfsplanung (BVWP, VEP, NVP)
- Entwurfsplanung, Planfeststellung, Genehmigungsplanung
- Lärminderungsplanung
- Luftreinhalteplanung
- Linienerfolgsrechnung im ÖV

Die Ergebnisse des Verkehrsnachfragemodells sollten Eingangswerte für folgende Regelwerke bereitstellen:

- Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen RWS
- Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS - Teil Stadtstraßen
- Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen RLS 90

Das zu erstellende Verkehrsnachfragemodell sollte die Wirkungen folgender Entwicklungen und Maßnahmen ermitteln:

- Wirkung demografischer Entwicklungen.
- Wirkungen von baulichen Maßnahmen (Neubau, Ausbau, Rückbau) im Straßennetz.
- Wirkungen von Maßnahmen im ÖV (Liniennetzplanung).
- Wirkungen von Lkw-Durchfahrtsverboten.
- Wirkungen von Änderungen bei Fahrpreisen und Tarifstrukturen im ÖV.
- Wirkung von Straßenbenutzungsgebühren.
- Wirkungen auf den erforderlichen Fahrzeugeinsatz (Anzahl Fahrzeuge).
- Wirkungen der Verkehrssteuerung an Knotenpunkten.
- Wirkungen von Verkehrsleitsystemen.
- Wirkungen eines Verkehrsmanagements.

## 1.2 Modellergebnisse

Für die Einsatzbereiche des Modells sind folgende Kenngrößen zur Bewertung der Wirkungen von besonderer Bedeutung:

- die Zahl der Wege im Personenverkehr, differenziert nach Modus (Pkw, Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Mitfahrer, ÖV)
- die Zahl der Fahrten mit dem Modus Lkw
- die Verkehrsstärke je Netzelement, differenziert nach Modus (Pkw, ÖV, Lkw)
- die Streckengeschwindigkeit
- die Personenkilometer im ÖV
- die Umsteigehäufigkeit
- die Zahl der Linienbeförderungsfälle je Linie

- die Betriebskosten im ÖV
- die Erlöse im ÖV
- die Einnahmen im MIV (Maut, Parken)
- die Fahrzeugkilometer je Netzelement
- der Kraftstoffverbrauch je Netzelement
- die Schadstoffemission je Netzelement
- die Lärmemissionen je Netzelement
- der Zeitkartenbesitz

Alle Werte sind für folgende Tagesarten zu berechnen:

- Alle Werte sollten für einen normalen Werktag (Mo bis Fr, Schulzeit, Vorlesungszeit) ermittelt werden.

Das Verkehrsmodell soll die Kenngrößen mit folgendem Zeitbezug bereitstellen:

- Das Verkehrsnachfragemodell soll neben den Tageswerten zusätzlich Stundenmatrizen für jeden Modus sowie stündliche Verkehrsstärken pro Netzelement liefern.

Diese Kenngrößen sind im Modell auf geeigneten Ebenen zu hinterlegen:

- Relationsbezogene Ergebnisse:
  - Kenngrößenmatrizen
  - Nachfragematrizen
- Netzelementbezogene Ergebnisse:
  - Strecken und Abbieger: Verkehrsstärke, Auslastung, Fahrtzeit
  - Haltestellen: Verkehrsstärken für Ein-, Aus- und Umsteiger, Wartezeiten
  - Linien: Einsteiger, Aussteiger, Fahrgäste, Personenkilometer, Auslastung
- Aggregierte Ergebnisse:

Sie umfassen Kenngrößen für den gesamten Untersuchungsraum, für den gesamten Planungsraum oder für Teilräume oder für Mengen von Netzelementen (z.B. für ein ÖV-Verkehrssystem oder für eine Straßenklasse). Tabelle 1 zeigt die gewünschten Modellergebnisse, die als aggregierte Werte mit dem Modell ermittelt werden sollen.

Kenngröße	Inhaltliche Differenzierung	Räumliche Differenzierung			
		mit externem Verkehr		ohne externen Verkehr	
		Untersuchungsraum	Planungsraum	Untersuchungsraum	Planungsraum
Verkehrsaufkommen [Anzahl Wege]	• alle Personen			M	M
	• Wegezweck			M	M
	• Personengruppe × Wegezweck			M	M
	• Modus 1 ①			M	M
	• Modus × Personengruppe			M	M
	• Modus 1 × Wegezweck			M	M
Verkehrsleistung [Personenkilometer] oder [Fahrzeugkilometer]	• alle Personen			M	M
	• Modus 1 ②			M	M
	• Modus 2	U	U	U ③	U ③
	• Personengruppe			M	M
	• Wegezweck			M	M
	• Straßenklasse	U	U	U ③	U ③
Verkehrszeitaufwand [Personenstunden] oder [Fahrzeugstunden]	• alle Personen			M	M
	• Modus 1			M	M
	• Modus 2	U	U	U ③	U ③
	• Personengruppe			M	M
	• Wegezweck			M	M
mittl. Reiseweite pro Weg [km]	• Wegezweck			M	M
mittl. Reisezeit pro Weg [min]	• Wegezweck			M	M
mittl. Wegezahl pro Person [Anzahl Wege]	• alle Personen			M	M
	• Personengruppe			M	M
mittl. Reiseweite pro Person [km]	• alle Personen			M	M
	• Personengruppe			M	M
mittl. Reiseweite pro Person [km]	• alle Personen			M	M
	• Personengruppe			M	M
<b>Legende</b>					
M Kenngröße ist das Ergebnis einer Matrixauswertung. Es werden nur Wege mit Quelle und Ziel im jeweiligen Raum ausgewertet. Der Zellbinnenverkehr ist Bestandteil der Kenngröße.					
U Kenngröße ist das Ergebnis einer Umlegung und einer Aufsummierung der Kenngrößen über alle Netzelemente (Strecken, Abbieger, Anbindung) im jeweiligen Raum. Der Zellbinnenverkehr ist nicht Bestandteil der Kenngröße					
Die Kenngrößen einer Matrixauswertung M und einer Umlegungsauswertung U können nur dann verglichen werden, wenn der Zellbinnenverkehr nicht berücksichtigt wird und wenn die Kenngrößenmatrix nach der Umlegung nochmal neu berechnet wird.					
① Aus diesen Kenngrößen kann der wegebezogene Modal-Split berechnet werden.					
② Aus diesen Kenngrößen kann der verkehrsleistungsbezogene Modal-Split berechnet werden.					
③ Diese Auswertung ist nur möglich, wenn der externe Verkehr als eigene Nachfragegruppe umgelegt wird.					
Ausprägungen des Modus					
• Modus 1: Fuß, Rad, ÖV, Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer: Für diese Auswertungen ist keine Umlegung erforderlich; ausgewertet werden alle Wege mit Quelle und Ziel im jeweiligen Raum.					
• Modus 2: ÖV, Pkw-Selbstfahrer, Lkw: Für diese Auswertungen ist eine Umlegung erforderlich, um die Verkehrsleistung und den Verkehrszeitaufwand pro Raum zu ermitteln.					

