Baden-Württemberg
Ministerium für Verkehr

Handbuch Modellierung

zur modellgestützten Erstellung von Klimamobilitätsplänen

Beauftragung und Herausgeber
Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
Dorotheenstraße 8
70173 Stuttgart

Wissenschaftliche Begleitung der Pilotphase für Klimamobilitätspläne (2021-2023) zur Plausibilisierung der Annahmen der Wirkmechanismen von Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr

Universität Stuttgart – Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik
- Dr.-Ing. Matthias Schmaus
- Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich

PTV Transport Consult
- Dr.-Ing. Juliane Pillat
- Prof. Dr.-Ing. Johannes Schlaich

Weitere Autorinnen und Autoren

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
- Paula Kuss

Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg mbh (Kompetenznetz Klima Mobil)
- Dr.-Ing. Thomas Fetzer
- Rai-Hanan Bashir

Stand
Version v2.0
Stuttgart, 19.03.2026

Inhalt

1 Hintergrund 4

2 Grundsätzliches 5

2.1 Verbindlichkeit des Handbuchs Modellierung 5

2.2 Maßnahmen und Maßnahmenpakete 5

2.3 Begrifflichkeiten zur Modellierung 6

2.4 Landesverkehrsmodell Baden-Württemberg 7

3 Bilanzierungsrahmen, CO_2-Reduktionsziel und Modellfälle 8

3.1 Bilanzierungsrahmen 8

3.2 CO_2-Reduktionsziel 9

3.3 Berechnung der CO_2-Emissionen für 2010 10

3.4 Modellfälle 11

4 Rahmenbedingungen für die Modellierung 14

4.1 Prämissen des Rahmen-Klimaschutzszenarios 14

4.2 Annahme von weiteren übergeordneten Rahmenbedingungen 14

4.3 Fahrzeugflotte und Emissionsfaktoren 15

4.4 Nutzungskosten 20

4.5 Weitere Rahmenbedingungen 22

5 Verkehrsnachfragemodellierung 24

5.1 Generelle Modellanforderungen 24

5.2 Modellierungsansätze für Klimamobilitätsplan-Maßnahmen 30

6 Überprüfung der Modellergebnisse des Klimamobilitätsplans 51

6.1 Realitätstests für den Analysefall 51

6.2 Plausibilitätstests für das Klimaschutzszenario 54

7 Dokumentation der Modellierung des Klimamobilitätsplans 55

7.1 Anforderungen an die Modelldokumentation/Modellhandbuch 55

7.2 Anforderungen an die Modellierungsdokumentation 56

Literaturverzeichnis 61

Anhang A 63

1 Hintergrund

Baden-Württemberg muss weniger Treibhausgase wie Kohlenstoffdioxid produzieren. Das schreibt das Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW[1]) vor. Konkret müssen die Emissionen in Baden-Württemberg bis 2030 um 65 Prozent zurückgehen (im Vergleich zu 1990). Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Emissionen des Verkehrs um 55 Prozent sinken, auch das schreibt das KlimaG BW vor. 2040 muss Baden-Württemberg inklusive des Verkehrssektors treibhausgasneutral sein.

Für die Erreichung der Klimaziele sind alle politischen Ebenen verantwortlich: EU, Bund, Land und Kommunen. Als Grundlage für Klimaschutzmaßnahmen auf kommunaler Ebene sind Klimamobilitätspläne ein wichtiges Instrument für eine ganzheitliche Verkehrsplanung. Bis zum Jahr 2030 sollen rund 80% der Bevölkerung in Baden-Württemberg von einem Klimamobilitätsplan abgedeckt sein. Die CO_2-Minderungseffekte der in einem Klimamobilitätsplan benannten Maßnahmen sollen mit Hilfe eines Verkehrsnachfragemodells berechnet werden. Damit besteht die Anforderung an die eingesetzten Verkehrsnachfragemodelle, die geplanten Maßnahmen und die damit verbundenen Wirkungszusammenhänge wirklichkeitstreu abbilden zu können.

[1] Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) vom 7. Februar 2023 (abgerufen am 25.02.2026)

2 Grundsätzliches

2.1 Verbindlichkeit des Handbuchs Modellierung

Das Handbuch Modellierung formuliert Anforderungen sowie Empfehlungen an den Aufbau der Verkehrsnachfragemodellierung und deren Dokumentation im Rahmen der Erstellung eines Klimamobilitätsplans. Hierdurch soll zum einen gewährleistet werden, dass in allen Kommunen ein einheitlicher Rahmen für die modellgestützte Erstellung in Klimamobilitätsplänen angenommen wird. Zum anderen wird dem Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM) ermöglicht, die Verkehrsnachfragemodellierung eines Klimamobilitätsplans als Grundlage für die Gewährung des LGVFG-Klimabonus zu prüfen und zu bewerten.

Das Handbuch Modellierung enthält sowohl Empfehlungen, Hinweise und Orientierungswerte als auch explizite Anforderungen. Anforderungen sind durch eine entsprechende Formulierung („muss“, „hat zu“, „sind/ist zu“) hervorgehoben und sind als verbindlich anzusehen.

Da im Vorfeld nicht alle denkbaren Sachverhalte der Verkehrsnachfragemodellierung im Rahmen der Klimamobilitätsplan-Erstellung berücksichtigt werden können, sind in inhaltlich/fachlich begründeten Fällen Ausnahmen möglich. Diese sind jedoch in allen Fällen mit dem VM abzustimmen.

Für Klimamobilitätspläne, deren Szenarienmodellierung vor der Veröffentlichung dieses Handbuches Modellierung begonnen wurde, ist eine Verwendung des Handbuches in der Version 1.0 vom 19.09.2023 für eine Anerkennung des Klimamobilitätsplans im Sinne eines Bestandsschutzes weiterhin unschädlich.

2.2 Maßnahmen und Maßnahmenpakete

Kernstück eines Klimamobilitätsplans sind die Maßnahmen, die zum Erreichen der Klimaziele durch eine Kommune (Gemeinde, Gemeindeverband oder Landkreis) geplant sind. Die Kommunen, die einen Klimamobilitätsplan erstellen, werden im Folgenden Klimamobilitätsplan-Kommunen genannt.

Für die Darstellung in einem Klimamobilitätsplan können einzelne Maßnahmen zu Maßnahmenpaketen zusammengefasst werden. In Tabelle 1 sind beispielhaft sechs Maßnahmenpakete aufgeführt. Entsprechend der Tabelle werden für jedes Maßnahmenpaket die darin enthaltenen Maßnahmen konkret benannt. Der Klimamobilitätsplan muss für jede Maßnahme eine Umsetzungsplanung[2] enthalten.

[2] Die Anforderungen an die Umsetzungsplanung sind in der Anlage 20 zur Verwaltungsvorschrift des Landesgemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes beschrieben: https://www.klimaschutz-bewegt.de/wp-content/uploads/Anlage-20_VwV-LGVFG.pdf (abgerufen am 25.02.2026).

Handlungs-feld	Maßnahmenpaket	Maßnahme
Radverkehr	**R1**: Ausbau der Radverkehrswege	• **R.1.1**: Neubau der Radschnellwege A, B, C • **R.1.2**: Ausbau der Radvorrangrouten in folgenden Straßen: …
	R2: Ergänzende Radverkehrsinfrastruktur	• **R2.1**: Verbesserung der Beschilderung des Radwegenetzes in der Innenstadt
	R3: Verbesserung der Multimodalität	• **R3.1**: Ausbau sicherer Radabstellplätze an allen S-Bahn-Haltestellen • **R3.2**: Umsetzung von vier neuen Bike & Ride-Anlagen an folgenden Haltestellen: …
Öffentlicher Nahverkehr	**ÖV1**: Schaffung neuer Angebote	• **ÖV1.1**: Einführung von zusätzlichen Buslinien 1,2,3 und 4 • **ÖV1.2**: Einrichtung einer Schnellbuslinie zwischen Weststadt und Oststadt
	ÖV2: Verbesserung bestehender Angebote	• **ÖV2.1**: Verlängerung der Stadtbahnlinie 1,4, 6 • **ÖV2.2**: Ausdehnung des 10-Minuten-Takt im Spätverkehr um 1 Stunde bei allen Stadtbahnlinien
	ÖV3: On-Demand Verkehre	• **ÖV3.1**: Bürgerbusse und Mitfahrbänkle

Tabelle 1: Beispiele für zwei Maßnahmenpakete und zugeordnete Maßnahmen.

Die Verkehrsmodellierung hat die Maßnahmenpaketen und Maßnahmen des Klimamobilitätsplans abzubilden. Aus der Dokumentation der Verkehrsmodellierung (siehe Kapitel 7) muss klar hervorgehen, wie das jeweilige Maßnahmenpaket bzw. die Maßnahme modelliert wurde und welche Annahmen jeweils getroffen wurden.

2.3 Begrifflichkeiten zur Modellierung

Die Modellierung im Rahmen der Klimamobilitätspläne basiert auf der differenzierten Betrachtung unterschiedlicher Verkehrsmittel:

- *Pkw:* Personenkraftwagen
- *LNF:* leichte Nutzfahrzeuge (z.B. Lieferfahrzeuge, leichte Lkw)
- *SNF:* schwere Nutzfahrzeuge (z.B. Solo-Lkw, Sattelzugmaschinen, Lkw mit Anhänger, Reisebusse und Sonderfahrzeuge)
- *LBus:* Linienbusse (z.B. Solo-Bus, Gelenkbus)

Hinsichtlich der Antriebsart wird begrifflich zwischen zwei Segmenten unterschieden:

- *Emissionsfrei (= Anteil lokal emissionsfrei angetriebener Fahrzeuge)*
  Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV), Brennstoffzellenfahrzeuge und elektrischer Fahranteil von Plug-in-Hybriden (PHEV). Nach der Bilanzierungsmethodik (siehe Kapitel 3.1) werden für solche Fahrten/Fahrtanteile keine Emissionen angenommen.
- *Verbrenner (= Anteil durch Verbrennungsmotor angetriebener Fahrzeuge)*
  Fahrzeuge deren Motoren Kraftstoffe wie Benzin, Diesel oder ein kohlenstoffhaltiges Gas

(CNG, LPG, LNG) verbrennen sowie die Fahrtanteile von PHEV, die durch den Verbrennungsmotor angetrieben werden. Es werden mittlere Emissionsfaktoren unter Berücksichtigung des Kraftstoffmixes (d.h. unter Beimischung von Bio- und Refuels) angenommen (siehe Kapitel 4.3).

Zudem werden in diesem Dokument folgende Begriffe verwendet:

- *Eingangsvariable:* Veränderbarer Wert, der in die Nachfrageberechnung eingeht. Der Wert kann durch Maßnahmen verändert werden. Beispiel: Fahrtzeit auf einer Relation.
- *Parameter der Nutzenfunktion:* Fester Wert, der in die Nachfrageberechnung eingeht. Der Wert „bewertet" den Einfluss einer Eingangsvariablen. Parameter werden in der Regel bei der Modellerstellung für den Analysefall geschätzt und dann unverändert in die Prognose übernommen. Änderungen des Wertes unterstellen eine Änderung der Präferenzen bei verkehrlichen Entscheidungen. Beispiel: Bewertung von 1 Minute Reisezeit oder 1 Euro Fahrtkosten.
- *Eingangsgröße:* Alle Modelleingangsgrößen, also sowohl Eingangsvariablen als auch Parameter der Nutzenfunktion.
- *Ergebnisgröße:* Ergebniswert, der mit dem Nachfragemodell berechnet wird. Beispiel: Fahrzeugkilometer oder Modal-Split.

2.4 Landesverkehrsmodell Baden-Württemberg

Das Landesverkehrsmodell Baden-Württemberg wurde im Dezember 2025 veröffentlicht und kann ab sofort als Grundlage für die Modellierung in Klimamobilitätsplänen genutzt werden.

Weitere Informationen sowie die Anfrage zur Nutzung des Modells findet sich hier: https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/politik-zukunft/zukunftskonzepte/digitale-mobilitaet/landesverkehrsmodell-baden-wuerttemberg.

3 Bilanzierungsrahmen, CO_2-Reduktionsziel und Modellfälle

Ein Klimamobilitätsplan ist auf das Ziel ausgerichtet, die CO_2-Emissionen im lokalen Verkehrssektor dauerhaft zu reduzieren. Die Maßnahmen eines Klimamobilitätsplans sind so zu entwickeln, dass die im KlimaG BW[3] verankerten Klimaziele des Verkehrssektors für 2030 und 2040 erreicht werden:

- Jahr 2030 → Ziel: -55 % CO_2-Emissionen
- Jahr 2040 → Ziel: Klimaneutralität

Während im KlimaG BW das Jahr 1990 als Bezugsjahr für die Klimaziele gilt, zielen Klimamobilitätspläne auf eine Einsparung der CO_2-Emissionen bezogen auf das Jahr 2010 ab. Der Grund für die unterschiedlichen Bezugsjahre ist, dass sich die CO_2-Emissionen im Verkehr im Jahr 2010 nicht maßgeblich von denen im Jahr 1990 unterschieden haben – die Erhebungsmethoden aber schon. Die 2010 angewandten Methoden ähneln den heute angewendeten Methoden deutlich mehr. Gleichzeitig liegt den meisten Kommunen für 2010 eine bessere Datengrundlage vor, sodass die Arbeit mit dem Vergleichsjahr 2010 eine realitätsnähere und qualitativ hochwertigere Grundlage für Klimamobilitätspläne liefert.

In Abhängigkeit des gewählten Zieljahres eines Klimamobilitätsplans gelten unterschiedliche CO_2-Reduktionsziele und Bilanzierungsrahmen für einen Klimamobilitätsplan. Diese werden in den folgenden beiden Abschnitten erläutert.

3.1 Bilanzierungsrahmen

Der Bilanzierungsrahmen für Klimamobilitätspläne orientiert sich an den Vorgaben zur nationalen Klimaberichterstattung nach dem Kyoto-Protokoll. Demnach wird dem Verkehrssektor ausschließlich der fossile Anteil der direkt eingesetzten Kraftstoffe zugerechnet (siehe Kapitel 2.3). Strom sowie strombasierte bzw. synthetische (Refuels) und biogene Kraftstoffanteile (Biofuels) werden nicht dem Verkehrssektor eingerechnet, sie fallen den jeweiligen anderen Sektoren zu und gelten im Verkehrssektor als emissionsfrei. In den Rahmenbedingungen für die Modellierung von Klimamobilitätsplänen ist der Einsatz von biogenen und strombasierten Kraftstoffen berücksichtigt.

Abweichend von der Kyoto-Bilanzierung wird bei der Modellierung für einen Klimamobilitätsplan nicht der gesamte Verkehrssektor betrachtet, sondern ausschließlich die wichtigsten Straßenverkehrsmittel, für die jeweils eine getrennte Bilanzierung erfolgen soll:

- Personenkraftwagen (Pkw)
- Leichte Nutzfahrzeuge (LNF)
- Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)
- Linienbusse (LBus)

[3] Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) vom 7. Februar 2023 (abgerufen am 25.02.2026)

Der schienengebundene öffentliche Personennahverkehr ist ebenfalls im Verkehrsmodell abzubilden, wird aber als emissionsfrei angenommen. Die Berücksichtigung des Schiffsverkehrs sowie des Schienengüterverkehrs im Verkehrsmodell ist optional. Falls diese modelliert werden sollen, ist eine Rücksprache mit dem VM erforderlich, um die Vorgehensweise und die genutzten Emissionsfaktoren abzustimmen.

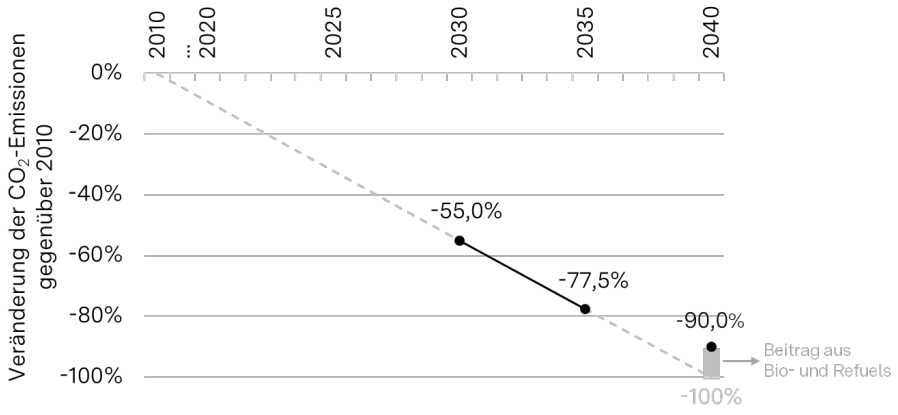
Die Bilanzierung hat nach dem Territorialprinzip stattzufinden, als räumlicher Rahmen sind die Gemarkungsgrenzen der Klimamobilitätsplan-Kommune zu wählen. Alle Verkehre auf der Gemarkung sind zu modellieren und zu dokumentieren. In begründeten Einzelfällen sind Ausnahmen möglich und bestimmte Durchgangsverkehre können nach individueller Abstimmung mit dem VM aus der Bilanzierung herausgenommen werden. In diesen Fällen ist eine Begründung erforderlich (z.B. ein hoher Durchgangsverkehrsanteil auf einer im Gemarkungsgebiet liegenden Autobahn). Der Anteil des Durchgangsverkehrs, der auf der kommunalen Gemarkung stattfindet und nicht bilanziert wird, ist in der Dokumentation gesondert auszuweisen.

Um den Bilanzierungsrahmen für das Jahr 2040 realistisch zu gestalten, unterscheidet sich dieser geringfügig von dem Bilanzierungsrahmen für die Jahre 2030-2035. Denn das Ziel der Klimaneutralität wird nicht allein durch Mobilitäts- und Antriebswende erreicht werden, auch Bio- und Refuels werden dabei eine Rolle spielen. Allerdings werden Bio- und Refuels im Jahr 2040 nur eingeschränkt für den Verkehrssektor zur Verfügung stehen, da zukünftig viele Nutzungen und Sektoren Gebrauch von emissionsfreien Kraftstoffen machen werden und Bio- und Refuels vorrangig für schwer substituierbare Anwendungen zum Einsatz kommen werden, u.a. im Flug- und Schiffverkehr sowie bei energieintensiven Industrieprozessen (IPCC, 2022; Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2023; Wietschel, et al., 2023). Die absoluten Mengen an Bio- und Refuels im Jahr 2040 sind nach aktuellem Wissensstand mit Unsicherheiten verbunden. Vor diesem Hintergrund wurden pragmatische Annahmen zu den Mengen an Bio- und Refuels auf Basis des Klimaschutzszenarios Baden-Württemberg 2030/2040[4] getroffen. Der Beitrag von Bio- und Refuels ist im CO_2-Einspaziel sowie den Emissionsfaktoren für 2040 berücksichtigt. So wird ein realistischer Beitrag der Zielerreichung durch kommunale Maßnahmen gewährleistet.

3.2 CO_2-Reduktionsziel

Das CO_2-Reduktionsziel für einen Klimamobilitätsplan ist als relative Größe, bezogen auf den Emissionswert im Jahr 2010 definiert (Abbildung 1). Für das Zieljahr 2040 wurde der Bilanzierungsrahmen geändert, um das Ziel der Klimaneutralität realistischer abbilden zu können. Unter Berücksichtigung des Beitrags von Bio- und Refuels (s. Kapitel 3.1), muss mit einem Klimamobilitätsplan für das Zieljahr 2040 eine CO_2-Reduktion von -90% anstatt -100% erreicht werden. Die verbleibende Lücke wird über den Einsatz von Bio- und Refuels geschlossen.

[4] https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/250729_Klimaschutzszenario_Baden-W%C3%BCrttemberg_2030_2040_barrierefrei.pdf (abgerufen am 25.02.2026)



CO_2-Reduktionsziele für die möglichen Zieljahre eines Klimamobilitäts-plans (gegenüber 2010):

2030: -55,0%

2031: -59,5%

2032: -64,0%

2033: -68,5%

2034: -73,0%

2035: -77,5%

2040: -90,0%

(Beitrag durch Bio- und Refuels schließt Lücke zu -100% CO_2)

Abbildung 1: CO_2-Reduktionsziele in Abhängigkeit des Zieljahres des Klimaschutzszenarios.

3.3 Berechnung der CO_2-Emissionen für 2010

Zum Vergleich der Reduktion der CO_2-Emissionen gegenüber dem Bezugsjahr 2010, ist der Absolutwert des CO_2-Ausstoßes im Verkehrssektor im Jahr 2010 zu berechnen und auszuweisen. Dabei sind drei Fälle möglich:

- Es liegen kommunale Daten zur Fahrleistungsentwicklung in der Klimamobilitätsplan-Kommune von 2010 bis zum Bezugsjahr des Analysefalls vor (z.B. statistische Daten oder aus einem kommunalen Verkehrsmodell für das Jahr 2010).
  In diesem Fall ist zu beachten, dass der gleiche Bilanzierungsrahmen zugrunde liegt wie beim Klimamobilitätsplan. Dies betrifft die Definition der Verkehrsmittel (Pkw, LNF, SNF, LBus), die Abbildung der Fahrleistung auf dem Gemarkungsgebiet (Binnenverkehr, Quell-/Zielverkehr, Durchgangsverkehr) und den Ausschluss von Durchgangsverkehren (nicht-bilanzierte Verkehre). Für das Jahr 2010 ist ein Anteil von 0% emissionsfreier Fahrleistung für alle Verkehrsmittel anzunehmen. Die Emissionsfaktoren für das Jahr 2010 sind aus Tabelle 2 zu entnehmen.
- Es liegen Daten zur Fahrleistungsentwicklung in der Klimamobilitätsplan-Kommune von 2010 bis zum Bezugsjahr des Analysefalls über das Statistische Landesamt vor.
  Für das Jahr 2010 ist ein Anteil von 0% emissionsfreier Fahrleistung für alle Verkehrsmittel anzunehmen. Die Emissionsfaktoren für das Jahr 2010 sind aus Tabelle 2 zu entnehmen. Weiterhin sind die prozentualen Veränderungen der Fahrleistungen je Verkehrsart und Verkehrsmittel von 2010 zum Bezugsjahr des Analysefalls folgendermaßen zu berechnen:
  - Binnenverkehr = Prozentuale Änderung des innerörtlichen Verkehrs (IO)
  - Quell-/Zielverkehr = Prozentuale Änderung des außerörtlichen Verkehrs (AO)
  - Durchgangverskehr = Prozentuale Änderung der Summe aus außerörtlichem Verkehr (AO) und Autobahnverkehr (AB)

  - Nicht-bilanzierte Verkehre (wenn zutreffend) = Prozentuale Änderung des Autobahnverkehrs (AB)

- Es liegen keine Informationen zur Fahrleistungsentwicklung in der Klimamobilitätsplan-Kommune von 2010 bis zum Bezugsjahr des Analysefalls vor.
  In diesem Fall ist anzunehmen, dass der CO_2-Ausstoß im Jahr 2010 gleich dem Ausstoß im Bezugsjahr des Analysefalls war. Es ist zu berücksichtigen, dass dieser Ansatz insbesondere bei Bezugsjahren nach 2022 insofern nachteilig ist, als dass eventuelle Minderungen der verkehrlichen CO_2-Emissionen zwischen 2010 und dem Bezugsjahr des Analysefalls nicht in die Bilanzierung eingehen.

Die Rückrechnung ist mit dem VM abzustimmen und in der Dokumentation darzustellen (siehe Kapitel 7). Für die Dokumentation der Rückrechnung auf 2010 wird empfohlen, das Ergebnistemplate zu nutzen, welches vom VM über das Kompetenznetz Klima Mobil zur Verfügung gestellt wird[5].

3.4 Modellfälle

Für einen Klimamobilitätsplan sind im Rahmen der Verkehrsnachfragemodellierung mindestens vier Modellfälle zu erstellen:

- Analysefall
- Nullfall-Szenario
- Rahmen-Klimaschutzszenario
- Klimaschutzszenario

Hintergrund und Inhalt dieser vier obligatorischen Modellfälle werden in den folgenden Unterkapiteln beschrieben. Es steht der Klimamobilitätsplan-Kommune frei, zusätzliche Szenarien als Modellfälle zu definieren.

Ein Modellfall ist definiert als ein Rechenlauf, in dem alle Modellkomponenten durchgerechnet werden. Für jeden Modellfall sind die wichtigsten Kenngrößen entsprechend dem vom VM zur Verfügung gestellten Ergebnistemplate vollständig ausgefüllt darzustellen.

Das Verkehrsnachfragemodell ist für einen durchschnittlichen Werktag aufzubauen.

3.4.1 Analysefall

Der Analysefall stellt den Modellfall dar, für den das Modell kalibriert ist.

Für den Analysefall sind Bezugsjahre ab 2023 generell zulässig. Wenn sich der Analysefall des vorliegenden Verkehrsnachfragemodells auf ein älteres Bezugsjahr als 2023 bezieht, ist er zu aktualisieren. Wenn dies nicht möglich ist, ist das mit dem VM abzustimmen. Eine Ausnahme bildet der Analysefall 2019 des Landesverkehrsmodell Baden-Württemberg.

[5] https://www.klimaschutz-bewegt.de/download/template-modellierungsergebnisse-klimamobilitaetsplan/ (abgerufen am 25.02.2026)

3.4.2 Nullfall-Szenario

Das Nullfall-Szenario stellt eine Zukunft dar, in der keine über den heutigen Stand hinausgehenden Klimaschutzaktivitäten vorgenommen werden. Das Szenario umfasst

- allgemeine Rahmenbedingungen und strukturelle Änderungen, die nicht auf zusätzliche verkehrsplanerische oder verkehrspolitische Maßnahmen zurückzuführen sind (z.B. Einwohnerentwicklung, postpandemisches Mobilitätsverhalten) und
- alle zum Zeitpunkt der KMP-Erstellung in Umsetzung befindlichen verkehrsplanerischen und verkehrspolitischen kommunalen Maßnahmen. Mit „in Umsetzung befindlich" sind dabei Projekte und Maßnahmen gemeint, die sich bereits im Bau befinden oder für deren Umsetzung ein Nachweis über einen Umsetzungsbeschluss erbracht werden kann. Es muss erkenntlich sein, dass die Umsetzung haushaltstechnisch gesichert ist und ein Ausführungsplan vorliegt.

Das Nullfall-Szenario hat sich auf ein Jahr im Zeitraum von 2030 bis 2035 oder auf das Jahr 2040 zu beziehen. Vorgaben zu allgemeinen Rahmenbedingungen für die Modellierung des Nullfall-Szenarios sind in Kapitel 4 aufgeführt. Das Nullfall-Szenario dient dem VM der Prüfung der Annahmen und deren Wirkungen auf den Treibhausgasausstoß ohne gesteigerte Bemühungen im Klimaschutz auf Ebene der Klimamobilitätsplan-Kommune und auf übergeordneter politischer Ebene.

