

Arbeitsgruppe Verkehrsplanung

Arbeitsausschuss Erhebung und Prognose des Verkehrs

Arbeitskreis: Multi- und Intermodalität

Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr

Teilpapier 6: Multi- und intermodale Verkehrsnachfragemodellierung Ausgabe 2026

Leitung: Prof Dr.-Ing. Martin Kagerbauer, Karlsruhe

Stellvertretung: Prof. Dr.-Ing. Christine Eisenmann, Cottbus

Mitarbeitende: Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Till Ackermann, Köln
Michael Boßhammer, M.A., Leichlingen
Prof. Dr.-Ing. André Bruns, Wiesbaden
Dr.-Ing. Teresa Engel, M.Sc., Esslingen am Neckar
Univ.-Prof. Silja Hoffmann, Neubiberg
Prof. Dr. Matthias Kowald, Wiesbaden
Gregor Leich, M.Sc., Berlin
Prof. Dr.-Ing. Wilko Manz, Kaiserslautern
Gunnar Nehrke, Berlin
Dr. rer. nat. Claudia Nobis, Dessau-Roßlau
Dr.-Ing. Maximilian Pfertner, M.Sc., München
Dr.-Ing. Emely Richter, Dresden
Dr. Sonja Rube, München
Dr. Martin Snethlage, Karlsruhe
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carsten Sommer, Kassel
Dr.-Ing. Matthias Wirtz, Hannover
Tim Wörle, M.Sc., Dipl.-Ing. Frieder Zappe, Kaiserslautern

Das Teilpapier 6 wurde von einer Bearbeitungsgruppe aus dem AK 1.2.8, bestehend aus Prof. Dr.-Ing Martin Kagerbauer, Gregor Leich, M.Sc., Dr. -Ing Emely Richter, Dr. Martin Snethlage und Dr.-Ing Tim Wörle erstellt.

1 Vorbemerkung

Der Arbeitskreis „Multi- und Intermodalität“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) stellt eine Zusammenarbeit der Arbeitsausschüsse 1.1 („Grundsatzfragen der Verkehrsplanung“), 1.2 („Erhebung und Prognose des Verkehrs“) und 1.6 („Öffentlicher Verkehr“) dar. Er hat sich zum Ziel gesetzt, Hinweise für die praktische Umsetzung und zu den Wirkungen von Maßnahmen im Bereich der Multi- und Intermodalität zu geben. Der Fokus liegt dabei auf der Betrachtung des Personenverkehrs. Die Ergebnisse des Arbeitskreises werden in Form von Teilpapieren aufbereitet, die bei Bedarf aktualisiert und ergänzt werden können. Das vorliegende Teilpapier „Multi- und intermodale Verkehrsnachfragemodellierung“ ist das sechste Teilpapier zu „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr“.

2 Einleitung

Gegenstand dieses Teilpapiers ist die Abbildung von multi- und intermodalen Verhaltensweisen und Verkehrsangeboten in Verkehrsnachfragemodellen. Es wird erläutert, wann es von Relevanz sein kann, multi- und intermodale Verhaltensweisen zu modellieren und wie sie modelliert werden können.

Multimodales Mobilitätsverhalten bezeichnet die individuelle Nutzung unterschiedlicher Verkehrsmodi bei der Durchführung von Wegen innerhalb eines Betrachtungszeitraums, z. B. einer Woche (vgl. [Teilpapier 1: „Definitionen“](#)). Die Nutzung unterschiedlicher Verkehrsmodi wird durch Multioptionalität, das Vorhandensein von mehreren Alternativen, ermöglicht. Die Nutzung verschiedener Verkehrsmodi für die Etappen eines Wegs wird als intermodales Mobilitätsverhalten bezeichnet (vgl. [Teilpapier 1: „Definitionen“](#)). Intermodalität ist somit eine besondere Form der Multimodalität. Betrachtungsebene sind in diesem Hinweisteilpapier die erweiterten Verkehrsmodi Fußverkehr, Radverkehr, geteilte Verkehrsmittel, motorisierter Individualverkehr (MIV) und öffentlicher Verkehr (ÖV). Die Analysen und Modelle können aber gleichermaßen auf der Ebene von Verkehrsmitteln angewandt werden.

Im [Teilpapier 3: „Multi- und intermodale Mobilitätsdienstleistungen und intermodale Verknüpfungspunkte“](#) werden eine Reihe von Verkehrsangeboten, von Mobilitätsdienstleistungen bis hin zu intermodalen Verknüpfungspunkten für Angebote, beschrieben. Diese Angebote verstärken multi- und intermodales Mobilitätsverhalten. So ermöglichen beispielsweise Sharing-Angebote die Nutzung von Verkehrsmitteln, ohne diese zu besitzen. Gleichermaßen ermöglichen und erhöhen Verknüpfungspunkte eine intermodale Nutzung von Verkehrsmitteln. Die Planung und sinnvolle Ausgestaltung der Verkehrsangebote mit Hilfe der Analyse und Modellierung von Wirkungszusammenhängen von multi- und intermodalen Verkehrsangeboten und entsprechender Nachfrage sind Teil dieses Hinweisteilpapiers.

Des Weiteren zeigt insbesondere das [Teilpapier 5: „Bestandsaufnahme zum multimodalen Mobilitätsverhalten in Deutschland“](#) auf, dass sich die Mobilität individuell deutlich unterscheiden kann. Dies betrifft sowohl multi- als auch intermodale Verhaltensweisen. Dass Personen sich multimodal verhalten, beschreibt nicht nur die Wahl der Verkehrsmodi, also dass eine Vielzahl von Verkehrsmodi innerhalb eines Zeitraumes genutzt werden. Es wird auch beobachtet, dass „multimodale Personen in besonderem Maße affin sind, auf Veränderungen der Rahmenbedin-

gungen hinsichtlich der Attraktivität der Nutzbarkeit eines Verkehrsmittels zu reagieren“¹. Darüber hinaus sind Personen mit verstärkt monomodalem Verhalten im Mittel weniger gewillt, bisher nicht genutzte Verkehrsmodi zum ersten Mal zu nutzen. In Summe führt dies dazu, dass Personen Verkehrsmodi unterschiedlich bewerten und sie in ihrer Mobilität unterschiedlich stark auf Veränderungen im Verkehrssystem reagieren. Dem folgend würden beispielsweise Personen, die bereits den ÖV auf dem Weg zu kulturellen Aktivitäten in die Innenstadt nutzen, für den Weg zur Arbeit aber bisher immer auf das Auto angewiesen waren, bei einer Angebotsverbesserung durch beispielsweise eine neue Linie im Umfeld des Arbeitsplatzes wahrscheinlicher das neue ÖV-Angebot nutzen als Personen, die wenig bis keine Erfahrungen mit den ÖV gesammelt haben.

Als besondere Form des multimodalen Mobilitätsverhaltens beinhaltet intermodales Mobilitätsverhalten darüber hinaus ein hohes Maß an bewusstem Einholen und Abwägen von Informationen (Transaktionsaufwände wie das Einholen einer digitalen Fahrtauskunft oder das Lesen eines Fahrplanes). Dies führt ähnlich wie bei multimodalem Verhalten dazu, dass nur ein Teil der Bevölkerung die Kombination von unterschiedlichen Verkehrsmodi auf einem Weg überhaupt in Betracht zieht und entsprechend auf neue Angebote reagieren würde.

Mit Verkehrsnachfragemodellen werden vorhandene Zustände im Verkehrsnetz analysiert und Wirkungen zukünftiger Entwicklungen und Maßnahmen abgebildet; Verkehrsnachfragemodelle „dienen [...] der Vorbereitung verkehrsplanerischer, betriebsplanerischer, verkehrstechnischer und verkehrspolitischer Entscheidungen“², z. B. im Rahmen der Verkehrsentwicklungsplanung oder einer standardisierten Bewertung. Zur Klärung der Frage, welche Wirkungen bestimmte Maßnahmen haben können, ist die Betrachtung von multi- und intermodalem Verhalten in Verkehrsnachfragemodellen zielführend. Dabei sind zwei Betrachtungsebenen relevant:

Modelle können

- multi- und intermodale Verhaltensweisen auf der Ebene einzelner Personen(-gruppen) oder Wege abbilden und
- unterschiedliche Wirkungen von Maßnahmen auf das Mobilitätsverhalten von mono- und multimodalen Personen bzw. Personengruppen abbilden.

Ein Ziel von Verkehrsnachfragemodellen kann es daher sein, explizit die Abbildung von Multi- und Intermodalität zu fokussieren und entsprechende modellseitige Voraussetzungen hierfür zu treffen. Dem folgend betrachtet dieses Hinweisteilpapier zwei Bestandteile von Verkehrsnachfragemodellen:

- Verkehrsangebotsmodelle: Sie beschreiben die Ausgestaltung und Qualität von multi- und intermodalen Verkehrsangeboten. Sie werden häufig als Netzmodelle bezeichnet.
- Entscheidungsmodelle zur Abbildung des Mobilitätsverhaltens: Sie bilden multi- und intermodale Entscheidungsprozesse ab.

Der folgende Abschnitt gibt eine Übersicht über mögliche Anwendungsfälle für und Fragestellungen an Verkehrsnachfragemodelle, die eine spezifischere Modellkonfiguration mit Ausrich-

¹ [Teilpapier 5: Bestandsaufnahme zum multimodalen Mobilitätsverhalten in Deutschland](#)

² Empfehlungen zum Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen für den Personenverkehr – FGSV 2022, S. 8

tung auf Multi- und Intermodalität erfordern. Der Abschnitt „Multi- und Intermodalität in Verkehrsnachfragemodellen“ zeigt Möglichkeiten für die Umsetzung von multi- und intermodalen Verhaltensweisen in Verkehrsnachfragemodellen auf.

3 Anwendungsfälle für multi- und intermodale Verkehrsnachfragemodelle

Die verstärkte Berücksichtigung von multi- und intermodalem Verhalten in Verkehrsnachfragemodellen bringt erweiterte Analyse- und Prognosemöglichkeiten und verbessert den Detaillierungsgrad und die Realitätsnähe der Modellierung. Sie geht allerdings auch mit einem erhöhten Aufwand bei der Modellerstellung und besonderen Anforderungen an die Datenqualität einher. Im Folgenden werden Themenbereiche genannt, bei denen sich eine besondere Ausrichtung der Modelle auf Multi- bzw. Intermodalität empfiehlt oder zu prüfen ist.