Tabelle 1: Aggregierte Ergebnisse, die das Verkehrsnachfragemodell bereitstellen soll.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Die Inhalte dieser Tabelle müssen an die Gegebenheiten des Modells angepasst werden.

## 2 Räumliche Abgrenzung

Der Planungsraum umfasst den Raum, in dem Maßnahmen untersucht werden. Der Untersuchungsraum beinhaltet neben dem Planungsraum den Einflussraum, in dem die Maßnahmen Wirkungen auf die Verkehrsnachfrage haben. Der Außenraum dient zur Abbildung der verkehrlichen Interaktion des Untersuchungsraums mit dem „Rest der Welt“. Bild 1 zeigt den Planungs- und Einflussraum.

Der Planungsraum umfasst einen Raum mit rund 2.000.000 Einwohnern und 1.000.000 Arbeitsplätzen.

Der Untersuchungsraum sollte die Region und zusätzlich den wesentlichen Pendlereinzugsbereich der Region beinhalten.

Das Verkehrsnachfragemodell sollte den Binnenverkehr des Untersuchungsraums berechnen.

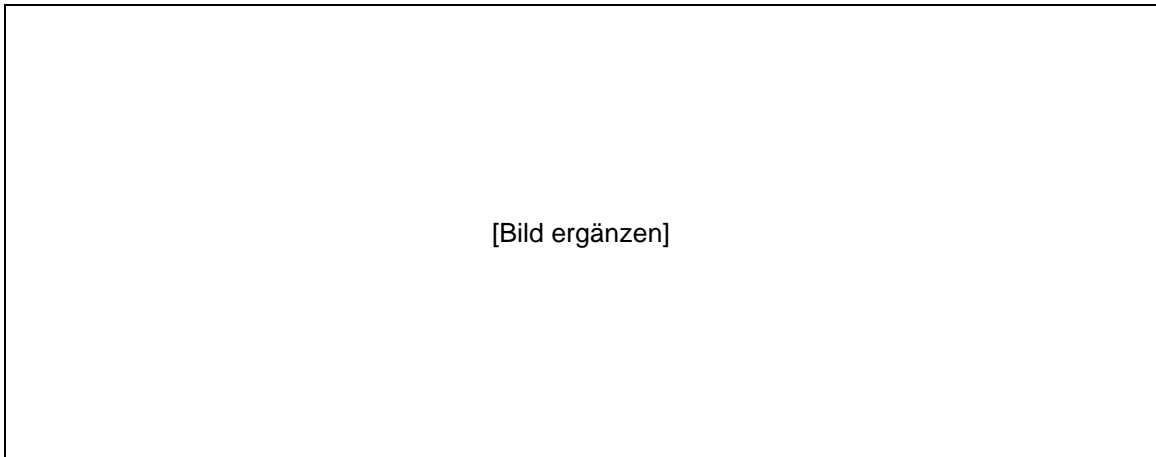


Bild 1: Planungs- und Einflussraum.

Weitere Informationen zur räumlichen Abgrenzung finden sich im Forschungsbericht in Kapitel 5.2.

## 3 Bezugszeitraum

### Analyse- und Prognosezeitpunkt

Bezugsjahr für den Analysezustand ist das Jahr [20JJ], wobei Eingangsdaten, insbesondere die Zähl- und Strukturdaten je nach Verfügbarkeit z. T. aus zurückliegenden Jahren verwendet werden müssen. Grundlage für das Angebot im ÖV ist die Fahrplanperiode [12/20JJ bis 12/20JJ]. Basierend auf dem Modell des Analysezustands soll ein Prognosenullfall für das Jahr [20JJ] erstellt werden.

### Verkehrstage

Das Modell sollte folgende Verkehrstage abbilden:

- Werktag Schule (Montag bis Freitag, DTVw5)

Weitere Informationen zum Bezugszeitraum finden sich im Forschungsbericht in Kapitel 4.2.

### Modellfälle

Mit dem zu erstellenden Verkehrsnachfragemodell sollten folgende Modellfälle abgebildet werden:

- Analysefall
- Bezugsfall
- Planfälle

## 4 Abbildung der Raum- und Siedlungsstruktur

Die Anzahl der Verkehrszellen im Planungsraum sollte 500 bis 700 betragen. Dieser Wertebereich ergibt sich daraus, dass in einem regionalen Modell die Zahl der Einwohner pro Zelle im Planungsraum zwischen 3.000 und 4.000 liegen soll.

Die Anzahl der Verkehrszellen im Untersuchungsraum inkl. Planungsraum sollte 800 bis 1.000 betragen. Dieser Wertebereich ergibt sich daraus, dass die Zellenzahl im Einflussraum >50% der Zellen im Planungsraum betragen und die Einwohner pro Zelle zwischen 5.000 und 8.000 liegen soll.

Bei der Festlegung der Verkehrszellen sollen folgende Regeln beachtet werden:

- Im Planungsraum sollte jede Gemeinde durch mindestens eine Verkehrszelle repräsentiert werden.
- In kreisfreien Städten des Planungsraums sollte jeder Stadtteil durch mindestens eine Verkehrszelle abgebildet werden.
- Im Einflussraum können mehrere Gemeinden zu einer Verkehrszelle zusammengefasst werden.
- Eine Zelle sollte maximal eine Haltestelle des Schienenverkehrs umfassen.
- Die Abgrenzung der Zellen sollte sich an den verfügbaren Siedlungsstrukturdaten orientieren. Außerdem sollten organisatorische Raumeinheiten (Gemeindegrenzen, Stadtteile), natürliche Grenzen (Flüsse) und trennende Verkehrswege (Autobahnen, Schienenwege) berücksichtigt werden.
- Verkehrszellen sollten im gesamten Untersuchungsraum ähnliche Größenordnungen bei den Einwohner- und Arbeitsplatzzahlen haben. Verkehrszellen können mit zunehmender Entfernung vom Planungsraum nach außen größer werden. Sprünge in der Zellengröße zwischen Planungsraum und Einflussraum sollten vermieden werden.
- Für jede Verkehrszelle sollte neben den Zellgrenzen die Siedlungsflächen als Polygonobjekte eingepflegt werden.
- Für Flächen, die im Prognosezeitraum entwickelt werden sollen, sind bereits im Analysefall Verkehrszellen vorzusehen.
- Im Planungsraum sollte die Einspeisung nicht direkt in das Hauptstraßennetz erfolgen.