3.4.3 Rahmen-Klimaschutzszenario

Das Rahmen-Klimaschutzszenario stellt eine Zukunft dar, in der auf übergeordneter politischer Ebene (EU/Bund/Land) ambitionierte Aktivitäten zum Erreichen der Klimaziele unternommen werden. Das Szenario baut auf dem Nullfall-Szenario auf (Übernahme der strukturellen Änderungen) und hat sich auf dasselbe Jahr wie das Nullfall-Szenario zu beziehen.

Für das Rahmen-Klimaschutzszenario können veränderte Rahmenbedingungen auf übergeordneter politischer Ebene (z.B. Preis- und Flottenentwicklung) durch die in Kapitel 4.1 aufgeführten Prämissen angenommen werden, sofern sich die Klimamobilitätsplan-Kommune politisch zu diesen Prämissen bekennt. Die Prämissen wurden mit den Annahmen aus dem Klimaschutzszenario Baden-Württemberg 2030/2040 abgestimmt.

3.4.4 Klimaschutzszenario

Das Klimaschutzszenario stellt eine Zukunft dar, in der die CO_2-Reduktion auf Ebene der Klimamobilitätsplan-Kommune durch zusätzliche kommunale Anstrengungen erreicht wird. Das Klimaschutzszenario baut auf dem Rahmen-Klimaschutzszenario auf und erweitert dies um kommunale Klimaschutzmaßnahmen (siehe auch Kapitel 2.2). Das Klimaschutzszenario hat sich auf dasselbe Jahr wie das Nullfall-Szenario und das Rahmen-Klimaschutzszenario zu beziehen. Die kommunalen Maßnahmen sollen bis zum Zieljahr des Klimamobilitätsplans umgesetzt sein (bei anteiliger Umsetzung bis zum Zieljahr ist der Umsetzungsfortschritt im Modell entsprechend nur anteilig abzubilden).

Das Klimaschutzszenario umfasst alle Maßnahmen, die durch Instrumente umsetzbar sind, die der Entscheidungshoheit der Klimamobilitätsplan-Kommune unterliegen oder mindestens durch

diese maßgeblich unterstützt und beeinflusst werden können (z.B. Förderung von betrieblichen Mobilitätsmanagement).

Im Klimaschutzszenario können in Abstimmung mit dem VM auch solche kommunalen Maßnahmen angenommen werden, für die eine Anpassungen der rechtlichen Rahmenbedingungen auf übergeordneter politischer Ebene nötig wären (z.B. eine flächendeckende Anordnung von Tempo 30). Dabei gelten die Anforderungen an ein politisches Bekenntnis wie in Kapitel 4.2 beschrieben.

4 Rahmenbedingungen für die Modellierung

Die Angaben in diesem Kapitel sind für die Entwicklung von Rahmenbedingungen in allen Modellfällen zu berücksichtigen.

4.1 Prämissen des Rahmen-Klimaschutzszenarios

Um für alle Klimamobilitätsplan-Kommunen eine einheitliche Ausgangsbasis zu bieten, können folgende Annahmen aus dem Klimaschutzszenario Baden-Württemberg 2030/2040 für alle Zieljahre des Klimamobilitätsplans übernommen werden:

- Änderung der Dienstwagenbesteuerung und der Neuzulassungsregelungen: bis spätestens im Jahr 2030 ausschließlich Neuzulassung von emissionsfreien Dienstwagen, ab dem Jahr 2035 ausschließlich Neuzulassung emissionsfreier Pkw, LNF und SNF.
- Bonus-Malus-System für die Kfz-Steuer: Ziel ist es hierbei, dass der spezifische Kraftstoffverbrauch von neu zugelassenen Verbrennern gegenüber dem Fall ohne Maßnahme um z.B. 10 % verringert ist.
- Lkw-Maut: Räumliche Ausdehnung auf alle Bundesfernstraßen in Deutschland und alle Straßen in Baden-Württemberg. Gültig für Kfz >3,5 t zGG mit antriebsspezifischer Spreizung.
- CO_2-Preis von 205 €/Tonne.
- Maut für Pkw und LNF mit Verbrennungsmotor.

Zusätzlich kann für das Zieljahr 2040 folgende Annahme übernommen werden:

- Tempolimit: auf Autobahnen gilt eine maximale zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h und außerhalb geschlossener Ortschaften eine maximale zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h gilt.

Diese Prämissen wurden bereits in den Rahmenbedingungen für die Modellierung des Rahmen-Klimaschutzszenarios für Klimamobilitätspläne berücksichtigt (siehe Kapitel 4.3 und 4.4). Da die Prämissen eine zentrale Grundlage zum Erreichen der Klimaziele darstellen, muss sich eine Klimamobilitätsplan-Kommune, welche die Prämissen im Rahmen-Klimaschutzszenario übernimmt, politisch zu den Prämissen bekennen und deren konkrete Unterstützung darstellen (z.B. durch den Beitritt zu einer (verkehrs-)politischen Initiative, ein öffentliches Schreiben, ein Appell an die Bundesregierung oder den Einsatz für die Instrumente im Städtetag, Gemeindetag oder Landkreistag).

Wenn sich eine Kommune nicht zu allen oben genannten Prämissen politisch bekennen möchte, dann müssen die Rahmenbedingungen des Nullfalls angenommen werden.

Darüberhinausgehende Annahmen zu weiteren Veränderungen der übergeordneten Rahmenbedingungen im Rahmen-Klimaschutzszenario oder Klimaschutzszenario können nach den in Kapitel 4.2 beschriebenen Anforderungen getroffen werden.

4.2 Annahme von weiteren übergeordneten Rahmenbedingungen

Die Annahme zusätzlicher, über die Prämissen in Kapitel 4.1 hinausgehender Instrumente auf übergeordneter Ebene sowie die Annahme von kommunalen Maßnahmen, für die eine zusätzliche Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen auf übergeordneter Ebene erforderlich ist, ist

nach Abstimmung mit dem VM möglich. Dabei müssen folgende Anforderungen berücksichtigt werden:

- Es müssen konkrete Instrumente bzw. rechtliche Änderungen benannt werden, die auf EU-, Bundes- oder Landesebene umgesetzt werden (z.B. Abschaffung des Diesel-Privilegs oder Schaffung einer rechtlichen Grundlage für flächendeckendes Tempo 30). Die Annahme allgemeiner Veränderungen und Entwicklungen ist nicht möglich (z.B. Verbesserung der Reichweite von Batterien). Auch die Annahme veränderter Rahmenbedingungen auf regionaler Ebene ist möglich. In diesem Fall müssen ebenfalls konkrete Instrumente von benachbarten Gemeinden oder dem Landkreis benannt werden.
- Es muss klar dargelegt werden, wie die Wirkung der Instrumente im Modell operationalisiert wird und welche Wirkung den Instrumenten hinsichtlich der Elektrifizierung der Fahrzeugflotten unterstellt wird (siehe Kapitel 4.3).
- Die Annahmen weiterer Instrumente und deren Wirkung auf die Rahmenbedingungen müssen in sich konsistent sein.
- Die Kommune muss sich politisch zu diesen Instrumenten bekennen und darstellen, wie die genannten Instrumente unterstützt werden (z.B. durch den Beitritt zu einer (verkehrs-)politischen Initiative, ein öffentliches Schreiben, ein Appell an die Bundesregierung oder den Einsatz für die Instrumente im Städtetag, Gemeindetag oder Landkreistag).

4.3 Fahrzeugflotte und Emissionsfaktoren

Die Flottenzusammensetzung und die Emissionsfaktoren (Menge an emittiertem CO_2 je Fahrzeugkilometer) sind Modelleingangswerte und müssen annahmenbasiert gesetzt werden. Für die Emissionsberechnung sollen je Fahrzeugkategorie pauschale Emissionsfaktoren (Gramm CO_2-Emissionen pro Fahrzeugkilometer) angewandt werden. Es wird also für jede Fahrzeugkategorie die Fahrleistung im gesamten Bilanzraum berechnet und mit einem pauschalen Emissionsfaktor sowie den Anteilen der Antriebsarten (siehe Kapitel 2.3) multipliziert. Für den Analysefall, das Nullfall-Szenario und das Rahmen-Klimaschutzszenario werden entsprechende Werte für die Flottenzusammensetzung und Emissionsfaktoren vorgegeben, da diese größtenteils durch überregionale Rahmenbedingungen bestimmt werden und so eine Vergleichbarkeit zwischen den Klimamobilitätsplänen hergestellt wird.

Für den **Analysefall** werden nur die anzunehmenden Emissionsfaktoren für Verbrenner je Fahrzeugkategorie vorgegeben (Tabelle 2). Die Werte sind auf die Vorgaben für das Nullfall-Szenario und für das Rahmen-Klimaschutzszenario abgestimmt und basieren auf den Statistiken bis zum Jahr 2020 (u.a. Verkehr in Zahlen[6]). Diese zeigen, dass sich zwischen 2015 und 2020 keine maßgeblichen Veränderungen im spezifischen Verbrauch eingestellt haben. Ab dem Jahr 2021 stellen die Werte in Tabelle 2 eine Prognose dar. Sofern ein Analysejahr nach 2020 gewählt wird, können die Werte an realen Werten kalibriert werden. Soll dies geschehen, ist die relative Entwicklung zwischen dem Jahr 2020 und dem Analysejahr anhand statistischer Werte herzuleiten. Aufgrund der entsprechenden Veränderung kann der Wert für das Analysejahr ausgehend vom Wert für

[6] https://www.bmv.de/viz (abgerufen am 25.02.2026)

das Jahr 2020 angepasst werden. Beispiel: Es wird ein Klimamobilitätsplan mit dem Analysejahr 2024 erstellt und es kann gezeigt werden, dass die Emissionsfaktoren bei Pkw mit Verbrennungsmotor zwischen 2020 und 2024 um 5 % zurückgingen. In diesem Fall kann für den Analysefall ein Emissionsfaktor für Pkw von 165,3 g_{CO2}/Fzgkm (= 174 * 95 %) anstatt 171 g_{CO2}/Fzgkm angenommen werden.

Die Anteile der emissionsfreien Fahrzeuge können für den Analysefall den amtlichen Statistiken (regionalspezifische Werte falls bekannt, ansonsten nach KBA) entnommen werden.

	Emissionsfaktoren im Analysefall für eine Modellierung der Zieljahre 2030-2035 (Bilanzierung ohne Beitrag durch Bio- und Refuels)				**Emissionsfaktoren im Analysefall für eine Modellierung des Zieljahrs 2040** (Bilanzierung inkl. Beitrag durch Bio- und Refuels)			
	Pkw	**LNF**	**SNF**	**LBus**	**Pkw**	**LNF**	**SNF**	**LBus**
bis 2020	174	231	953	795	184	246	999	833
2021	173	230	946	790	182	245	993	829
2022	173	229	939	785	181	244	987	825
2023	172	228	932	780	180	242	981	821
2024	171	227	925	775	178	241	975	817
2025	171	227	918	771	177	240	969	814
2026	170	226	911	766	176	238	963	810
2027	169	225	904	761	175	237	957	806
2028	169	224	897	756	173	236	951	801
2029	168	223	890	751	172	234	945	797

Tabelle 2: **Emissionsfaktoren für den Analysefall** für Verbrenner je Fahrzeugkategorie in g_{CO2}/Fzgkm. Die unterschiedlichen Emissionsfaktoren für die Zieljahre 2030-2035 und für das Zieljahr 2040 ergeben sich aus den Bilanzierungsansätzen, die in Kapitel 3.1 aufgeführt sind.

Für das **Nullfall-Szenario** sind die Annahmen für die Flottenzusammensetzung und die Emissionsfaktoren für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor in Tabelle 3 zusammengefasst.

		2030	2031	2032	2033	2034	2035	2040
Pkw	Anteil Verbrenner	79,4%	75,1%	70,8%	66,6%	62,3%	58,0%	37,0%
	Anteil emissionsfrei	20,6%	24,9%	29,2%	33,4%	37,7%	42,0%	63,0%
	CO_2-Emissionsfaktor von Verbrennern in g_{CO2}/km	167	166	165	164	163	162	161
LNF	Anteil Verbrenner	86,3%	81,0%	75,7%	70,4%	65,1%	59,8%	33,0%
	Anteil emissionsfrei	13,7%	19,0%	24,3%	29,6%	34,9%	40,2%	67,0%
	CO_2-Emissionsfaktor von Verbrennern in g_{CO2}/km	222	221	219	218	217	215	223
SNF	Anteil Verbrenner	76,4%	70,8%	65,2%	59,6%	54,0%	48,4%	20,0%
	Anteil emissionsfrei	23,6%	29,2%	34,8%	40,4%	46,0%	51,6%	80,0%
	CO_2-Emissionsfaktor von Verbrennern in g_{CO2}/km	883	879	874	870	865	861	896
LBus	CO_2-Emissionsfaktor von Verbrennern in g_{CO2}/km	746	741	737	732	728	723	748

Tabelle 3: **Annahmen für den Fahrzeugbestand und Emissionsfaktoren im Nullfall-Szenario.** Die Emissionsfaktoren für die Zieljahre 2030-2035 und für das Zieljahr 2040 ergeben sich aus den Bilanzierungsansätzen, die in Kapitel 3.1 aufgeführt sind.

Für das **Rahmen-Klimaschutzszenario** sind die Annahmen in Tabelle 4 aufgeführt.

		2030	2031	2032	2033	2034	2035	2040
Pkw	Anteil Verbrenner	71,0%	68,3%	65,5%	62,6%	59,6%	56,6%	32,0%
	Anteil emissionsfrei	29,0%	31,7%	34,5%	37,4%	40,4%	43,4%	68,0%
	CO_2-Emissionsfaktor von Verbrennern in g_{CO2}/km	153	145	138	130	119	106	146
LNF	Anteil Verbrenner	67,0%	64,5%	62,1%	59,9%	57,8%	55,8%	11,0%
	Anteil emissionsfrei	33,0%	35,5%	37,9%	40,1%	42,2%	44,2%	89,0%
	CO_2-Emissionsfaktor von Verbrennern in g_{CO2}/km	203	193	184	172	158	141	200
SNF	Anteil Verbrenner	70,2%	65,1%	60,1%	55,4%	50,9%	46,6%	8,0%
	Anteil emissionsfrei	29,8%	34,9%	39,9%	44,6%	49,1%	53,4%	92,0%
	CO_2-Emissionsfaktor von Verbrennern in g_{CO2}/km	738	696	656	609	553	489	801
LBus	CO_2-Emissionsfaktor von Verbrennern in g_{CO2}/km	746	714	684	645	595	533	668

Tabelle 4: **Annahmen für den Fahrzeugbestand und Emissionsfaktoren im Rahmen-Klimaschutzszenario**. Die Emissionsfaktoren für die Zieljahre 2030-2035 und für das Zieljahr 2040 ergeben sich aus den Bilanzierungsansätzen die in Kapitel 3.1 aufgeführt sind.

Den Werten im Nullfall- und Rahmen-Klimaschutzszenario (Tabelle 3 und Tabelle 4) liegt die Annahme zugrunde, dass der Fahrleistungsanteil für Verbrenner und lokal emissionsfreien Fahrzeuge dem jeweiligen Bestandsanteil in der Flotte entspricht[7]. Bei PHEV wurde angenommen, dass 50 % der Fahrleistung im elektrischen Fahrbetrieb und 50 % mit Verbrennungsmotor angetrieben, zurückgelegt werden. Die Fahrleistungsanteile von Linienbussen unterliegen kommunalen Bedingungen, weshalb diese individuell festgelegt werden und keine Werte vorgegeben sind. Bei den Emissionsfaktoren für die Jahre 2030-2035 ist bereits berücksichtigt, dass biogene sowie strombasierte Kraftstoffe beigemischt sind und aufgrund der Bilanzierungsmethodik nicht in die Emissionen des Verkehrssektors eingerechnet werden. Bei den Emissionsfaktoren für 2040 sind die Beiträge aus Bio- und Refuels enthalten.

Für das **Klimaschutzszenario** bildet Tabelle 3 (ohne politisches Bekenntnis zu den Prämissen des Rahmen-Klimaschutzszenarios) oder Tabelle 4 (mit politischem Bekenntnis zu den Prämissen Rahmen-Klimaschutzszenario, siehe Kapitel 4.1) den Ausgangspunkt der Modellierung.

Auch wenn die Einflussmöglichkeiten von kommunalen Maßnahmen auf die **Emissionsfaktoren** gering ist, können diese im Klimaschutzszenario aufgrund zusätzlicher kommunaler Maßnahmen

[7] Wenn im Nachfragemodell eine antriebsartspezifische Differenzierung innerhalb einer Fahrzeugkategorie vorgenommen wird (siehe Kapitel 5.2.7), sind die modellierten Fahrleistungsanteile anhand dementsprechender Daten zu kalibrieren und die Vorgehensweise darzustellen.

verändert werden, z.B. durch eine verbesserte Steuerung der Lichtsignalanlagen (siehe Kapitel 5.2.9, dabei ist eine pauschale Übertragung auf die mittleren Emissionsfaktoren vorzunehmen und der Übertragungsweg darzustellen). Dies ist im Einzelfall mit dem VM abzustimmen.

Generell sind zur Abbildung der Wirkung von kommunalen Maßnahmen auf die **Flottenzusammensetzung** die in Kapitel 5.2 beschriebenen Ansätze zu beachten (z.B. 5.2.3 „Pkw-Typwahl“ und 5.2.6 „Setzungen und normative Modellierung“) und immer eine Abschätzung der Wirkung auf Basis konkreter Fahrleistungs- oder Bestandsdaten vorzunehmen. Die Herleitung und der daraus abgeleitete erhöhte Anteil an emissionsfreier Fahrleistung sind jeweils transparent darzustellen. Wenn die in Kapitel 5.2 beschriebenen Ansätze nicht anwendbar sind und sich auch sonst keine quantitative Grundlage für eine Wirkungsabschätzung finden lässt, kann im Klimaschutzszenario in begründeten Ausnahmefällen eine zusätzliche emissionsfreie Fahrleistung durch kommunale Maßnahmen folgendermaßen abgeschätzt werden. Die Vorgehensweise ist im Einzelfall mit dem VM abzustimmen und nach dem folgenden Schema zu begründen:

1. Annahme von konkreten Maßnahmen/Instrumenten, die zu der Veränderung der Anteile (z.B. +2 Prozentpunkte emissionsfreie Pkw) führen; allgemeine Entwicklungen, Zielvorstellungen oder Prognosen sind dabei nicht zulässig (siehe auch Kapitel 4.2).
2. Qualitative Abschätzung der Wirksamkeit für jede zusätzlich angenommene Maßnahme bzw. jedes zusätzlich angenommene Instrument, jeweils getrennt für Pkw, LNF, SNF und Linienbusse, von „Gering“ bis „Hoch“ (siehe Tabelle 5). Die Wirksamkeit beschreibt dabei die Effektgröße der Maßnahme zunächst unabhängig vom Wirkungszeitraum.
3. Überführung der qualitativen Einschätzung in eine quantitative Wirkung anhand der Wertebereiche aus Tabelle 5. Die Einordnung zwischen der unteren und oberen Grenze des Quantifizierungsbereichs hängt unter anderem vom Wirkungszeitraum der Maßnahme bis zum Zieljahr des Klimaschutzszenarios ab. Der Wirkungszeitraum einer Maßnahme ist jeweils anzugeben. Als Orientierung zur Einordnung des Wirksamkeitszeitraumes dienen die untere Grenze (Wirkungszeitraum von weniger als ca. 3 Jahren) und die obere Grenze (Wirkungszeitraum von mehr als ca. 10 Jahren). Die Bereiche bieten jedoch bewusst Raum zur Abstufung aufgrund weiterer spezifischer Gegebenheiten.
4. Verrechnung der Werte aller angenommenen Maßnahmen mit den in Tabelle 4 vorgegebenen Anteile jeweils für Pkw, LNF, SNF und Linienbusse.

Beispielrechnung für das Zieljahr 2030:

- Grundlage aus Tabelle 4: 29,0 % emissionsfreier Pkw-Anteil im Rahmen-Klimaschutzszenario
- Beschreibung der konkreten Maßnahme und Festlegung der qualitativen Wirkung: Mittel
- Quantifizierung anhand Tabelle 5: Zunahme des emissionsfreien Anteils bei Pkw von 1,0 bis 2,0 Prozentpunkte. Ein verhältnismäßig kurzer Wirkungszeitraum führt zu der Einschätzung, dass die Maßnahme eher im unteren Bereich wirkt, Annahme: 1,0 Prozentpunkte.
- Ergebnis: emissionsfreier Pkw-Anteil im Klimaschutzszenario = 29,0 % + 1,0 % = 30,0 %

Wirksamkeit	Wertebereiche der Zunahme des Anteils emissionsfreier Antriebe	
	Untere Grenze (>=) in Prozentpunkten	Obere Grenze (<=) in Prozentpunkten
Gering	0,0 %	1,0 %
Mittel	1,0 %	2,0 %
Hoch	2,0 %	4,0 %

Tabelle 5: Wertebereiche für die Quantifizierung der qualitativen Wirkung von zusätzlichen Maßnahmen auf den Anteil emissionsfreier Fahrzeuge.

Sind die antriebsspezifischen Fahrleistungsanteile ein Ergebnis der Verkehrsnachfrageberechnung (wenn also mit zwei getrennten Fahrzeugsegmenten im Nachfragemodell gearbeitet wird, siehe Kapitel 5.2.7), ist das Modell anhand dementsprechender Daten zu kalibrieren und die Vorgehensweise mit dem VM abzustimmen.

4.4 Nutzungskosten

Die Nutzungskosten im MIV und im ÖV sind im Verkehrsnachfragemodell bei der Klimamobilitätsplan-Erstellung abzubilden (siehe auch Kapitel 5.1.1). Sollten im Verkehrsmodell Nutzungskosten und Fixkosten zusammen aufgeführt sein, ist darauf zu achten, dass sich die Kostenänderung nur auf den Anteil der Nutzungskosten bezieht.

Im **Nullfall-Szenario** werden die Nutzungskosten für MIV und ÖV aus dem Analysefall real konstant gehalten.

Im **Rahmen-Klimaschutzszenario** wird davon ausgegangen, dass die Nutzungskosten für den MIV aufgrund gesteigerter Anstrengungen im Klimaschutz auf übergeordneter politischer Ebene ansteigen. Die Nutzungskosten können in relativer Änderung zum Wert des Analysefalls angepasst werden. Die Änderungsraten sind in Abbildung 2 bzw. Tabelle 6 dargestellt und berücksichtigen die Annahmen aus Kapitel 4.1.

Beispielrechnung: Für den Fall, dass der Analysefall das Bezugsjahr 2023 und das Rahmen-Klimaschutzszenario für das Jahr 2030 entwickelt werden soll, so sind im Rahmen-Klimaschutzszenario bei Pkw und LNF die Kilometerkosten für Verbrenner um 31,3 % (= 160,0 % / 121,8 % - 1) zu erhöhen und die Kilometerkosten für emissionsfreie Fahrzeuge um 5,9 % (= 91,0% / 96,7 % -1) abzusenken.

Im **Klimaschutzszenario** können sich die Nutzungskosten durch Klimamobilitätsplan-Maßnahmen verändern. Eine Beschreibung zur Berücksichtigung der Wirkung ist in Kapitel 5.1.1 zu finden.

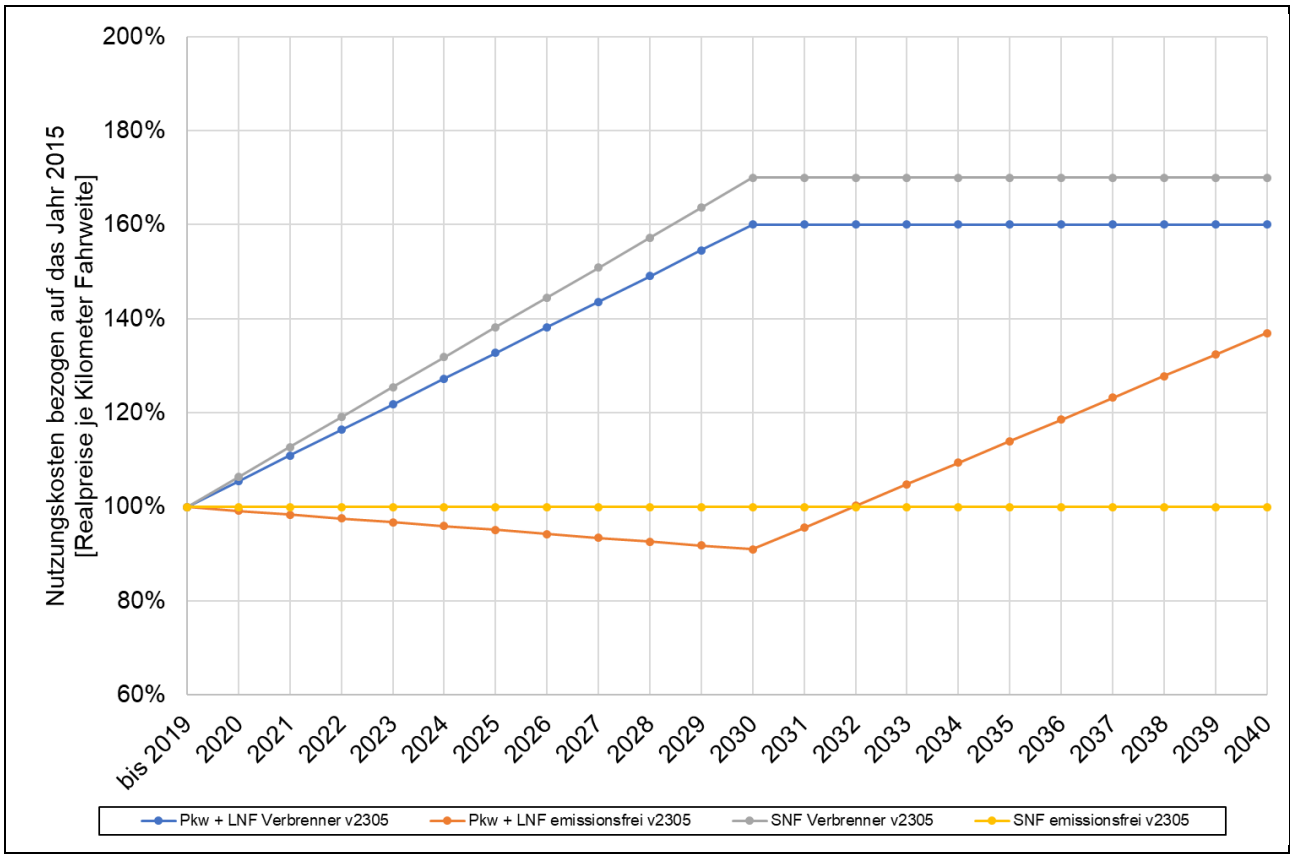


Abbildung 2: Entwicklung der Nutzungskosten des MIV im Rahmen-Klimaschutzszenario.