Multi- und intermodale Verkehrsnachfragemodelle werden zur Untersuchung der Wirkung von multi- und intermodalen Mobilitätsdienstleistungen und intermodalen Verknüpfungspunkten verwendet. Bei deren Planung bieten Verkehrsnachfragemodelle Hilfestellungen, indem sie eine Planung im Verkehrssystem bzw. eine Auswahl von Maßnahmen mit quantitativen Wirkungsprognosen unterstützt. Dies ist insbesondere mit Blick auf die zunehmende Zahl und Diversität von Verkehrsangeboten, die steigende Relevanz von Mobilitätsdienstleistungen und deren Integration in das bestehende (öffentlich verfügbare) Verkehrsangebot sinnvoll, weil viele Wirkungsdimensionen bestehen und sich verschiedene Effekte der Maßnahmen überlagern. Beispielsweise führt die Einführung eines Carsharing-Angebotes dazu, dass mehr Wege mit diesem Angebot zurückgelegt werden. Gleichzeitig zeigen Studien, dass mit der Einführung des Carsharing-Angebotes in vielen Fällen eine Reduzierung des Pkw-Besitzes im Haushalt einhergeht, sodass gleichzeitig eine höhere Fahrrad- und ÖV-Nutzung zu beobachten ist.

Im Folgenden werden Mobilitätsdienstleistungen und Maßnahmen aufgeführt, bei denen multi- und intermodale Verhaltensweisen eine zentrale Rolle einnehmen. Damit besteht auch eine besondere Relevanz der Modellierung von Multi- und Intermodalität, sodass diese Verhaltensweisen realitätsnah in den Modellen abgebildet werden können.

- Insbesondere multimodale Personen zeigen eine Offenheit für die Nutzung von geteilten Verkehrsmitteln wie Sharing, Pooling oder Hailing (Diana 2010). Deshalb wird für Untersuchungen dieser Verkehrsmittel eine verbesserte multimodale Modellierung empfohlen.
- Haltestellen mit Park-and-Ride, Bike-and-Ride sowie Mobilitätsstationen zielen u. a. auf die intermodale Kombination von Verkehrsmodi ab, weshalb hier eine intermodale Modellierung erforderlich ist.
- Preispolitische Maßnahmen und digitale Angebote sind ebenfalls eng mit Multi- und Intermodalität verknüpft, weshalb hier eine Prüfung der Erforderlichkeit einer Modellverfeinerung auf beiden Ebenen empfohlen wird.

Eine Übersicht der Mobilitätsdienstleistungen und Maßnahmen findet sich in Tabelle 1. Die Angaben zur Relevanz der Modellierung von Multi- und Intermodalität dienen der Orientierung. Im Detail ist dabei zu prüfen, ob sich für Anwendungen eine höhere oder niedrigere Relevanz

ergibt. Beispielsweise kann bei Bikesharing von einer häufigeren intermodalen Nutzung des Angebotes im Vergleich zum Carsharing ausgegangen werden, weshalb hier eine größere Relevanz der intermodalen Modellierung bestände.

Tabelle 1: Relevanz der Modellierung von Multi- und Intermodalität für Beispiele von Mobilitätsdienstleistungen und Maßnahmen

Mobilitätsdienstleistungen und Maßnahmen	Relevanz der Modellierung der	
	Nutzung von verschiedenen Verkehrsmitteln auf unterschiedlichen Wegen (Multimodalität)	Nutzung von verschiedenen Verkehrsmitteln innerhalb eines Weges (Intermodalität)
Sharing-Angebote (z. B. Carsharing, Bike-sharing, Rollershaaring, Tretrollershaaring)	Hoch	Mittel
Bedarfsverkehre (z. B. Ridepooling, Ridehailing), Taxi, Mietwagen	Hoch	Mittel
Bike-and-Ride, Park-and-Ride	Niedrig	Hoch
Mobilitätsstationen	Mittel	Hoch
Preispolitische Maßnahmen (z. B. Mobilitätsbudget, Parkgebühren)	Hoch	Niedrig
(Digitale) Informations- und Buchungangebote	Mittel	Mittel

Bei der Wirkungsanalyse der genannten Mobilitätsdienstleistungen und Maßnahmen können verschiedene Fragestellungen aufgeworfen werden, die mit Modellen im Zusammenhang mit Multi- und Intermodalität beantwortet werden sollen. Im Folgenden wird eine Übersicht gegeben, die für den vorliegenden Kontext besonders relevant ist.

Tabelle 2: Beispiele für mögliche Fragestellungen im Zusammenhang mit Multi- und Intermodalität

☐	Welche gesamtverkehrlichen Wirkungen hat die Umsetzung von Maßnahmen zur Förderung der Multi- und Intermodalität?
	☐ Modal Split des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung ☐ Teilverkehre (z. B. Binnenverkehr einer Kommune, Pendelverkehr) ☐ Nachfrageentwicklung im zeitlichen Längsschnitt ☐ Anteile multimodaler Gruppen oder intermodalen Verhaltens, Verhaltensvariation
☐	Wie sollten Mobilitätsdienstleistungen und Maßnahmen geplant werden?
	☐ Zugang für verschiedene Nutzendengruppen ☐ Räumliche Dimensionierung und Verortung ☐ Zeitliche Dimensionierung (z. B. Saisonalität, Werktag, Wochenende) ☐ Preisgestaltung und Nachfragesteuerung ☐ Flottendimensionierung, -charakterisierung und -steuerung ☐ Systemeffizienz und Wirtschaftlichkeit ☐ Integration von Mobilitätsdienstleistungen in den ÖV ☐ Markthochlauf von Mobilitätsdienstleistungen im zeitlichen Längsschnitt ☐ Akzeptanz ☐ Mobilitäts- und Umweltgerechtigkeit
☐	Welche sonstigen Wirkungen hat die Umsetzung von Maßnahmen zur Förderung der Multi- und Intermodalität?
	☐ Verbesserung der Verbindungsqualität

	□ Erreichbarkeitsverbesserung □ Verbesserung der Aufenthaltsqualität □ Emissionen (z. B. Luftschadstoffe, Lärm) □ Veränderung des Besitzes von Verkehrsmitteln (z. B. Pkw-Besitz)
--	--

4 Multi- und Intermodalität in Verkehrsnachfragemodellen

Verkehrserhebungen analysieren das Verhalten von Verkehrsteilnehmenden. Dabei werden multi- und intermodale Verhaltensweisen aufgezeigt, deren Wirkungszusammenhänge in Verkehrsnachfragemodellen abgebildet werden können. Verkehrsnachfragemodelle modellieren im Regelfall zwar mehrere Verkehrsmodi und sind damit multimodal. Multi- und vor allem intermodales Verhalten wird jedoch nur in geringem Maße in Verkehrsnachfragemodellen berücksichtigt. In den folgenden Abschnitten wird daher erläutert, welche Modellkomponenten die Modellierung multi- und intermodalen Verhaltens ermöglichen. Dabei werden Vor- und Nachteile der Modellierungsaspekte beleuchtet und verschiedene Modelltypen (z. B. mikroskopisch/makroskopisch) berücksichtigt.

4.1 Grundlagen

Verkehrsnachfragemodelle bauen auf Verkehrsangebotsmodellen auf. Für die Modellierung von multi- und intermodalem Verhalten ist eine Ausrichtung aller Modellkomponenten notwendig. Das Verkehrsangebotsmodell muss die Ausgestaltung und Qualität verschiedener Verkehrsmodi möglichst gut abbilden. Die Entscheidungsmodelle zur Abbildung des Mobilitätsverhaltens müssen die Entscheidungen in einem hohen Detaillierungsgrad erfassen und wiedergeben. Im Fokus steht dabei die Verkehrsmodus- bzw. Verkehrsmittelwahl, weil dort der größte Einfluss auf die Multi- und Intermodalität genommen wird. Es sind aber auch Wechselwirkungen in anderen Modellstufen denkbar (vgl. Entscheidungsmodelle zur Abbildung des multimodalen Mobilitätsverhaltens – Vorbemerkung und Begriffsbestimmungen). Die in diesem Hinweisteilpapier behandelten Aspekte sind in Bild 1 dargestellt.

Zur Qualitätssicherung der erweiterten Verkehrsnachfragemodelle (bspw. Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, Realitätsnähe) werden Indikatoren beschrieben, die für die Validierung des multi- und intermodalen Mobilitätsverhaltens herangezogen werden können.

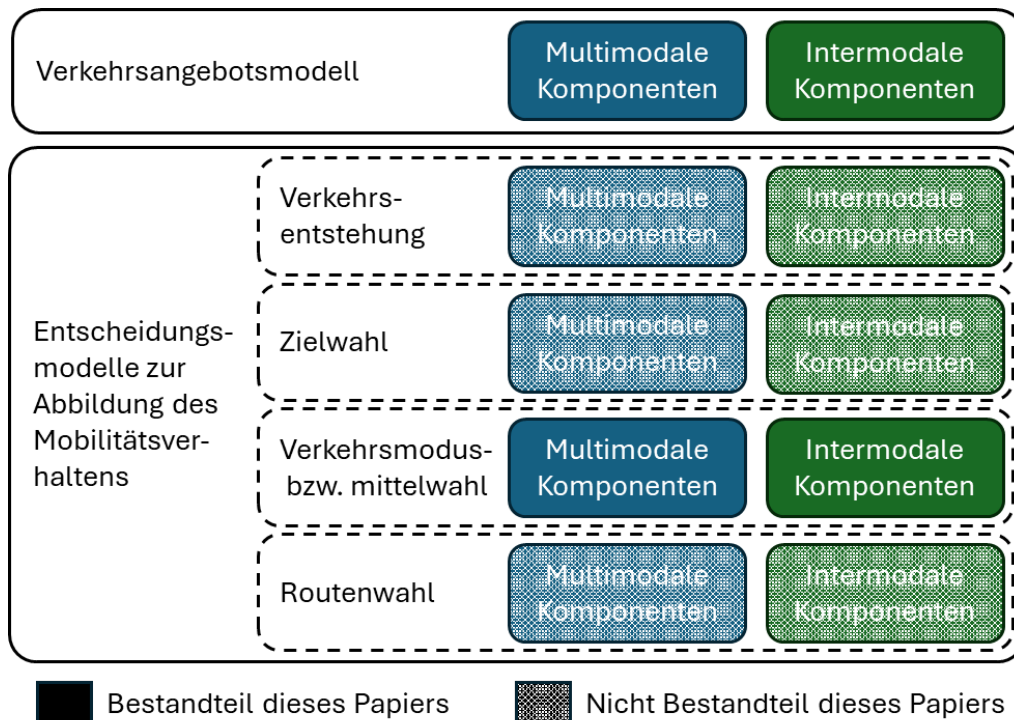


Bild 1: In diesem Teilpapier betrachtete Modellstufen von Verkehrsnachfragemodellen

4.2 Multimodale Verkehrsangebotsmodelle

Ein multimodales Verkehrsangebotsmodell besteht aus mehreren verkehrsmittelspezifischen Angebotsmodellen (z. B. für zu Fuß gehen, Fahrrad, Bus, Bahn und MIV). Mehrere dieser Angebotsmodelle können zu einem modusspezifischen Angebotsmodell zusammengefasst werden (z. B. Bus, Straßenbahn und U-Bahn zu ÖV). Zusätzlich kann zwischen mono- und intermodalen Angebotsmodellen unterschieden werden (z. B. ÖV und Kombination aus ÖV und Fahrrad). Mit dem Angebotsmodell können Kenngrößen der Angebotsqualität (engl.: *Level of Service*) für Wege zwischen zwei Orten (Verkehrszellen oder Standorten) berechnet werden. Für eine spätere Abbildung von multimodalen Verhaltensweisen ist es erforderlich, die angebotsbedingten Einflüsse auf das Mobilitätsverhalten sinnvoll abzubilden, die zu unterschiedlichen Entscheidungen führen können. Darunter fallen beispielsweise räumlich unterschiedlich gut ausgebaute Verkehrsangebote oder zeitlich begrenzt verfügbare oder ausgelastete Angebote. Je kleinteiliger die Verkehrsangebotsqualität in zeitlicher und räumlicher Dimension mit ihren relevanten Attributen (z. B. Reisezeit, Anzahl Umstiege, Takt) beschrieben wird, desto besser können angebotsbedingte Variationen des Verhaltens im Modell abgebildet werden. Ein Beispiel sind zeitlich begrenzt verfügbare Bus- oder Bahnverkehre, die nur eine Nutzung zu bestimmten Tageszeiten erlauben und daher zu anderen Zeiten andere Verkehrsmittel genutzt werden müssen.