Weitere Informationen zur Abbildung der Raum- und Siedlungsstruktur finden sich im Forschungsbericht in Kapitel 5.3.

## 5 Abbildung des Verkehrsangebots

### 5.1 Netz des Straßenverkehrs

#### Enthaltene Straßenklassen bzw. Wegenetz

Im Netzmodell sollten innerhalb des Planungsraums folgende Straßenklassen enthalten sein:

- Bundesfernstraßen: Bundesautobahnen und Bundesstraßen.
- Außerörtliche Hauptverkehrsstraßen: Landstraßen und Kreisstraßen der Verbindungsfunktionsstufe I bis IV.
- Innerörtliche Hauptverkehrsstraßen: Innerörtliche Straßen mit Verbindungsfunktion.

#### Modellierung der Knotenpunkte

Es sollten auslastungsabhängige Abbiege- und Knotenwiderstände in Abhängigkeit vom Knotentyp modelliert werden. Dazu sind geeignete CR-Funktionen zu nutzen.



## **Fahrzeugklassen für den motorisierten Verkehr**

Das Modell sollte die Verkehrsstärken nach Fahrzeugklassen differenzieren. Die Differenzierung sollte so erfolgen, dass Fahrzeuge entsprechend einer Mautspezifikation bzw. nach Emissionsklassen unterscheidbar sind.

Weitere Informationen zur Abbildung des Straßennetzes finden sich im Forschungsbericht in Kapitel 5.4.2.

## **5.2 Netz des öffentlichen Verkehrs**

### **Systeme des öffentlichen Verkehrs**

Das ÖV-Netzmodell sollte innerhalb des Planungsraums die folgenden ÖV-Systeme enthalten:

- Fernverkehrsnetz
- Regionalverkehrsnetz Schiene + hochwertige Busse
- Ergänzendes Regionalverkehrsnetz
- Städtischer ÖPNV

### **Differenzierung des öffentlichen Verkehrs**

Das ÖV-Angebot sollte den Fernverkehr und den Regionalverkehr enthalten. Eine Abbildung des kompletten Nahverkehrsangebotes ist nicht notwendig.

### **Fahrplanangebot**

Der öffentliche Verkehr ist durch Linienwege, Fahrtzeiten und den Fahrplan mit An- und Ankunftszeiten abzubilden.

Darüber hinaus sollten bei der Modellierung des ÖV-Angebots folgende Dinge beachtet werden:

- Abbildung der Tarife
- Fahrzeugtypen bzw. Zugtypen mit Kapazität und Betriebskostensätzen

### **Park+Ride**

Die explizite Abbildung des Park+Ride-Verkehrs ist nicht notwendig.

Weitere Informationen zur Abbildung des ÖV-Angebots finden sich im Forschungsbericht in Kapitel 5.4.3.

## **6 Abbildung der Verkehrsnachfrage**

### **6.1 Segmentierung der Verkehrsnachfrage**

#### **Differenzierung der Personengruppen**

Bei der Segmentierung der Personengruppen sollten mindestens die Gruppen Schüler, Azubis, Studenten, Erwerbstätige mit Pkw, Erwerbstätige ohne Pkw, Nichterwerbstätige mit Pkw, Nichterwerbstätige ohne Pkw, Rentner < 75 und Rentner > 75 unterschieden werden.

Weitere Informationen zur Personengruppeneinteilung finden sich im Forschungsbericht in Kapitel 5.5.1.

## Differenzierung der Aktivitäten

Die abgebildeten Aktivitäten sollten mindestens Arbeit-Vollzeit, Arbeit-Teilzeit, Bildung, Einkaufen, Private Erledigung, Freizeit, Bringen / Holen sowie Sonstige Erledigungen unterscheiden.

Weitere Informationen zur Wegezweckdifferenzierung finden sich im Forschungsbericht in Kapitel 5.5.1.

## 6.2 Verkehrsmittelverfügbarkeitsmodell

Die Verkehrsmittelverfügbarkeit ist explizit und prognosefähig in das Modell einzubauen. Sie sollte sensitiv hinsichtlich der zu untersuchenden Maßnahmen sein.

## 6.3 Verkehrserzeugung

### Erzeugungsmodell

Das Verkehrserzeugungsmodell soll folgende Anforderungen erfüllen:

- Die Verkehrserzeugung sollte differenziert nach Personengruppen und Wegezwecken erfolgen.
- Es sollte die Verwendung eines Aktivitätenkettenmodells angestrebt werden, das Pflicht- und Wahlaktivitäten unterscheidet.
- Die im Modell verwendeten Strukturgrößen, Produktionsraten, Anziehungsraten und die Untersuchungsraumanteile sollten vom Modellersteller für jede Personengruppe und jeden Wegezweck offengelegt werden, so dass die Verkehrserzeugung von Modellnutzern reproduziert werden kann.
- Die Verkehrserzeugung muss berücksichtigen, dass Zellen am Rand des Untersuchungsraums pro Person weniger Wege erzeugen, die Quelle und Ziel im Untersuchungsraum haben, als Zellen im Kern des Untersuchungsraums. Am Rand entfällt ein größerer Anteil der Wege auf Wege in den Außenraum. Deshalb sind für jede Zelle und für jeden Wegezweck die Anteile der Wege mit Quelle und Ziel im Untersuchungsraum zu bestimmen. Dieser Anteil wird Untersuchungsraumanteil genannt. Er wird für den produzierten und angezogenen Verkehr differenziert.
- Es gibt Aktivitätenorte (z.B. Kinderbetreuung, Ausbildung), die vorrangig im Umkreis des Wohnorts (z.B. in der Gemeinde, im Landkreis) liegen. Bei Wegezwecken mit diesen teilräumlichen Bindungen muss im Rahmen der Verkehrserzeugung geprüft werden, ob die Siedlungsstrukturdaten von Einwohnern (z.B. Zahl der Schüler) und Aktivitätenorten (z.B. Zahl der Schulplätze) in Teilräumen übereinstimmen.