Jahr	Nutzungskosten bezogen auf die Jahre bis 2019 [Realpreise je Kilometer Fahrweite]			
	Pkw + LNF Verbrenner	Pkw + LNF emissionsfrei	SNF Verbrenner	SNF emissionsfrei
bis 2019	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
2020	105,5%	99,2%	106,4%	100,0%
2021	110,9%	98,4%	112,7%	100,0%
2022	116,4%	97,5%	119,1%	100,0%
2023	121,8%	96,7%	125,5%	100,0%
2024	127,3%	95,9%	131,8%	100,0%
2025	132,7%	95,1%	138,2%	100,0%
2026	138,2%	94,3%	144,5%	100,0%
2027	143,6%	93,5%	150,9%	100,0%
2028	149,1%	92,6%	157,3%	100,0%
2029	154,5%	91,8%	163,6%	100,0%
2030	160,0%	91,0%	170,0%	100,0%
2031	160,0%	95,6%	170,0%	100,0%
2032	160,0%	100,2%	170,0%	100,0%
2033	160,0%	104,8%	170,0%	100,0%
2034	160,0%	109,4%	170,0%	100,0%
2035	160,0%	114,0%	170,0%	100,0%
2040	160,0%	137,0%	170,0%	100,0%

Tabelle 6: Entwicklung der Nutzungskosten des MIV im Rahmen-Klimaschutzszenario.

4.5 Weitere Rahmenbedingungen

4.5.1 Einwohnerentwicklung

Es sind die Daten des statistischen Landesamtes Baden-Württemberg zu nutzen[8]. Liegen der Kommune eigene, aktuelle Daten zur Einwohnerentwicklung vor, so können diese unter Nennung der Datengrundlage genutzt werden.

4.5.2 Änderungen von Mobilitätspräferenzen

In der Verkehrsnachfragemodellierung wird unterstellt, dass die Mobilitätspräferenzen (also die kalibrierten Verhaltensparameter aus dem Analysefall) in den Modellfällen unverändert bestehen bleiben. Die Verkehrsnachfragemodellierung bildet verkehrliche Entscheidungen und nicht die Entstehung von Präferenzen ab. Um die Änderung von Mobilitätspräferenzen modellbasiert und empirisch untermauert abzuschätzen, sind andere Modellansätze notwendig, deren Einsatz bei der Erstellung eines Klimamobilitätsplans nicht angedacht ist.

[8] https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/Vorausrechnung/ (abgerufen am 25.02.2026)

4.5.3 Auswirkungen auf weitere Verkehre

Veränderte Rahmenbedingungen auf übergeordneter politischer Ebene (s. Kapitel 4.2) betreffen nicht nur die Klimamobilitätsplan-Kommune, sondern auch weitere Verkehre. Dies sollte im Verkehrsnachfragemodell entsprechend abgebildet werden. Das heißt Veränderungen, welche die Fahrleistung für regionale und überregionale Verkehre betreffen (z.B. Einwohnerentwicklung und MIV-Nutzungskosten), sollten modelliert werden.

4.5.4 Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge

Die Bereitstellung einer ausreichenden Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge ist eine Grundvoraussetzung für eine hohe Durchdringung der Flotte mit E-Fahrzeugen. Der Ausbau der Ladeinfrastruktur sollte daher begleitend zu den Maßnahmen der Förderung der Elektromobilität stattfinden.

Bei der Quantifizierung der Maßnahmenwirkungen im Rahmen eines Klimamobilitätsplans ist zu unterstellen, dass keine zusätzliche Wirkung für die Elektrifizierung der Flotte vom Ausbau der Ladeinfrastruktur ausgeht, der Ausbau jedoch die Grundlage für die Elektrifizierung ist.

4.5.5 Pkw-Fixkosten

Im Nullfall-Szenario sind die Pkw-Fixkosten gegenüber dem Analysefall konstant zu halten

Werden im Rahmen-Klimaschutzszenario zusätzliche Instrumente auf übergeordneter politischer Ebene angenommen, die über die Prämissen in Kapitel 4.1 hinausgehen und die Pkw-Fixkosten beeinflussen, sind diese unter Berücksichtigung des notwendigen politischen Einsatzes (siehe Kapitel 4.2) sowie des Modellierungsansatzes in Kapitel 5.2.2 umzusetzen.

Im Klimaschutzszenario können sich die Pkw-Fixkosten durch Maßnahmen (z.B. Preise für Anwohnerparken) verändern. Eine Beschreibung zur Berücksichtigung der Wirkung der Pkw-Fixkosten auf den Pkw-Besitz ist in Kapitel 5.2.2 zu finden.

4.5.6 Tempolimits

Werden veränderte Tempolimits angenommen, haben diese Auswirkungen sowohl auf die Verkehrsnachfrage als auch direkt auf die Emissionsfaktoren durch die veränderte Fahrweise. Die Wirkungen der Verkehrsnachfrageeffekte können mit dem Verkehrsnachfragemodell abgebildet werden. Für das Zieljahr 2040 wurden die Auswirkungen auf die Emissionsfaktoren bereits in den Vorgaben durch das Rahmen-Klimaschutzszenario berücksichtigt (Kapitel 4.1) und dürfen deshalb nicht zusätzlich angerechnet werden.

5 Verkehrsnachfragemodellierung

Ein zentrales Ziel bei der Erstellung eines Klimamobilitätsplans ist es, modelltechnisch zu prüfen, welche Maßnahmen zum Erreichen der in Kapitel 3.2 genannten CO_2-Reduktionsziele führen. Um eine Vergleichbarkeit in der Wirkungsberechnung zwischen den Klimamobilitätsplänen unterschiedlicher Klimamobilitätsplan-Kommunen herzustellen und eine hohe Modellqualität sicherzustellen, sind die folgenden Anforderungen an die eingesetzten Verkehrsnachfragemodelle und die Hinweise zur Abbildung von Maßnahmen in diesen Modellen zu beachten.

In Kapitel 5.1 werden Anforderungen formuliert, die generell für die eingesetzten Modelle gelten.

In Kapitel 5.2 werden Modellierungsansätze und Gültigkeitsbereiche für Modellparameter bzw. -annahmen zur Modellierung spezieller Maßnahmen beschrieben. Die Ausführungen berücksichtigen Wirkungsaspekte von Maßnahmen, die für den Klimaschutz im Verkehrssektor von besonderer Relevanz sind, mit Verkehrsnachfragemodellen jedoch standardmäßig nicht einfach abbildbar sind. Die jeweiligen Ausführungen müssen bei der Modellierung nur berücksichtigt werden, wenn sie aufgrund der für den Klimamobilitätsplan zu untersuchenden Maßnahmen als relevant eingestuft werden.

5.1 Generelle Modellanforderungen

Von den eingesetzten Modellen wird erwartet, dass sie dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. In Tabelle 7 sind Entwicklungen und Maßnahmen aufgeführt und hinsichtlich ihrer Modellierbarkeit mit Verkehrsnachfragemodellen bewertet.

Entwicklungen und Maßnahmen, die in Tabelle 7 als gut abbildbar bewertet sind („+“), sollten mit den eingesetzten Verkehrsnachfragemodellen ohne besondere Modellerweiterungen abbildbar sein. Auf diese Maßnahmen wird deshalb im Weiteren nicht gesondert eingegangen. Sofern eine der Entwicklungen oder Maßnahmen mit dem verwendeten Modell dennoch nicht abbildbar sein sollte („o“ oder „-“), im Rahmen des Klimamobilitätsplans aber von Bedeutung ist, hat die Umsetzung im Modell den von (Friedrich, et al., 2019) formulierten Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle und den Modellierungsansätzen in Kapitel 5.2 zu folgen.

Für die Abbildung der verkehrlichen Maßnahmen, die auf dem Gebiet der Klimamobilitätsplan-Kommune getroffen werden, ist es notwendig, dass der Untersuchungsraum des Modells ausreichend groß gewählt ist. Der Untersuchungsraum setzt sich aus Planungsraum und Einflussraum zusammen (siehe Abbildung 3). Der Planungsraum ist das Gebiet der Klimamobilitätsplan-Kommune. Der Einflussraum sollte so gewählt werden, dass damit alle bedeutenden Pendlerströme aus dem Umland der Kommune abgedeckt sind. Wie auf der rechten Seite von Abbildung 3 dargestellt ist, wird der Verkehr im Untersuchungsraum vollständig synthetisch durch das Verkehrsnachfragemodell erzeugt.

Maßnahmenklasse	Entwicklungen und Maßnahmen	Modellier-barkeit
Siedlungsstruktur	Demografische Effekte	+
	Erweiterung / Planung von Wohn-, Gewerbe- und Industriegebieten	+
	Singuläre Verkehrserzeuger z.B. Flughafen, Messe, Freizeitpark, Fußballstadien	+
Infrastruktur	Straßenneubau, -ausbau, -rückbau	+
	Liniennetzplanung ÖV	+
	Bau von Park+Ride Verknüpfungspunkten	O
	Bau von Radschnellverbindungen	+
	Bau von kleinräumigen Radverkehrsanlangen	O
	Bau von Fahrradabstellanlagen	-
Mobilitätswerkzeuge	Änderung Motorisierungsgrad und ÖV-Zeitkartenbesitz als unterstellte Entwicklung	+
	Einführung neuer Mobilitätsangebote (Fahrzeugsharing, Fahrtsharing)	O
Ordnungspolitisch	Änderungen der zulässigen Geschwindigkeit	+
	Umweltzonen	O
	Parkraummanagement	O
	Durchfahrtsverbote	+
Kostenbeeinflussend	Änderung der Fahrpreise oder der Tarifstruktur	+
	Änderung der Fahrscheinwahl bei Sortimentänderung	-
	Änderung der Kraftstoffpreise	+
	Änderung der Straßenbenutzungsgebühren	+
	Parkraumbewirtschaftung	O
ÖV-Betrieb	Taktveränderung	+
	Differenzierte Fahrplanänderung	+
	Änderung der Fahrzeugkapazität	O
Sharingsysteme	Fahrzeugsharing-Angebote (Pkw, Rad)	O
	Fahrtsharing-Angebote	O
	Verknüpfung von ÖV und Sharingsystemen	O
Verkehrstechnisch	Dimensionierung von Knotenpunkten und Verflechtungen	O
	Verkehrsleitsysteme	O
	Verkehrsmanagement, Baustellenmanagement	O
Logistik	Standorte für Güterverteilzentren und Güterverkehrszentren	O
	Logistische Strategien (City-Logistik)	O
Fahrzeugtechnisch	Änderung der Fahrzeugflottenzusammensetzung	O
	Verfügbarkeit hochautomatisierter und autonomer Fahrzeuge	O
Bewusstseinsbildend	Marketing, Information, Kommunikation, Incentives	-
Events	Planung besonderer Events	O
Legende		
Modellierbarkeit	+ Maßnahme ist in einem Nachfragemodell gut abbildbar	
	O Maßnahme ist in einem Nachfragemodell eingeschränkt oder aufwändig abbildbar	
	- Maßnahme ist in einem Nachfragemodell nicht oder nur schwer abbildbar	

Tabelle 7: Modellierbarkeit von Entwicklungen und Maßnahmen mit Verkehrsnachfragemodellen (Quelle: (FGSV, 2022)).

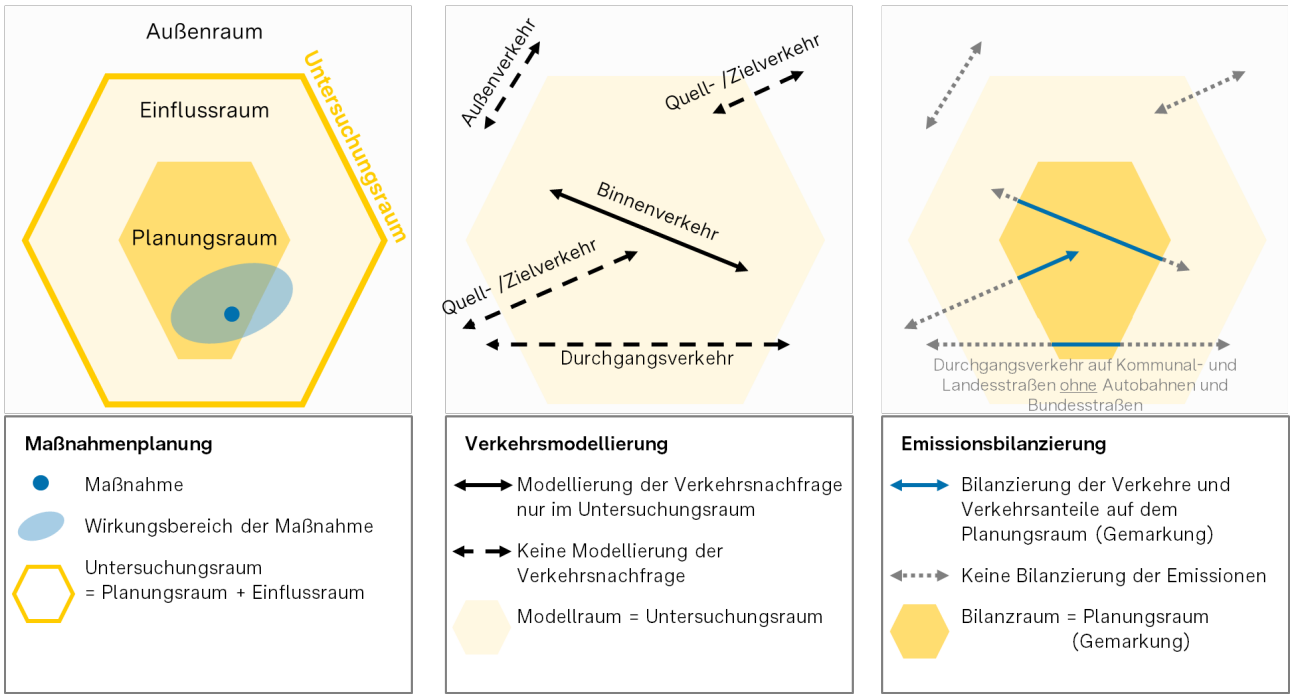


Abbildung 3: Räume und Verkehrsarten in der Maßnahmenplanung, Verkehrsmodellierung und Emissionsbilanzierung für einen Klimamobilitätsplan (eigene Darstellung nach (FGSV, 2022))

5.1.1 Preissensitivität des Verkehrsnachfragemodells

Eine Preissensitivität des Modells wird mit der Einordnung der preisbeeinflussenden Maßnahmen in Tabelle 7 bereits gefordert. Da einerseits zu erwarten ist, dass deutliche preispolitische Signale nötig sein werden, um die Klimaschutzziele zu erreichen und andererseits die Anforderungen über die Abbildung der üblichen Entscheidungen in einem Verkehrsnachfragemodell hinausgehen und auch die Fixkosten für das Vorhalten von Mobilitätswerkzeugen im Rahmen der Klimamobilitätspläne berücksichtigbar sein sollen, soll an dieser Stelle noch einmal auf die Anforderungen an die Preissensitivität eingegangen werden.

Bei den Mobilitätskosten lassen sich Anschaffungs- und Nutzungskosten unterscheiden. Anschaffungskosten sind Fixkosten, die Einfluss auf den Erwerb eines Pkw bzw. eines Monatstickets haben, der direkte Einfluss auf Ziel-, Modus- und Routenwahl kann vernachlässigt werden. Die Abbildung der Wirkung der Fixkosten auf den Pkw-Besitz wird in Kapitel 5.2.2 beschrieben. Die Möglichkeiten, den Zeitkartenbesitz in ein Verkehrsnachfragemodell zu integrieren, ist direkt mit den Möglichkeiten der Modellierung der Preissensitivität bei der ÖV-Zeitkartenbesitzwahl verknüpft (siehe hierzu Kapitel 5.2.8).

Die Nutzungskosten beeinflussen hingegen direkt die Ziel-, Modus- und Routenwahl und lassen sich seitens des Angebotsmodells unmittelbar integrieren. Neben der angebotsseitigen Integration muss die Sensitivität auch nachfrageseitig in das Modell einfügt werden:

Angebotsseitige Integration

Für den MIV sind Nutzungskosten Straßenbenutzungsgebühren, Parkgebühren und Antriebskosten. Für den ÖV entsprechen die Nutzungskosten den Ticketkosten.

- Straßenbenutzungsgebühren:
  Entfernungsabhängige Straßenbenutzungsgebühren oder Durchfahrtsgebühren für eine Einzelstrecke können direkt an der Strecke hinterlegt werden. Gebietsbezogene Einfahrtsgebühren können über Kosten auf Abbiegern in das betroffene Gebiet kodiert werden.
- Parkgebühren:
  Parkgebühren können als Attribute einer Verkehrszelle kodiert werden. Die Gebühren können dabei nach Wegezweck differenziert werden. Sofern eine preisliche Differenzierung nach Antriebsart (z.B. kostenloses Parken für E-Fahrzeuge) abgebildet werden soll, sollte dies mindestens durch eine nachfragegewichtete Mittelung der Preise erfolgen. Wenn die Pkw-Flotte im Verkehrsnachfragemodell nach Antriebsart differenziert abgebildet ist, können unterschiedliche Kostensätze hinterlegt werden.
- Pkw-Antriebskosten:
  Kostensätze für Kraftstoffe und elektrische Energie (€ / Liter oder € / kWh) sind ein globaler Parameter. Aus den spezifischen Verbrauchswerten (Liter / km oder kWh / km) der Fahrzeuge ergeben sich dann die betriebsbezogenen Fahrtkosten im IV in Abgrenzung zu den Gesamtkosten. Der Verbrauch kann von der Fahrzeugflotte und der Streckencharakteristik (Steigung, zulässige Geschwindigkeit, Art der Knotensteuerung, Auslastung) abhängen und kann daher streckenbezogen ermittelt werden. Alternativ kann über einen durchschnittlichen Verbrauch je km direkt ein relationsfeiner Preis aus der Distanzmatrix abgeleitet werden.
- ÖV-Fahrpreise:
  Die Berechnung der ÖV-Fahrpreise erfolgt über ein Tarifmodell. Im detailliertesten Fall erfolgt eine vollständige Abbildung des Tarifmodells auf Verbindungsebene. Die erste mögliche Vereinfachung besteht darin, die geltenden Tarife nicht auf Verbindungsebene, sondern ausschließlich auf Relationsebene zu betrachten und tatsächliche Route und Abfahrtszeit auf Matrixebene zu aggregieren. Eine weitere Vereinfachungsmöglichkeit besteht darin, den tatsächlichen Tarif, z.B. Wabenstruktur oder Zonenmodell, in einen längenabhängigen Tarif zu überführen. Darüber hinaus kann je nach Struktur des Nachfragemodells ein personengruppenabhängiger Preis ermittelt werden. Eine Aggregation verschiedener Fahrkartenarten oder über Personengruppen kann über einen angenommenen Ticketmix erfolgen.

Nachfrageseitige Integration

Die nachfrageseitige Integration der Kosten soll über die Integration in die Nutzenfunktionen mit entsprechender Parametrisierung zur Abbildung der Ziel-, Modus- und Routenwahl erfolgen. Dabei sollte die Integration der Kosten für alle diese drei Ebenen explizit erfolgen. Kosten werden vom Nutzer unterschiedlich bewertet und haben deshalb unterschiedliche Wirkungen auf die Ziel-, Modus- und Routenwahl. Die Zahlungsbereitschaft für Reisezeiteinsparungen kann außerdem mit der Reiseweite zunehmen. Für die Parametrisierung von Kostenkomponenten (Kraftstoffe, Parkgebühren, Straßenbenutzungsgebühren, ÖV-Fahrkarten) können Werte aus Studien zu Zeitkosten (z.B. (Axhausen, et al., 2014; Weis, Vrtic, Axhausen, & Balac, 2016)) genutzt werden.

- Ziel- und Moduswahl:
  Die Ziel- und Moduswahl sollte alle Nutzerkosten beinhalten. Grundsätzlich kann eine Kostenbewertung abhängig von der Aktivität und der Personengruppe im Modell erfolgen. Auch die Kostenkomponenten an sich werden ggf. unterschiedlich bewertet. Vereinfacht kann jedoch angenommen werden, dass die Bewertung der unterschiedlichen Kostenkomponenten identisch erfolgt und sie daher im Rahmen der Ziel- und Moduswahl addiert werden können.
- Routenwahl:
  Im ÖV ist es für die Routenwahl nicht explizit notwendig verbindungsbezogene Preise zu ermitteln, da zum einen die Preise auf einer Relation ggf. unabhängig von der Verbindung sind und zum anderen die tatsächliche Verbindungswahl i.d.R. keinen Einfluss auf die Bewertung der Maßnahmen haben.
  Für den IV sind die Kosten von Straßenbenutzungsgebühren in jedem Fall in die Routenwahl zu integrieren. Kraftstoffkosten sind hingegen für die Routenwahl vernachlässigbar.

Neben der Methode zur Abbildung der Preissensitivität sind im Rahmen der Klimamobilitätsplan-Erstellung folgende Werte zu dokumentieren:

- Kennwerte zum Kraftstoffverbrauch
- Kostensätze für Kraftstoffe und elektrische Energie (unter Berücksichtigung aller Kostenkomponenten, also inkl. z.B. CO_2-Preis)
- Annahmen zum Fahrkartenmix
- Darstellung der Kostenkomponenten für Ziel-, Modus- und Routenwahl mit entsprechender Bezugsgröße z.B. im Vergleich zur Fahrzeitbewertung

5.1.2 Modellierung des Radverkehrs

Über den Stand der Modelltechnik hinausgehend, muss das eingesetzte Verkehrsnachfragemodell die Radverkehrsinfrastruktur im Verkehrsangebot differenziert nach Komfortmerkmalen abbilden können. Dazu sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Die Komfortmerkmale sind in die Widerstandsfunktionen bzw. Nutzenbewertungen der Ziel-, Modus- und Routenwahl aufzunehmen.
- Quantität und Qualität der Abstellmöglichkeiten können über Anbindungen und deren Länge bzw. Anbindungszeit abgebildet werden.
- B+R-Anlagen können über längere Anbindungen mit angepasster Zugangszeit abgebildet werden.

- Alle für den Radverkehr relevanten Strecken sind aufzunehmen.
- Für den Planungsraum ist die Attribuierung des Radnetzes mit den Komfortmerkmalen in gleicher Qualität und Quantität durchzuführen, um eine Vergleichbarkeit der Maßnahmenwirkungen herzustellen. Die Komfortmerkmale sollten mindestens zwischen vom Pkw-Verkehr getrennt geführten Wegen (Fahrradwege, Sonderfahrstreifen für Busse und Fahrräder) und einer Führung im Mischverkehr unterscheiden. Die Berücksichtigung weiterer Eigenschaften (z.B. zulässige Höchstgeschwindigkeit und/oder Streckentyp bzw. funktionale Klasse für den Kfz-Verkehr) ist wünschenswert.
- Eine Radverkehrsumlegung ist durchzuführen. Dabei ist ein stochastisches Routenwahlverfahren zu verwenden, das für eine Relation ggf. mehr als eine Route ermittelt.
- Die Komfortmerkmale und deren Wirksamkeit auf die Ziel-, Modus- und Routenwahl sind im Projektbericht darzustellen, z.B. mittels -Faktoren der Komfortmerkmale im Bezug zum -Faktor der Fahrzeit im Radverkehr.

Trotz dieses detaillierten Modellierungsansatzes sind viele Maßnahmen, die den Radverkehr betreffen, durch konventionelle Modellansätze kaum quantifizierbar, da in das Modell keine geeigneten Nutzenkomponenten eingehen. Darunter fallen beispielsweise eine generelle Pflege, Reinigung der Fahrradwege sowie Winterdienst auf Fahrradwegen, eine Berücksichtigung von Fahrradfahrern bei kurzfristigen Verkehrsmanagementmaßnahmen wie Baustellenmanagement, Vorhaben im Bereich der Bewusstseinsbildung und der Öffentlichkeitsarbeit, Radstationen und finanzielle Förderung bei der Anschaffung von Fahrrädern, Pedelecs oder Lastenrädern. Für jene Maßnahmen wird deshalb zusätzlich auf die Möglichkeit einer Setzung im Verkehrsangebot bzw. auch bei der Verkehrsnachfrage hingewiesen (Kapitel 5.2.6).

5.2 Modellierungsansätze für Klimamobilitätsplan-Maßnahmen

Für die Modellierung im Rahmen der Klimamobilitätsplan-Erstellung wurden verschiedene verkehrliche Maßnahmen untersucht, deren Relevanz für den Klimaschutz durch das VM als besonders hoch eingestuft wurde (siehe Anhang A). Weiterhin wurden Operationalisierungsansätze von Maßnahmen, die im Rahmen der Pilotphase besonders häufig Bestandteil der Klimamobilitätspläne waren, zusammengetragen. Jede dieser Maßnahmen wird in einer Zeile der Tabelle 8 dargestellt.

zu berücksichtigende Modellierungsansätze / **Maßnahme**	**Kap. 5.1.1: Preissensitivität des Verkehrsnachfragemodells**	**Kap. 5.1.2: Modellierung des Radverkehrs**	**Kap. 5.2.1: Pkw-Besitzentscheidung – Erreichbarkeiten**	**Kap. 5.2.2: Pkw-Besitzentscheidung – Pkw-Fixkosten**	**Kap. 5.2.3: Pkw-Typwahl**	**Kap. 5.2.4: Spezielle Anforderungen an das Netzmodell Straße**	**Kap. 5.2.5: Einfluss von Parken auf die Verkehrsnachfrage**	**Kap. 5.2.6: Setzungen und normative Modellierung**	**Kap. 5.2.7: Segmentierung der Pkw-Flotte im Nachfragemodell**	**Kap. 5.2.8: Einfluss von Dauerkartenbesitz im Nachfragemodell**	**Kap. 5.2.9: Wirkung von Maßnahmen auf den Verkehrsfluss**
Umweltzonen und Null-Emissionszonen			X		X	X			X		(X)
Umweltstreifen für Kfz			X		X	X			X		X
Sonderfahrstreifen für Busse und Fahrräder		X	X			X					X
Maßnahmen der Parkraumpolitik	X		X	X			X				
Benutzervorteile für Elektrofahrzeuge beim Parken	X		X	(X)	X		X		X		
Geschwindigkeitsbeschränkungen innerorts		(X)	X			X					
Umbau von Ortsmitten und Stadtteilzentren		(X)	X					(X)			
Mobilitätspass/Nahverkehrsabgabe	X			X						X	
Straßenbenutzungsgebühren	X		X	(X)							
Intelligente Verkehrssteuerung			X			X					(X)
Maßnahmen zur Förderung einer neuen Radkultur		X	X					X			
Mobilitätskulturbeeinflussende Maßnahmen		X	X		(X)			X			

Tabelle 8: Verkehrliche Maßnahmen und zugeordnete Wirkungsaspekte/Modellierungsansätze.