Zusätzlich können in multimodalen Angebotsmodellen Interaktionen zwischen den Verkehrsmodi abgebildet werden. Sind die Angebote der verschiedenen Verkehrsmodi weitgehend unabhängig voneinander (z. B. MIV und zu Fuß), können sie in getrennten Modellen je Verkehrssystem abgebildet werden. Falls sich die Verkehrssysteme allerdings stärker beeinflussen und im Netz miteinander interagieren (z. B. Bedarfsorientierte Verkehre und Pkw), sollten auch deren Angebotsmodelle gemeinsam umgesetzt werden. Entscheidend sind zum einen die im Fo-

kus stehenden Fragestellungen der Modellierung und die Intensität des gegenseitigen Einflusses der Verkehrssysteme untereinander. Im Folgenden finden sich einige Beispiele:

- Bedarfsorientierter Verkehr und MIV: Beide Verkehrsmodi bzw. -mittel nutzen dieselbe Verkehrsinfrastruktur, weshalb Kapazitätseffekte beide gleichermaßen beeinflussen.
- MIV und Bus: Die Verkehrsmodi bzw. -mittel beeinflussen sich gegenseitig. Zwar fährt der Bus nach Fahrplan, die Kapazität einer Strecke und damit die MIV-Fahrzeit wird aber von den Bussen beeinflusst. Gleichzeitig können Staueffekte auch als Verspätungen im Fahrplan der Busverkehre modelliert werden.
- Fahrrad und MIV: Für den MIV muss der Fahrradverkehr nur in Ausnahmen berücksichtigt werden, da Fahrradfahrende meist nicht hochausgelastete Straßen oder eine separierte Infrastruktur benutzen. Für die Routenwahl beim Fahrradverkehr ist es allerdings mitentscheidend, wie stark die MIV-Belastung auf einer Straße ist.

Das Verkehrsangebot steht in Interaktion mit der Nachfrage, da die Kapazitäten und damit die Reisezeiten eines Angebots die Nachfrage beeinflussen. Diese Effekte sind beim MIV oder bedarfsorientierten Verkehr sehr offensichtlich, wenn Stau oder längere Wartezeiten auftreten. Entscheidend für die Frage, ob dies in der Modellierung des Angebotes abgebildet werden soll, sind die Stärke des Einflusses und die Fragestellungen an das Modell. Beispielsweise kann für den ÖV in ländlichen Regionen angenommen werden, dass die Kapazität der ÖV-Fahrzeuge i.d.R. nicht überschritten wird und deshalb längere Reisezeiten durch eine hohe Auslastung des Systems vernachlässigt werden können. Hingegen ist dieser Einfluss in urbanen Regionen insbesondere in Spitzenstunden vorhanden und sollte im Rahmen der Möglichkeiten deshalb auch modelliert werden.

Die Interaktion von Verkehrsnachfrage und Verkehrsangebot kann im Falle des bedarfsorientierten Verkehrs beispielsweise auf zwei Ebenen betrachtet werden: Wartezeit für den Fahrgast in Zusammenhang mit der Fahrzeugverfügbarkeit und Reisegeschwindigkeit in Zusammenhang mit dem gesamten Verkehrsaufkommen. In den meisten Fällen erfolgt eine iterative Modellierung der Fahr- und Wartezeit unter Berücksichtigung der Nachfrage.³

Das Ziel der detaillierten Modellierung der Interaktionen von verschiedenen Verkehrssystemen sowie von Nachfrage und Angebot ist es, räumlich und zeitlich variierende Angebotsqualitäten abzubilden. Die variierenden Rahmenbedingungen im Verkehrsangebot bieten u. a. eine Grundlage für unterschiedliche Verkehrsmittelentscheidungen im zeitlichen Verlauf und verbessern die Ausdifferenzierung von mono- und multimodalen Verhaltensweisen. Grundsätzlich muss die Beschaffenheit und Genauigkeit des Nachfrage- und somit auch des Angebotsmodells zu den Fragestellungen passen, die mit dem Nachfragemodell beantwortet werden sollen. Die Maßnahmen, die innerhalb von Szenarien im Verkehrsangebot umgesetzt werden, entfalten eine Wirkungskette, innerhalb derer die wichtigen Bereiche definiert werden müssen. Dabei ist im Zweifel immer die weniger komplexe Alternative zu wählen. Eine höhere Komplexität ist jeweils nur dann sinnvoll, wenn sie in Bezug auf die Fragestellungen zu entsprechend genaueren Aussagen führt.

³ Empfehlungen zu Modellierung von bedarfsorientierten Verkehren finden sich in den „Empfehlungen zum Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen für den Personenverkehr“, Abschnitt 4.6 im Absatz „Fahrtsharing“

4.3 Intermodale Verkehrsangebotsmodelle

Intermodale Verkehrsangebotsmodelle bauen grundlegend auf multimodalen Angebotsmodellen auf. Neben der gleichzeitigen Modellierung von Angeboten und ihren Interaktionen sowie der Berechnung der Angebotsqualität erfolgt zusätzlich die Berechnung einer intermodalen Angebotsqualität auf Basis einer intermodalen Verbindungssuche. Diese intermodale Verbindungssuche und damit die Verknüpfung von Verkehrsmodi kann sowohl auf Netzebene als auch auf der Ebene von Quell-Ziel-Relationen erfolgen.

Eine intermodale Verbindungssuche auf Netzebene bestimmt für jede Kante im Netz den genutzten Verkehrsmodus und weist große Ähnlichkeit zu einer Routensuche auf, berücksichtigt jedoch verschiedene Verkehrsmodi (z. B. Meyer De Freitas et al. (2019)). Umstiege zwischen den Verkehrsmodi erfolgen dabei an Knoten. Die intermodale Verbindungssuche auf der Ebene von Quell-Ziel-Relationen zwischen Verkehrszellen betrachtet die aggregierten monomodalen Kenngrößen der Relationen sowie die möglichen Umsteigeorte, um eine intermodale Gesamtrelation zu bestimmen. Die möglichen Umsteigeorte sind definierte Verkehrszellen und ergeben sich z. B. durch die Verfügbarkeit von Verkehrsangeboten (z. B. Park-and-Ride-Plätze). Eine zusätzliche Komplexität kommt hinzu, falls ein Umstieg nicht zu jeder Zeit möglich ist, eine eventuelle Wartezeit berücksichtigt werden muss oder eine Anschlusssicherung für den folgenden Verkehrsmodus sichergestellt werden muss. Folgende Aspekte sind für die Modellierung zu klären:

Verkehrsmodi und Verkehrsmoduskombinationen: Es ist eine Festlegung zu den Verkehrsmodi zu treffen, die Teil der intermodalen Kombinationen sind. Je mehr Verkehrsmodi in den intermodalen Kombinationen berücksichtigt werden, desto höher ist die erforderliche Modellkomplexität. Dabei ist entweder eine Menge an Verkehrsmodi zu definieren, die in allen Kombinationen und Reihenfolgen auftreten können, oder eine Menge an festgelegten Kombinationen, die die Verkehrsmodi und optional deren Reihenfolge definieren. Die relevantesten intermodalen Kombinationen sind Park-and-Ride, Bike-and-Ride, Fahrradmitnahme im ÖV, ÖV in Ergänzung mit Bike-, E-Tretrollersharing oder Bedarfsorientiertem Verkehr sowie Kiss-and-Ride. Zur Definition sinnvoller Kombinationen kann darüber hinaus eine Hierarchie der Verkehrsmodi dienlich sein, sodass mögliche Zugangsmodi zu einem Hauptverkehrsmodus bestimmbar sind. Die Hierarchie ergibt sich aus Überlegungen, welche Verkehrsmodi für einen Zu-/Abgang zu den in der Hierarchie nächst höher gelegenen Verkehrsmodi geeignet sind. Zu einer detaillierteren Differenzierung können sowohl Verkehrsmodi als auch Verkehrsmittel betrachtet werden. Eine mögliche Hierarchie ist:

1. Öffentlicher Personenverkehr (ÖV)
2. Carsharing
3. Motorisierter Individualverkehr (MIV)
4. Bedarfsorientierter Verkehr
5. Bikesharing, E-Tretrollersharing
6. Fahrrad
7. Zu Fuß gehen (falls berücksichtigt)

Definition von Umsteigeorten: Umstiege finden meist gebündelt an bestimmten Orten wie Haltestellen, Park-and-Ride-Plätzen oder Mobilitätsstationen statt. Zur Untersuchung dieser Um-

stiege und zur Reduzierung der Optionen und damit des Rechenaufwandes kann eine Definition möglicher Umsteigeorte in Form von Knoten oder Verkehrszellen stattfinden. Für die Kombination MIV-ÖV können alle Park-and-Ride-Plätze einer Region definiert werden, selbst, wenn ein Umstieg theoretisch an allen Haltestellen stattfinden könnte. Damit werden nur die in der Realität relevanten Umsteigeorte für diese Moduskombination modelliert.