### Singuläre Verkehrserzeuger

Die Abbildung singulärer Verkehrserzeuger ist für den Planungsraum von besonderer Bedeutung. Es sind jene Attraktionspotenziale zu identifizieren, deren Verkehrsaufkommen sich nicht allein aus den vorhandenen Strukturdaten erklärt. Das können z.B. Bahnhöfe oder Flughäfen sein (erhöhtes Potenzial für Holen / Bringen), große Veranstaltungshallen oder Freizeitparks.

## 6.4 Verkehrsverteilung

### Zielwahlmodell

Die Zielwahl muss abhängig vom Verkehrsangebot sein und unter der Beachtung von Randsummenbedingungen durchgeführt werden. Zielwahl- und Moduswahl sollen simultan erfolgen. Gewachsene Strukturen sollen für Arbeitswege durch die Einbeziehung einer empirischen Matrix (Pendlermatrix) in die Nutzenfunktion berücksichtigt werden.

Weitere Informationen zur Zielwahl finden sich im Forschungsbericht in Kapitel 5.1.3 und 5.1.5.

## 6.5 Verkehrsmoduswahl

### Modale Auflösung

Das Modell sollte folgende Modi abbilden:

- Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Mitfahrer
- ÖV differenziert nach Fahrkartenart (Einzelfahrkarte / Zeitkarte) oder Beförderungsklasse (1. / 2. Klasse)
- Rad
- Fuß

### Verwendetes Moduswahlmodell

Die Nutzenfunktion sollte bei der Moduswahl folgende Attribute enthalten: Fahrzeit im Verkehrsmittel, Zu- und Abgangszeit, Umsteigewartezeit, Reisekosten (Fahrpreise, Kraftstoffkosten, Straßen- und Parkplatznutzungsgebühren), Startwartezeit oder Bedienungshäufigkeit oder Anpassungszeit, Umsteigehäufigkeit. Die Verfügbarkeit von ÖV-Zeitkarten und Pkw-Verfügbarkeit sollte entweder als Teil der Nutzenfunktion oder über zusätzliche Personengruppen berücksichtigt werden.

Weitere Informationen zur Moduswahl finden sich im Forschungsbericht in Kapitel 5.1.4.

## 6.6 Umlegung IV

Die Routenwahl im Kfz-Verkehr sollte mit einem Gleichgewichtsmodell ermittelt werden. Straßenbenutzungsgebühren sollten in die Widerstandsfunktion aufgenommen werden. Es ist ein Umlegungsverfahren zu wählen, dass die Verkehrsstärken auf Abbiegern angemessen abbilden kann.

Die Widerstandsfunktion soll folgende Komponenten umfassen:

- Zeit und Länge
- Kosten
- Widerstände für Lkw-Durchfahrtsverbot

Weitere Informationen zur IV-Umlegung finden sich im Forschungsbericht in Kapitel 5.1.8.1.

## 6.7 Umlegung ÖV

Es ist eine fahrplanbasierte Umlegung erforderlich. Die Widerstandsfunktion sollte Fahrpreise berücksichtigen. Der Einsatz fahrplanbasierter Modelle führt in der Prognose zu Schwierigkeiten, wenn für den Prognosezeitpunkt keine koordinierten Fahrpläne, sondern nur Takte vorliegen. Um in diesem Fall trotzdem fahrplanbasierte Modelle nutzen zu können, kann der Parameter für die Bewertung der Umsteigewartezeit auf 0 gesetzt und der Parameter für die Bewertung der Umsteigehäufigkeit erhöht werden.

Weitere Informationen zur ÖV-Umlegung finden sich im Forschungsbericht in Kapitel 5.1.8.2.

## 6.8 Abfahrtszeitwahl

Die Erzeugung von tageszeitspezifischen Matrizen soll über Ganglinien erfolgen. Die Ganglinien müssen dazu für jeden Aktivitätenübergang (z.B. Wohnen-Arbeiten, Arbeiten-Wohnen) vorgegeben werden.

Weitere Informationen zur Abfahrtszeitwahl finden sich im Forschungsbericht in Kapitel 5.1.7.

## 7 Externer Verkehr und Wirtschaftsverkehr

### 7.1 Externer Verkehr

Die Matrix im Außenraum ist aus einem übergeordneten Modell oder einer Erhebung zu gewinnen. Um die Qualität der externen Matrix prüfen zu können, sind für den Rand des Untersuchungsraumes zum Außenraum Zählwerte erforderlich, um einen Vergleich mit den erzeugten Belastungen durchzuführen.

### 7.2 Wirtschaftsverkehr

Der Güterverkehr im Planungsraum ist von großer Bedeutung und sollte mit einem geeigneten Wirtschaftsverkehrsmodell abgebildet werden.

Im Wirtschaftsverkehr sollte der Straßengüterverkehr (Lkw) und der Personenwirtschaftsverkehr abgebildet werden.

Das Wirtschaftsverkehrsmodell sollte folgende Anforderungen erfüllen:

- Der Straßengüterverkehr sollte mit einem Wirtschaftsverkehrsmodell ermittelt werden, dass differenzierte Wirtschaftsverkehrssegmente (z.B. Branche Forstwirtschaft oder Gutart Post) nutzt und Fahrzeugklassen für die Umlegung (Lkw nach Gewichtsklasse ( $< 7,5$  t,  $< 12$  t,  $\geq 12$  t), Lieferwagen) unterscheidet
- Der Personenwirtschaftsverkehr sollte als ein eigener Wegezweck (z.B. Dienst) abgebildet werden.
- Wichtige Quellen und Ziele des Wirtschaftsverkehrs (z.B. KV-Terminals, Güterverkehrszentren, Flughäfen) sind als einzelne Verkehrszellen zu modellieren.

Weitere Informationen zum Wirtschaftsverkehr finden sich im Forschungsbericht in Kapitel 5.5.2.