Viele der aufgeführten Maßnahmen wirken auf unterschiedlichen Entscheidungsebenen (zum Beispiel bei der Pkw-Typwahl und bei der Moduswahl) und bei der Modellierung, insbesondere im Rahmen der Verkehrsnachfragemodellierung, sollten unterschiedliche methodische Aspekte berücksichtigt werden. Die Spalten von Tabelle 8 bilden deshalb den Verweis auf diejenigen Modellierungsansätze, die bei einer jeweiligen Maßnahme von Bedeutung sind. Lesebeispiel: Soll im Rahmen eines Klimamobilitätsplans eine Null-Emissionszone (erste Maßnahmenzeile) abgebildet werden, sollten in diesem Kontext die Kapitel 5.2.1, 5.2.3., 5.2.4 und 5.2.7 gelesen werden. Neben den maßnahmenspezifischen Ausführungen in den Unterkapiteln zu 5.2 wird außerdem auf die allgemeinen Anforderungen an die Verkehrsnachfragemodellierung (Kapitel 5.1) bzw. Anforderungen an die Ergebnisüberprüfung (Kapitel 6) verwiesen, sofern die entsprechenden Abschnitte für eine Maßnahme von besonderer Bedeutung sind.

5.2.1 Pkw-Besitzentscheidung – Erreichbarkeiten

Abgebildeter Wirkungszusammenhang
Modusspezifische Erreichbarkeit → Pkw-Besitz
Zu berücksichtigen bei Maßnahme
• alle Maßnahmen zur Änderung des Verkehrsangebots, der Raumstruktur oder der Wahrnehmung des Nutzens bestimmter Modi führen

Die Unterschiede des Motorisierungsgrades zwischen Stadt und Land zeigen, dass die modusspezifische Erreichbarkeit einen Einfluss auf die Pkw-Besitzentscheidung hat. Sind Versorgungseinrichtungen des täglichen Bedarfs nicht fußläufig erreichbar und ist das ÖPNV-Angebot schlecht ausgebaut, werden die Mobilitätsansprüche vieler Menschen durch den Besitz eines Pkw gesichert, dessen Nutzung auf dem Land zusätzlich weniger durch Staus und Parkdruck eingeschränkt ist. Gleichzeitig ist die Pkw-Verfügbarkeit eine wichtige Eingangsgröße in Verkehrsnachfragemodellen, die zur Erklärung des Verkehrsnachfrageverhaltens beiträgt. Nach dem Stand der Technik wird bei der Untersuchung einer verkehrlichen Maßnahme deren direkte Wirkung auf die Verkehrsnachfrage abgebildet, der Effekt auf den Pkw-Besitz und dessen indirekter Effekt auf die Verkehrsnachfrage wird aber vernachlässigt. Der Zusammenhang ist in Abbildung 4 dargestellt, wobei der rote Pfeil den in der Verkehrsnachfragemodellierung häufig vernachlässigten Wirkungszusammenhang symbolisiert.

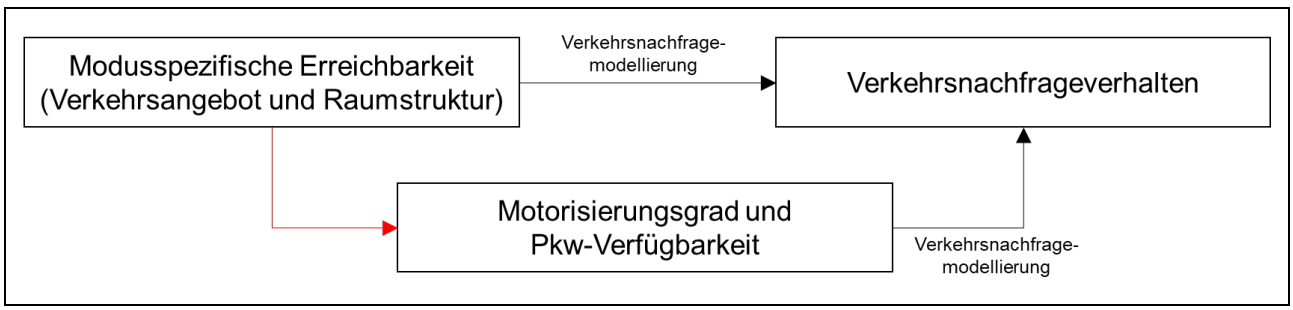


Abbildung 4: Schematischer Zusammenhang zwischen Erreichbarkeit, Pkw-Verfügbarkeit und Verkehrsnachfrage.

Die Vernachlässigung des Aspekts ergibt sich aus zwei Gründen: Erstens ist es komplex, die Wirkung modellhaft zu ermitteln, zweitens ist die Wirkung bei Maßnahmen, die standardmäßig mit Verkehrsnachfragemodellen untersucht werden im Vergleich zur Wirkung allgemeiner veränderter Rahmenbedingungen klein. Da zum Erreichen der Klimaziele jedoch auch drastische Maßnahmen zur Reduzierung des Pkw-Verkehrs in Betracht gezogen werden müssen, steigt die Bedeutung dieses Wirkungsaspekts. Deshalb wird im Folgenden ein praxisorientierter Ansatz vorgestellt, der bei der Modellierung im Rahmen der Erstellung eines Klimamobilitätsplans genutzt werden kann, um diesen Wirkungsaspekt abzubilden, sofern dieser in der verwendeten Modellarchitektur bisher nicht modellendogen berücksichtigt wurde.

Die Berechnung erfolgt in drei Schritten:

1. *Berechnung der Wirkung einer veränderten modusspezifischen Erreichbarkeit auf das Verkehrsnachfrageverhalten:* Für diesen Berechnungsschritt bleibt die Pkw-Verfügbarkeit zunächst unverändert. Nach Abbildung der Maßnahme(n)[9] im Verkehrsnachfragemodell wird die Nachfrage neu berechnet. Es wird die Änderung der heimatbezogenen (Aktivität am Quell- oder Zielort: Wohnen) Pkw-Fahrleistung pro Person gegenüber dem Ausgangszustand auf Verkehrszellenebene gespeichert. Zusätzlich ist eine Differenzierung nach Personengruppen möglich.

2. *Abschätzung der Wirkung der Pkw-Fahrleistung auf die Pkw-Verfügbarkeit:* Über einen einfachen Elastizitätenansatz wird daraus abgeschätzt, wie die in Schritt 1 berechnete Änderung der Pkw-Fahrleistung (die die Änderung der modusspezifischen Erreichbarkeit ausdrückt) auf den Motorisierungsgrad wirkt. Dafür wird eine Elastizität von 0,25 empfohlen[10], wobei es den Modellierenden freisteht, einen abweichenden Wert herzuleiten und zu begründen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich um die Wirkung auf den Motorisierungsgrad handelt, der in aller Regel nicht mit der Verkehrsnachfragemodell-Eingangsgröße Pkw-Verfügbarkeit gleichzusetzen ist. Die Änderung des Motorisierungsgrads ist deshalb anhand einer geeigneten Methodik in eine Änderung der Pkw-Verfügbarkeit zu übersetzen. Diese wird dann auf Verkehrszellenebene (und ggf. getrennt nach Personengruppen) in das Verkehrsnachfragemodell eingespielt.

3. *Berechnung der Wirkung einer veränderten modusspezifischen Erreichbarkeit auf das Verkehrsnachfrageverhalten unter Berücksichtigung der veränderten Pkw-Verfügbarkeit:* Mit dem Modell, in dem sowohl die Maßnahme(n) abgebildet ist/sind, als auch die Pkw-Verfügbarkeit angepasst ist, wird eine neue vollständige Nachfrageberechnung durchgeführt.

---

[9] Der Wirkungszusammenhang kann für alle Maßnahmen, die im Verkehrsnachfragemodell wirken, gesammelt abgebildet werden.

[10] Der Wert leitet sich aus den Elastizitäten der Pkw-Fahrleistung auf Änderungen des Ölpreises (-0,3 nach (Schade & Krail, 2015)) und des Motorisierungsgrades auf Änderungen des Ölpreises (-0,1 nach (Schade & Krail, 2015)) ab. Die sich daraus ergebende Elastizität von 0,333 wurde im Sinne einer konservativen Schätzung und aufgrund der Annahme, dass die Wirkung auf die Pkw-Fahrleistung die Wirkung auf den Motorisierungsgrad bereist berücksichtigt, abgerundet. Bei der Verwendung dieses Ansatzes ist die Definition der Elastizität nach (Schade & Krail, 2015) Kapitel 5.1 zu nutzen.

Die Methodik ist unabhängig davon anwendbar, wie stark das Verkehrsangebot bzw. die Raumstruktur durch eine Maßnahme bzw. die Wahrnehmung der Erreichbarkeit durch die unterschiedlichen Modi verändert wird. Somit kann auch für mehrere, im Verkehrsnachfragemodell differenziert dargestellte Maßnahmen (z.B. Verbesserung des ÖPNV-Angebots, Ausbau des Radwegenetzes und Preissteigerungen bei Parken von Pkw) die gemeinsame Wirkung auf den Pkw-Besitz ermittelt werden. Bei der Modellierung im Rahmen der Erstellung eines Klimamobilitätsplans ist es zulässig, für alle Maßnahmen gesammelt eine Berechnung der Wirkung des veränderten Pkw-Besitzes durchzuführen. Die Operationalisierung dieses Wirkungsaspekts muss dementsprechend nicht, wie in Kapitel 7.2 beschrieben, für die einzelnen Maßnahmen(-pakete) dargestellt werden, sondern kann übergreifend beschrieben werden. Dabei können beispielsweise alle Maßnahmen aus Tabelle 8 – mit Ausnahme einer Einführung eines Mobilitätspasses bzw. einer Nahverkehrsabgabe, die keine direkte Wirkung auf die im Verkehrsnachfragemodell abgebildeten Eingangsgrößen hat – berücksichtigt werden.

Wird die Pkw-Verfügbarkeit zusätzlich aufgrund von Maßnahmen verändert, die über eine Anpassung der Pkw-Fixkosten wirken (siehe Kapitel 5.2.2), ist darauf zu achten, dass die Änderungen der Motorisierung, die sich aus den Elastizitätsansätzen ergeben, nicht unabhängig voneinander wirken und multiplikativ verknüpft werden müssen. Beispielrechnung: Reduktion aufgrund der Erreichbarkeiten um 7 % und Reduktion durch Fixkosten um 5 % → 88,4 % der Motorisierung verbleibend (93 % · 95 %).

Es ist davon auszugehen, dass für die Entwicklung der Klimaschutzszenarien insbesondere Maßnahmen untersucht werden, die zu einem Rückgang der Pkw-Fahrleistung führen und die ihre Effektivität durch die Berücksichtigung der indirekten Wirkung über die Pkw-Verfügbarkeit verstärken. Dem muss der allgemeine Trend gegenübergestellt werden, dass der Pkw-Besitz in den vergangenen Jahren grundsätzlich zunahm. Dies gilt nicht nur für das Land Baden-Württemberg in der Fläche, sondern ebenfalls für größere Städte, in denen in der jüngeren Vergangenheit bereits Maßnahmen zur Minderung der Pkw-Nutzung unternommen wurden (vgl. Abbildung 5).

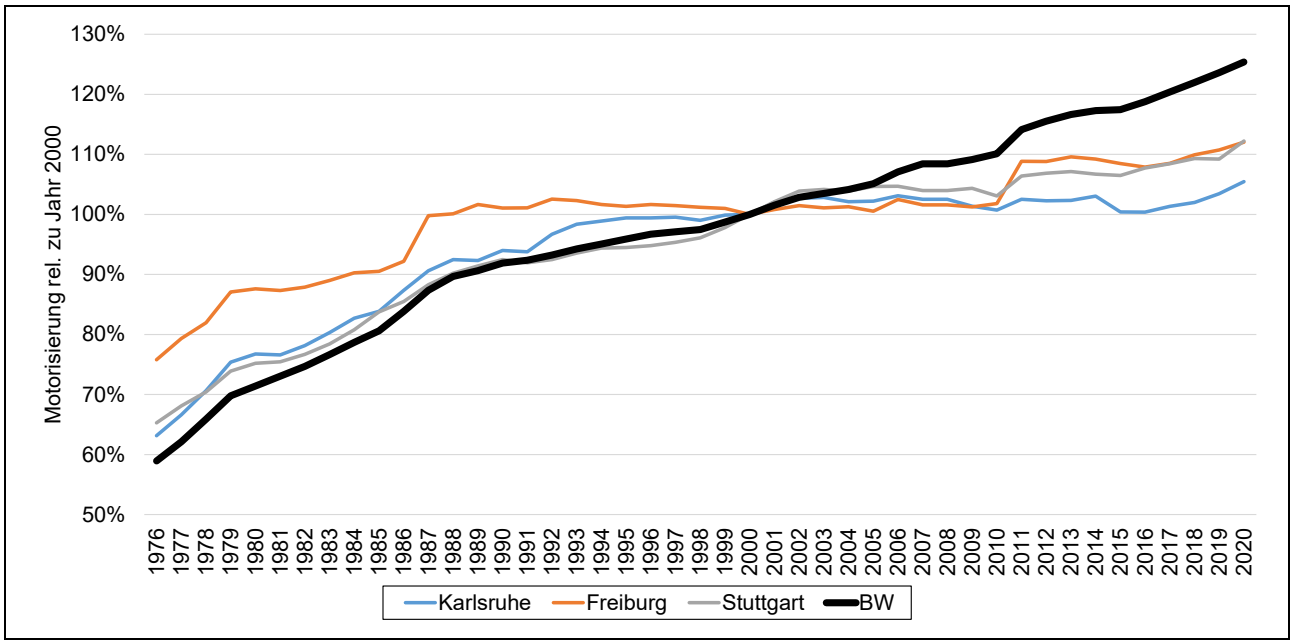


Abbildung 5: Zeitreihe der Motorisierung in Baden-Württemberg (Jahr 2000 = 100%).

Auch für die Zukunft wird mittelfristig eine Fortsetzung dieses Trends prognostiziert. Viele der bedeutenden Faktoren, die diesen Trend bewirken, gehen nicht als Eingangsgrößen in Verkehrsnachfragemodelle ein. Aus diesem Grund ist es zwingend notwendig, den Trend der Motorisierungsrate im Nullfall-Szenario zu berücksichtigen, sofern auch die Wirkung veränderter Erreichbarkeiten auf die Pkw-Verfügbarkeit im Modell abgebildet werden soll. Häufig ist die Pkw-Verfügbarkeit in bereits bestehenden Prognosefällen der Verkehrsnachfragemodelle schon entsprechend fortgeschrieben. Dies ist durch die Modellierenden zu prüfen. Sofern dies nicht der Fall ist, ist eine Trendfortschreibung durchzuführen und die Pkw-Verfügbarkeit im Nullfall-Szenario anzupassen.

In vielen Fällen ist die Modellarchitektur in den Verkehrsnachfragemodellen nicht darauf ausgelegt, die Wirkung einer veränderten Pkw-Verfügbarkeit auf die Verkehrsnachfrage abzubilden. Wenn die Pkw-Verfügbarkeit als Abgrenzungskriterium der verhaltenshomogenen Personengruppen genutzt wird, ist es möglich und wahrscheinlich, dass in der Differenzierung auch ursächliche Gründe für das Verkehrsverhalten enthalten sind, die nicht auf die Pkw-Verfügbarkeit zurückgeführt werden können. Beispielsweise werden sowohl Verkehrsverhalten als auch Pkw-Verfügbarkeit maßgeblich durch das Einkommen beeinflusst. Die Verkehrsverhaltensparameter im Verkehrsnachfragemodell wurden also für Personen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit auf Grundlage einer Stichprobe geschätzt, in der jeweils eine unterschiedliche Einkommensverteilung vorlag. Wird der Anteil der Personen verändert, die über einen Pkw verfügen können, wird in diesem Fall also auch unbeabsichtigt die Einkommensverteilung in der modellierten Bevölkerung verändert. Ein Aspekt, der diese Inkonsistenz sichtbar machen kann, ist eine starke Veränderung der Zahl der Pflichtaktivitäten z.B. je Erwerbstätiger Person. Die Zahl der Pflichtaktivitäten sollte somit immer geprüft werden, sofern die Pkw-Verfügbarkeit maßnahmensensitiv im Modell angepasst wird. Dieser Effekt betrifft aber nicht ausschließlich die Modellierung der Wirkung der Erreichbarkeit auf die Pkw-Verfügbarkeit. Sofern die Pkw-Verfügbarkeit im Modell angepasst wird,

ist die Wirkungsweise auf die Verkehrsnachfrage ganz grundsätzlich durch den Modellierenden kritisch zu hinterfragen.

5.2.2 Pkw-Besitzentscheidung – Pkw-Fixkosten

Abgebildeter Wirkungszusammenhang
Pkw-Fixkosten → Pkw-Besitz
Zu berücksichtigen bei Maßnahme
• Maßnahmen der Parkraumpolitik (Preise für Anwohnerparken) • Mobilitätspass/Nahverkehrsabgabe • Straßennutzungsgebühren (fixe Bepreisung, z.B. Vignette)

Neben der Erreichbarkeit, die durch den Besitz eines Pkw im Vergleich zu dem Zustand ohne Pkw-Verfügbarkeit gewährleistet wird, hängt der Pkw-Besitz und damit die Pkw-Verfügbarkeit auch von den Fixkosten ab, die mit dem Vorhalten eines Pkw einhergehen. Die wichtigsten Komponenten der Fixkosten sind:

- Anschaffungskosten (Abschreibung, Wiederbeschaffung)
- Kosten für Abgaben (z.B. jährliche pauschale Straßennutzungsgebühr), Steuer und Versicherung
- Regelmäßige Kosten für Unterstellung und Parken
- Nutzungsunabhängige Wartungskosten (z.B. HU, Inspektion, Reifenwechsel)

Bestimmte Maßnahmen, die zur Minderung der Pkw-Fahrleistung beitragen sollen, setzen bei den Pkw-Fixkosten an. Einerseits kann die Möglichkeit, Preise für Anwohnerparkgenehmigungen anzupassen, genutzt werden. Andererseits stellt eine Nahverkehrsabgabe, die durch explizit Pkw-Halter zu entrichten ist, eine Abgabe da, die als Komponente der Fixkosten interpretiert werden kann. Auch pauschale Straßennutzungsgebühren (z.B. durch ein Vignetten-System) sind Bestandteil der Fixkosten.

Die Pkw-Fixkosten stellen in aller Regel keine Eingangsgröße für Verkehrsnachfragemodelle dar, da die Pkw-Verfügbarkeit selbst eine Modelleingangsgröße ist (siehe Kapitel 5.2.1). Ist dies der Fall hat die Veränderung der Pkw-Verfügbarkeit aufgrund veränderter Pkw-Fixkosten in einem vorgeschalteten Berechnungsschritt zu erfolgen. Dafür kann ein Elastizitätenansatz verwendet werden, wobei eine Elastizität zwischen Pkw-Fixkosten und Motorisierungsgrad von -0,5 angenommen werden kann. Dieser Wert ist aus Literaturwerten abgeleitet[11] – es steht den Modellierenden frei, einen den regionalen Gegebenheiten besser angepassten Wert zu nutzen, wenn dies begründet wird.

Sofern die Wirkung der Pkw-Fixkosten auf die in die Verkehrsnachfrageberechnung eingehende Pkw-Verfügbarkeit abgebildet werden soll, gelten gleichermaßen die Modellierungshinweise aus

[11] Der Wert leitet sich aus den Elastizitäten der Pkw-Anschaffungskosten auf die Motorisierung ab. (Dargay, 2002) fand dafür Werte von -0,6 in urbanen Räumen und -0,31 in ländlichen Gebieten. (Goodwin, Dargay, & Hanly, 2004) geben einen mittleren Wert von -0,49 an.

Kapitel 5.2.1 hinsichtlich der Verknüpfung mit weiteren Einflussfaktoren (z.B. Erreichbarkeit), der Berücksichtigung der Unterschiede zwischen Motorisierungsgrad und Pkw-Verfügbarkeit sowie der kritischen Prüfung von Änderungen in den verhaltenshomogenen Personengruppen. Das Kapitel 5.2.1 sollte aus diesem Grund im Detail gelesen werden.

5.2.3 Pkw-Typwahl

Abgebildeter Wirkungszusammenhang
Antriebsartspezifische Erreichbarkeit → Pkw-Flottenzusammensetzung
Zu berücksichtigen bei Maßnahme
• Umweltzonen und Nullemissionszonen • Umweltstreifen für Kfz • Benutzervorteile für Elektrofahrzeuge beim Parken • Mobilitätskulturbeeinflussende Maßnahmen (bei Ausrichtung auf Beeinflussung der Fahrzeug-Typwahl)

Für die Klimawirkung des Verkehrs sind neben den zurückgelegten Fahrzeugkilometern die spezifischen Emissionsfaktoren von zentraler Bedeutung. Diese ergeben sich maßgeblich aus der Flottenzusammensetzung. Im Rahmen der Klimamobilitätspläne ist insbesondere die Unterscheidung zwischen lokal emissionsfreien Fahrzeugen (Emissionsfaktor 0 g_{CO2}/km nach der anzuwendenden Bilanzierungsmethode) und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren relevant. Aus Handlungsperspektive der Klimamobilitätsplan-Kommunen kann vor allem durch Maßnahmen, die negativ auf die lokalen Erreichbarkeiten mit Verbrennerfahrzeugen wirken und lokal emissionsfreie Fahrzeuge davon ausnehmen, die Flottenzusammensetzung beeinflusst werden. Dazu zählen zum Beispiel Bevorrechtigungen bei der Befahrung bestimmter Gebiete (Null-Emissionszonen), der Nutzung einzelner Fahrstreifen (Umweltstreifen) oder der Nutzung bestimmter Parkstände (Nutzungsvorteile beim Parken). Auch Mobilitätskulturbeeinflussende Maßnahmen, welche keine direkten infrastrukturellen Veränderungen beinhalten, können zentral auf die Fahrzeugtyp- bzw. Antriebsartwahl abzielen.

Die Flottenzusammensetzung ist bei kleinräumigen verkehrlichen Betrachtungen in der Regel eine vorgegebene Eingangsgröße. Eine modellhafte Abschätzung bzw. Prognose erfolgt, wenn überhaupt, bei entsprechenden Fragestellungen auf nationaler Ebene. Grund dafür ist, dass eine synthetische Modellierung aufgrund der hohen Bedeutung überregionaler Rahmenbedingungen bei kleinräumigen Betrachtungen unverhältnismäßig aufwändig wäre. Bei der Erstellung eines Klimamobilitätsplans wird die Fahrzeugflotte sowohl für den Analysefall als auch die Prognosefälle extern vorgegeben (siehe Kapitel 4.5).

Da keine synthetische Modellierung stattfindet, können Maßnahmen ausschließlich durch eine annahmenbasierte Anpassung der vorgegebenen Prognosewerte abgebildet werden:

- *Umweltzonen und Null-Emissionszonen:* Es kann angenommen werden, dass sich alle Personen, die innerhalb der betroffenen Gebiete Pflichtaktivitäten durchführen und über einen Pkw verfügen können, ein zufahrtsberechtigtes Fahrzeug anschaffen.
- *Umweltstreifen für Kfz und Benutzervorteile für Elektrofahrzeuge beim Parken:* Um die Wirkung dieser beiden Maßnahmen auf die Fahrzeugflotte abzuschätzen, sollte in einem ersten

Schritt die Zeit- bzw. Kostenersparnis, die durch die Nutzung eines lokal emissionsfreien Fahrzeugs gegenüber einem Verbrenner hervorgeht, auf Relationsebene ermittelt werden. Daraufhin ist es möglich, den Anteil der betroffenen Pkw-Fahrten abzuschätzen und aufgrund der Höhe der ermittelten Zeit- und Kostenersparnis eine Wirkung anzunehmen. Auf dieser Grundlage kann eine veränderte Flottenzusammensetzung begründet werden.

- *Mobilitätskulturbeeinflussende Maßnahmen:* Für Maßnahmen aus diesem Bereich ist eine pauschale Wirkungsannahme zu treffen. Dabei sind die Maßnahmen und die damit einhergehenden Wirkungsannahmen explizit zu benennen und im Einzelfall mit dem VM abzustimmen. Eine Größenordnung für eine Wirkungsabschätzung von Information und Marketing liefert beispielsweise eine Arbeitshilfe des BMU für Vorhaben im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (Tews, Schumacher, Eisenmann, Saupe, & Zacharias-Langhans, 2020).
- *Sonstige Maßnahmen:* Sofern eine quantitative, raumspezifische Abschätzung auf Grundlage der Daten des Verkehrsnachfragemodells nicht möglich ist, kann eine allgemeine qualitative Abschätzung vorgenommen werden. Diese kann nach dem in Kapitel 4.3 beschriebenen Vorgehen zu erfolgen und entsprechend in quantitative Wirkungen übersetzt werden.

Es gilt zu beachten, dass für eine aufgrund von Klimaschutzmaßnahmen veränderte Fahrzeugflottenzusammensetzung im Planungsraum im Prognosefall eine ausreichend große Menge an Ladeinfrastruktur zur Verfügung stehen muss (siehe Kapitel 4.5.4).

5.2.4 Spezielle Anforderungen an das Netzmodell Straße

Abgebildeter Wirkungszusammenhang
Erreichbarkeiten → Verkehrsnachfrage
Zu berücksichtigen bei Maßnahme
• Umweltzonen und Null-Emissionszonen • Umweltstreifen für Kfz • Sonderfahrstreifen für Busse und Fahrräder • Geschwindigkeitsbeschränkungen innerorts • Intelligente Verkehrssteuerung

Eine der Kern-Anwendungsfelder von Verkehrsnachfragemodellen ist die Wirkungsermittlung von Maßnahmen, die sich durch eine Änderung im Netzmodell Straße abbilden lassen. Die Maßnahmen wirken also auf eine Eingangsgröße, die auf Ebene der Netzelemente, z.B. Strecken, Knoten oder Anbindungen, verändert werden kann (in Abgrenzung zu Setzungen nach Kapitel 5.2.6). Um bestimmte Maßnahmen abbilden zu können, muss das Netzmodell spezielle Anforderungen erfüllen und unter Umständen um Eigenschaften erweitert werden. Im Folgenden werden die Anforderungen und Empfehlungen, die sich aus den jeweiligen Maßnahmen ergeben, im Einzelnen aufgeführt:

- *Umweltzonen und Null-Emissionszonen:* Attribuierung, welche Fahrzeugsegmente ein Netzelement nutzen dürfen. In Abhängigkeit der Ausgestaltung der Zufahrtsbeschränkungen (Größe der Zone, Parkplatzsituation in den umliegenden Gebieten) kann es sinnvoll sein, die

Option einer Kombination aus Pkw-Fahrt bis zum Rand der Zone und einem längeren Fußweg bis zum Zielort über entsprechende Anbindungen im Modell zu berücksichtigen.