Bestimmung der Verkehrsangebotsqualität: Zur Attribuierung der Verkehrsmoduskombinationen bzw. der auf den Etappen genutzten Modi sind entsprechende Widerstandskomponenten auszuwählen. Diese quantifizieren deren Angebotsqualität. Die Widerstände von intermodalen Verbindungen werden mit Hilfe einer intermodalen Verbindungssuche auf Netz- oder Bezirksebene berechnet. Dabei werden in der Regel für den aktuellen Zeitpunkt oder eine bestimmte Zeitperiode alle sinnvollen Verbindungen gesucht. Bei der Zusammenstellung der Verbindungen werden ähnlich wie bei einer Routenwahl die Widerstände aller Etappen berücksichtigt. Dabei können z. B. Fahrzeit, Kosten, Umsteigehäufigkeit in unterschiedlicher Stärke berücksichtigt werden. Die Kenngrößen können z. B. als Matrizen für Verkehrsmodikombinationen oder als Verbindungen zwischen zwei Orten bereitgestellt werden.

Ein Beispiel sind detaillierte ÖV-Angebotsmodelle in Kombination mit anderen Verkehrsmitteln: Fahrtzeiten, Umsteigewartezeiten und andere Kenngrößen werden genau anhand der Fahrpläne und Infrastruktur der beteiligten Modi bestimmt. Die Kombination von ÖV und bedarfsorientiertem Verkehr erfordert eine Abstimmung von statischen Fahrplaninformationen und nachfrageabhängigen Abfahrtszeiten.

Beispielhaft wird im Folgenden die intermodale Kombination des ÖV und eines Bedarfsverkehrs erläutert. Die Kombination der Verkehrsmodi bringt Herausforderungen bei der Bestimmung der Angebotsqualität in Abhängigkeit der Nachfrage mit sich. In mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen können innerhalb der Verkehrsnachfragesimulation individuelle Verbindungen aus der Kombination von Bedarfsverkehr und ÖV gesucht und gewählt werden, so dass die Angebotsqualität des ÖV und Bedarfsverkehrs passend situativ bestimmt und eine Umlegung bzw. Fahrtzuweisung durchgeführt werden kann. Unter Voraussetzung der Modellierung des Zeitverlaufs kann eine Tourenplanung für die Fahrzeuge des Bedarfsverkehrs im Verlauf der Nachfragesimulation durchgeführt werden und individuelle Widerstände können für die Nachfragemodelle direkt übergeben und mit dem Fahrplan des ÖV kombiniert werden.

Makroskopische Modelle machen eine andere Methode erforderlich: Der Fahrplan eines ÖV-Angebots ermöglicht eine Bestimmung der Angebotsqualität über die Suche möglicher Verbindungen und deren Aggregation. Die diskrete Natur des Bedarfsverkehrs mit zahlreichen Eingangsparametern (z. B. Fahrtwünsche mit konkreten Positionen und Zeitpunkten, Flottenausprägung, Betriebskenngrößen) lässt eine Bestimmung der Angebotsqualität nur auf Grundlage von Simulationen zu. Um sie intermodal kombinieren zu können, kann eine kombiniert aggregiert-disaggregierte Bestimmung der Widerstände erfolgen, indem eine mittlere Angebotsqualität auf Basis simulierter Verbindungen berechnet wird. Dazu werden nach initialer Annahme Wartezeiten und Umwegfaktoren mit einer ÖV-Routenwahl und einer Tourenplanung auf Basis der gegebenen Nachfrage neu bestimmt, bis eine Konvergenz eintritt (vgl. Bild 2). Das Ergebnis ist eine kombinierte Widerstandsmatrix für den ÖV und Bedarfsverkehr. Eine vereinfachte Berechnung von Reise-, Zugangs- und Wartezeiten für den Bedarfsverkehr kann alternativ über die Verwendung von Pkw-Reisezeiten in Kombination mit Umwegfaktoren, mitt-

leren Zugangsweiten in Abhängigkeit der Haltepunktdichte und der Annahme von Wartezeiten in Abhängigkeit der Fahrzeuganzahl erfolgen.

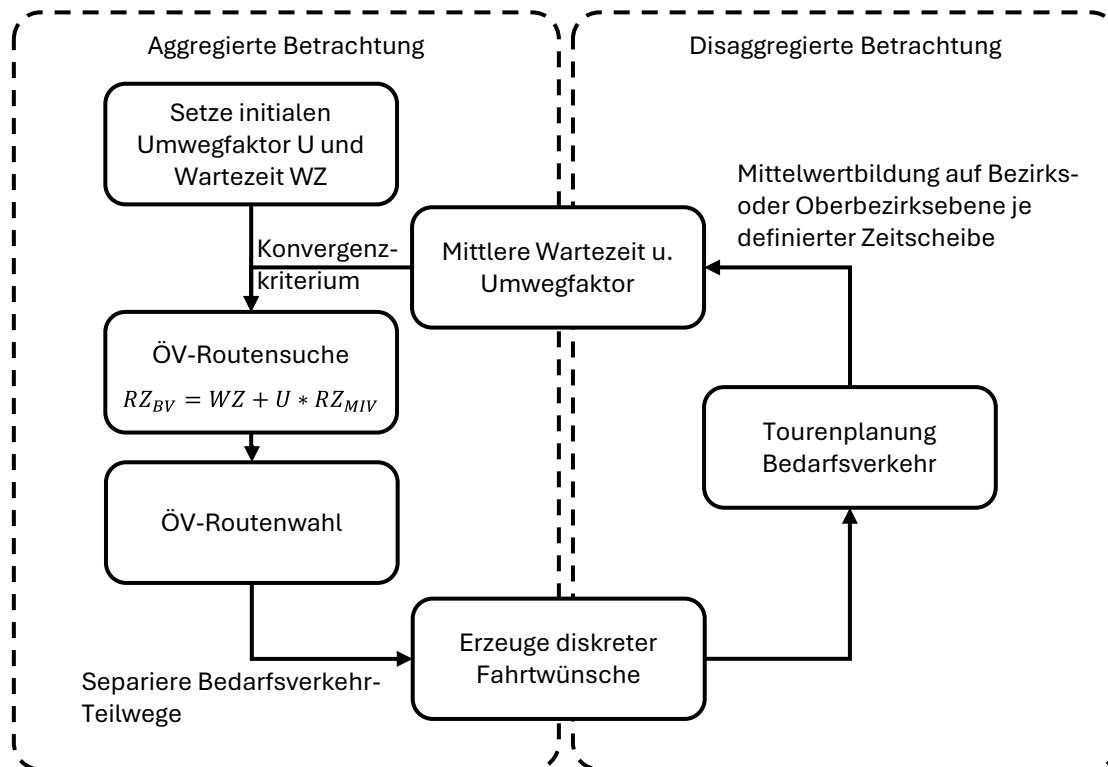


Bild 2: Berechnung kombinierter Kenngrößen und Umlegung für ÖV und Bedarfsverkehr in einem makroskopischen Modell

4.4 Entscheidungsmodelle zur Abbildung des multimodalen Mobilitätsverhaltens

4.4.1 Vorbemerkung und Begriffe

Multimodale Verhaltensweisen werden in Verkehrsnachfragemodellen vorwiegend in der Verkehrsmoduswahl betrachtet, weshalb in diesem Papier nur deren Komponenten beschrieben werden. Dennoch bestehen Anknüpfungspunkte in der Verkehrserzeugung, Ziel- und Routenwahl, die die Rahmenbedingungen der Verkehrsmoduswahl setzen und damit die Multimodalität beeinflussen können. Im Folgenden finden sich einige Beispiele, wie multimodale Verhaltensweisen in verschiedenen Modellstufen beeinflusst werden können. Diese Beispiele dienen als Anknüpfungspunkt für eine detaillierte Modellierung dieser Modellstufen oder zeigen lediglich die Vielschichtigkeit der Wirkungszusammenhänge auf.

- **Verkehrserzeugung:** Die Menge, Zeitpunkte und Typen von Aktivitäten bestimmen zu einem großen Teil die Struktur des Mobilitätsverhaltens. Eine zeitlich detailliertere Abbildung von Aktivitäten(-ketten) und eine Unterscheidung weiterer Aktivitätentypen bieten eine Grundlage für differenziertere Verhaltensweisen im Modell (z. B. häufige Nutzung des ÖV für den Arbeitsweg und Nutzung des Pkw zum Einkaufen). Zugleich beeinflusst die Abbildung der Bevölkerung das spätere Verhalten. Das spätere Verkehrsmittelwahlverhalten wird etwa durch die Berücksichtigung von Mobilitätswerkzeugen (Besitz oder Verfügbarkeit eines Pkw oder ÖV-Zeitkarten) bei der Synthese einer Bevölkerung oder durch die Einteilung von verhaltenshomogenen Gruppen beeinflusst.

- **Zielwahl:** Die Erreichbarkeit von Zielen kann über mehrere Verkehrsmodalalternativen quantifiziert werden. Dies führt zu Situationen, in denen räumlich und zeitlich nicht immer dasselbe Verkehrsmittel am besten geeignet ist. Es treten somit z. B. Ortsveränderungen auf, auf denen der ÖV gut geeignet wäre, aber auch solche, auf denen er gar nicht verfügbar ist. Diese unterschiedlichen Rahmenbedingungen wirken sich auf die Multimodalität aus. Die Modellierung kann z. B. mit einer kombinierten Ziel- und Verkehrsmoduswahl erfolgen.
- **Verkehrsmoduswahl:** Es wird eine Abwägung zwischen verschiedenen Verkehrsmodalalternativen oder Kombinationen von Verkehrsmodi ermöglicht. Weitere Erläuterungen finden sich in den folgenden Unterabschnitten.
- **Routenwahl:** Es wird eine Interaktion von Verkehrsteilnehmenden verschiedener Modi im Netz geschaffen (z. B. ÖV-IV-Interaktion auf gemeinsamen Strecken), sodass sich die Routenwahl der Modi gegenseitig beeinflusst. Dabei entstehen zeitlich und räumlich differenziertere Verkehrszustände, die sich wiederum auf die Verkehrsmoduswahl auswirken können.

Innerhalb der Verkehrsmoduswahl steht die Modellierung von Variationsmustern der Verkehrsmodusnutzung im Zeitverlauf im Vordergrund. Die Modellierung von multimodalen Verhaltensweisen steht in direktem Zusammenhang mit der Länge des modellierten Betrachtungszeitraumes. Das Maß an Variation in der Nutzung von Verkehrsmodi und damit die Menge an mono- oder multimodalen Verhaltensweisen ändert sich mit der Länge des Betrachtungszeitraumes. Beispielsweise wächst die Anzahl der genutzten Verkehrsmodi einer Person mit der Betrachtungsdauer und damit auch die Multimodalität. Als typischer Zeitraum bei der Analyse wird eine Woche verwendet (vgl. [Teilpapier 1: „Definitionen“](#)). Daher empfiehlt sich dieser Zeitraum auch für die Modellierung, um die modellierte Multimodalität analysieren zu können. Die Berücksichtigung der Variation der Verkehrsmoduswahl kann aber für alle Zeiträume relevant sein. Die mit der Multimodalität in Verbindung stehende Maßnahmensensitivität ist für alle modellierten Zeiträume von Bedeutung (z. B. typischer Werktag).