## 8 Prognose

Der Prognosehorizont des Modells soll folgenden Zeitraum umfassen:

- mehr als 15 Jahre

Die Verkehrsprognose baut auf dem validierten Verkehrsnachfragemodell auf, das den Analysefall beschreibt und umfasst folgenden Schritte:

1. Fortschreibung der für die Entwicklung des Verkehrs relevanten demographischen Daten, Siedlungsstrukturdaten, Motorisierungsgrade und Nutzungskosten für den Prognosezeitpunkt,
2. Erfassung der für die Entwicklung des Verkehrs bedeutsamen und bis zum Prognosezeitpunkt mit hoher Wahrscheinlichkeit realisierten Maßnahmen im Verkehrsangebot,
3. Erfassung externer Nachfragedaten für den Prognosezeitpunkt, die mit dem Verkehrsnachfragemodell nicht erzeugt werden können,
4. Durchführung der Prognoserechnung und Überprüfung der Plausibilität des Prognoseergebnisses und
5. Ermittlung der gewünschten Kenngrößen für den Prognosezustand (siehe Tabelle 1).

## 9 Validierung des Modells

### 9.1 Überprüfung der Modellgenauigkeit

Die Qualität des Verkehrsnachfragemodells soll durch einen Vergleich von berechneten Modellwerten  $m$  ( $m$  = Modell) und Messwerten  $c$  ( $c$  = Count) nachgewiesen werden. Dabei sollen Einzelwerte und Verteilungen verglichen werden.

### 9.2 Einzelwerte

Hier wird ein einzelner Modellwert mit einem Messwert verglichen. Für jedes Wertepaar wird eine Aussage über die Güte der Übereinstimmung gemacht. Beispiele für Einzelwerte sind Verkehrsstärken an einer Zählstelle, mittlere Reiseweiten oder Fahrzeiten eines Streckenzugs.

Für den Vergleich zweier Einzelwerte soll der  $SQV$ -Wert (Scalable Quality Value) genutzt werden, der wie folgt definiert ist:

$$g_{SQV} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{(m-c)^2}{f \cdot c}}}$$

mit

$g_{SQV}$	Gütemaß $SQV$
$m$	Wert des Modells
$c$	Wert der Erhebung
$f$	Skalierungsfaktor

Der Skalierungsfaktor ermöglicht es, das Gütemaß für Messwerte unterschiedlicher Größenordnungen (Verkehrsstärken Tag, Verkehrsstärken Stunde, mittlere Reisezeit, Zahl der Wege) zu nutzen.

Bild 2 zeigt die zulässigen relativen Abweichungen für verschiedene Messwerte  $c$  und Skalierungsfaktoren  $f$ . Für  $f = 1.000$  entspricht ein  $SQV$ -Wert von 0,85 ungefähr einem GEH von 6. In

Tabelle 2 ist für jede zu validierende Größe der Zielwert des  $SQV$  und der Skalierungsfaktor  $f$  angegeben.

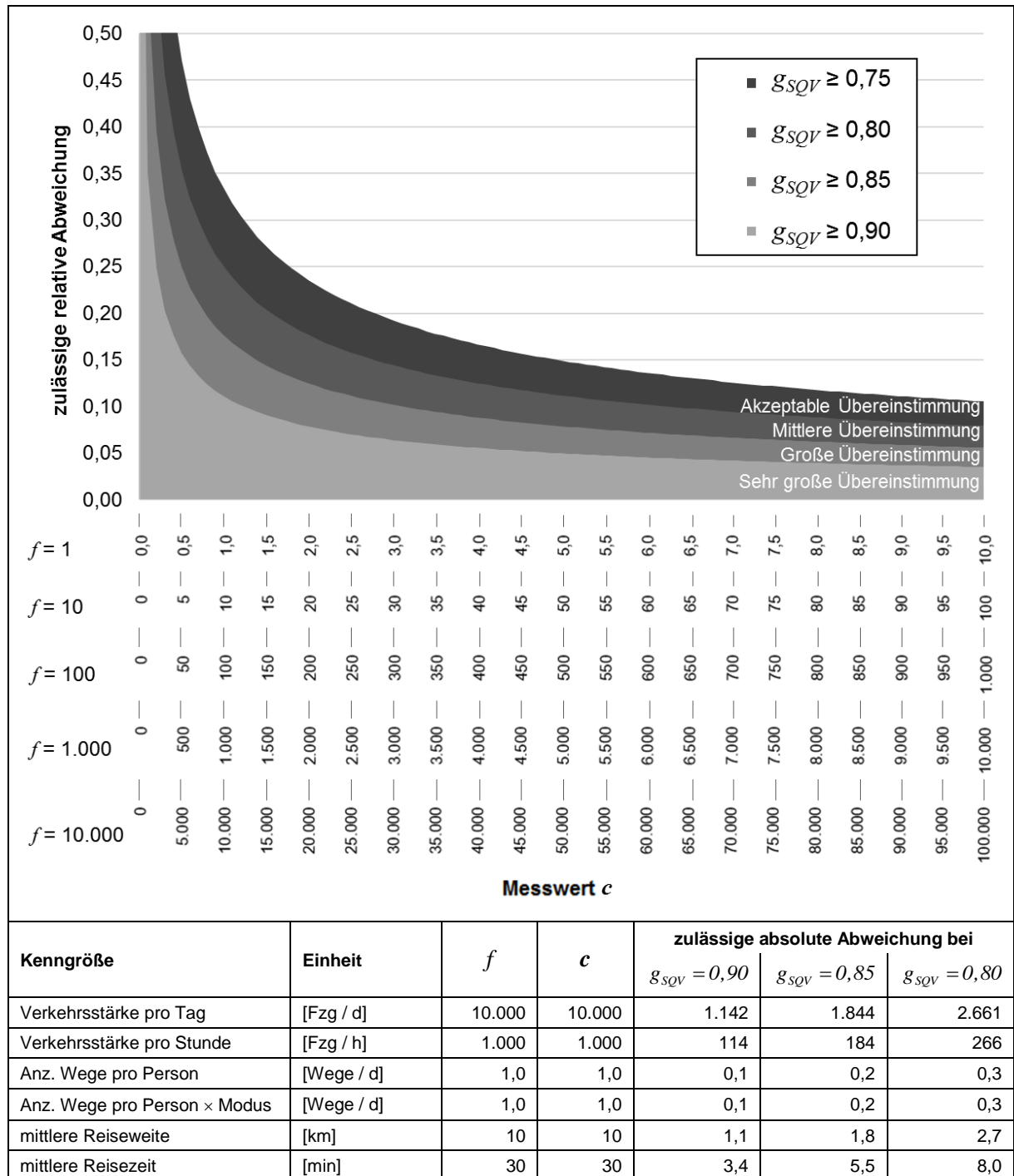


Bild 2: Beurteilung verschiedener Kenngrößen mit dem  $SQV$ -Wert und Beispiele für zulässige Abweichungen für einen Messwert  $c$ .