- *Umweltstreifen für Kfz:* Die Streckenzüge mit Umweltstreifen sind in zwei unabhängige, parallel verlaufende Streckenverläufe zu unterteilen. Die beiden neuen Streckenzüge teilen sich die Kapazität des früheren Streckenzugs, d.h. wenn beispielsweise bei einer 3-streifigen Straße ein Fahrstreifen als Umweltstreifen definiert wird, erhält dieser die Kapazität eines einstreifigen Querschnittes, die für konventionelle Fahrzeuge freigegebene Strecke eine Kapazität einer Strecke mit zwei Fahrstreifen. Auch hier muss durch die Attribuierung ausgewiesen werden, welche Fahrzeugsegmente ein Netzelement nutzen dürfen. Der Umweltstreifen darf offensichtlich nur von privilegierten Fahrzeugen benutzt werden.
- *Sonderfahrstreifen für Busse und Fahrräder:* Die veränderten Busfahrzeiten sind im Fahrplan zu hinterlegen und reduzieren die Reisezeiten im ÖV. Für den Fahrradverkehr sollte für den Sonderfahrstreifen ein adäquater Streckentyp hinterlegt sein, der den Komfortfaktor entsprechend abbildet.
- *Geschwindigkeitsbeschränkung innerorts:* Sofern eine Änderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit nicht nur auf einzelnen Streckenzügen angenommen wird – in dem Fall ist eine einfache Änderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Nachfragemodell hinreichend genau – sind mehrere Aspekte zu berücksichtigen:
  1. Anpassung der Strecken-Geschwindigkeit im freien Verkehrsfluss („v0“):
     In vielen bestehenden Modellen ist dort die zulässige Geschwindigkeit hinterlegt, die dann entsprechend der untersuchten Geschwindigkeitsbeschränkungen reduziert werden kann. Dies unterstellt, dass die zulässigen Geschwindigkeitsbeschränkungen tatsächlich eingehalten werden.
  2. Anpassung der belastungsabhängigen Geschwindigkeit („CR-Funktion“):
     Wenn die Geschwindigkeitsbeschränkungen ohne bauliche Maßnahmen umgesetzt werden, ist eine Anpassung der CR-Funktion sinnvoll, da sich im Bereich geringer Belastungen keine weiteren Geschwindigkeitsreduktionen ergeben. Falls die Geschwindigkeitsbeschränkung mit baulichen Maßnahmen einhergeht, muss ein geeigneter Streckentyp mit anderer Kapazität und angepasster CR-Funktion gewählt werden (vgl. Abbildung 6).

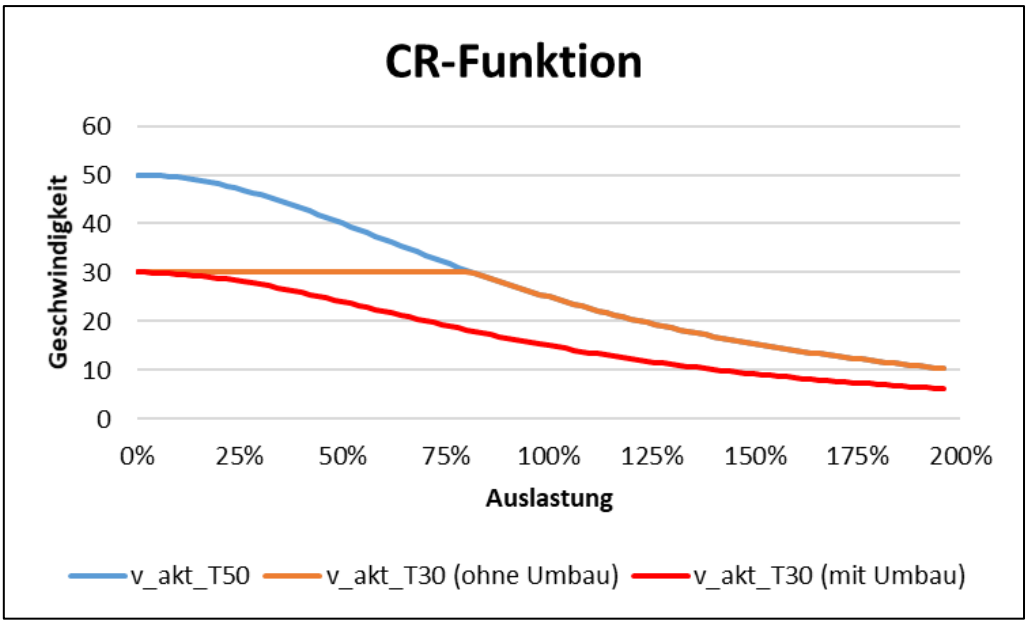


Abbildung 6: Exemplarisch visualisierte CR-Funktionen.

3. Anpassung der Kapazität:
   Um eine reduzierte Leistungsfähigkeit abzubilden, kann bei einer Reduzierung der zulässigen Geschwindigkeit von 50 km/h auf 30 km/h die Kapazität auf Strecken um etwa 10 % reduziert werden.
4. Anpassung der ÖV-Fahrtzeiten:
   Die ÖV-Fahrzeiten sollten entweder über einen einfachen Ansatz (Pauschale Anpassung der Kenngrößenmatrix Fahrtzeit zur Berücksichtigung der längeren Fahrtzeiten, z.B. 4 Sekunden pro 100m Streckenlänge) oder einen komplexeren Ansatz (Ermittlung der verlängerten Fahrtzeiten im ÖPNV, z.B. mithilfe von Simulationen oder detaillierter Analyse von heutigen Geschwindigkeitsprofilen, und Anpassung der Fahrpläne inkl. Anpassung der Taktlage zur Optimierung der Anschlüsse) angepasst werden.
5. Je nach Modell evtl. weitere notwendige Anpassungen im Verkehrsmodell:
   Analyse und Anpassung des untergeordneten Straßennetzes zu Sicherstellung einer realistischen Verlagerung ins unterordnete Straßennetz | Anpassung der Knotenwiderstände | Berücksichtigung der positiven Wirkung für den Radverkehr (Komfort, Verkehrssicherheit).

- *Intelligente Verkehrssteuerung:* Eine Minderung der Emissionen wird bei bestimmten Maßnahmen der intelligenten Verkehrssteuerung über eine Verbesserung des Verkehrsflusses erreicht. Andere Maßnahmen wirken punktuell stark auf die Kapazität und damit auf den Verkehrsfluss (z.B. Pförtnerung). Auf diese Aspekte wird in Kapitel 5.2.9 eingegangen. Spezielle Anforderungen an das Angebotsmodell ergeben sich bei einer ÖV-Priorisierung. Dafür ist bei einer fahrplanfeinen Umlegung eine Anpassung des Fahrplans vorzunehmen. Es muss beachtet werden, dass dadurch eventuell Anschlussoptimierungen verloren gehen und das Angebot durch fehlende Koordinierung ggf. schlechter wird. In diesem Fall kann z.B. die Umsteigewar-

tezeit im Maßnahmenfall aus dem Basisszenario übernommen werden. Eine ÖV-Bevorrechtigung an einem Knotenpunkt führt i.d.R. zu höheren Fahrt-zeiten im Individualverkehr. Dies betrifft nicht nur den Kfz-Verkehr, sondern auch den Radverkehr. Letztendlich sollten alle relevanten Maßnahmeneffekte Teil der Modellierung sein.

5.2.5 Einfluss von Parken auf die Verkehrsnachfrage

Abgebildeter Wirkungszusammenhang
Erreichbarkeiten → Verkehrsnachfrage
Zu berücksichtigen bei Maßnahme
• Maßnahmen der Parkraumpolitik • Benutzervorteile für Elektrofahrzeuge beim Parken

Sofern Maßnahmen der Parkraumpolitik abgebildet werden sollen, muss mindestens der Aufwand zum Auffinden eines verfügbaren Parkplatzes und die finanziellen Aufwendungen abgebildet werden.

Zunächst ist zwischen nutzungsunabhängigen und nutzungsabhängigen Aufwänden zu unterscheiden. Nutzungsunabhängige Aufwände sind beispielsweise jährlich zu entrichtende Anwohnerparkgebühren. Solche Aufwände wirken nicht direkt auf das Verkehrsnachfrageverhalten, sondern vielmehr indirekt über die Entscheidung, ein Fahrzeug vorzuhalten (siehe dazu Kapitel 5.2.2).

Die Wirkung nutzungsabhängiger Aufwände sollte nach dem Stand der Technik im Verkehrsnachfragemodell abgebildet werden. Die Aufwände sollten für den Zielverkehr differenziert nach Wegezweck auf Zellenebene berücksichtigt werden. Auf diese Weise lässt dich der Einfluss das Parkdauer auf die Parkgebühren abbilden (z.B. Einkauf = kurze Parkdauer, Arbeit = lange Parkdauer). Folgende Attribute müssen mindestens für alle Zellen, in denen das Parken mit relevanten zeitlichen oder finanziellen Aufwänden verbunden ist, definiert werden:

- Parkdruck oder Parkzeitaufwand
- Bezahlparkeranteil
- Parkgebühren[12]

Die Kenngrößen, deren Bewertung im Verhältnis zur Bewertung einer Minute Fahrzeit sowie die Methode der Herleitung der zellen- und aktivitätenspezifischen Werte und gemittelte Werte bzw. Wertebereich der Annahmen im Analysefall sind zu dokumentieren. Sind Aufwände für Parken bereits im ursprünglichen Modell berücksichtig, ist zu prüfen, ob diese Angaben in der Modelldokumentation enthalten sind, um ein ausreichendes Verständnis für den Modellansatz zu erlangen, sofern Maßnahmen der Parkraumpolitik abgebildet werden sollen.

[12] Ein Beispiel für eine solche Modellierung kann nachgeschlagen werden bei: (Ritz, 2019).

5.2.6 Setzungen und normative Modellierung

Abgebildeter Wirkungszusammenhang
Präferenzen und weitere schwer abbildbare Größen → Verkehrsnachfrage
Zu berücksichtigen bei Maßnahme
• Umbau von Ortsmitten und Stadtteilzentren (bei Veränderung nicht modellierter Eingangsgrößen, z.B. Attraktivität des Straßenraums) • Maßnahmen zur Förderung einer neuen Radkultur • Mobilitätskulturbeeinflussende Maßnahmen

Bestimmte Maßnahmen können nicht direkt in Verkehrsnachfragemodellen abgebildet werden, da sie nicht auf eine im Modell abgebildete Eingangsvariable wirken. Beispielsweise wird die Attraktivität des Straßenraums für den Fußverkehr in einem Modell nicht explizit abgebildet und auch die Wirksamkeit von Marketingmaßnahmen kann durch die eingesetzten Modelle nicht ermittelt werden. Viele Maßnahmen zielen auf die Verbesserung bzw. Verschlechterung des Verkehrsangebots eines bestimmten Modus ab. Ein Weg, solche Maßnahmen zu modellieren, besteht darin, den Nutzen des durch die Maßnahme verbesserten bzw. verschlechterten Modus durch eine annahmenbasierte Setzung anzupassen.

Diese Setzung muss begründbar sein, d.h. sie muss entweder in eine interpretierbare Eingangsgröße oder in eine Veränderung einer Ergebnisgröße übersetzt werden. In beiden Fällen ist der Wirkungszusammenhang und der erwartete Effekt der Maßnahme zu dokumentieren, da es sich um eine Annahme handelt und nicht um ein Modellergebnis. Die getroffene Annahme muss in einem plausiblen Bereich liegen, der durch Aussagen in der Literatur gestützt werden kann.

Bei beiden Fällen kann die Setzung über eine Änderung geeigneter Eingangsvariablen oder geeigneter Parameter der Nutzenfunktion erfolgen (siehe Beispiel in Tabelle 9).

Analysezustand	
	• Eingangsvariable Fahrtzeit: 30 Minuten • Parameter Fahrtzeit: -0,050 • Nutzen Fahrtzeit: -0,050 × 30 = -1,50
Prognosezustand: Annahme Maßnahme als Fahrzeitreduktion von 10% interpretierbar	
Ansatz 1 Änderung Eingangsvariable	• Eingangsvariable Fahrtzeit: 30 × (1 - 0,1) = 27 Minuten • Parameter Fahrtzeit: -0,050 • Nutzen Fahrtzeit: -0,050 × 27 = -1,35
Ansatz 2 Änderung Parameter	• Eingangsvariable Fahrtzeit: 30 Minuten • Parameter Fahrtzeit: -0,045 × (1 - 0,1) = 0,045 • Nutzen Fahrtzeit: -0,045 × 30 = -1,35

Tabelle 9: Beispiel für die Berechnung einer Nutzenänderung.

Option A – interpretierbare Eingangsgröße anpassen

Die Wirkung der Maßnahme wird entweder in eine der im Modell abgebildeten Eingangsvariablen übersetzt (z.B. Fahrzeit in Minuten oder Fahrtkosten in Euro) oder durch eine Veränderung der Parameter der Nutzenfunktion ausgedrückt (entspricht Ansatz 1 bzw. Ansatz 2 aus Tabelle 9). Ansatz 1 kann durch eine Anpassung bestehender Kenngrößenmatrizen (z.B. Fahrtzeitmatrix) oder durch das Einfügen zusätzlicher Kenngrößenmatrizen erfolgen. Letzteres ist übersichtlicher und besser überprüfbar. Die Anpassung kann räumlich differenziert erfolgen (z.B. in Abhängigkeit der Luftlinienentfernung oder für ausgewählte Relationen, wenn bekannt ist, wo die Maßnahme durchgeführt werden soll). Ansatz 2 kann bei der Abbildung von Maßnahmen, die auf eine veränderte Wahrnehmung der Nutzenkomponenten abzielen, zum Einsatz kommen. Dabei kann nur eine relative Änderung der Parameter vorgenommen werden, die eine einzelne Nutzenkomponente bewerten, absolute Änderungen oder die Veränderung der modusspezifischen Konstanten sind nicht interpretierbar und deshalb nicht zulässig. Die Anpassung der Parameter wirkt damit immer vergleichbar wie eine relative Änderung aller Einträge der entsprechenden Kenngrößenmatrix. Relationsspezifische Änderungen sind damit nicht möglich.

Maßnahmen sollten auf einer geeigneten Ebene aggregiert werden. Es können nur solche Maßnahmen zusammengefasst werden, von denen eine vergleichbare Wirkungsweise zu erwarten ist. Beispiele:

- Entfernungsabhängige Wirkung: Fahrradrouten-Beschilderung und die regelmäßige Reinigung von Fahrradwegen können zusammengefasst werden, da beide Maßnahmen voraussichtlich proportional zur Fahrtzeit bzw. Fahrtweite wirken.
- Fahrtabhängige Wirkung: Wird angenommen, dass zusätzliche Fahrradabstellanlagen den Abstellvorgang vereinfachen, dann bewirkt die Maßnahme eine Nutzenänderung pro Fahrt wirken. Die dafür getroffene Annahme ist gesondert darzustellen.

Beispiele für eine Dokumentation: „Die Verfügbarkeit komfortablerer Abstellanlagen wird modelltechnisch so operationalisiert, als würde die Fahrzeit dadurch je Weg um 30 Sekunden reduziert“ oder „Das Entertainment-System in der Bahn wird so interpretiert, dass die Fahrzeit im öffentlichen Verkehr um 5 % verkürzt erscheint“. Bei dem zweiten Beispiel kann entweder die Eingangsvariable Fahrzeit oder der Bewertungsparameter der Fahrzeit angepasst werden.

Nicht zulässig – nicht interpretierbare Einflussgröße anpassen

Maßnahmen dürfen nicht durch Eingriffe in die Nutzenfunktion operationalisiert werden, die keine Interpretation für die reale Wirksamkeit der Maßnahme erlauben. Darunter fallen absolute Änderungen der Parameter der Nutzenkomponenten sowie der modusspezifischen Konstanten. Zwar können entsprechende Änderungen im Rahmen der normativen Modellierung erfolgen (s.u.), dies wird jedoch durch eine Übersetzung in eine interpretierbare Modellergebnisgröße begründet.

Die Beschreibung einer Maßnahme darf also nicht lauten: „Aufgrund der verbesserten Fahrradabstellanlagen wird angenommen, dass der Grundnutzen um 10 % steigt.“ Diese 10 % können für sich stehend nicht interpretiert werden und haben keine Bedeutung (sie können darüber hinaus abhängig von der Modellspezifikation bei gleicher Funktionsweise des Modells auch unterschiedliche Auswirkungen haben).

Option B –Ergebnisgröße anpassen (normative Modellierung)

Es wird eine Annahme zur Wirkung der Maßnahme getroffen. Die Nutzenfunktion wird daraufhin (iterativ) so angepasst, dass die angenommene Wirkung als Modellergebnis erreicht wird. Es steht den Modellierenden frei, zu wählen, ob die Eingangsvariablen oder die Parameter der Nutzenfunktion angepasst werden. Es ist übersichtlicher und anschaulicher und damit besser überprüfbar, wenn auch hier eine zusätzliche Kenngrößenmatrix eingefügt wird, die die Effekte der normativen Modellierung wiedergibt. Dies ermöglicht auch eine feinere räumliche Differenzierung falls gewünscht.

Die erwarteten Wirkungen unterschiedlicher Maßnahmen können für die iterative Anpassung der Nutzenfunktion zusammengefasst werden, um den Rechenaufwand zu senken. Bei der Anpassung der Nutzenfunktion ist dennoch darauf zu achten, dass unterschiedliche Maßnahmen unterschiedliche Wirkungsweisen haben.

Beispiel: Wird erwartet, dass durch einen Ausbau der Fahrradabstellanlagen und eine verbesserte Fahrradrouten-Beschilderung in Summe der Modal-Split des Radverkehrs um 1,5 Prozentpunkte steigt, sollte sowohl eine wegbezogene als auch eine entfernungs- oder fahrzeitbezogene Eingangsgröße angepasst werden. Um die Annahmen zu den Maßnahmenwirkungen nachvollziehbar zu halten, sollten keine zu großen Maßnahmenpakete unter dem Dach der normativen Modellierung zusammengefasst werden. Auch wenn die Änderung durch die Maßnahmen gemeinsam modelliert werden, ist die erwartete Wirkung getrennt für jede einzelne Maßnahmen zu dokumentieren (z.B. +1 Prozentpunkt aufgrund verbesserter Fahrradabstellanlagen, +0,5 Prozentpunkte aufgrund Fahrradrouten-Beschilderung).

Beispiele für eine Dokumentation: „Es wird angenommen, dass die Verfügbarkeit komfortablerer Abstellanlagen den Modal-Split des Radverkehrs um 1 Prozentpunkt, die Verbesserung der Fahrradrouten-Beschilderung um weitere 0,5 Prozentpunkte und eine Marketingkampagne für den Fahrradverkehr noch einmal um 0,5 Prozentpunkte steigern. Die modelltechnische Operationalisierung der Maßnahme erfolgt durch eine Anpassung des Nutzens des Modus Fahrrad, der insgesamt zu einer Steigerung des Modal Split um 2 Prozentpunkte führt."

Nicht zulässig – Ergebnisgröße direkt anpassen
Maßnahmen dürfen nicht dadurch operationalisiert werden, dass Ergebnisgrößen direkt manipuliert werden. Die Ergebnisgrößen müssen immer direkte Ergebnisse des Rechenlaufs sein.

Die Beschreibung einer Maßnahme darf also nicht lauten: „Die Maßnahme wird dadurch operationalisiert, dass 10 % der Pkw-Nachfrage auf die Fahrrad-Nachfrage übertragen werden." Eine derartige Setzung widerspricht der Logik der im Verkehrsnachfragemodell integrierten Entscheidungsmodellierung.

5.2.7 Segmentierung der Pkw-Flotte im Nachfragemodell

Abgebildeter Wirkungszusammenhang
Antriebstypspezifische Erreichbarkeiten → Verkehrsnachfrage
Zu berücksichtigen bei Maßnahme
• Umweltzonen und Null-Emissionszonen • Umweltstreifen für Kfz • Benutzervorteile für Elektrofahrzeuge beim Parken

Es gibt Maßnahmen, deren Wirkungen auf die Nachfrage von der Ausprägung der Pkw-Flotte abhängen. Diese Ausprägungen können z.B. den Antrieb (Verbrenner, Elektro) oder den Besetzungsgrad (einfach- oder mehrfachbesetzt) betreffen. Im Folgenden wird für die Ausprägung die Bezeichnung privilegierte und nicht-privilegierte Fahrzeuge verwendet.

Im Rahmen von Klimamobilitätsplänen ist davon auszugehen, dass insbesondere Nutzervorteile für lokal emissionsfreie Fahrzeuge von Bedeutung sind. Etwa kann als Maßnahme angenommen werden, dass nur privilegierte Fahrzeuge bestimmte Gebiete oder bestimmte Fahrstreifen auf mehrstreifigen Straßen befahren und bestimmte Parkplätze nutzen dürfen. Selbstverständlich sind auch differenziertere Regelungen wie beispielsweise unterschiedliche Kostensätze denkbar.

Angebotsseitig müssen die unterschiedlichen Eigenschaften für privilegierte und nicht privilegierte Fahrzeuge auf Netz- (z.B. Strecken- oder Abbiegewiderstände) oder Bezirksebene (z.B. Parkdruck) hinterlegt werden (siehe hierzu Kapitel 5.2.4 und 5.2.5).

Die Anteile der privilegierten Fahrzeuge gehen bei einer Unterscheidung nach Antriebssystem in der Regel als Setzung in das Modell ein, da die Wirkung antriebstypspezifischer Erreichbarkeiten auf die Flottenzusammensetzung nur mit komplexen Antriebswahlsystemen abgebildet werden kann. Um die unterschiedlichen Ausprägungen der Fahrzeuge zu berücksichtigen, werden im Modell zwei Nachfragesegmente für den Pkw-Verkehr unterschieden (privilegiert und nicht privilegiert), für die jeweils Anteile hinterlegt werden. Die Setzung kann global oder relationsfein mit räumlichem Bezug zur Maßnahme, z.B. über Einzugsbereiche, vorgenommen werden. Bei der Festlegung der Anteile ist in Abhängigkeit der Ausprägung des Untersuchungsgebietes und der Maßnahme ein Aufschlag des Anteils für das privilegierte Fahrzeugsegment vorzunehmen. Der Aufschlag ist abhängig von folgenden Faktoren:

1. Jahr der Implementierung der Maßnahme:
   Je länger die Maßnahme wirkt, desto höher ist der Aufschlag.
2. Umfang der Vorteile:
   - Preisreduktionen wirken geringer als kostenfreies Parken.
   - Je länger das Parken pro Parkvorgang kostenfrei ist, desto stärker die Wirkung.
   - Freigabe von Bewohnerparkplätze stärkt die Wirkung.
3. Allgemeiner Parkdruck und aktuelle Parkregelungen:
   Je größer der Parkdruck und die Parkkosten im Nullfall-Szenario sind, desto stärker wirkt die Maßnahme.

4. Größe bzw. Entfernung des Gebiets:
   Je größer das Gebiet ist, desto stärker wirkt die Maßnahme. Mit zunehmender Entfernung von dem Gebiet sinkt der Einfluss, so dass je nach Untersuchungsgebiet die Setzung eines E-Fahrzeug-Anteils in Abhängigkeit der Lage sinnvoll sein kann.

Die Auswirkung auf die Routenwahl wird durch eine getrennte Umlegung der beiden Fahrzeugsegmente modelliert.

Die Auswirkung auf die Verkehrsnachfrage kann unterschiedlich komplex erfolgen. Die Wahl der Methodik ist mit Blick auf die abzubildende Maßnahme zu treffen. In einem einfacheren Ansatz werden auf Grundlage der getrennten Umlegungen sowie der unterschiedlichen Bezirkseigenschaften (z.B. Parkdruck für privilegierte und nicht privilegierte Fahrzeuge) jeweils getrennt Kenngrößenmatrizen ermittelt. Diese werden dann gewichtet über die Anteile der Nachfragesegmente zusammengefasst. Auf Grundlage der zusammengefassten Kenngrößenmatrizen wird die Moduswahl mit einem Modus für alle Pkw gemeinsam durchgeführt.

Ein möglicher komplexerer Ansatz ist es, auch im Verkehrsnachfragemodell eine Unterscheidung zwischen den Fahrzeugsegmenten einzufügen. Zu diesem Zweck sind die Personengruppen entsprechend zu unterteilen, um die antriebsspezifischen Verfügbarkeiten abzubilden, sowie ggf. die Modi für das jeweils privilegierte Fahrzeugsegment anzupassen und dann final entsprechend getrennte Umlegungen durchzuführen. Alle ggf. notwendigen Maßnahmen zur Nachkalibrierung aufgrund der veränderten Personengruppen- und Modusstruktur sind vollumfänglich zu dokumentieren. Ein solcher Ansatz kann bei sehr weitreichenden Maßnahmen (z.B. stadtbezirksweite Nullemissionszonen) gewählt werden.

5.2.8 Einfluss von Dauerkartenbesitz im Nachfragemodell

Abgebildeter Wirkungszusammenhang
Preis für Dauerkarten → Dauerkartenbesitz Dauerkartenbesitz → Verkehrsnachfrage
Zu berücksichtigen bei Maßnahme
• Mobilitätspass/Nahverkehrsabgabe

Abbildung der Wirkung von Dauerkartenbesitz auf die Verkehrsnachfrage

Eine Form der Ausgestaltung eines Mobilitätspasses bzw. der Nahverkehrsabgabe kann darin bestehen, dass die Personengruppe, die von der jeweiligen Abgabe betroffen ist, dadurch zur Nutzung des öffentlichen Verkehrs berechtigt ist, also eine Dauerkarte besitzt. Sofern eine solche Form des Mobilitätspasses bzw. der Nahverkehrsabgabe eingeführt wird, ändert sich der Dauerkartenbesitz im Maßnahmenfall stark. Dieser Effekt ist im Modell adäquat abzubilden. Der Einfluss von Dauerkartenbesitz kann im Modell auf drei verschiedenen Ebenen berücksichtigt werden, dabei sind alle der folgenden Lösungsansätze zulässig, wenn sich der Dauerkartenbesitz nur in geringem Maße ändert:

1. *Segmentierung der Personengruppen:* Analog zum Pkw-Besitz lassen sich die Personengruppen nicht nur nach Pkw-Verfügbarkeit, sondern auch nach ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit

unterscheiden. Die Annahmen zur räumlichen Verteilung der ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit sind dabei vermutlich nicht identisch zur Pkw-Verfügbarkeit, da die Kaufentscheidung eines Pkws langfristiger ist als die einer Dauerkarte, die in der Regel maximal ein Jahr gültig ist. Die räumliche Verteilung der ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit sollte mindestens anhand der ÖV-Erreichbarkeit berechnet werden und im Untersuchungsraum nicht als konstant angenommen werden.
Für die nach Dauerkarten differenzierten Personengruppen sind angenommenen Häufigkeiten der Aktivitäten gegenüberzustellen und zu plausibilisieren. Die Unterschiede der entstehenden Aktivitätenhäufigkeiten sind auch anhand der Stichprobengröße zu bewerten, die für Personengruppen mit Dauerkarten häufig niedrig sind.
Für Personen mit Dauerkartenverfügbarkeit sind sinnvolle Annahmen für Bewertung der Kostenkomponenten zu treffen. Dabei ist zu beachten, dass die Gültigkeit der Dauerkarte in der Regel räumlich begrenzt ist. Die anfallenden Kosten nehmen also für Dauerkartenbesitzer mit zunehmender Entfernung ebenfalls zu. Dies ist bei der Nutzendefinition zu berücksichtigen.