Multimodale Verhaltensweisen werden bei der Betrachtung des Verhaltens von Individuen innerhalb der Zeiträume erkennbar. Eine Zuordnung zu mono- und multimodalen Gruppen und die Bestimmung von Variationsindikatoren (vgl. Abschnitt „Validierung und Kalibrierung von Entscheidungsmodellen zur Abbildung des multimodalen Mobilitätsverhaltens“) kann daher nur erfolgen, wenn eine mikroskopische Modellierung einzelner Individuen bzw. Agenten durchgeführt wird. Die Modellierung unterschiedlicher Sensitivitäten gegenüber Veränderungen im Verkehrssystem kann jedoch sowohl auf makroskopischer als auch mikroskopischer Ebene geschehen. Makroskopische Modelle ermöglichen etwa über die Einteilung von verhaltenshomogenen Segmenten die Möglichkeit, stabilere oder variablere Verhaltensweisen umzusetzen (z. B. Pkw-besitzende Berufstätige im Vergleich zu zeitkartenbesitzenden Studierenden). Mikroskopische Modelle erlauben hingegen eine detailliertere Modellierung von personen- und situationsspezifischen Einflüssen und latenten Einflüssen wie persönlichen Verkehrsmittelpräferenzen. Das bedeutet, dass das individuelle Mobilitätsverhalten von Personen bzw. Agenten, die diese repräsentieren, detaillierter abgebildet wird, da ein größerer Anteil der Verhaltensheterogenität berücksichtigt werden kann (vgl. Punkt 4 und 8 in der folgenden Tabelle).

Folgende Definitionen werden im Folgenden verwendet:

- **Monomodale Verkehrsnachfragemodelle:** Sie berücksichtigen nur einen Verkehrsmodus und beinhalten keine Verkehrsmoduswahl. Dieser Fall ist nur in Modellen gegeben, die einen Modus berücksichtigen.
- **Multimodale Verkehrsnachfragemodelle:** Sie berücksichtigen mindestens zwei unterschiedliche Verkehrsmodi und schaffen in einem Verkehrsmoduswahlmodell eine Abwägung zwischen diesen Alternativen. Sie unterscheiden sich zusätzlich in Modelle, in welchen Wege einer Person zugeordnet werden können oder nicht.

Die detaillierte Berücksichtigung der Multimodalität bringt zusätzliche Anforderungen an die Modellierung mit sich:

- Eine detaillierte räumliche Einteilung in Verkehrszellen, mind. auf Quartiersebene, so dass kurze Wege mit z. B. aktiven Verkehrsmodi modelliert werden können.
- Eine hohe Datenqualität und umfangreiche Datenmenge zur Schätzung der Wahlmodelle, im Optimalfall mit einer Erhebungsdauer von mehreren Tagen
 - Räumlich detaillierte Angaben zu Start- und Zielorten von Wegen
- Eine Differenzierung von allen betrachteten Verkehrsmodusalternativen in den Daten
 - Mindestmenge an Beobachtungen, insbesondere der selten gewählten Alternativen (z. B. Geteilte Verkehrsmittel), sodass Effekte modelliert werden können
 - Wahl einer vereinfachten Vorgehensweise, falls keine vollständig geeignete Datengrundlage besteht (z. B. detaillierte Effekte nur bei Verkehrsmodusalternativen mit hoher Zahl an Beobachtungen modellieren)

4.4.2 Modellkomponenten von Entscheidungsmodellen zur Abbildung des multimodalen Mobilitätsverhaltens

Die grundlegende Modellierung von multimodalem Mobilitätsverhalten mit Bezug auf einen Tag, meist ein typischer Werktag, ist Standard in der Planungspraxis. Multimodalität kann aber in den Entscheidungsmodellen in unterschiedlichem Grad berücksichtigt werden. Je detaillierter die Einflüsse auf den Entscheidungsprozess der Verkehrsmoduswahl modelliert werden und je mehr Komponenten integriert werden, desto höher ist der Grad der multimodalen Modellierung der Verkehrsmoduswahl.⁴ Die Modellkomponenten nehmen auf folgende Aspekte Einfluss:

- Auswahlmenge der Verkehrsmodusalternativen
- Aufteilungsmodell zwischen den Alternativen
- Bewertungsparameter der Alternativen

Die folgenden Komponenten stehen zur Auswahl, die Sortierung erfolgt ausgehend von den Basiskomponenten bis hin zu Spezialkomponenten. Die Komponenten lassen sich analog auf die Verkehrsmittelwahl anwenden, welche eine stärkere Differenzierung der Verkehrsmodi beinhaltet.

⁴ Hinweis: Eine hohe Modellgenauigkeit erfordert mit zunehmender Anzahl an Einflüssen eine ausreichend große Datengrundlage zum Aufbau der Modelle.

Tabelle 3: Modellkomponenten einer multimodalen Verkehrsmoduswahl

1. Berücksichtigung von mehreren Verkehrsmodi	
<u>Wirkungsweise</u> Mehrere Verkehrsmoduswahloptionen ermöglichen die Auswahl unterschiedlicher Verkehrsmodi auf Wegen im zeitlichen Verlauf und auf Etappen eines Weges. So können mono- und multimodale Verhaltensweisen entstehen.	<u>Voraussetzungen und Umsetzung</u> • Widerstandskomponenten für alle Verkehrsmodi aus dem Verkehrsangebotsmodell
2. Verfügbarkeit von Verkehrsmodi der Personen(-gruppen)	
<u>Wirkungsweise</u> Die Attribuierung von Personen oder verhaltenshomogenen Gruppen mit Mobilitätswerkzeugen (z. B. Pkw-Besitz, ÖV-Zeitkarte, Car-sharing-Mitgliedschaft) wirkt sich direkt auf die generelle Auswahlmenge der Verkehrsmodi aus und limitiert mögliche Verkehrsmodi auf individueller/gruppenbezogener Ebene.	<u>Voraussetzungen und Umsetzung</u> • Informationen zur Verteilung von Mobilitätswerkzeugen für die Referenzbevölkerung • Optional: Informationen zu spezifischen Verhaltensweisen in Abhängigkeit der Mobilitätswerkzeuge
3. Situative Verfügbarkeit von Verkehrsmodi	

<u>Wirkungsweise</u> Die Verfügbarkeit von Verkehrsangeboten ist räumlich und zeitlich z. B. über Bedienggebiete oder -zeiträume bzw. Fahrpläne definiert. Darüber hinaus ist sie teils stark von ihrer Auslastung abhängig. Dies trifft z. B. auf öffentliche nicht fahrplangebundene Angebote wie Bikesharing oder Carsharing, auf Ladeinfrastruktur sowie die Nutzung des privaten Pkw innerhalb des Haushaltes zu. Durch eine Berücksichtigung der situativen Verfügbarkeit eines Fahrzeuges/Verkehrsangebotes wird die Auswahlmenge der Verkehrsmodi oder die Angebotsqualität (z. B. Zugangszeit) beeinflusst.	<u>Voraussetzungen und Umsetzung</u> Mikroskopische Modelle: • mikroskopische Modellierung der Verkehrsangebote und Fahrzeuge • Modellierung einzelner Verkehrsteilnehmender (Agenten) • Modellierung des Zeitverlaufes Makroskopische Modelle: • Modellierung mittels Auslastungswiderständen, Verfügbarkeitswahrscheinlichkeiten und Modellierung der zeitlichen und räumlichen Verfügbarkeit
4. Berücksichtigung der Heterogenität der Verkehrsmoduswahl aufgrund beobachtbarer Einflüsse	
<u>Wirkungsweise</u> Personen- oder gruppenspezifische Merkmale können mit spezifischen Verhaltensweisen in Verbindung gebracht werden (z. B. Alter, Berufstätigkeit). Weitere Einflüsse bestehen in räumlichen und angebotsspezifischen Rahmenbedingungen. Die Einflüsse können z. B. in die Nutzenfunktion integriert werden. Die Berücksichtigung dieser beobachtbaren Heterogenität hilft dabei, unterschiedliche Verhaltensweisen weiter auszudifferenzieren. Diese unterscheiden sich auch in ihrer Multimodalität. Die Verhaltensweisen können auf Basis von Verkehrserhebungen geschätzt werden.	<u>Voraussetzungen und Umsetzung</u> • Datengrundlagen für die merkmalsabhängige Schätzung der Verhaltensmodelle • Differenzierung von verhaltenshomogenen Gruppen (makroskopische Modelle) oder Aufbau einer synthetischen Bevölkerung mit relevanten Eigenschaften der Personen (mikroskopische Modelle)
	<u>Literatur</u> Hensher et al. (2015)
5. Berücksichtigung von Wegeketten in der Verkehrsmoduswahl	
<u>Wirkungsweise</u> Die Nutzung von Verkehrsmitteln wird häufig für eine gesamte Tour, eine Folge von Wegen von und zurück zum Wohnort, entschieden. Dies führt zu einer Stabilität der Verkehrsmoduswahl für diese Wege. In Modellen kann	<u>Voraussetzungen und Umsetzung</u> Makroskopische Modelle: • Modellierung der Verkehrserzeugung über Wegeketten Mikroskopische Modelle: • Modellierung von Wegeketten oder

z. B. die verpflichtende Nutzung eines Pkw auf der gesamten Tour oder Wegeketten umgesetzt werden oder die gesamte Verkehrsmoduswahl tourenbasiert entschieden werden. Durch die gleichzeitige Festlegung des Verkehrsmodus für mehrere Wege wird die Multimodalität beeinflusst.	Aktivitätenplänen • Modellierung des Zeitverlaufes • Optional: Informationen über Subtours für deren separate Modellierung <u>Literatur</u> Jonnalagadda et al. (2001); Hasnine and Nurul Habib (2021)
6. Einschränkung von erreichbaren Zielen nach verfügbaren Verkehrsmodi	
<u>Wirkungsweise</u> Die zur Verfügung stehenden Verkehrsmodi einer Person nehmen Einfluss auf die möglichen Orte, die sie aufsuchen kann. Personen, denen kein Pkw zur Verfügung steht, sind beispielsweise bei weiter entfernten Zielen auf eine ÖV-Anbindung angewiesen. Eine Reduzierung der Auswahlmenge der Ziele, die unter einem Distanz- oder Reisezeitgrenzwert liegen, auch mit Hinblick auf die im Aktivitätenplan verfügbare Zeit, beeinflusst den Aktionsraum einer Person und damit die Möglichkeit der Multimodalität. Die Berücksichtigung der Verkehrsmittelverfügbarkeit in der Zielwahl trägt zur Konsistenz der Verhaltensmodelle bei.	<u>Voraussetzungen und Umsetzung</u> • Modellierung der individuellen und/oder situativen Verfügbarkeit von Verkehrsmodi • Optional: Zeitpunkte und Dauern von verpflichtenden und flexiblen Aktivitäten von Personen <u>Literatur</u> Yoon et al. (2012)
7. Modelle mit modellseitiger Abhängigkeit der Verkehrsmodusalternativen	