### 9.3 Verteilungen

Hier werden Häufigkeitsverteilungen von modellierten und gemessenen Werten verglichen. Beispiele für Häufigkeitsverteilungen sind Reiseweiten- oder Reisezeitverteilungen.

Für den Vergleich zweier Verteilungen soll das Coincidence Ratio ( $CR$ ) genutzt werden. Das  $CR$  untersucht, wie gut sich zwei Verteilungen überdecken. Eingangsgröße für die Berechnung sind die jeweiligen relativen Häufigkeiten der Verkehrsnachfrage in einer Entfernungs- oder Zeitklasse. Der

errechnete  $CR$  hat einen Wertebereich von 0 bis 1, wobei  $CR=1,0$  eine vollkommene Übereinstimmung und  $CR=0$  keinerlei Übereinstimmung anzeigt. Ab einem Wert von  $CR=0,7$  wird von einer guten Übereinstimmung ausgegangen.

$$g_{CR} = \frac{\sum_{k \in K} \min \{ p_k^m, p_k^c \}}{\sum_{k \in K} \max \{ p_k^m, p_k^c \}}$$

$$p_k^m = \frac{m_k}{\sum_{k \in K} m_k}$$

$$p_k^c = \frac{c_k}{\sum_{k \in K} c_k}$$

mit

$g_{CR}$  Gütemaß Coincidence Ratio

$K$  Zahl der Klassen in der Häufigkeitsverteilung

$m_k$  Summe der Nachfrage aus dem Modell in der k. Klasse

$c_k$  Summe der Nachfrage aus der Erhebung in der k. Klasse

$p_k^m$  Anteil der Nachfrage aus dem Modell in der k. Klasse

$p_k^c$  Anteil der Nachfrage aus der Erhebung in der k. Klasse

Für die Validierung der Reiseweitenverteilung soll die Luftlinienweite herangezogen werden. Die Luftlinienweite im Modell ergibt sich aus den Koordinaten der Zellenschwerpunkte. Die Luftlinienweite in der Haushaltsbefragung<sup>2</sup> ergibt sich entweder aus den Koordinaten der Aktivitätenorte in der Haushaltsbefragung oder aus einer Zuordnung der Aktivitätenorte zu einer Verkehrszelle. Für die Berechnung des  $CR$  sollen 10 äquidistante Klassen gebildet werden. Für die Klassenbildung sollen die nachfragegewichteten Wege der Haushaltsbefragung genutzt werden, die Quelle und Ziel im Untersuchungsraum haben. Mit dieser Klassierung wird für jeden Modus der Anteil der Nachfrage ermittelt, der in jede Klasse entfällt. Für jeden Modus wird das  $CR$  berechnet.

## 9.4 Zielwerte für die Validierung

Tabelle 2 zeigt die Kenngrößen und die zulässigen Abweichungen, die eingehalten werden sollen. Die Nichteinhaltung muss begründet werden und der Auftraggeber muss der Abweichung zustimmen.

<sup>2</sup> Falls für den Untersuchungsraum keine Haushaltsbefragung vorliegt, können Daten aus den Projekten Mobilität in Deutschland (MiD) oder Mobilität in Städten (SrV) genutzt werden.

	Kenngröße	Differenzierung		Kontroll- daten	statistisches Gütemaß
		inhaltlich	räumlich		
Verkehrsaufkommen	mittlere Anzahl Wege pro Person	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle Einwohner</li> <li>• pro Modus</li> <li>• pro NGruppe</li> <li>• pro Modus x NGruppe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gesamter UR</li> <li>• Teilräume</li> </ul>	HH-Bef	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gütemaß <math>SQV &gt; 0,9</math> für <math>f = 1</math></li> </ul>
	Reiseweitenverteilung [km] pro Weg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle Einwohner</li> <li>• pro Modus</li> <li>• pro NGruppe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gesamter UR</li> </ul>	HH-Bef	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mittlere Reiseweite pro Weg: Gütemaß <math>SQV &gt; 0,9</math> für <math>f = 10</math></li> <li>• Reiseweitenverteilung: Coincidence Ratio <math>&gt; 0,7</math></li> </ul>
Verkehrsleistung	mittlere Verkehrsleistung [km] pro Person	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle Einwohner</li> <li>• pro Modus</li> <li>• pro NGruppe</li> <li>• Modus ÖV</li> <li>• ÖV-Betriebszweige</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gesamter UR</li> <li>• Teilräume</li> </ul>	HH-Bef ÖV-Erhebung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mittlere Reiseweite pro Tag: Gütemaß <math>SQV &gt; 0,9</math> für <math>f = 10</math></li> </ul>
	Reisezeitverteilung [min] pro Weg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle Einwohner</li> <li>• pro Modus</li> <li>• pro NGruppe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gesamter UR</li> </ul>	HH-Bef	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mittlere Reisezeit pro Weg: Gütemaß <math>SQV &gt; 0,9</math> für <math>f = 30</math></li> <li>• Reisezeitverteilung: Coincidence Ratio <math>&gt; 0,7</math></li> </ul>
Verkehrszeitverteilung	mittlerer Verkehrszeitverteilung [min] pro Person	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle Einwohner</li> <li>• pro Modus</li> <li>• pro NGruppe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gesamter UR</li> </ul>	HH-Bef	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mittlere Reisezeit pro Tag: Gütemaß <math>SQV &gt; 0,9</math> für <math>f = 100</math></li> </ul>
	tägliche und stündliche Verkehrsstärke (ohne Matrixkorrektur)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pkw</li> <li>• Lkw</li> <li>• Rad</li> <li>• Bus</li> <li>• Bahn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strecke</li> <li>• Abbieger</li> <li>• Strecke einer Linienroute</li> <li>• Haltestellen</li> <li>• Screenline</li> </ul>	Zählung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tageswerte: Gütemaß <math>SQV &gt; 0,8</math> für <math>f = 10.000</math></li> <li>• Stundenwerte: Gütemaß <math>SQV &gt; 0,8</math> für <math>f = 1.000</math></li> </ul>
Fahrtzeiten	Fahrtzeiten zwischen zwei Punkten im Netz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• unbelastetes Netz</li> <li>• belastetes Netz für relevante Tageszeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Streckenzug</li> <li>• Relationen</li> </ul>	Fahrtzeitmessung <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• absolute Abweichungen nach Bild 3</li> </ul>
HH-Bef:		Haushaltsbefragung mit Wegetagebüchern. Die Datensätze sollten gewichtet vorliegen. Es werden nur solche Wege als Kontrolldaten berücksichtigt, die im Untersuchungsraum beginnen und enden.			
ÖV-Erhebung:		Quelle-Ziel-Befragungen im ÖV-Fahrzeug, die mit Einsteigerzählungen hochgerechnet werden oder aus Fahrkartendaten abgeleitete Verkehrsleistung.			
UR:		Untersuchungsraum, in dem die Verkehrsnachfrage modelliert wird.			
NGruppe:		Nachfragegruppe (Personengruppe und / oder Wegezweck)			
Alle Kenngrößen beziehen sich auf einen Tag.					