2. *Abbildung als separater Modus:* Prinzipiell ist es möglich, den ÖV in die Modi ÖV-Einzelkarte und ÖV-Dauerkarte zu differenzieren. Die Kenngrößen für die beiden ÖV-Modi unterscheiden sich dann lediglich in der Kostenkomponente und der modusspezifischen Verkehrsmittelkonstanten. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass der Dauerkartenbesitz somit in jedem Fall auch abhängig von den restlichen ÖV-Komponenten wie Reisezeit und Umsteighäufigkeit und damit von der ganzheitlichen ÖV-Erreichbarkeit ist. Eine Maßnahme zur Erhöhung des Dauerkartenbesitzes wird auf denjenigen Relationen zu mehr Effekten führen, auf denen der ÖV ohnehin schon gut ist.
3. *Abbildung bei den Kosten:* Die trivialste Möglichkeit, den Dauerkartenbesitz zu integrieren, besteht darin, den Ticketmix entsprechend anzunehmen und die ÖV-Kosten in Abhängigkeit vom Dauerkartenanteil anzupassen. Der Ticketmix und die daraus resultierenden Kosten können dabei differenziert nach Personengruppen bzw. Aktivitätenpaaren abgebildet werden.

   Nachteil dieser Variante ist, dass der Ticketmix in der Regel für alle Relationen gleich angenommen wird. Im Falle einer Maßnahme mit räumlicher Begrenzung muss der Ticketmix entsprechend relationsfein angepasst werden.

Führt eine Maßnahme dazu, dass eine sehr große Bevölkerungsgruppe faktisch eine Zeitkarte bekommt, z.B. durch Einführung eines Mobilitätspasses oder des 9-Euro-Tickets, werden die drei dargestellten Ansätze zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Ansatz 1 würde unterstellen, dass sich alle Menschen wie Dauerkartenbesitzer verhalten, was vermutlich nicht korrekt ist, da sich die ÖV-Affinität nicht ausschließlich mittels Dauerkartenbesitzes beschreiben lässt. Für Ansatz 2 müssten die Moduskonstanten kalibriert werden, da es faktisch den Modus Einzelfahrkarte nicht mehr gibt. Um solche Extremfälle besser abbilden zu können, wird daher der Ansatz 3 empfohlen.

Abbildung der Wirkung von Dauerkartenkosten auf den Dauerkartenbesitz

Für die Ansätze 1 und 3 ist der Anteil der Dauerkarte zunächst vorzugeben und nicht maßnahmensensitiv. Eine modellhafte Abbildung der Wirkung der Kosten von Dauerkarten auf die Zahl

der Personen, die eine Dauerkarte besitzen ist komplex und im Rahmen der Modellierung des Klimamobilitätsplans nicht verpflichtend.

Sofern die Wirkung der Kosten von Dauerkarten auf den Dauerkartenbesitz nicht modellhaft abgebildet wird (z.B. durch Ansatz 2 oder bei einer Modellierung nach Ansatz 2 aber sehr hohen Änderungen der Kosten, s.o.), wird empfohlen, die Wirkung indirekt über eine zusätzliche Anpassung der Kosten für Einzelfahrkaten abzubilden. Bei Ansatz 1 können die Kosten separat angepasst werden, bei Ansatz 3 werden die Kosten für den Fahrscheinmix angepasst, wobei die Gewichte von Einzelfahrscheinen und Dauerkarten festgehalten werden. Aus diesem Grund ist es von Bedeutung, dass die Annahmen zur Berechnung bekannt und dokumentiert sind.

Beispiel: 49-Euro-Ticket bei einem Zonen-Modell
Die Modellstruktur bleibt unverändert, ebenso die Anteile der Personengruppen mit Dauerkartenbesitz (was die ÖV-Affinität dieser Bevölkerungsgruppe widerspiegelt). Die ÖV-Nutzungskosten für Dauerkarten UND Einzelkarten werden um Faktor *f* reduziert.

$$f = \frac{49€}{Preis_{Ist}}$$

In Tabelle 10 ist beispielhaft die Wirkung auf die Fahrpreise im Ticketmix dargestellt.

Zone	Monatskarte Ist	Monatskarte Plan	Faktor	Einzelkarte Ist (Preis pro Fahrt)	Einzelkarte Plan (Preis pro Fahrt)	Monatskarte Ist (Preis pro Fahrt)	Monatskarte Plan (Preis pro Fahrt)
1	60 €	49 €	0,81	2,8 €	2,3 €	1,5 €	1,2 €
2	77 €	49 €	0,63	3,4 €	2,2 €	1,9 €	1,2 €
3	103 €	49 €	0,48	4,5 €	2,1 €	2,6 €	1,2 €
4	128 €	49 €	0,38	5,6 €	2,2 €	3,2 €	1,2 €
5	150 €	49 €	0,33	6,9 €	2,3 €	3,7 €	1,2 €
6	176 €	49 €	0,28	8,1 €	2,3 €	4,4 €	1,2 €

Tabelle 10: Beispiel für die Abbildung veränderter Dauerkartenpreise.

5.2.9 Wirkung von Maßnahmen auf den Verkehrsfluss

Abgebildeter Wirkungszusammenhang
Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage ↔ Verkehrsfluss (→ Emissionsfaktoren)
Zu berücksichtigen bei Maßnahme
• Umweltstreifen für Kfz • Sonderfahrstreifen für Busse und Fahrräder • Intelligente Verkehrssteuerung

Verkehrsnachfrage und Verkehrsfluss stehen immer in Wechselwirkung zueinander. Die Minderung der verkehrsbedingten Emissionen kann sowohl durch eine Senkung der Verkehrsnachfrage als auch durch eine Verbesserung des Verkehrsflusses erreicht werden. Durch die angesprochene Wechselwirkung kann dabei die jeweils andere Größe kontraproduktiv wirken. Wird beispielsweise die Fahrzeit im Pkw-Verkehr durch Kapazitätsbeschränkungen erhöht, reduziert das die Nachfrage. Gleichzeitig erhöhen sich aber die Emissionsfaktoren aufgrund einer Verschlechterung des Verkehrsflusses.

Im Rahmen der Klimamobilitätspläne ist es zulässig, die Wirkung eines veränderten Verkehrsflusses auf die Treibhausgas-Emissionsfaktoren zu vernachlässigen, da diese im Vergleich zu den Wirkungen von Änderungen bei der Verkehrsnachfrage bzw. bei den Fahrzeug-Antriebstechnologien gering sind – es ist zulässig mit pauschalen Emissionsfaktoren zu rechnen (vgl. Kapitel 4.3). Sofern eine Maßnahme explizit darauf abzielt, den Verkehrsfluss zu verbessern, kann dies über eine externe, dem Modelllauf nachgeschaltet Abschätzung erfolgen.

Eine wichtige Maßnahme dieser Art ist eine Verbesserung der LSA-Steuerung als Bestandteil einer intelligenten Verkehrssteuerung. Diese Maßnahme kann beispielsweise darüber abgebildet werden, dass die Emissionen nachträglich um einen bestimmten Betrag je Fahrzeug, das einen optimierten Knotenpunkt durchfährt, reduziert werden. Dabei können als Orientierungswerte gelten, dass pro Überfahrt bei einer guten Optimierung eines bisher unkoordinierten Knotenpunkts mit einem Pkw ein Betrag von 4 % des kilometerbezogenen Emissionsfaktors und mit einem SNF von 13 % des Emissionsfaktors eingespart werden können.

Beispielrechnung: Wird für die Pkw-Flotte ein mittlerer Emissionsfaktor von 160 g_{CO2}/km angenommen, darf im Falle einer guten Optimierung angenommen werden, dass 6,4 g_{CO2} pro Pkw, der einen optimierten Knotenpunkt überfährt, eingespart werden. Dies entspricht der Annahme, dass die Emissionen auf einem Abschnitt von einem Kilometer um 4 % verbessert wurden. Um die Wechselwirkung zwischen Verkehrsfluss und Verkehrsnachfrage zu berücksichtigen, muss im Verkehrsnachfragemodell dann jedoch auch die Fahrzeitverkürzung, die sich durch die verbesserte Knotenpunktsteuerung ergibt, abgebildet werden. Hier kann eine Fahrzeitminderung von 15 Sekunden pro Knotenpunktüberfahrt als Orientierungswert gelten, der durch einen guten Steuerungsansatz gegenüber einem ursprünglich unkoordinierten System erreicht werden kann.[13]

[13] Die Orientierungswerte für die Treibhausgasminderungen und Fahrzeitverkürzungen basieren auf Ergebnissen des UBA-Forschungsvorhabens FKZ 3719 58 102 0 „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ (Schmaus, et al., 2023).

Alternative, gebiets- oder knotenpunktspezifische Werte können z.B. mit Hilfe mikroskopischer Simulationen abgeschätzt werden. Sofern bereits Abschätzungen aus Planungen vorliegen, können diese selbstverständlich verwendet werden.

Eine weitere bedeutende Maßnahme für den Klimaschutz sind Tempolimits auf Autobahnen und im Außerortsbereich. Im Rahmen der Klimamobilitätspläne kann für Autobahnen eine maximal zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h und auf Straßen außerhalb bebauter Gebiete von 80 km/h angenommen werden. Der Haupteffekt dieser Maßnahme für den Klimaschutz liegt darin, dass die spezifischen Emissionsfaktoren deutlich abnehmen. Bei der Berechnung der Emissionswirkung des Klimamobilitätsplans ist dabei folgendermaßen vorzugehen:

1. Berechnung mit dem Verkehrsnachfragemodell, welche Fahrleistungsanteile in Ihrem Bilanzraum im jeweiligen Szenario (einschließlich der Nachfragewirkung des Tempolimits) auf Autobahnen, Innerortsstrecken und Außerortsstrecken entfallen.
2. Abschätzung, welche Änderungen bei den Emissionsfaktoren für Strecken im Außerortsbereich und auf Autobahnen im Mittel auftreten. Die Abschätzung kann beispielsweise auf Grundlage der Emissionsfaktoren des HBEFA für Verkehrssituationen mit unterschiedlichen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten unter Annahmen zur Aufteilung der Verkehrszustände[14] erfolgen.
3. Anpassung der mittleren Emissionsfaktoren (aus Tabelle 4), indem die berechneten Fahrleistungsanteile und die abgeschätzten Veränderungen der Emissionsfaktoren miteinander verrechnet werden.
   Berechnung mit Emissionsfaktor (EF) und Fahrleistungsanteilen (FL):
   $EF_{neu} = EF_{alt} * [FL_{io} + FL_{ao} * (1\text{-}ÄnderungEF_{ao}) + FL_{AB} * (1\text{-}ÄnderungEF_{AB})]$

Die Wechselwirkung zwischen Verkehrsfluss und Verkehrsnachfrage wird dagegen in makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen in aller Regel standardmäßig berücksichtigt. Über CR-Funktionen wird der Zusammenhang zwischen Auslastung und Fahrzeit modelliert. Bei Maßnahmen, die punktuell zu einer starken Kapazitätsbeschränkung führen (z.B. Umwelt- und Sonderfahrstreifen, Pförtnerung im Rahmen einer intelligenten Verkehrssteuerung), ist die Abbildung dieses Zusammenhangs besonders wichtig. Dar zentrale Wirkungszusammenhang, auf den die Maßnahme Umweltstreifen abzielt, sind unterschiedliche Reisezeiten für privilegierte bzw. nicht privilegierte Fahrzeuge, die sich durch Auslastungseffekte ergeben. Um die Wirkung der Maßnahme zu beurteilen, ist die Abbildung über eine makroskopische CR-Funktion nicht ausreichend genau. Der Bereich des Umweltstreifens muss zusätzlich mit einem mikroskopischen Verkehrsflussmodell modelliert werden, um die maßnahmenbedingten Reisezeitveränderungen zu ermitteln. Das makroskopische und das mikroskopische Modell passen dann zueinander, wenn Nachfrage und Reisezeiten in beiden Modellen in der Spitzenstunde in etwa zusammenpassen, wobei die Nachfrage durch das makroskopische Modell und die Reisezeit durch das mikroskopische Modell ermittelt

[14] Als einfache Annahme bezüglich der Aufteilung der Verkehrszustände können die Werte für Autobahnen und Hauptverkehrsstraßen in ländlichen Gebieten aus Abbildung 18 von (Schmaus, et al., 2023) übernommen werden.

wird. Um einen passenden Zustand zu finden, werden im Makromodell die Reisezeitverlängerungen auf Basis der Simulationsergebnisse variiert.

Bei Kapazitätsengpässen aufgrund von Sonderfahrstreifen oder einer Pförtnerung sind die Wirkungen auf den Verkehrsfluss weniger komplex. Wenngleich auch hier eine mikroskopische Simulation empfohlen wird, können die Maßnahmen auch durch eine Anpassung der CR-Funktionen operationalisiert werden. Diese ist im Falle eines Engpasses so zu wählen, dass die Fahrtzeit im unbelasteten Netz nicht mit einem auslastungsabhängigen Faktor multiplikativ verknüpft, sondern um einen auslastungsabhängigen Zuschlag additiv erhöht wird:

$$t(q) = t^{free} + f(Auslastung)$$

Es gilt zu beachten, dass Verkehrsnachfragemodelle in vielen Fällen ausschließlich einen Tag bzw. die Spitzenstunde abbilden. Dies führt dazu, dass auslastungsbedingt wirksame Maßnahmen schwer abzubilden sind. Eine gesonderte Betrachtung des Maßnahmenortes mit einer zeitlichen Differenzierung der Nachfrage und ein Abgleich der mittleren Verlustzeiten zur Kalibrierung der eingesetzten CR-Funktion ist daher wünschenswert.

6 Überprüfung der Modellergebnisse des Klimamobilitätsplans

In diesem Kapitel werden Anforderungen gestellt, welche die Qualität der Verkehrsmodellierung sicherstellen sollen. In Kapitel 6.1 werden Realitätstests beschrieben, die mit Abschluss des Analysefalls vorgenommen werden sollen und deren Ergebnisse zu dokumentieren sind. In Kapitel 6.2 werden Plausibilitätstests definiert, die im Klimaschutzszenario eingehalten werden müssen (z.B. ausreichende Kapazitäten im Verkehrsangebot). Die Ergebnisse der Plausibilitätstests sind ebenfalls zu dokumentieren.

6.1 Realitätstests für den Analysefall

Um den aktuellen Stand der Technik und die Vergleichbarkeit der Sensitivitäten der eingesetzten Modelle zwischen den Klimamobilitätsplänen sicherzustellen, sind Realitätstests durchzuführen. Die Ergebnisse der Tests sind vor Beginn der Maßnahmenmodellierung dem VM zur Prüfung zur Verfügung zu stellen. Die Ergebnisse sind außerdem in der Modelldokumentation darzustellen.

Für die Auswertung ist nur die durch das Nachfragemodell prognostizierte Nachfrage zu berücksichtigen, die auf die jeweiligen Änderungen sensitiv reagiert. Aus diesem Grund bietet es sich an, die Nachfrageänderungen auf Matrixebene auszuwerten. Dafür sind die jeweiligen Nachfragematrizen, die durch das Nachfragemodell erzeugt werden und die Fahrweitenmatrizen aus der Kenngrößenberechnung zu verwenden. Die Auswertung ist auf die Relationen zu beschränken, deren Ziel und/oder Quelle in der Klimamobilitätsplan-Kommune liegen (Binnen-, Quell-, Zielverkehr) bzw. der im Klimamobilitätsplan bilanzierten Verkehre auf der Gemarkung ohne Durchgangsverkehre (s. Kapitel 3.1).

Die Elastizität im Rahmen der Realitätstests wird nach folgender Formel berechnet:

$$\varepsilon = \frac{ln\left(\frac{\text{Nachfrage}_{\text{nachher}}}{\text{Nachfrage}_{\text{vorher}}}\right)}{ln\left(\frac{\text{Kosten}_{\text{nachher}}}{\text{Kosten}_{\text{vorher}}}\right)}$$

Das Vorgehen weicht von der intuitiven Berechnung (Änderungsrate bezogen auf Änderungsrate) ab, die Formel hat jedoch den Vorteil richtungsneutral zu sein, also bei gleicher Änderung in positive oder negative Richtung dasselbe Ergebnis zu erzeugen. Aus diesen Gründen soll diese Formel für die Berechnung der Elastizität verwendet werden.

6.1.1 Preis-Sensitivität für Pkw und ÖV

Die durchzuführenden Tests orientieren sich an den von (Friedrich, et al., 2019) für städtische Verkehrsnachfragemodelle geforderten Tests nach WebTAG, sind in der Eingabevariation jedoch extremer ausgeprägt, da davon ausgegangen wird, dass zum Erreichen der Klimaschutzziele starke Maßnahmen erforderlich sein könnten. Die Zielbereiche der Elastizitäten beruhen auf den genannten Richtlinien. Da die Elastizität einer Modellgröße jedoch in der Regel für unterschiedliche Änderungsbereiche nicht konstant ist, wurde der Zielbereich entsprechend angepasst. Die geforderten Tests sind in Tabelle 11 und Tabelle 12 dargestellt. Wird der Zielbereich eines Tests nicht eingehalten, muss das Modell nachkalibriert werden.

Kraftstoffpreis-Realitätstest	
Variable	Kraftstoffpreis Die Höhe des Kraftstoffpreises ist in der Regel eine direkte Modelleingangsgröße. In einigen Fällen werden die „wahrgenommenen" Pkw-Km-Kosten oder vergleichbare Größen für die Modellierung verwendet, in denen die Kraftstoffkosten eine Komponente darstellen. In diesem Fall ist darauf zu achten, dass tatsächlich nur der Kraftstoffkomponentenanteil variiert wird.
Eingabevariation	+50 %
Zielkenngröße	Pkw-Fahrleistung Bei der Pkw-Fahrleistung soll sich auf die preissensitive Nachfrage beschränkt werden. Statisch vorgegebene Verkehre (z.B. Personenwirtschaftsverkehre und QZD-Verkehre aus dem Außenraum) sollen ausgeschlossen werden. Die Änderung der Pkw-Fahrleistung kann sich auf die Wege im gesamten Gemarkungsgebiet (Quell- Ziel- und Binnenverkehre) beziehen oder auf einen ausgewählten, repräsentativen Teil (z.B. Einwohnende der Klimamobilitätsplan-Kommunen). Die Wege sind mit den entsprechenden Fahrweiten (z.B. aus Kenngrößenmatrizen) zu multiplizieren.
Zielbereich der Elastizität	-0,30 … -0,45

Tabelle 11: Realitätstest für die Auswirkung von Änderungen des Kraftstoffpreises.

ÖV-Tarif-Realitätstest	
Variable	ÖV-Nutzungskosten Die Kosten für die Nutzung des öffentlichen Verkehrs können in einem Modell sehr unterschiedlich abgebildet werden. Für den Realitätstest sind daher alle ÖV-Kostenkomponenten pauschal um 50 % zu verringern.
Eingabevariation	-50 %
Zielkenngröße	ÖV-Nachfrage (Wegeanzahl) Bei der ÖV-Nachfrage soll sich auf die preissensitive Nachfrage beschränkt werden. Die Änderung der ÖV-Nachfrage kann sich auf die Wegeanzahl im gesamten Gemarkungsgebiet (Quell- Ziel- und Binnenverkehre) beziehen oder auf einen ausgewählten, repräsentativen Teil (z.B. Einwohnende der Klimamobilitätsplan-Kommunen).
Zielbereich der Elastizität	-0,15 … -0,60

Tabelle 12: Realitätstest für die Auswirkung von Änderungen der ÖV-Nutzungskosten.

6.1.2 Qualität-Sensitivität für den Radverkehr

Um die Sensitivität des Modells auf die Fahrradinfrastruktur zu untersuchen, ist eine Testrechnung durchzuführen. Im Rahmen der Tests soll die Angebotsqualität im Radverkehr pauschal um 10% verbessert, d.h. die Widerstände pauschal um 10% reduziert werden. Die Modellrechnung ergibt dann eine Nachfrageänderung bei der Zahl der Wegeanzahl. Die mit dem Modell ermittelte Nachfrageänderung soll für den Radverkehr eine Elastizität aufweisen, die für die Zahl der Wege der in Tabelle 13 dargestellten Elastizitätenbandbreite entspricht. Die dargestellten Elastizitäten

hängen vom Modal-Split im Ausgangszustand ab. Bei einer geringen Fahrradnutzung und einer schlechten Fahrradinfrastruktur im Ausgangszustand sind größere Änderungen erwartbar als bei einem Ausgangszustand mit hohem Radanteil.

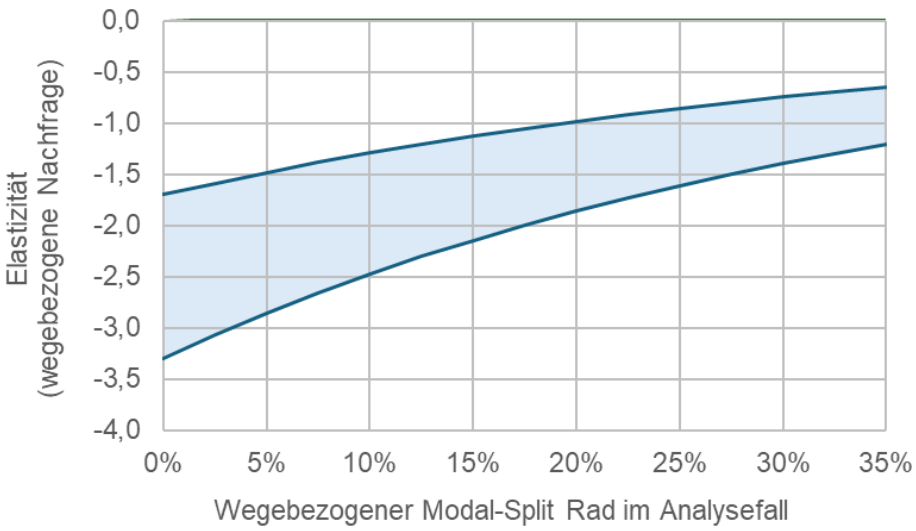
Radverkehrsqualität-Realitätstest (wegebezogen)	
Variable	Radverkehrswiderstand Alle zeit- und entfernungsabhängigen Widerstandskomponenten des Radverkehrs werden um 10 % reduziert. Im Regelfall handelt es sich dabei um die Zugangs-, Abgangs- und Fahrzeit. Widerstandskomponenten wie Steigung oder Ausbauzustand des Radnetzes bzw. der Abstellanlagen werden in der Regel in diesen Zeitkomponenten berücksichtigt, sofern sie auf andere Weise in die Nutzenfunktion eingehen, soll der sich daraus ergebende Widerstand ebenfalls um 10 % abgesenkt werden.
Eingabevariation	-10 %
Zielkenngröße	Rad-Nachfrage (Wegeanzahl) Bei der Rad-Nachfrage soll sich auf die qualitätssensitive Nachfrage beschränkt werden. Die Änderung der Rad-Nachfrage kann sich auf die Wegeanzahl im gesamten Gemarkungsgebiet (Quell-, Ziel- und Binnenverkehre) beziehen oder auf einen ausgewählten, repräsentativen Teil (z.B. Einwohnende der Klimamobilitätsplan-Kommunen).
Zielbereich der Elastizität	 Der Zielbereich der Elastizität ist durch folgende Formeln beschrieben: Obere Grenzlinie: $-1{,}70 \cdot \exp(-2{,}74 \cdot ModalSplit)$ Untere Grenzlinie: $-3{,}30 \cdot \exp(-2{,}87 \cdot ModalSplit)$ Beispiel: • Im Analysefall entfallen 10% der Wege auf den Modus Rad. In diesem Zustand ist eine Elasitizität der wegebezogenen Nachfrage zwischen -1,3 und -2,5 realistisch. • Wirkungen: Bei einer Senkung des Widerstandes um 10% (≈Angebotsverbesserung um 10%) wird sich die wegebezogene Nachfrage mit dem Modus Rad (Anzahl der Rad-Wege) um etwa 20% erhöhen.

Tabelle 13: Realitätstest für die wegebezogene Auswirkung von Änderungen in der Qualität des Radverkehrsangebotes.

6.2 Plausibilitätstests für das Klimaschutzszenario

Durch die Maßnahmen des Klimaschutzszenarios werden sich Änderungen in der Verkehrsmittelwahl ergeben. Anhand der folgenden Tests soll plausibilisiert und sichergestellt werden, dass die vorhandenen Kapazitäten sowie die Infrastruktur der veränderten Nachfrage genügt.

6.2.1 Kapazitäten im ÖV

Für das Klimaschutzszenario ist eine Plausibilitätsprüfung durchzuführen, ob die Nachfrage im öffentlichen Verkehr tatsächlich durch die verfügbaren Kapazitäten befördert werden kann. Sofern es zu starken Überlastungen kommt, ist in einem iterativen Prozess das ÖV-Angebot zu verbessern, bis diese Überlastungen abgebaut sind. Dafür ist es mindestens notwendig, die Kapazitäten im ÖV im Modell zu hinterlegen, das heißt, Fahrzeugtypen mit Platzkapazitäten anzugeben. Weiterhin ist eine zeitliche Differenzierung der Nachfrage grundlegend. Die Überprüfung der Auslastung hat für die Spitzenstunde zu erfolgen. Die Ergebnisse sind in der Dokumentation als Plot oder tabellarisch (z.B. je Linie der Streckenabschnitt mit maximaler Auslastung) darzustellen.

Diese Vorgehensweise vermeidet eine aufwändige und schwer kalibrierbare Modellierung von Überfüllung und damit verbundenen höheren Wartezeiten bzw. Diskomfort-Faktoren. Eine solche Modellierung der Überfüllung ist kein verpflichtender Bestandteil bei der Erstellung eines Klimamobilitätsplans, kann bei Wunsch aber erfolgen.

6.2.2 Kapazitäten im Radverkehr

Für das Klimaschutzszenario ist eine Plausibilitätsprüfung durchzuführen, ob die geplante Fahrradinfrastruktur der Nachfrage im Radverkehr genügt. Dafür ist eine Radverkehrsumlegung für die Spitzenstunde durchzuführen.

Die Ergebnisse sind in der Dokumentation als Plot oder tabellarisch (z.B. Verteilung der Nachfrage je Fahrradinfrastruktur-Typ) darzustellen. Strecken, die im Hauptverkehrsstraßennetz eine Radverkehrsstärke von mehr als 120 Fahrrädern pro Stunde und Fahrtrichtung aufweisen, sollten nach Möglichkeit über einen Radweg oder Radfahrstreifen verfügen oder entsprechend als höherwertige Radverkehrsinfrastruktur (Fahrradstraße, Radschnellweg) ausgestaltet sein. Bei Belastungen von mehr als 120 Fahrrädern pro Stunde und Fahrtrichtung sollte nach HBS (FGSV, 2015) geprüft werden, ob die Breite der Radverkehrsanlage ausreichend ist, um eine gute Qualität des Verkehrsablaufs zu gewährleisten.