<u>Wirkungsweise</u> In den meisten Verkehrsmoduswahlmodellen werden die Alternativen als unabhängig voneinander angenommen (multinomiales Logit-Modell). Dies bewirkt, dass sich die Nachfrage bei einem Wegfall einer Alternative entsprechend den bestehenden Wahrscheinlichkeiten auf alle Alternativen verteilt. Da in den meisten Fällen jedoch Korrelationen zwischen Verkehrsmodusalternativen bestehen, ist es realistisch, dass manche Alternativen in beschriebenen Fällen mehr als andere profitieren würden (z. B. der Pkw im Falle der wegfallenden Park-and-Ride-Alternative). Diese Korrelationen zwischen Verkehrsmodi wirken sich ebenfalls auf die Multimodalität von Verhaltensweisen aus.	<u>Voraussetzungen und Umsetzung</u> • Es kommen beispielsweise Nested-Logit-Modelle oder Cross-Nested-Logit-Modelle in Frage, die diese Korrelationen berücksichtigen. Im Vergleich zum häufig verwendeten Multinomialen Logit-Modell sind sie jedoch deutlich komplexer und weniger leicht zu erstellen und interpretieren. <u>Literatur</u> Train (2009); Ben-Akiva and Bierlaire (1999); Ortúzar and Willumsen (2024)
8. Berücksichtigung der Heterogenität der Verkehrsmoduswahl aufgrund nicht beobachtbarer Einflüsse	
<u>Wirkungsweise</u> Heterogenität in der Verkehrsmoduswahl aufgrund nicht beobachtbarer oder erklärbarer Einflüsse verursacht weitere Verhaltensvarianz, die unabhängig von Personenattributen oder Rahmenbedingungen (Punkt 4) bestehen. Diese können mit individuellen Präferenzen oder Einstellungen zu Verkehrsmodi verglichen werden, die Personen von anderen mit ähnlichen Charakteristiken unterscheiden. Die Berücksichtigung dieser hilft dabei, unterschiedliche Verhaltensweisen weiter auszu-differenzieren. Die Präferenzen führen bei starker Dominanz einer Präferenz vermehrt zu monomodalen und bei ausgeglichenen Präferenzen vermehrt zu multimodalen Verhaltensweisen. Erfahrungen zeigen, dass bei Berücksichtigung der nicht beobachtbaren Heterogenität vermehrt stabile monomodale Verhaltensweisen modelliert werden (Mallig 2019). Gemäß bisherigen Erfahrungen wäre diese sonst unterrepräsentiert.	<u>Voraussetzungen und Umsetzung</u> • mikroskopische Modellierung der Verkehrsnachfrage • Es kommen beispielsweise Mixed-Logit-Modelle oder latente Klassenmodelle in Frage. <u>Literatur</u> McFadden and Train (2000); Vij et al. (2013)
9. Berücksichtigung von stabilen Verhaltensmustern im direkten Längsschnitt	

<u>Wirkungsweise</u> Die Wahl eines Verkehrsmodus wirkt sich auf die Wahl in den darauffolgenden Wegen aus. Dazu zählt nicht nur, dass Personen eine Verkehrsmoduswahl für eine gesamte Tour treffen (Punkt 5). Darüber hinaus beeinflussen sich Entscheidungen, die in zeitlichem Zusammenhang stehen. Modelle, die berücksichtigen, dass die vorige Nutzung eines Verkehrsmodus dessen nochmalige Nutzung in einer aktuellen Entscheidung wahrscheinlicher macht, führen dazu, dass Verkehrsmodi im Längsschnitt seltener gewechselt werden. Damit nähert sich die Multimodalität an reale Werte an.	<u>Voraussetzungen</u> • mikroskopische Modellierung der Verkehrsnachfrage • Modellierung des Zeitverlaufes (z. B. über eine Woche) <u>Literatur</u> Kuhnimhof (2009); Mallig und Vortisch (2017)
Beispiel: Berücksichtigung von stabilen Verhaltensmustern in der Verkehrsmoduswahl im direkten Längsschnitt (Punkt 9) Das vorgestellte Beispielmmodell nutzt die vorangegangenen Verkehrsmoduswahlentscheidungen einer Person, um eine vorliegende Wahl besser erklären zu können (Kuhnimhof 2009). Das Modell nutzt die Beobachtung anderer Studien, dass Personen latente Präferenzen und Routinen in der Verkehrsmoduswahl haben, sodass sich Entscheidungen wiederholen. Folgende Attribute werden in der Nutzenfunktion des Modells neben Einflüssen aus Reisezeit und -kosten berücksichtigt: • Anzahl der bisherigen Nutzungen eines Verkehrsmodus im Betrachtungszeitraum • Vorangegangene Nutzung eines Verkehrsmodus auf einer ähnlichen Tour zuvor (ja/nein) • Verkehrsmodus ist Pendelverkehrsmodus (ja/nein) Das Beispielmmodell wurde auf einem 24h-Datensatz geschätzt und zeigt durchgängig signifikante und positive Einflüsse der oben benannten Wiederholungseffekte. Daraus lässt sich schließen, dass mit bisherigen Entscheidungen die Verkehrsmittelwahl besser erklärt und modelliert werden kann. Es zeigt sich, dass bereits im Verlauf eines Tages solche Verhaltensmuster erkennbar sind. Über längere Zeiträume ließen sich diese noch besser beobachten.	

Zur Unterstützung der Umsetzung von multimodalen Verkehrsmoduswahlmodellen werden im Folgenden beispielhafte Basiskonfigurationen und erweiterte Konfigurationen vorgestellt (vgl. Tabelle 4). Diese werden jeweils für mikroskopische und makroskopische Modelle vorgestellt.

Tabelle 4: Beispielhafte Basis- und erweiterte Konfigurationen von multimodalen Verkehrsmoduswahlmodellen

Konfiguration	Makroskopische Verkehrsnachfragemodelle	Mikroskopische Verkehrsnachfragemodelle
Basis	1. Berücksichtigung von mehreren Verkehrsmodi	1. Berücksichtigung von mehreren Verkehrsmodi

	2. Verfügbarkeit von Verkehrsmodi der Personengruppen 3. Situative Verfügbarkeit von Verkehrsmodi 4. Berücksichtigung der Heterogenität aufgrund beobachtbarer Einflüsse	2. Verfügbarkeit von Verkehrsmodi der Personen 3. Situative Verfügbarkeit von Verkehrsmodi 4. Berücksichtigung der Heterogenität aufgrund beobachtbarer Einflüsse
Erweiterung	5. Berücksichtigung von Wegeketten in der Verkehrsmoduswahl 7. Modelle mit Abhängigkeit der Verkehrsmodusalternativen	5. Berücksichtigung von Wegeketten in der Verkehrsmoduswahl 6. Einschränkung von erreichbaren Zielen nach verfügbaren Verkehrsmodi 7. Modelle mit modellseitiger Abhängigkeit der Verkehrsmodusalternativen 8. Berücksichtigung der Heterogenität der Verkehrsmoduswahl aufgrund nicht beobachtbarer Einflüsse 9. Berücksichtigung von stabilen Verhaltensmustern im direkten Längsschnitt

4.4.3 Wirkungen von Entscheidungsmodellen zur Abbildung des multimodalen Mobilitätsverhaltens

Für bestimmte Anwendungsfälle von Verkehrsnachfragemodellen kann es sinnvoll sein, detaillierter auf die Veränderlichkeit von Verhaltensweisen einzugehen. Beispielsweise können unterschiedlich starke Reaktionen von Personen(-gruppen) auf die Einführung eines neuen Angebotes erwartet werden, die man in der Modellierung berücksichtigen möchte. Es wird erwartet, dass die Veränderlichkeit des Wahlverhaltens von Personen(-gruppen) in Zusammenhang mit dem Maß an Multimodalität steht. Mit den zuvor beschriebenen Modellkonfigurationen wird dementsprechend auch die Maßnahmensensitivität des Verkehrsnachfragemodells beeinflusst. Folgende Aspekte können im Vergleich zu üblichen Modellkonfigurationen besser in den zuvor beschriebenen Verhaltensmodellen betrachtet werden:

- Variation von Präferenzen/Sensitivitäten (z. B. kostensensible und kostenunsensible Personen reagieren unterschiedlich stark auf neue Tarifgestaltung)
- wiederholte Entscheidungen über einen längeren Betrachtungszeitraum (z. B. mono- vs. multimodale Pkw-Nutzende und deren Verhalten im Kontext einer Maßnahme)
- Substitutionsmuster (z. B. Wechsel von unterschiedlichen Verkehrsmitteln zu neuem Sharing-Angebot)

4.4.4 Validierung und Kalibrierung von multimodalen Verkehrsnachfragemodellen

Nach erfolgreicher Integration der Modellkomponenten ist eine Validierung der Stabilität bzw. Variabilität der Verkehrsmoduswahl sinnvoll. Im Allgemeinen ist auf eine Validierung und Ka-

librierung gemäß den Empfehlungen zum Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen für den Personenverkehr zu achten.⁵ In makroskopischen Modellen ist lediglich eine Basisvalidierung der Multimodalität von Personengruppen über den Modal Split möglich. Eine detaillierte Validierung von multimodalen Verhaltensweisen ist nur in mikroskopischen Modellen möglich, da das Verhalten den Personen zugeordnet werden muss. Die Validierung dient der Überprüfung, ob in den Modelergebnissen ein realistisches Maß an Multi- bzw. Monomodalität erreicht wurde. Die Validierungsanalysen sind zeitraumbezogen und es ist darauf zu achten, dass der Zeitraum von Validierungs- und Simulationsdaten dieselbe Länge hat. Der Grund hierfür ist, dass die Multimodalität einer Stichprobe mit längerer Betrachtungsdauer im Mittel zunimmt. Klassische Multimodalität wird über eine Woche analysiert.⁶ Des Weiteren können innerhalb eines Tages schon unterschiedliche Variationsgrade der Verkehrsmoduswahl beobachtet werden, sodass eine Analyse für diesen Zeitraum sinnvoll sein kann. Grundsätzlich bieten sich ähnliche Kennwerte wie in der empirischen Analyse der Nachfrage an.⁷ Die Analyse von mono- und multimodalen Gruppen oder verschiedener Variationsindikatoren ist möglich. Im Folgenden findet sich eine Übersicht möglicher Kennwerte für eine Validierung:

- Modal Split des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung
- Multimodale Gruppen; Anteile multi- und monomodaler Verhaltensweisen (z. B. Betrachtung der Nutzung von MIV, ÖV und Fahrrad innerhalb eines Zeitraumes) (Nobis 2007)
- Häufigkeit der individuellen Verkehrsmittelnutzung
- Variationsindikatoren der Verkehrsmoduswahl
 - Häufigkeitsbasierte Indikatoren: Analyse der Verteilung von Beobachtungen über mehrere Wahlalternativen und somit der Konzentration oder gleichmäßigen Verteilung
 - Repetition Index (Huff and Hanson 1986)
 - Mode-Variation Index (MIX) (Kuhnimhof 2009)
 - Herfindahl-Hirschman Index (HHI) (Rhoades 1993)
 - Gini Index (Diana and Pirra 2016)
 - Chi² Index (Mallig and Vortisch 2017)
 - Sequenzbasierte Indikatoren: Analyse der Reihenfolge von Beobachtungen der Wahlalternativen oder den Wechseln zwischen den Alternativen (Mallig and Vortisch 2017)
 - Entscheidungspaare
 - Anzahl Sequenzen mit gleichen Entscheidungen

Die deskriptiven Analysen können durch Sensitivitätsanalysen ergänzt werden. Diese dienen der Plausibilisierung der Maßnahmensensitivität der Modellbevölkerung oder einzelner Gruppen. Durch die teilweise erhöhte Modellkomplexität kann es geschehen, dass Verhaltensmodelle in der Parameterschätzung überspezifiziert sind und daher keine realistische Sensitivität

⁵ Abschnitt 6

⁶ [Teilpapier 2 – Erheben, Beschreiben und Erklären](#)

⁷ [Teilpapier 5 – Bestandsaufnahme zum multimodalen Verkehrsverhalten in Deutschland](#)

aufweisen.⁸ Daher sollte auf im Vergleich zu anderen Modellen unüblich hohe Parameter, Abweichungen des Zeitnutzens (engl. *Value of travel time*) und hohe relative Veränderungen in Folge einer Maßnahme geachtet werden.

Eine Kalibrierung der Modelle auf mono- und multimodale Kennwerte kann sich als schwierig herausstellen, da sich diese aus dem Zusammenspiel verschiedener Modellkomponenten ergibt. Daher ist im Einzelfall zu prüfen, ob das Modell eine Kalibrierung erlaubt. Wenn beispielsweise alle mono- und multimodalen Gruppen, die den ÖV beinhalten, unterrepräsentiert sind, können diese durch Anpassung der Parameter der ÖV-Nutzenfunktion gestärkt werden. Im Falle von generell zu hoher Variabilität des Verhaltens können Einflüsse, die die Stabilität im Längsschnitt sicherstellen (Punkt 9), gestärkt werden.

4.5 Entscheidungsmodelle zur Abbildung des intermodalen Mobilitätsverhaltens

4.5.1 Vorbemerkungen und Begriffsbestimmungen

Bei Entscheidungsmodellen zur Abbildung des intermodalen Mobilitätsverhaltens werden unterschiedliche Verkehrsmodi bzw. -mittel des modellierten Verkehrsangebotes kombiniert angeboten und sind innerhalb eines Weges kombinierbar. Es wird dabei die Nutzung von mindestens zwei Verkehrsmodi und ein Umstieg zwischen diesen modelliert. Dabei kann ein Wechsel des Verkehrsmodus oder/und die Mitnahme eines Verkehrsmodus erfolgen. Die Betrachtungsebene liegt auf der Ebene von Etappen. Etappen sind Teilwege eines gesamten Weges, die sich durch den Umstieg auf ein anderes Verkehrsmittel voneinander trennen. Intermodale Verhaltensweisen sind unter den Entscheidungsmodellen vorwiegend in der Verkehrsmoduswahl relevant. Dennoch können Einflüsse in der Ziel- und Routenwahl berücksichtigt werden. Im Folgenden finden sich einige Beispiele, wie intermodale Verhaltensweisen in verschiedenen Modellstufen berücksichtigt werden können:

- **Zielwahl:** Die Erreichbarkeit von Zielen kann über intermodale Verkehrsmittelalternativen quantifiziert werden. Ziele, die mit intermodalen Verkehrsmittelkombinationen erreichbar sind, werden häufiger gewählt. Dies kann insbesondere bei der Betrachtung des ÖV ein wichtiger Aspekt sein, da dessen Reichweite durch die Betrachtung ausgedehnt wird.
- **Verkehrsmoduswahl:** Verschiedene intermodale Verkehrsmodusalternativen stehen in einem Wahlmodell zur Auswahl.
- **Routen- und Verbindungswahl:** Es werden mehrere Verkehrsmodi/-mittel auf Routen oder Verbindungen anhand gegebener Kriterien kombiniert.

4.5.2 Modellkomponenten von Entscheidungsmodellen zur Abbildung des intermodalen Mobilitätsverhaltens

Für die Modellierung intermodaler Verhaltensweisen sind folgende Aspekte zu klären, anhand derer die Verhaltensmodelle konfiguriert werden müssen. Die Modelle bauen auf den intermodalen Verbindungen bzw. Kenngrößen der intermodalen Verkehrsangebotsmodelle auf, weshalb Angebots- und Verhaltensmodelle konsistent zu erstellen sind.

- **Berücksichtigte Verkehrsmodi/-mittel:** Die für intermodale Kombinationen berücksichtigten Verkehrsmodi/-mittel legen die Grundlage für die benötigte Datengrundlage und

⁸ Geringe Verlässlichkeit von geschätzten Parametern von Einflüssen aufgrund z. B. einer geringen Fallzahl in den Daten oder einer starken Korrelation mit anderen Einflüssen

die zu erstellenden Modelle. Eine häufige Fragestellung ist, ob Etappen zu Fuß als Teil eines intermodalen Weges gesehen werden, da sie typischerweise Teil eines jeden Weges sind. Beispielsweise beinhaltet (fast) jeder Weg mit dem ÖV eine Fußetappe. In vielen Modellen wird Zuzußgehen lediglich über separate Kenngrößen (z. B. Zugangszeit) modelliert.

- **Kombinationsmöglichkeit der Verkehrsmodi:** Es ist festzulegen, welche Verkehrsmoduskombinationen auftreten dürfen. Dabei geht es um die Zusammenstellung und deren Reihenfolge innerhalb des Weges. Eine Reduzierung der Komplexität an dieser Stelle verringert den Modellierungs- und Kalibrierungsaufwand. Zu empfehlen sind maximal drei Etappen mit unterschiedlichen Verkehrsmodi, meist werden lediglich 2 Etappen berücksichtigt.⁹

Es existieren verschiedene Ansätze, wie die intermodale Entscheidungsfindung in Modellen umgesetzt werden kann.

Eine Option ist die Berücksichtigung von Verkehrsmoduskombinationen innerhalb der Auswahlmenge der Verkehrsmoduswahl (Krajewicz et al. 2018). Dieser Ansatz ist insbesondere in Fällen, in denen nur wenige intermodale Kombinationen berücksichtigt werden sollen, eine gute Wahl. Die Berücksichtigung von Korrelation zwischen verschiedenen Alternativen, die gemeinsame Verkehrsmittel enthalten, kann mit einer genesteten Struktur erfolgen.

Eine weitere Option besteht darin, einen mehrstufigen etappenbasierten Entscheidungsprozess zu modellieren. Dies kann beispielsweise umgesetzt werden, indem in der Verkehrsmoduswahl zuerst der Hauptverkehrsmodus inkl. dessen Erreichbarkeit über verschiedene intermodale Zu- und Abgangsmodi und danach Zu- und Abgangsetappen auf Basis weiterer Modelle entschieden werden (Wörle et al. 2021). Dies kann z. B. bedeuten, nach der getroffenen Wahl des Hauptverkehrsmittels ÖV die geeignetsten Zu- und Abgangsverkehrsmittel vom/zum ÖV auszuwählen. Weiterhin kann Intermodalität als Routenwahlentscheidung innerhalb des Netzes modelliert werden, welche Modus- und Routenwahl gemeinsam betrachtet (Meyer De Freitas et al. 2019). Eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung der Nachfrage und der modellierten Raum- und Infrastruktur, insbesondere in Mikromodellen, helfen bei der detaillierten Abbildung der Umsteigewiderstände zwischen unterschiedlichen Verkehrsmodi.

Datengrundlagen für Modellierung und Validierung finden sich in einigen Verkehrserhebungen, die Wege auf der Ebene von Etappen erfassen und daher die Zusammenstellung von intermodalen Kombinationen nachvollziehbar und modellierbar machen. Ein Beispiel hierfür ist der Etappen-Datensatz der Erhebung „Mobilität in Deutschland“, welcher für 2017 und 2023 erhoben wurde. Darüber hinaus können aggregierte Informationen zu Verkehrsmittelkombinationen auf Wegen kleinräumigere Informationen zu den wichtigsten Kombinationen wie MIV und ÖV bzw. Fahrrad und ÖV geben. Hier finden sich in den Erhebungen „Mobilität in Deutschland (MiD)“ und „Mobilität in Städten (SrV)“ entsprechende Informationen. Informationen über die Start- und Zielorte der Etappen sind selten vorhanden, welche aber für eine Modellierung der intermodalen Verkehrsmoduswahl notwendig wären.

⁹ Mehrere Etappen innerhalb des ÖV sind hier ausgenommen.

Beispiel: Intermodales Verkehrsmittelwahlmodell für den ÖV und mehrere Zu- und Abgangsmittel

Das Beispiel stellt ein intermodales Verkehrsmittelwahlmodell dar, das auf Basis von Daten eines Auswahlexperimentes erstellt wurde (Klinkhardt et al. 2024). Das Modell wird aus Gründen der Verständlichkeit in einer vereinfachten Version präsentiert, die die Komplexität des Originalartikels reduziert. Es umfasst vier monomodale („zu Fuß“, „Fahrrad“, „Pkw“ und „ÖV“) und drei intermodale Wahlalternativen („ÖV + Bedarfsverkehr“, „ÖV + Pkw“ und „ÖV + Fahrrad“). Die intermodalen Alternativen werden innerhalb eines Nestes modelliert, da Korrelation zwischen den Alternativen besteht. Der ÖV als gemeinsame Komponente der intermodalen Kombinationen führt zu einer Ähnlichkeit der Alternativen und zu einem wahrscheinlicheren Wechsel zu anderen Alternativen innerhalb des Nests im Falle von Veränderungen. Eine zusätzliche Kombination von „ÖV“ und „ÖV intermodal“ in einem Nest kann als sinnvoll erachtet werden, da viele Ähnlichkeiten zwischen den Alternativen bestehen und Korrelationen erwartbar sind, selbst, wenn es in diesem Beispiel nicht umgesetzt wurde. Die Struktur des Nested-Logit-Modells ist in Abbildung 3 dargestellt.