Tabelle 2: Zielwerte für die Validierung.

<sup>3</sup> Als Konkretisierung könnte hier folgendes stehen: Fahrtzeit um 20:00 Uhr und 7:00 für 30 bis 50 ausgewählte Streckenzüge. Datenquelle ein kommerzieller Anbieter) Google, TomTom, Here, Inrix)



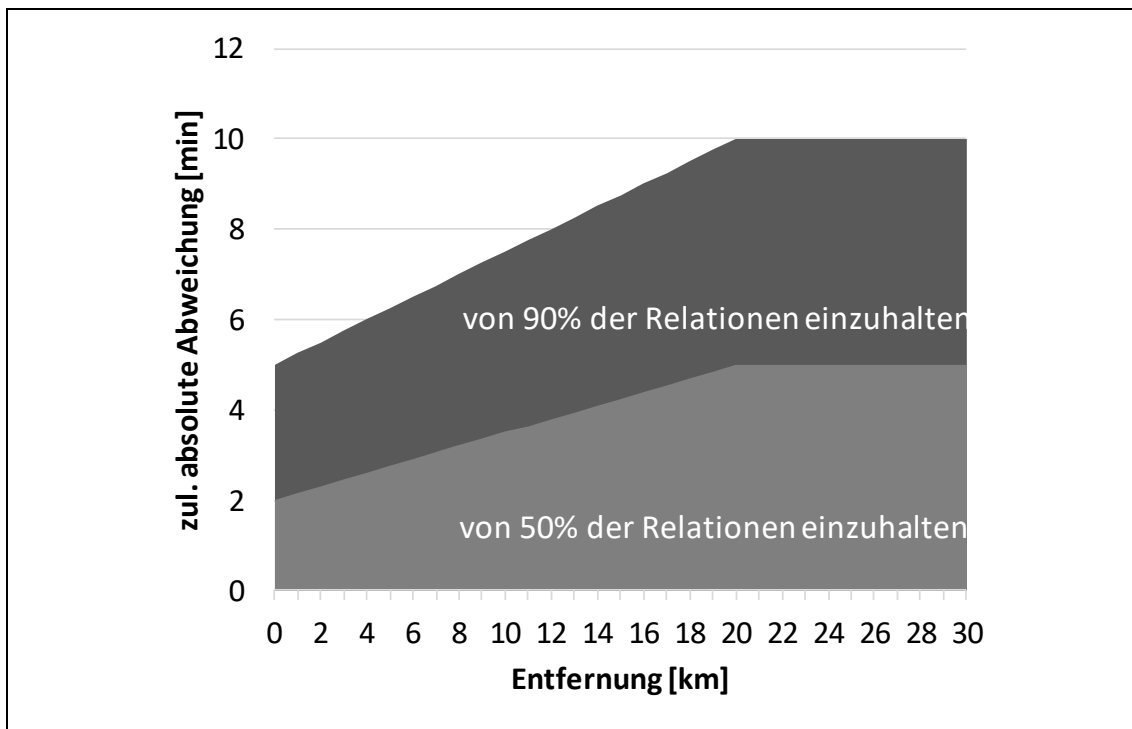


Bild 3: Bewertung der Abweichung für Einzelwerte von Fahrtzeiten.

## 9.5 Überprüfung des Modellverhaltens

Mit Realitätstests wird geprüft, ob die Wirkungen eines Modells bei Änderungen der Variablen in der erwarteten Größenordnung liegen. Dazu werden die Variablen des Verkehrsangebots oder die Siedlungsstrukturdaten in kontrollierter Weise verändert. Dann werden die Nachfrageänderungen ermittelt und beurteilt.

Folgende Realitätstests sind für das kalibrierte Analysemodell vorgesehen:

1. Pauschale Erhöhung der Einwohnerzahl im Untersuchungsraum um 10%.
2. Pauschale Halbierung der Bedienungshäufigkeit auf allen Linien im Untersuchungsraum durch Löschen jeder zweiten Fahrplanfahrt.
3. Variation der MIV-Nutzungsgebühren: +50%
4. Variation der ÖV-Nutzungsgebühren: -50%
5. Variation der Streckenkapazität für ausgewählte Netzelemente: z.B. eine Autobahnanschlussstelle oder eine Brücke sperren.

Für jeden Realitätstest sind die Kenngrößen aus Tabelle 1 auszuweisen und die relativen und absoluten Änderungen zu ermitteln. Änderungen bei den Verkehrsstärken sollen in Karten mit Belastungsdifferenzen dargestellt werden.

Tabelle 3 zeigt Wirkungen, die vom Auftraggeber für die Realitätstests erwartet werden. Eventuelle Abweichungen müssen begründet werden.

Nr	Test	Erwartung
1	Erhöhung der um 10%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zunahme der Verkehrsleistung</li> <li>• Rückgang der mittleren Reiseweite</li> <li>• Rückgang des Pkw-Anteils</li> </ul>
2	Reduzierung der Bedienungshäufigkeit – jede zweite Fahrplanfahrt wird gelöscht	<ul style="list-style-type: none"> <li>• deutlicher Rückgang im ÖV</li> </ul>
4	Variation der MIV-Nutzungsgebühren: +50%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachfrage im Pkw sinkt</li> <li>• Rückgang der mittleren Reiseweite</li> </ul>
4	Variation der ÖV-Nutzungsgebühren: -50%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachfrage im ÖV steigt</li> <li>• Zunahme der mittleren Reiseweite</li> </ul>
5	Variation der Streckenkapazität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Räumliche Verlagerung der Kfz-Nachfrage</li> <li>• Große Verkehrsstärkeänderungen im Nahbereich der Maßnahme, geringe Änderungen im Fernbereich</li> </ul>

Tabelle 3: Erwartete Wirkungen bei den Realitätstests.