6.2.3 Reiseweiten im Radverkehr

Der Projektbericht sollte im Ergebnisteil außerdem eine Darstellung der Reiseweitenverteilungen für den Radverkehr für die unterschiedlichen Modellfälle ausweisen, um zu prüfen, ob die Reiseweiten in einem realistischen Bereich liegen.

7 Dokumentation der Modellierung des Klimamobilitätsplans

Die Dokumentation des Verkehrsmodells sowie der Modellierung ist Bestandteil der Unterlagen, die dem VM zur Prüfung eines Klimamobilitätsplans als Grundlage für den LGVFG-Klimabonus vorgelegt werden müssen. Das VM prüft die Modellierung anhand folgender Dokumente, die nach Beschlussfassung des Klimamobilitätsplan beim VM einzureichen sind:

- *Klimamobilitätsplan:* der Klimamobilitätsplan(-Bericht)
- *Modelldokumentation/Modellhandbuch:* Spezifika zum allgemeinen Aufbau des Verkehrsmodells selbst (siehe Kapitel 7.1)
- *Modellierungsdokumentation:* inhaltliche Beschreibung der im Verkehrsmodell angenommenen Rahmenbedingungen und modellierten Maßnahmen (siehe Kapitel 7.2)
- *Ergebnistemplate:* Modellierungsergebnisse als Excel-Datei. Ein entsprechendes Template wird vom VM über das Kompetenznetz Klima Mobil zur Verfügung gestellt[15].

Um sicherzustellen, dass die Ergebnisse der Verkehrsmodellierung den Anforderungen an einen Klimamobilitätsplan genügen, ist eine Abstimmung mit dem VM vor der Beschlussfassung des Klimamobilitätsplans zu nachfolgenden Punkten sinnvoll und wird ausdrücklich empfohlen:

- Nach Fertigstellung des Analysefalls:
    - Rückrechnung der CO_2-Emissionen auf 2010, siehe Kapitel 3.3
    - Ausschluss von Durchgangsverkehren für die Bilanzierung der CO_2-Emissionen, siehe Kapitel 3.1
    - Realitätstests, siehe Kapitel 6.1
- Nach Abschluss des Klimaschutzszenarios:
    - Annahme von weiteren übergeordneten Rahmenbedingungen, siehe Kapitel 4.2
    - Annahme von zusätzlicher Elektrifizierung der Fahrzeugflotten, siehe Kapitel 4.3
    - Plausibilitätstests, siehe Kapitel 6.2

7.1 Anforderungen an die Modelldokumentation/Modellhandbuch

Die Modelldokumentation ist eine Dokumentation des Erstellers des Modells. Allgemein sollte sie den Anforderungen an die Dokumentation von städtischen Verkehrsnachfragemodellen genügen (nach Kapitel 9 in (Friedrich, et al., 2019)).

In der Modelldokumentation müssen mindestens folgende Inhalte enthalten sein:

- Beschreibung, wie auf die Modellanforderungen des VM aus Kapitel 5.1 eingegangen wird und wie diese im „Ausgangsmodell“ implementiert wurden.

[15] https://www.klimaschutz-bewegt.de/download/template-modellierungsergebnisse-klimamobilitaetsplan/ (abgerufen am 25.02.2026)

- Darstellung der zugrundeliegenden Eingangsdaten und deren Datenquellen, sowie das Planungs- und Untersuchungsgebiet.
- Beschreibung wie die Kalibrierung und Validierung des Modells durchgeführt wurde, sowie Darstellung der zentralen Kenngrößen dieser Prozesse.
- Darstellung und Diskussion der zentralen verkehrlichen Ergebnisse des Analysefalls.

7.2 Anforderungen an die Modellierungsdokumentation

Die Modellierungsdokumentation muss mindestens folgende Inhalte enthalten: die Beschreibung der Rahmenbedingungen für alle Modellfälle und deren Veränderungen sowie die Beschreibung der Operationalisierung der Maßnahmen im Klimaschutzszenario.

Beschreibung der Rahmenbedingungen für alle Modellfälle

In der Modellierungsdokumentation sind die Modellfälle, inklusive veränderter Rahmenbedingungen (siehe Tabelle 14) zu beschreiben.

- *Analysefall:* Hier sind die wichtigsten Rahmenbedingungen, wie Bezugsjahr, Einwohnerzahl, gewählter Netzzustand etc. anzugeben.
- *Nullfall-Szenario:* Es sind alle Veränderungen der angenommenen Rahmenbedingungen im Nullfall-Szenario gegenüber dem Analysefall anzugeben. Die zulässigen Annahmen sind in Kapitel 3.4.2 und Kapitel 4 beschrieben.
- *Rahmen-Klimaschutzszenario:* Es sind alle Veränderungen der angenommenen Rahmenbedingungen im Rahmen-Klimaschutzszenario gegenüber dem Nullfall-Szenario anzugeben. Die zulässigen Annahmen sind in Kapitel 3.4.3 und Kapitel 4 beschrieben.
- *Klimaschutzszenario:* Werden die Annahmen zu Fahrzeugflotte und Emissionsfaktoren aus Kapitel 4.3 unverändert im Nullfall-Szenario und Rahmen-Klimaschutzszenario übernommen, kann auf diese Grundlage verwiesen werden. Werden in Abstimmung mit dem VM abweichende Annahmen getroffen, sind diese darzulegen, zu begründen. Werden abweichende emissionsfreie Anteile angenommen, sind entsprechend der Anforderungen in Kapitel 4 die angenommenen Instrumente, die unterstellte Wirkung sowie der politische Einsatz für die Instrumente zu dokumentieren.

	Rahmenbedingungen	Abbildung im Modell
Nullfall	• Einwohnerwachstum um X% • Einführung der im Bau befindlichen Stadtbahnlinie SX • Bau einer Anschlussstelle zur Bundesstraße BX • …	• Gleichmäßige Erhöhung der Einwohnerzahlen in Netzzellen • Implementierung im Netzmodell inkl. der Fahrplanauswirkungen • Implementierung im Netzmodell • …
Rahmen-Klimaschutzszenario	• Erhöhter CO_2-Preis von X €/t. Der erhöhte CO_2-Preis wird durch… politisch unterstützt. • Abschaffung der steuerlichen Vorteile des Dieselkraftstoffes. Die Abschaffung wird durch … politisch unterstützt • …	• Umrechnung des CO_2-Preises in €/km, die Nutzungskosten erhöhen sich dadurch um X€/km • Erhöhung der emissionsfreien Anteile um X%-Punkte nach der Methodik in Kapitel 4.3 • …
Klimaschutzszenario	• Gesetzliche Grundlage zur flächendeckenden Einführung von Tempo 30 wird geschaffen. Dies wird durch … politisch unterstützt.	• Siehe Beschreibung der Operationalisierung der Maßnahme Kfz.1.1 „Flächendeckendes Tempo 30)

Tabelle 14: Mögliche Dokumentation der veränderten Rahmenbedingungen der Szenarien.

Beschreibung der Operationalisierung der Maßnahmen im Klimaschutzszenario

Für die Maßnahmen des Klimamobilitätsplans muss die Operationalisierung der Maßnahmen im Verkehrs- und Emissionsmodell transparent, nachvollziehbar und quantitativ dargestellt werden. Ein Beispiel für die Darstellung der Operationalisierung findet sich in Tabelle 15. Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Für jede Maßnahme bzw. jedes Maßnahmenpaket ist die Operationalisierung im Verkehrsnachfragemodell getrennt darzustellen (siehe Kapitel 2.2 bzw. Tabelle 1). Eine ausführliche Beschreibung der Maßnahmen erfolgt bereits im Rahmen des Klimamobilitätsplan selbst (z.B. Steckbrief, Umsetzungsplanung), weshalb es nicht notwendig ist, diese in der Modellierungsdokumentation zu wiederholen. Über die Maßnahmennummern oder den -namen muss jedoch ein eindeutiger Bezug zwischen der Beschreibung einer Maßnahme im Klimamobilitätsplan-Bericht und der Erläuterung in der Modellierungsdokumentation hergestellt werden können. Es ist darauf zu achten, dass die Maßnahmennummern eindeutig und in Modellierungsdokumentation und im Klimamobilitätsplan-Bericht (inkl. Steckbriefe und Umsetzungsplanung) identisch sind.
- Die Dokumentation muss die im Modell vorgenommenen Operationalisierungen hinsichtlich der angenommenen Wirkungen qualitativ und quantitativ transparent darstellen. Dies beinhaltet auch die Informationen, welche Maßnahmen nicht operationalisiert wurden.
- Die Wirkung von Maßnahmen aus zwei verschiedenen Maßnahmenpaketen können nicht in einer Operationalisierung zusammengefasst werden. Die Operationalisierung hat mindestens für jedes Maßnahmenpaket getrennt zu erfolgen, da nur so eine Plausibilitätsprüfung vorge-

nommen werden kann. Innerhalb eines Maßnahmenpaketes können mehrere, vergleichbar wirkende Maßnahmen zusammengefasst werden, z.B. Radwegausbau, -beschilderung und -beleuchtung tragen zum erhöhten „Komfort bei der Fahrt bei, deshalb wird die Fahrtzeit um X% verkürzt".

- Eine Maßnahme darf nur zu einer Operationalisierung beitragen. Es ist nicht zulässig, dass eine Maßnahme zu mehreren Operationalisierungen beiträgt, da sonst die einzelne Wirkung nicht mehr zu bewerten ist.
- Es ist die Operationalisierung aller Änderungen im Klimaschutzszenario gegenüber dem Rahmen-Klimaschutzszenario darzustellen. Dies gilt nicht nur für die Änderung von Eingangsgrößen für das Verkehrsnachfragemodell, sondern ebenfalls für veränderte Annahmen bei der Fahrzeugflotte (z.B. erhöhter Anteil emissionsfreier Fahrzeuge) sowie der Emissionsberechnung (z.B. veränderter Emissionsfaktor).
  Beispiel: Erhöhter E-Fahrzeug-Anteil aufgrund von Betrieblichen Mobilitätsmanagement. Die Maßnahme wird voraussichtlich über eine Setzung modelliert, beispielsweise wird über die Fuhrparkgröße der betroffenen Unternehmen die Anzahl der Fahrzeuge abgeschätzt, die durch die Maßnahme mit E-Motor anstelle von Verbrennungsmotor betrieben werden. Diese Herleitung ist transparent darzustellen. Die eigentliche Setzung im Modell ist der daraus abgeleitete Anteil der emissionsfreier Fahrleistung im Stadtgebiet. Auch dieser Wert ist darzustellen.
- Werden im Klimaschutzszenario Maßnahmen abgebildet, für die eine Anpassungen der rechtlichen Rahmenbedingungen auf übergeordneter politischer Ebene notwendig sind (z.B. flächendeckend Tempo 30), so muss dokumentiert werden, um welches Instrument bzw. Veränderung einer rechtlichen Rahmenbedingung es sich handelt, wie sich die Klimamobilitätsplan-Kommune hierfür politisch einsetzt und wie die Wirkung im Modell operationalisiert wird (siehe Kapitel 4.2 und Tabelle 14).

Maßnahmenpaket	**Maßnahme**	**Operationalisierung**
• **R1**: Ausbau der Radverkehrswege	• **R.1.1**: Neubau der Radschnellwege A, B, C • **R.1.2**: Ausbau der Radvorrangrouten in folgenden Straßen: …	• Radschnellwege und geplante Radwege werden in das Modell auf Netzebene integriert (neue Strecken, Anpassung Komfortfaktoren bestehender Strecken).
• **R2**: Ergänzende Radverkehrsinfrastruktur	• **R2.1**: Verbesserung der Beschilderung des Radwegenetzes in der Innenstadt	• Komfort durch eine durchgängige Radwegbeschilderung wird durch eine Fahrzeitminderung von X % ausgedrückt[16].
• **R3**: Verbesserung der Multimodalität	• **R3.1**: Ausbau sicherer Radabstellplätze an allen S-Bahn-Haltestellen	• Verbesserte Abstellanlagen führen zu einer Verringerung der Zu- und Abgangszeiten im Radverkehr um X %

[16] Bei der Angabe von relativen Änderungen (z.B. 5% Fahrtzeitminderung) sollten in der Dokumentation immer die Absolutwerte im Ausgangsfall einsehbar sein. In diesem Fall sollten beispielsweise die angenommenen Radgeschwindigkeiten (differenziert nach Streckentyp) aufgeführt sein, auf die verwiesen werden kann.

Maßnahmenpaket	Maßnahme	Operationalisierung
	• **R3.2**: Umsetzung von vier neuen Bike & Ride-Anlagen an folgenden Haltestellen: …	• Bike&Ride wird an den entsprechenden Haltestellen durch zusätzliche Anbindungen dargestellt: Größere Einzugsbereiche (Anbindungslänge bis X km), ÖV-Zu- bzw. Abgangszeit ergibt sich aus Grundaufwand für Radnutzung (X min) und höherer Geschwindigkeit (X km/h).
• **ÖV1**: Schaffung neuer Angebote	• **ÖV1.1**: Einführung von zusätzlichen Buslinien 1,2,3 und 4 • **ÖV1.2**: Einrichtung einer Schnellbuslinie zwischen Weststadt und Oststadt	• Integration der neuen Strecken in das Netzmodell
• **ÖV2**: Verbesserung bestehender Angebote	• **ÖV2.1**: Verlängerung der Stadtbahnlinie 1,4, 6 • **ÖV2.2**: Ausdehnung des 10-Minuten-Takt im Spätverkehr um 1 Stunde bei allen Stadtbahnlinien	• Verlängerung der jeweiligen Strecken im Netzmodell • Übernahme des neuen Fahrplans
• **ÖV3**: On-Demand Verkehre	• **ÖV3.1**: Bürgerbusse und Mitfahrbänkle	• Keine Operationalisierung

Tabelle 15: Mögliche Dokumentation der Modellierung von zwei Maßnahmenpaketen.

Die Modellierungsdokumentation setzt sich somit aus mehreren Teilen zusammen, eine mögliche Gliederung könnte wie folgt aussehen:

1. Modellgrundlage
2. Modellfälle und angenommenen Rahmenbedingungen
3. Operationalisierung der Maßnahmen
4. Ergebnisse der Verkehrs- und Emissionsmodellierung
5. Realitäts- und Plausibilitätstests (die Ergebnisse der Realitätstests aus Kapitel 6.1 und der Plausibilitätstests aus Kapitel 6.2 sind darzustellen)

Für die Dokumentation der Modellierungsergebnisse wird empfohlen das Ergebnistemplate zu nutzen welches über das Kompetenznetz Klima Mobil zur Verfügung gestellt wird[17].

Das Ergebnistemplate bietet außerdem die Möglichkeit anzugeben, ob der CO_2-Ausstoß im Verkehrssektor im Jahr 2010 auf Basis vorliegender Fahrleistungsentwicklungen zurückgerechnet oder gleich dem Ausstoß im Bezugsjahr des Analysefalls gesetzt wurde (siehe Kapitel 3.3). Im Falle einer datenbasierten Berechnung über die Entwicklung der Fahrleistung sind die Datenquellen zu dokumentieren und mit dem VM abzustimmen.

[17] https://www.klimaschutz-bewegt.de/download/template-modellierungsergebnisse-klimamobilitaetsplan/ (abgerufen am 25.02.2026)

https://fops.de/wp-content/uploads/2021/02/FE-70.0919-2015-Anf-an-staedt-Verkehrsnachfragemodelle-Schlussbericht.pdf
https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2021_06_stellungnahme_wasserstoff_im_klimaschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=9

Literaturverzeichnis

Axhausen, K., Ehreke, I., Glemser, A., Hess, S., Jödden, C., Nagel, K., . . . Weis, C. (2014). *Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung.* FE-Projekt 96.996/2011. doi:10.3929/ethz-b-000089615

Brenck, A., Gipp, C., & Moschner, S. (2020). *Gutachten: Mobilitätspass. Finanzielle Auswirkungen ausgewählter Instrumente der Drittnutzerfinanzierung im ÖPNV für vier Modellkommunen/-regionen.* Berlin: IGES Institut GmbH.

Dargay, J. (2002). Determinants of car ownership in rural and urban areas: a pseudo-panel analysis. *Transportation Research, 38*(5), 351–366. doi:10.1016/S1366-5545(01)00019-9

FGSV. (2015). *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS).* Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

FGSV. (2022). *Empfehlungen zum Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen für den Personenverkehr (EVNM-PV).* Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

Friedrich, M., Pestel, E., Schiller, C., Simon, R., Heidl, U., & Pillat, J. (2019). *Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle.* FE-Projekt 70.919/2015. Abgerufen am 25.02.2026 von https://fops.de/wp-content/uploads/2021/02/FE-70.0919-2015-Anf-an-staedt-Verkehrsnachfragemodelle-Schlussbericht.pdf

Goodwin, P., Dargay, J., & Hanly, M. (2004). Elasticities of Road Traffic and Fuel Consumption with Respect to Price and Income: A Review. *Transport Reviews, 24*(3), 275–292. doi:10.1080/0144164042000181725

IPCC. (2022). Mitigation of Climate Change. *Contribution of Working Group III to the Sitxh Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

Ritz, C. (2019). Modellierung und Wirkung von Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung. *Dissertation*. Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Universität Stuttgart. doi:10.18419/opus-10780

Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2023). *Wasserstoff im Klimaschutz: Klasse statt Masse.* Berlin: Sachverständigenrat für Umweltfragen. Abgerufen am 25.02.2026 von https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2021_06_stellungnahme_wasserstoff_im_klimaschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=9

Schade, W., & Krail, M. (2015). *Analyse der Effekte niedriger Ölpreise auf aktuelle Verkehrsszenarien.* Karlsruhe: M-Five/ISI im Auftrag der Stiftung Mercator.

Schmaus, M., Bawidamann, J., Friedrich, M., Haberl, M., Trenkwalder, L., Fellendorf, M., . . . Pestel, E. (2023). *Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung.* Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Tews, K., Schumacher, K., Eisenmann, L., Saupe, A., & Zacharias-Langhans, K. (2020). *Arbeitshilfe zur Ermittlung der Treibhausgasminderung.* Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.

Weis, C., Vrtic, M., Axhausen, K., & Balac, M. (2016). *SP-Befragung 2015 zum Verkehrsverhalten.* Ittigen: Bundesamt für Raumentwicklung (ARE).

Wietschel, M., Plötz, P., Dütschk, E., Neuner, F., Tröger, J., & Gnann, T. (2023). *Diskussionsbeitrag: Eine kritische Diskussion der beschlossenen Maßnahmen zur E-Fuel-Förderung im Modernisierungspaket für Klimaschutz und Planungsbeschleunigung der Bundesregierung vom 28.3.2023.* Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

Wittig, O., & Dietl, F. (2020). *Gutachten Mobilitätspass: Eckpunkte für eine landesweite Ermächtigung zur Einführung von kommunalen Instrumenten der Drittnutzerfinanzierung im ÖPNV.* Ernst & Young Law GmbH im Auftrag des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg.

Anhang A

Im Vorfeld der Erstellung dieses Dokuments wurden zwölf Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkungsweisen sowie dem aktuellen Stand der Forschung und Praxis zu ihrer Abbildung in Verkehrsnachfragemodellen untersucht. Im Folgenden finden sich die Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung in Form von Maßnahmensteckbriefen.

Maßnahme: Umweltzonen und Null-Emissionszonen	
Beschreibung der Maßnahme	Unter Umweltzonen und Null-Emissionszonen werden hier räumlich definierte Gebiete verstanden, innerhalb derer die Nutzung von Kraftfahrzeugen, die nicht als schadstoffarm bzw. emissionsfrei gekennzeichnet sind, untersagt ist. Der Begriff wird hier von autofreien oder autoarmen Zonen, abgegrenzt.
Wirkung auf Fahrzeugflotte	• Auf antriebsartspezifische Zufahrtsbeschränkungen wird hauptsächlich mit einer Anpassung der Fahrzeugwahl reagiert. Pauschale Aussagen zur Effektstärke sind nicht möglich, da die Effektstärke stark von den Rahmenbedingungen (Marktdurchdringung zufahrtsberechtigter Fahrzeuge) und der raumstrukturellen Lage und Bedeutung sowie der Größe der Gebiete abhängt.
Wirkung auf Fahrleistung	• Die Wirkungen bisher eingeführter Maßnahmen dieser Art auf die Fahrleistung sind nicht empirisch nachgewiesen. Wirkungen auf die Verkehrsnachfrage können modelliert werden, hängen jedoch stark von Annahmen zu Anpassungen bei der Fahrzeugwahl ab.
Sonstige Wirkungen	• Bei zunehmenden Anteilen emissionsarmer (zufahrtsberechtigter) Fahrzeuge verliert die Maßnahme ihre Wirksamkeit.
Modellierbarkeit	• Eine umfassende Modellierung der Beschaffungswahl ist im Rahmen regionaler oder kommunaler Modelle nicht zielführend. Eine überschlägige Abschätzung der Wirkungen kann annahmenbasiert erfolgen. Wirkungen auf die Verkehrsnachfrage können durch die Erweiterung des Modells auf Personengruppen mit zufahrtsberechtigtem bzw. nicht-zufahrtsberechtigtem Fahrzeug, einer Anpassung der Modi und einer getrennten Umlegung abgebildet werden. Die Annahmen über die Wirkung auf die Flottenzusammensetzung haben auf die Ergebnisse jedoch großen Einfluss.
Zusammenfassung und Empfehlungen für die Modellierung in Klimamobilitätsplänen	• Die Wirkung auf die Fahrzeugflotte sollte annahmenbasiert abgebildet werden. Es kann angenommen werden, dass alle Personen mit Pflichtaktivitäten im betroffenen Gebiet einen zufahrtsberechtigten Fahrzeugtyp anschaffen. • Die Wirkung auf die Verkehrsnachfrage ist zu modellieren, indem zwei getrennte Fahrzeugschichten (mit und ohne Zufahrtsgenehmigung) abgebildet werden. Dafür sind die Personengruppen und die Modi im Modell anzupassen und getrennte Umlegungen durchzuführen.

Maßnahme: Umweltstreifen für Kfz	
Beschreibung der Maßnahme	Ein Umweltstreifen ist ein Fahrstreifen auf einem längeren, mehrstreifigen Streckenzug, der nur von ausgewählten, privilegierten Kraftfahrzeugen (emissionsarm oder mehrfach besetzt) benutzt werden darf (Abgrenzung zu Maßnahme „Sonderstreifen für Busse und Fahrräder“). Für den Einsatz von Umweltstreifen sollten die Streckenzüge folgende Kriterien erfüllen: • Lange mehrstreifige Streckenzüge mit wenigen Knotenpunkten und Verflechtungen. • Abbiegebeziehungen, die eine Querung des Umweltfahrstreifens bedingen, sind aus Gründen der Verkehrssicherheit problematisch und deshalb zu unterbinden.
Wirkung auf Fahrzeugflotte	• Umweltstreifen können die Flottenzusammensetzung so beeinflussen, dass der Anteil emissionsarmer Fahrzeuge steigt. Das erfordert wahrnehmbare Zeitvorteile für diese Fahrzeuge.
Wirkung auf Fahrleistung	• Es kann zu geringen modalen Verlagerungen und zur Bildung von Fahrgemeinschaften kommen. Die wesentlichen Wirkungen sind aber Änderungen in der Routenwahl. Die Nutzung längerer Alternativrouten erhöht die Fahrleistung. Die Nutzung von Alternativrouten im nachgeordneten Netz erhöht die Fahrleistung in Erschließungsstraßen, die keine Verbindungsfunktion haben sollten. • Die erwünschten verkehrlichen Wirkungen lassen sich vor allem mit gebietsbezogenen Maßnahmen erreichen, bei denen der Quell- und Zielverkehr in ein Gebiet nicht mit einer veränderten Routenwahl reagieren kann.
Sonstige Wirkungen	• Bei zunehmenden Anteilen emissionsarmer Fahrzeuge verliert der Umweltstreifen seine Wirksamkeit. • Bei der Privilegierung mehrfachbesetzter Fahrzeuge bleibt die Wirksamkeit erhalten.
Modellierbarkeit	• Der Einfluss von Umweltstreifen auf die Fahrleistung kann in einem Verkehrsnachfragemodell modelliert werden. Die Modellierung ist aber aufwändig und erfordert Annahmen. • Die Verkehrsnachfragemodellierung sollte mit einer Verkehrsflusssimulation gekoppelt werden. • Da die Maßnahme zu Stauungen auf den normalen Fahrstreifen führen kann, müssen bei der Berechnung des Energieverbrauchs und der Emissionen die HBEFA-Verkehrszustände berücksichtigt werden.
Zusammenfassung und Empfehlungen für die Modellierung in Klimamobilitätsplänen	• Bei Planung der Maßnahme muss eine Modellierung erfolgen, um die Wirkungen zu ermitteln. Dabei ist ergänzend zur Nachfragemodellierung eine verkehrstechnische Untersuchung mit einem mikroskopischen Verkehrsflussmodell notwendig. • Maßnahme ist modellierbar, aber nur mit aufwändigen Modellerweiterungen im Verkehrsnachfragemodell.

Maßnahme: Sonderstreifen für Busse und Fahrräder	
Beschreibung der Maßnahme	Busse werden entlang von Streckenzügen oder in der Zufahrt zu Knotenpunkten vom sonstigen Kfz-Verkehr getrennt. In Kombination mit einer ÖV-Priorisierung an Lichtsignalanlegen verbessert sich der Verkehrsfluss für die Busse. In der Folge sinken die Fahrtzeiten der Busse und die Pünktlichkeit steigt. Wenn die Sonderstreifen für Busse mit Kapazitätsreduzierungen für den Kfz-Verkehr verbunden sind, steigen zusätzlich die Fahrtzeiten im Kfz-Verkehr.
Wirkung auf Fahrzeugflotte	-
Wirkung auf Fahrleistung	• Die Wirkung eines einzelnen Busstreifens auf die Moduswahl ergibt sich aus der Größe der Fahrtzeitänderungen im ÖV und im Pkw-Verkehr (falls zutreffend). Der größere Wirkungsbeitrag kommt dabei in der Regel von den Fahrtzeitverlängerungen im Pkw-Verkehr.
Sonstige Wirkungen	• Eventuell Rückstau im Kfz-Verkehr und Verlagerung in das nachgeordnete Netz. • Wenn der Rückstau länger als der Sonderstreifen ist, kann der Rückstau auch die ÖV-Fahrzeuge beeinträchtigen. • Eine Überprüfung eventueller Rückstaulängen kann nur mit Verkehrsflussmodellen erfolgen.
Modellierbarkeit	• Die Maßnahme ist in einem Nachfragemodell über veränderte ÖV-Fahrzeiten und Streckenattribute abbildbar.
Zusammenfassung und Empfehlungen für die Modellierung in Klimamobilitätsplänen	• Ein Ausbau des ÖPNV mit einer Verdichtung des Taktes kann Busbevorrechtigungen erfordern. • Bei der Maßnahme handelt es sich um eine kleinräumige verkehrstechnische Maßnahme, die im Gesamtnetz geringe Nachfragewirkungen haben wird. Größere Wirkungen ergeben sich aus Kapazitätsreduktionen im Kfz-Verkehr. • Die Maßnahme muss nur dann modelliert werden, wenn es Kapazitätsreduzierungen im Kfz-Verkehr gibt. Grundsätzlich muss in der Kommune aber durch geeignete Maßnahmen sichergestellt werden, dass auch zukünftige Fahrpläne ohne regelmäßige Verspätungen abgewickelt werden können.