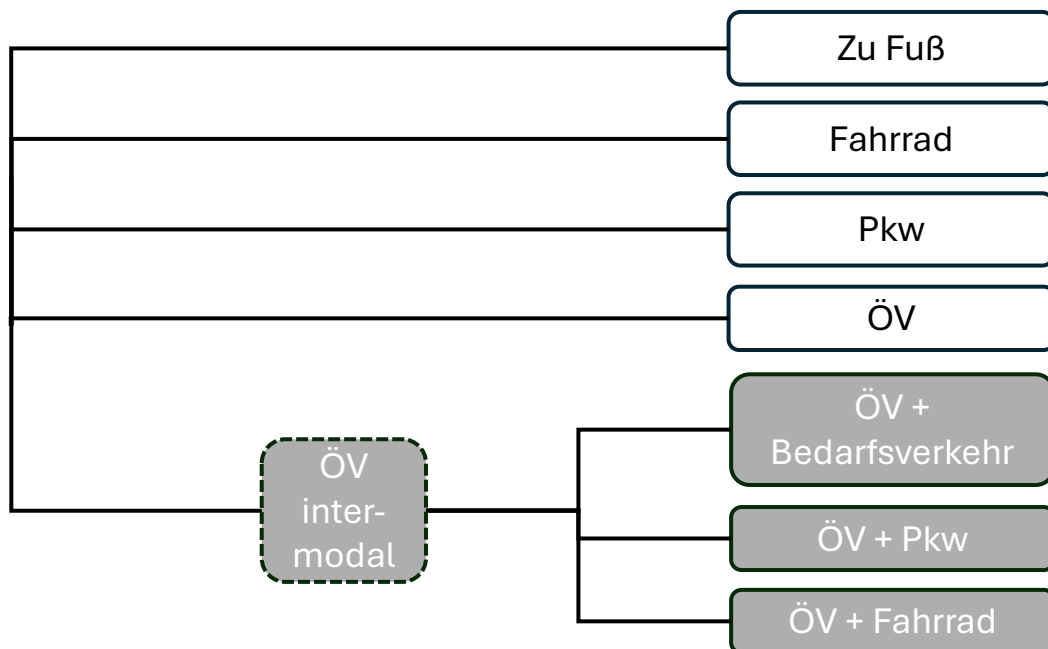


Abbildung 3: Auswahlmenge des genesteten intermodalen Verkehrsmittelwahlmodells

Das Wahlmodell berücksichtigt folgende Attribute der intermodalen Kombinationen:

- Beförderungszeit ÖV [min]
- Zu-/Abgangszeit mit entsprechendem Verkehrsmittel [min]
- Gesamtkosten der Verbindung [€]
- ÖV-Takt [min]
- Gesamtwarezeit im ÖV und Bedarfsverkehr [min]

Die Reihenfolge der Verkehrsmittel innerhalb der Kombination ist dabei nicht festgelegt, die jeweils schnellste Verbindung mit einer Kombination wird in der Anwendung des Modells verwendet.

4.5.3 Validierung von intermodalen Verkehrsnachfragemodellen

Eine Validierung der Intermodalität kann anhand der Anteile der Verkehrsmoduskombinationen am gesamten Modal Split des Verkehrsaufkommens oder der Verkehrsleistung erfolgen. Hierfür ist eine geeignete regionale Datengrundlage notwendig, die die Anteile für die betrachteten Verkehrsmoduskombinationen ausweist. Da viele der zu kalibrierenden Verkehrsmoduskombinationen geringe Anteile am Modal-Split von häufig unter 1 % aufweisen, ist dies in der Kalibrierung zu berücksichtigen.

Ebenfalls können Zahlen von Umsteigenden an ÖV-Haltestellen/Mobilitätsstationen verwendet werden.

5 Fazit

Das Teilpapier behandelt, wie multi- und intermodales Mobilitätsverhalten sowie entsprechende Verkehrsangebote in Verkehrsnachfragemodellen abgebildet werden können. Das Papier erläutert die Bedeutung solcher Modelle für die Analyse von Wechselwirkungen zwischen Verkehrsangebot und -nachfrage, insbesondere im Hinblick auf neue Mobilitätsdienstleistungen und Verknüpfungspunkte. Ziel ist es, Modelle zu entwickeln, die sowohl das Verhalten unterschiedlicher Nutzergruppen als auch die Wirkungen verkehrsplanerischer Maßnahmen im Kontext von mono-, multi- und intermodalem Verhalten realistisch abbilden.

Im Kern werden mit diesem Teilpapier folgende Hinweise und Hilfestellungen gegeben:

- **Anwendungsfälle:** Es existiert eine Reihe von Anwendungsfällen (multi- und intermodale Verkehrsangebote), die eine Berücksichtigung von Multi- und Intermodalität in Verkehrsmodellen erfordern. Es bleibt zu prüfen, ob der Aufwand und die damit beantwortbaren Fragestellungen im Verhältnis stehen.
- **Fragestellungen:** Im Kontext von Multi- und Intermodalität können zusätzliche Bewertungsgrößen von Maßnahmen/Verkehrsangeboten angewendet werden, um ein detailliertes Bild der Wirkungsdimensionen zu erhalten (vgl. Tabelle 2).
- **Betrachtungsebene:** Nur mikroskopische Modelle können multimodale Verhaltensweisen im Längsschnitt abbilden. Die Effekte multimodaler Verhaltensweisen auf die Maßnahmensensitivität des Modells können aber auch zu einem gewissen Grad in makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen modelliert werden. Je detaillierter die Personen-, Zeit- und Raumbetrachtung ausfällt, desto leichter fällt eine Modellierung.
- **Verkehrsangebotsmodelle:** Grundlegend sind die üblicherweise verwendeten Angebotsmodelle auch für die Modellierung von Multi- und Intermodalität geeignet. Je mehr Kenngrößen der Verkehrsmodi zur Verfügung stehen und je mehr Interaktionen zwischen den Verkehrsmodi im Netz bestehen, desto besser können situative Änderungen modelliert werden, die zur Variation von Entscheidungen bzw. zu multimodalem Verhalten führen.
- **Entscheidungsmodelle:** Es wird eine Reihe von Möglichkeiten aufgezeigt, um Multi- und Intermodalität verstärkt in die Modelle zu bringen. Eine Basis- und eine erweiterte Konfiguration der Entscheidungsmodelle dienen als Empfehlung für die Modellerstellung. Es sind darüber hinaus weitere Möglichkeiten der Modellierung von Multi- und Intermodalität denkbar.

Die beschriebenen Modelle bzw. Modellkonfigurationen für Multi- und Intermodalität werden überwiegend in der Forschung angewendet. Sie werden stetig weiterentwickelt und finden in begrenztem, aber zunehmendem Maß in der Planungspraxis Anwendung.

6 Literatur

Ben-Akiva, M., Bierlaire, M.: Discrete choice methods and their applications to short term travel decisions. In: Handbook of transportation science. pp. 5–33. Springer (1999)

Diana, M.: From mode choice to modal diversion: A new behavioural paradigm and an application to the study of the demand for innovative transport services. Technological Forecasting and Social Change. 77, 429–441 (2010). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.10.005>

Diana, M., Pirra, M.: A comparative assessment of synthetic indices to measure multimodality behaviours. Transportmetrica A: Transport Science. 12, 771–793 (2016). <https://doi.org/10.1080/23249935.2016.1177133>

de Dios Ortúzar, J., Willumsen, L.G.: Modelling transport. John Wiley & sons (2024)

Hasnine, M.S., Nurul Habib, K.: Tour-based mode choice modelling as the core of an activity-based travel demand modelling framework: a review of state-of-the-art. Transport Reviews. 41, 5–26 (2021). <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1780648>

Hensher, D.A., Rose, J.M., Greene, W.H.: Applied Choice Analysis. (2015)

Huff, J.O., Hanson, S.: Repetition and variability in urban travel. Geographical Analysis. 18, 97–114 (1986)

Jonnalagadda, N., Freedman, J., Davidson, W.A., Hunt, J.D.: Development of Microsimulation Activity-Based Model for San Francisco: Destination and Mode Choice Models. Transportation Research Record. 1777, 25–35 (2001). <https://doi.org/10.3141/1777-03>

Klinkhardt, C., Kandler, K., Kostorz, N., Heilig, M., Kagerbauer, M., Vortisch, P.: Integrating Autonomous Busses as Door-to-Door and First-/Last-Mile Service into Public Transport: Findings from a Stated Choice Experiment. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2678, 605–619 (2024). <https://doi.org/10.1177/03611981231175900>

Krajzewicz, D., Heinrichs, M., Beige, S.: Embedding intermodal mobility behavior in an agent-based demand model. Procedia Computer Science. 130, 865–871 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.082>

Kuhnimhof, T.G.: Measuring and Modeling Multimodal Mode Use in the Longitudinal Section. Transportation Research Board 88th Annual Meeting Transportation Research Board. (2009)

Mallig, N.: Modellierung der Stabilität bei der Verkehrsmittelwahl in einem mikroskopischen Verkehrsnachfragemodell. (2019). <https://doi.org/10.5445/IR/1000091993>

Mallig, N., Vortisch, P.: Measuring Stability of Mode Choice Behavior. Transportation Research Record. 2664, 1–10 (2017). <https://doi.org/10.3141/2664-01>

- McFadden, D., Train, K.: Mixed MNL models for discrete response. *Journal of Applied Econometrics*. 15, 447–470 (2000)
- Meyer De Freitas, L., Becker, H., Zimmermann, M., Axhausen, K.W.: Modelling intermodal travel in Switzerland: A recursive logit approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 119, 200–213 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.11.009>
- Nobis, C.: Multimodality: Facets and Causes of Sustainable Mobility Behavior. *Transportation Research Record*. 2010, 35–44 (2007). <https://doi.org/10.3141/2010-05>
- Rhoades, S.A.: The Herfindal-Hirschman Index. *Fed. Res. Bull.* (1993)
- Train, K.E.: *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge university press (2009)
- Vij, A., Carrel, A., Walker, J.L.: Incorporating the influence of latent modal preferences on travel mode choice behavior. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 54, 164–178 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.07.008>
- Wörle, T., Briem, L., Heilig, M., Kagerbauer, M., Vortisch, P.: Modeling intermodal travel behavior in an agent-based travel demand model. *Procedia Computer Science*. 184, 202–209 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.04.020>
- Yoon, S.Y., Deutsch, K., Chen, Y., Goulias, K.G.: Feasibility of using time–space prism to represent available opportunities and choice sets for destination choice models in the context of dynamic urban environments. *Transportation*. 39, 807–823 (2012). <https://doi.org/10.1007/s11116-012-9407-8>