## 10 Verfügbare Daten

Die Leistungsbeschreibung ist um die Checkliste „Eingangsdaten“ des Forschungsberichtes FE 70.919/2015 zu ergänzen. Weitere Hinweise finden Sie in Kapitel 6 des Forschungsberichts.

## 11 Modellspezifikation und Dokumentation

### 11.1 Modellspezifikation

Nach Auftragsvergabe erarbeitet der Auftragnehmer aufbauend auf dieser Leistungsbeschreibung und dem Angebot eine detaillierte Modellspezifikation und stimmt diese mit dem Auftraggeber ab. In der Modellspezifikation beschreibt der Auftragnehmer auch, welche Daten und Zuarbeiten durch den Auftraggeber zur Erfüllung des Auftrags benötigt werden. Erst nach der gemeinsamen und einvernehmlichen Abstimmung der Modellspezifikation wird mit der eigentlichen Bearbeitung des Modells begonnen.

Die Modellspezifikation wird vom Auftragnehmer kontinuierlich fortgeschrieben und dient als Grundlage für das Modellhandbuch.

### 11.2 Modelldokumentation

Die Modelldokumentation soll einen Modellergebnisbericht, ein Modellhandbuch und einen Modellvalidierungsbericht umfassen.

- Modellergebnisbericht: Die Modellannahmen, der Modellaufbau und die wesentlichen Modellergebnisse müssen in einem Bericht dokumentiert werden.
- Modellhandbuch: Die technische Umsetzung des Modells, die verwendeten Berechnungsalgorithmen und die genutzte Software müssen so beschrieben werden, dass Dritte die Modellrechnungen nachvollziehen können. Dazu gehört die Dokumentation der wesentlichen Modellparameter (u.a. Produktionsraten, Parameter der Nutzenfunktion, Kapazitäten). Dritte müssen die Modellrechnungen wiederholen und analysieren können, wenn das Modell und die Modellierungssoftware zur Verfügung gestellt werden.

- Modellvalidierungsbericht: Die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Modellvalidierung müssen so beschrieben werden, dass die Validierung von Dritten nachvollzogen werden kann. Der Modellvalidierungsbericht soll Aussagen zur Modellgenauigkeit enthalten.

### 11.3 Übergabe des Modells

Alle Bestandteile des Modells sind dem Auftraggeber in einer geeigneten Form zu übergeben, so dass das Modell auf Rechnern des Auftraggebers lauffähig ist. Der Auftraggeber soll in der Lage sein, Modellläufe selbstständig durchzuführen.

## 12 Projektorganisation

### 12.1 Arbeitsschritte und Zeitplan

Der Auftraggeber strebt eine Projektdauer von [x<sup>4</sup>] Jahren an. Dem Auftraggeber ist die Einhaltung der Zeitpläne wichtig. Deshalb soll der Anbieter basierend auf vorgegebenen Meilensteinen einen Zeitplan erstellen, der folgende Informationen enthält:

- Wie viele Wochen nach Vergabe kann die Projektbearbeitung beginnen? Ab diesem Zeitpunkt sollen die Projektbearbeiter im erforderlichen Umfang für das Projekt zur Verfügung stehen.
- Wie groß ist der Zeitbedarf für die einzelnen Arbeitsschritte und für das gesamte Projekt?
- Für die Zeitplanung werden mehrere Arbeitsschritte zu Meilensteinen zusammengefasst. Jeder Meilenstein wird schriftlich abgenommen. Nachstehende Tabelle zeigt die Meilensteine des Projekts<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> Die Erstellung eines Verkehrsnachfragemodells wird ohne Haushaltsbefragungen je nach Modellumfang 1,5 bis 3 Jahre in Anspruch nehmen

<sup>5</sup> An dieser Stelle können Regeln für den Zahlungsplan ergänzt werden.

<b>Meilenstein</b>	<b>Arbeitsschritt</b>
Meilenstein 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigstellung Spezifikation</li> </ul>
Meilenstein 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigstellung Netzmodell inkl. Dokumentation</li> </ul>
Meilenstein 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigstellung Strukturdaten für Analyse und Prognose inkl. Dokumentation</li> <li>• Fertigstellung Aufbereitung der Haushaltsbefragung (z.B. MiD 2017)</li> <li>• Fertigstellung Aufbereitung Zählzeiten</li> </ul>
Meilenstein 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigstellung Modell privater Personenverkehr inkl. Dokumentation</li> <li>• Fertigstellung Modell Wirtschaftsverkehr inkl. Dokumentation</li> </ul>
Meilenstein 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigstellung Umlegung IV und ÖV</li> <li>• Fertigstellung Modellkalibrierung</li> </ul>
Meilenstein 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigstellung Validierung</li> <li>• Fertigstellung Modelldokumentation</li> </ul>
Meilenstein 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellprognose inkl. Dokumentation</li> </ul>
...	<ul style="list-style-type: none"> <li>• weitere Aufgaben, z.B. Modellschulung</li> </ul>

Tabelle 4: Meilensteine und Arbeitsschritte.

Die Meilensteine müssen nicht sequentiell entsprechend der Nummerierung bearbeitet werden. Im Angebot kann bei den Meilensteinen auf mögliche Risiken hingewiesen werden.

## 12.2 Meilensteinberichte und Projektgespräche

Zu jedem Meilenstein ist ein Kurzbericht mit den durchgeführten Arbeiten und einem aktualisierten Zeitplan abzugeben. Außerdem sind der aktuelle Modellstand und der aktuelle Stand des Modellhandbuchs zu übergeben.

Zur Projektbegleitung sind Projektgespräche am Sitz des Auftraggebers und regelmäßige Telefonkonferenzen einzuplanen:

- Ein Auftaktgespräch
- Ein Projektgespräch nach Abschluss jedes Meilensteins
- Eine Abschlusspräsentation mit Einführung in das Modell
- Telefonkonferenzen und Projektfortschrittsbericht: etwa alle 4 Wochen