Maßnahme: Maßnahmen der Parkraumpolitik	
Beschreibung der Maßnahme	Die Maßnahme umfasst hier die Steuerung der Verfügbarkeit von Parkständen im öffentlichen Raum (zeitlich, räumlich und kostenseitig), differenziert nach Bewohnerparken und Nicht-Bewohnerparken. Auf die Wirkungen einer Differenzierung nach Fahrzeugtypen wird nicht eingegangen (zur Modellierung fahrzeugtypspezifischer Maßnahmen der Parkraumpolitik siehe Maßnahme „Benutzervorteile für Elektrofahrzeuge beim Parken“)
Wirkung auf Fahrzeugflotte	• Durch zusätzliche Aufwände (zeitlich oder finanziell) für das Parken eines Pkw nimmt die Flottengröße ab oder reduziert den Trend zu einem höheren Motorisierungsgrad.
Wirkung auf Fahrleistung	• Die veränderte Moduswahl führt zu einer Fahrleistungsminderung. Veränderte Zielwahlentscheidungen können sich in Abhängigkeit der Raumstruktur positiv oder negativ auf die Gesamtfahrleistung auswirken. • In Abhängigkeit der Ausgestaltung der Maßnahme und der Verkehrsmittelalternativen kann eine Verknappung des Parkraumangebots zu einer Zunahme des Parksuchverkehrs führen.
Sonstige Wirkungen	• Durch eine Reduktion des Parkraums kann sich die Aufenthaltsqualität in betroffenen Gebieten erhöht werden. • Ein Rückbau von Parkraum ermöglicht die Umwidmung der Flächen für andere Nutzungen und zur Angebotsausweitung für andere Verkehrsmittel.
Modellierbarkeit	• Die Wirkung auf den Motorisierungsgrad wird durch Verkehrsnachfragemodelle nach dem Stand der Praxis derzeit nicht abgebildet. Die Wirkung veränderter Kosten für Bewohnerparken auf den Motorisierungsgrad lässt sich über einen Elastizitätenansatz abbilden. • Die Wirkung auf die Verkehrsnachfrage ist in unterschiedlichen Detailierungsgraden mit Verkehrsnachfragemodellen modellierbar. Einfache Ansätze sind Stand der Praxis, in der Wissenschaft wurden darüberhinausgehend komplexe Modellerweiterungen entwickelt.
Zusammenfassung und Empfehlungen für die Modellierung in Klimamobilitätsplänen	• Sofern eine Erhöhung der Gebühren für das Bewohnerparken in einer als relevant angesehenen Größenordnung vorgesehen ist, sollte die Wirkung auf die Motorisierung modellhaft abgeschätzt werden, beispielsweise unter Verwendung eines Elastizitätenansatzes. Dabei ist räumlich auf Ebene der Verkehrszellen des verwendeten Verkehrsnachfragemodells zu differenzieren. • Für die Berechnung der Wirkung auf die Fahrleistung ist mindestens ein Ansatz zu verwenden, der den Parkdruck und die Parkkosten (personengruppen und fahrzweckspezifisch) auf Ebene der Verkehrszellen berücksichtigt. Die Herleitung der Kenngrößen (Parkdruck und Kosten) sind transparent darzustellen.

Maßnahme: Benutzervorteile für Elektrofahrzeuge beim Parken	
Beschreibung der Maßnahme	Benutzervorteile für Elektrofahrzeuge beim Parken können folgende Maßnahmen auf Grundlage von § 3 Absatz 4 EmoG (Elektromobilitätsgesetzes) umfassen: • Geringere Parkkosten bzw. kostenfreies Parken für Elektrofahrzeuge (auch ohne aktiven Ladevorgang) • Freigabe von Bewohnerparkplätzen für alle Elektrofahrzeuge • Exklusive Parkplätze für Elektrofahrzeuge Der Einsatz dieser Maßnahmen ist durch das EmoG rechtlich abgedeckt. Wirksam ist ein solcher Einsatz nur in Gebieten, in denen Parksuchverkehr und Parkkosten ausreichend hoch sind, dass solche Vorteile überhaupt wahrgenommen werden.
Wirkung auf Fahrzeugflotte	• Der Vorteil von Elektrofahrzeugen beeinflusst die Fahrzeugmotorisierungswahl (Auswahl der Antriebsart im Rahmen der Fahrzeugtypwahl) und beschleunigt damit die ohnehin vorhersehbare Elektrifizierung der Fahrzeugflotte.
Wirkung auf Fahrleistung	• Es kommt zu Steigerung der Fahrleistungsanteile von Elektrofahrzeugen. • Die gesamte Fahrleistung wird sich nicht grundsätzlich ändern.
Sonstige Wirkungen	• Bei sehr stark zunehmenden Anteilen bevorteilter emissionsarmer Fahrzeuge wirken nur noch preisliche Vorteile, falls exklusive Parkplätze nicht in sehr großem Umfang ausgewiesen werden.
Modellierbarkeit	• Der Einfluss von Benutzervorteilen für Elektrofahrzeuge beim Parken kann grundsätzlich über die Trennung von Personengruppen (E-Fahrzeug-Verfügbarkeit ja/nein), getrennte Modi mit unterschiedlichen Parksuchzeiten und -kosten in einem Verkehrsnachfragemodell modelliert werden. Die wesentlichen Änderungen findet aber bei der Fahrzeugmotorisierung statt, so dass der Aufwand der Anpassung des Verkehrsnachfragemodells in der Regel nicht notwendig ist. • Die Fahrzeugmotorisierungswahl sollte durch eine geschätzte Anpassung der Flottenzusammensetzung bei der Emissionsberechnung berücksichtigt werden.
Zusammenfassung und Empfehlungen für die Modellierung in Klimamobilitätsplänen	• Um die erwünschte Wirkung zu erreichen, müssen durch die Benutzervorteile beim Parken deutliche Senkungen der Parkkosten oder der Parksuchzeit erreicht werden. • Bei Planung der Maßnahme muss keine Verkehrsnachfragemodellierung erfolgen. • Die Bewertung der Wirkungen kann durch eine geschätzte Anpassung der Flottenzusammensetzung bei der Emissionsberechnung berücksichtigt werden. • Der Umfang der Klimawirkungen ist stark abhängig von der Intensität der Benutzervorteile im Vergleich zum Bezugsszenario.

Maßnahme: Geschwindigkeitsbeschränkungen innerorts	
Beschreibung der Maßnahme	Geschwindigkeitsbeschränkungen im Sinne dieses Kapitels umfassen v.a. flächendenkende Geschwindigkeitsbeschränkungen (z.B. Tempo 30) und nicht nur lokale Geschwindigkeitsbeschränkungen.
Wirkung auf Fahrzeugflotte	• Durch zusätzliche zeitliche Aufwände durch innerörtliche Geschwindigkeitsbeschränkungen kann die Flottengröße abnehmen oder der Trend zu einem höheren Motorisierungsgrad reduziert werden. Es gibt aber keine empirisch beobachteten Wirkungen.
Wirkung auf Fahrleistung	• Die Fahrleistung wird durch innerörtliche Geschwindigkeitsbeschränkungen reduziert. • Es kann zu modalen Verlagerungen und im geringen Maße zu kürzeren Wegen kommen. Insbesondere der Radverkehr wird durch die geringere Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs attraktiver. • Auch bei der Routenwahl kann es zu räumlichen Verlagerungen in Richtung direkterer Wege im untergeordneten Straßennetz kommen, die allerdings aus Sicht der Aufenthaltsqualität nicht immer erwünscht sind. • Die Wirkung steigt mit dem Verhältnis der Größe des Gebietes mit Geschwindigkeitsbeschränkungen zur durchschnittlichen Fahrtweite.
Sonstige Wirkungen	• Steigerung (reale und gefühlte) Verkehrssicherheit und Komfort für Fuß- und Radverkehr • Geringe Verlangsamung ÖV bei Tempo 30 (eher unbedeutend für die Angebotsqualität) • Möglicherweise Reduktion der Leistungsfähigkeit um etwa 10 %
Modellierbarkeit	• Der Einfluss von innerörtlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen auf die Fahrleistung kann in einem Verkehrsnachfragemodell modelliert werden. • Die Umsetzung beschränkt sich allerdings auf eine reine Reduktion der zulässigen Geschwindigkeiten im Modell. Es müssen außerdem CR-Funktionen (ggf. Kapazitäten) sowie ÖV-Fahrtzeiten überdacht und angepasst werden. • Ggf. muss auch die Modellierung des untergeordneten Straßennetzes verfeinert werden, da dieses durch innerörtliche Geschwindigkeitsbeschränkungen mehr in den Fokus kommen können.
Zusammenfassung und Empfehlungen für die Modellierung in Klimamobilitätsplänen	• Um die erwünschten Wirkungen zu erreichen sind großflächige Geschwindigkeitsbeschränkungen erforderlich. • Bei Planung der Maßnahme muss eine Modellierung erfolgen, um die Wirkungen zu ermitteln. • Die Wirkungen der Maßnahme auf den Kfz-Verkehr sind mit üblichen Verkehrsnachfragenmodellen ohne Modellerweiterungen modellierbar. Für den Radverkehr müssen Komfort und empfundene Verkehrssicherheit berücksichtigt werden • Der Umfang der Klimawirkungen ist stark abhängig von der Qualität des erreichten Verkehrsflusses, der ggf. bei der HBEFA-Bewertung gesondert betrachtet werden muss.

Maßnahme: Umbau von Ortsmitten und Stadtteilzentren	
Beschreibung der Maßnahme	Unter dem Umbau von Ortsmitten und Stadtteilzenten (vgl. § 2 Nummer 1a LGVFG bzw. VwV-LGVFG B I. 1.1) werden verschiedene Maßnahmen zusammengefasst, die den Fuß- und Radverkehr sowie mehr Aufenthaltsqualität fördern. Dazu gehören u.a. die Reduktion von Parkplätzen und die Verbesserung der Fuß- und Radinfrastruktur.
Wirkung auf Fahrzeugflotte	• Auch wenn die Maßnahmen der Rad- und Fußverkehr fördert, ist aufgrund der nur lokalen Wirkung keine messbare Veränderung der Fahrzeugflotte zu erwarten.
Wirkung auf Fahrleistung	• Reduktion der Fahrleistung durch kürzere Wege und vermehrter Nutzung von Rad- und Fußverkehr (ggf. gegenwirkende Umleitungsverkehre).
Sonstige Wirkungen	• Subjektive und objektive Steigerung der Verkehrssicherheit • Steigerung Aufenthaltsqualität mit Belebung der Ortsmitten und Stadtteilzentren
Modellierbarkeit	• Anpassung von Streckentypen bzw. Streckeneigenschaften • Anpassung von Anbindungszeiten für bessere (Rad) und schlechtere (MIV) Parkplatzverfügbarkeit • Manuelle Anpassung von Strukturdaten (mehr Einzelhandel etc.)
Zusammenfassung und Empfehlungen für die Modellierung in Klimamobilitätsplänen	• Bei Planung der Maßnahme kann eine Modellierung erfolgen, um die Wirkungen zu ermitteln. • Alternativ können pauschale Annahmen auf Basis vergleichbarer, bereits umgesetzter Projekte (z.B. https://www.ortsmitten-bw.de/) getroffen oder mittels Verkehrsversuchen ermittelt werden. • Die Wirkungen der Maßnahmen sind mit üblichen Verkehrsnachfragenmodellen ohne Modellerweiterungen modellierbar. Dabei ist auf negative Wirkungen durch Umleitungsverkehr zu achten.

Maßnahme: Mobilitätspass/Nahverkehrsabgabe	
Beschreibung der Maßnahme	Ein Mobilitätspass bzw. eine Nahverkehrsabgabe sind Instrumente der Drittnutzerfinanzierung für den ÖPNV. An dieser Stelle werden darunter monatliche Abgaben bestimmter Personengruppen (Einwohner*innen oder Kfz-Halter*innen) bzw. Straßenbenutzungsgebühren verstanden, die über Vergünstigungen bzw. Angebotsverbesserungen des ÖPNV zurückgeführt werden.
Wirkung auf Fahrzeugflotte	• Die Fahrzeugflottenzusammensetzung ist von der Maßnahme nicht betroffen (ausgenommen einer Ausgestaltung mit fahrzeugtypspezifischen Straßenbenutzungsgebühren, siehe dazu Kapitel 5.1.1). • Die Flottengröße, also der Motorisierungsgrad wird durch die Maßnahme beeinflusst, wenn die Abgabe auf Kfz-Halter*innen abzielt.
Wirkung auf Fahrleistung	• Die mit dem Instrument einhergehenden Vergünstigungen und Verbesserungen des ÖPNV führen zu einer veränderten Modus- und Zielwahl. • Die Routenwahl wird nur verändert, wenn die Einnahmen über Straßenbenutzungsgebühren realisiert werden.
Sonstige Wirkungen	• Primär dient die Maßnahme dazu, zusätzliche Einnahmen für eine Attraktivitätssteigerung des ÖPNVs zu generieren. Diese Attraktivitätssteigerung (Vergünstigungen und Angebotsverbesserungen) können somit als Wirkung der Maßnahme gewertet werden. Mit Blick auf die Abschätzung der Nachfragewirkungen sind sie aus planerischer Perspektive Bestandteil der Maßnahme.
Modellierbarkeit	• Die Wirkung einer Abgabe für Kfz-Halter*innen auf die Flottengröße wird in Verkehrsnachfragemodellen in der Regel nicht abgebildet. Sie kann aber über einen Elastizitätenansatz abgeschätzt werden. • Die Nachfrageeffekte, also die direkte Wirkung auf die Fahrleistung der einzelnen Aspekte des Instruments sind mit Verkehrsnachfragemodellen abbildbar.
Zusammenfassung und Empfehlungen für die Modellierung in Klimamobilitätsplänen	• Die Ausgestaltungsmöglichkeiten und rechtlichen Rahmenbedingungen für eine Nahverkehrsabgabe/einen Mobilitätspass sind ausführlich von (Wittig & Dietl, 2020) beschrieben. • Sofern die Pkw-Verfügbarkeit nicht integral modelliert wird (und der Modellansatz sensitiv auf die Halterkosten ist), sollte die Wirkung auf einer auf Kfz-Halter*innen bezogenen Abgabe auf den Motorisierungsgrad über einen Elastizitätenansatz abgeschätzt werden. • Die durch das Instrument verfügbaren Mittel und die daraus abgeleiteten Änderungen der ÖPNV-Tarife bzw. des ÖPNV-Angebots müssen abgeschätzt werden (z.B. analog zu Kapitel 6 in (Brenck, Gipp, & Moschner, 2020)). Die für das Instrument bedeutenden Annahmen zu den finanziellen Wirkungen sind zu dokumentieren. • Die Vergünstigungen und Verbesserungen im ÖPNV (sowie evtl. die Ausgestaltung der Abgabe für Kfz-Nutzer*innen) sind für die Abbildung im Verkehrsnachfragemodell voneinander getrennt zu beschreiben und zu operationalisieren.

Maßnahme: Straßenbenutzungsgebühren	
Beschreibung der Maßnahme	Straßenbenutzungsgebühren umfassen alle Instrumente, die die Nutzung der Straßen bepreisen. Die Nutzer zahlen dabei einen Fixpreis (z.B. Vignette) oder ein Nutzungsentgelt, das von der Nutzungsintensität abhängt (z.B. Preis je Durchfahrt oder je Kilometer). Straßenbenutzungsgebühren können so gestaltet werden, dass es Nutzungsvorteile für emissionsarme Fahrzeuge oder mehrfachbesetzte Fahrzeuge gibt.
Wirkung auf Fahrzeugflotte	• Mehrkosten für die Pkw-Nutzung beeinflussen den Motorisierungsgrad und damit die Flottengröße. Der Motorisierungsgrad oder der Trend zu einer höheren Motorisierung kann abnehmen. • Bei einer Differenzierung nach Fahrzeugflotte passen sich die Nutzer durch eine veränderte Fahrzeugtypwahl an.
Wirkung auf Fahrleistung	• Straßenbenutzungsgebühren wirken direkt auf die Fahrleistung. Die Wirkungen sind im privaten Pkw-Verkehr höher als im Wirtschaftsverkehr.
Sonstige Wirkungen	• Straßenbenutzungsgebühren können Einnahmen mit einer Zweckbindung auf das bemautete Straßennetz („Straße finanziert Straße“) oder mit einer Zweckbindung auf das gesamte Verkehrsangebot („Straße finanziert Verkehr“) generieren. • Straßenbenutzungsgebühren haben eine räumliche und zeitliche Lenkungsfunktion, die dem Verkehrsfluss verbessern kann. • Straßenbenutzungsgebühren führen in Stadtregionen zu einer modalen Verlagerung auf den ÖV und das Rad. Diese Systeme müssen entsprechend ausgebaut werden.
Modellierbarkeit	• Die Wirkung von entfernungsabhängigen Straßenbenutzungsgebühren oder von Einfahrtsgebühren (City-Maut) auf die Zielwahl, die Moduswahl und die Routenwahl lässt sich in Verkehrsnachfragemodellen gut abbilden. • Verkehrsnachfragemodelle müssen dafür um Beförderungskosten erweitert und entsprechend kalibriert werden. Dazu können vorhandene Zeitkostensätze genutzt werden. • Fixe Straßenbenutzungsgebühren in Form einer Vignette wirken ähnlich wie eine Kfz-Steuer. Ihre Wirkung auf die Ziel- und Moduswahl ist nicht gut abbildbar. Die Wirkung einer Autobahnvignette auf die Routenwahl ist mit gewissen Annahmen zur Verbreitung der Vignette modellierbar. • Die Wirkung auf den Motorisierungsgrad wird durch Verkehrsnachfragemodelle nach dem Stand der Praxis derzeit nicht abgebildet.
Zusammenfassung und Empfehlungen für die Modellierung in Klimamobilitätsplänen	• Um eine messbare Wirkung zu erzielen, sind relativ hohe Straßenbenutzungsgebühren erforderlich. Damit die Pkw-Fahrleistung um etwa 10 % zurückgeht, ist bei einer Elastizität von -0,2 eine Erhöhung der Nutzungskosten um 50 % erforderlich. Das entspricht bei einer netzweiten Maut einem Kilometerpreis von ca. 0,06 €/km. Eine Citymaut müsste etwa 4 bis 6 € pro Tag betragen. • Kommunale Verkehrsnachfragemodelle sollten so aufgebaut werden, dass die Beförderungskosten für Pkw und ÖV abgebildet werden können. Das ist technisch machbar.

Maßnahme: Intelligente Verkehrssteuerung	
Beschreibung der Maßnahme	Eine intelligente Verkehrssteuerung umfasst alle verkehrstechnischen Maßnahmen, die das Verkehrsangebot in Abhängigkeit aktuell erfasster Verkehrsdaten mit einem bestimmten Ziel optimieren. Dies kann lokal oder netzweit erfolgen und prinzipiell alle Modi betreffen. Für den kommunalen Klimaschutz sind insbesondere Zufahrtsregelungen (Pförtnerung) und LSA-Steuerungsprogramme mit dem Ziel der MIV-Verkehrsflussoptimierung bzw. der Priorisierung des Umweltverbundes von Relevanz.
Wirkung auf Fahrzeugflotte	-
Wirkung auf Fahrleistung	• Intelligente Verkehrssteuerung kann eine Wirkung auf die Fahrleistung haben, die Wirkrichtung hängt von der Maßnahmenausprägung ab. • Bei einer Zuflussdosierung in bestimmte sensible Gebiete kann die Fahrleistung lokal bewusst reduziert werden, die Maßnahmen wird in aller Regel jedoch nicht zu diesem Ziel eingesetzt. • Eine Verringerung der Reisezeit durch intelligente Verkehrssteuerung führt prinzipiell zu einer vermehrten Nutzung des entsprechenden Modus. Wird der Verkehrsfluss des MIV optimiert, kann dies zu einer Zunahme der Fahrleistung führen.
Sonstige Wirkungen	• Maßnahmen dieser Art wirken in erster Linie auf den Verkehrsfluss. Dadurch ändert sich der spezifische Energieverbrauch und der spezifische CO_2-Emissionsfaktor der betroffenen Verkehrsmittel. • Die Steuerung von LSA umfasst auch Aspekte der Verkehrssicherheit.
Modellierbarkeit	• Zuflussdosierungen lassen sich über geänderte Kapazitäten bzw. Parameter der CR-Funktionen abbilden. • Optimierte Wartezeiten an Knotenpunkten lassen sich für alle Verkehrsmodi durch verändertere Fahrtzeiten abbilden. • Eine veränderte ÖV-Fahrtzeit ist über eine Anpassung des Fahrplans modellierbar, wobei darauf geachtet werden muss, dass ein anschlussoptimierter Fahrplan nicht verschlechtert wird. • Die Veränderung der Fahrzeiten und der spezifischen CO_2-Emissionen an Knotenpunkten lassen sich mit makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen nicht hinreichend genau ermitteln. Hier sind Annahmen zu treffen. Sofern dies nicht begründbar getroffen werden können, sind die Wirkungen durch mikroskopische Verkehrsflusssimulationen abzuschätzen. Rebound-Effekte auf die Fahrleistung können berücksichtigt werden, indem die Veränderungen der Fahrzeiten auf das makroskopische Verkehrsnachfragemodell übertragen werden.
Zusammenfassung und Empfehlungen für die Modellierung in Klimamobilitätsplänen	• Das Optimierungspotential hängt stark von der Ausgangssituation ab und ist damit nicht pauschal zu beurteilen. • Maßnahmen, die eine Wirkung auf den CO_2-Ausstoß auf kommunaler Ebene haben, wirken insbesondere auf den Verkehrsfluss an LSA-Knotenpunkten. Diese Wirkungen können mit makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen nicht ermittelt werden. Es müssen (begründete und dokumentierte) Abschätzung getroffen oder gesonderte Untersuchungen (beispielsweise mikroskopische Verkehrsflusssimulationen) durchgeführt werden. • Die Verkehrsnachfrageeffekte sollten mithilfe des Verkehrsnachfragemodells berechnet werden. Dabei sollten die Rebound-Effekts aus den Veränderungen des Verkehrsflusses berücksichtigt werden, indem die veränderten Reisezeiten (aus Annahmen oder mikroskopischer Flusssimulation) in das Modell übernommen werden.

Maßnahme: Maßnahmen zur Förderung einer neuen Radkultur	
Beschreibung der Maßnahme	Die Förderung einer neuen Radkultur umfasst alle Maßnahmen, die nicht unmittelbar auf den Ausbau der Rad-Straßeninfrastruktur zielen. Das sind Maßnahmen, die die Nutzbarkeit des Rads verbessern, die zu einer positiven Wahrnehmung des Radverkehrs beitragen und die politische Umsetzung von Infrastrukturmaßnahmen für den Radverkehr beschleunigen.
Wirkung auf Fahrzeugflotte	• Einfluss auf die Wahl der Fahrzeuggröße, Antriebsart und weiterer Fahrzeugeigenschaften sind theoretisch begründbar. Quantitative Erkenntnisse zum Umfang der Wirkungen liegen nicht vor.
Wirkung auf Fahrleistung	• Wirkungen auf die Moduswahl erfordern infrastrukturelle Maßnahmen in Kombination mit in diesem Kapitel beschriebenen Maßnahmen zur Förderung einer neuen Radkultur. • Die Wirkungsanteile der veränderten Radkultur lassen sich nicht getrennt erfassen. Aus diesem Grund gibt es keine empirischen Belege für die Wirksamkeit der Maßnahme. Städte mit hohen Radverkehrsanteilen haben entsprechende Maßnahmen in der Regel umgesetzt.
Sonstige Wirkungen	• Positive Wahrnehmung des Radverkehrs.
Modellierbarkeit	• Die Wirkungen einer verbesserten Radinfrastruktur werden im Modell durch veränderte Widerstände abgebildet. • Die Wirkungen von Maßnahmen zur Förderung einer neuen Radkultur lassen sich nicht direkt im Modell abbilden. Sie können über Setzung von Verhaltensparameter oder über eine normative Modellierung (Setzungen der Ergebnisse) abgebildet werden.
Zusammenfassung und Empfehlungen für die Modellierung in Klimamobilitätsplänen	• Annahmen zu Änderungen der Mobilitätskultur sollten alle Verkehrsmittel berücksichtigen. Elektrofahrzeuge und automatisierte Fahrzeuge können die Mobilitätskultur ebenfalls ändern. • Eine normative Modellierung (Setzung der Ergebnisse) kann aufzeigen, wie sich die Nachfrage der einzelnen Modi verändert, wenn eine politisch angestrebte Moduswahl für ausgewählte Modi (z.B. Verdopplung Radverkehr) erreicht werden soll. • Die Annahmen sind als Setzung zu kennzeichnen und ihre Herleitung ist zu dokumentieren.

Maßnahme: Mobilitätskulturbeeinflussende Maßnahmen	
Beschreibung der Maßnahme	Die Förderung einer neuen Mobilitätskultur umfasst alle Maßnahmen, die nicht unmittelbar auf eine Veränderung der Raumstruktur oder des Verkehrsangebotes bzw. auf monetäre Maßnahmen zielen. Maßnahmen zur Beeinflussung der Mobilitätskultur erreichen Verhaltensänderungen durch Änderungen der Präferenzen.
Wirkung auf Fahrzeugflotte	• Einfluss auf die Wahl der Fahrzeuggröße, Antriebsart und weiterer Fahrzeugeigenschaften sind theoretisch begründbar. Quantitative Erkenntnisse zum Umfang der Wirkungen liegen nicht vor.
Wirkung auf Fahrleistung	• Einfluss auf die Ziel-, Modus- und Routenwahl sind theoretisch begründbar. Quantitative Erkenntnisse zum Umfang der Wirkungen liegen für ausgewählte Maßnahmen (z.B. Neubürgermarketing) vor.
Sonstige Wirkungen	• Positive Wahrnehmung bestimmter Verkehrsmittel bzw. Mobilitätsanbieter.
Modellierbarkeit	• Modellierbar über Setzung von Verhaltensparameter oder über eine normative Modellierung (Setzungen der Ergebnisse).
Zusammenfassung und Empfehlungen für die Modellierung in Klimamobilitätsplänen	• Eine Modellierung ist über die Vorgabe einer Änderung der Modal-Split-Werte grundsätzlich möglich. Um die Änderung im Modell zu erreichen, sind die entsprechenden Verhaltensparameter zu kalibrieren. • Annahmen zu Änderungen des Verkehrsverhaltens sollten alle Modi und Personengruppen berücksichtigen. • Die Annahmen sind als Setzung zu kennzeichnen und ihre Herleitung ist zu dokumentieren.