



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Generische Ansätze der Verkehrsmodellierung

Approches génériques de la modélisation du trafic

Generic approaches to transport modelling

EBP Schweiz AG
Dr. Nadine Rieser
Bence Tasnády
Marco Rothenfluh
Ralph Straumann

Prof. Dr. Matthias Kowald

Forschungsprojekt SVI 2018/008 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)

Dezember 2021

1719

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Generische Ansätze der Verkehrsmodellierung

Approches génériques de la modélisation du trafic

Generic approaches to transport modelling

EBP Schweiz AG
Dr. Nadine Rieser
Bence Tasnády
Marco Rothenfluh
Ralph Straumann

Prof. Dr. Matthias Kowald

Forschungsprojekt SVI 2018/008 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)

Dezember 2021

1719

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Dr. Nadine Rieser, EBP

Mitglieder

Bence Tasnády, EBP

Marco Rothenfluh, EBP

Prof. Dr. Matthias Kowald

Begleitkommission

Präsident

Lutz Ickert

Mitglieder

Urs Birchmeier

Luzian Caduff

Gordon Finné

Florian Harder

Andreas Justen

Gösta Niederer

Flavio Poletti

Claude Weis

Antragsteller

Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum.....	4
Zusammenfassung	7
Résumé.....	13
Summary	19
1 Einleitung	25
2 Stand der Forschung und Begriffsdefinition	27
2.1 Stand der Forschung.....	27
2.2 Begriffsdefinition «Generische Modelle in der Verkehrsplanung»	29
3 Auslegeordnung Generische Ansätze	31
3.1 Multivariates Modell	31
3.2 Elastizität	33
3.3 Abschätzung mittels Faktoren	33
3.4 Pivot Point.....	34
3.5 Diskretisierte univariate Funktion.....	35
3.6 Gravitationsansatz	35
3.7 Zusammenfassung.....	36
4 Potenzielle Anwendungsfälle	39
4.1 Auswirkungen von Angebotsmassnahmen auf den Modalsplit	40
4.2 Auswirkung von Infrastrukturprojekten auf Tourismusfahrten	42
4.3 Auswirkungen eines Parkraummanagements auf die Anzahl MIV-Fahrten.....	45
4.4 Auswirkungen von demografischen Trends auf Verkehrsverhalten	48
4.5 Auswirkungen von Trends im Verkehrsverhalten auf Quelle-Ziel-Matrizen	51
4.6 Auswirkungen einer P+Rail-Anlage	55
4.7 Potenzialabschätzung für «neue» Verkehrsmittel	58
4.8 Auswirkungen einer städtischen Velovorzugsroute	61
4.9 Analyse der Nutzung von Parks / Freizeitflächen	64
4.10 Fazit.....	67
5 Datenquellen zum Aufbau generischer Verkehrsmodelle.....	69
5.1 Daten aus Global Navigation Satellite Systems	70
5.1.1 GPS-Daten aus tragbaren und App-fähigen Signalempfängern (Mobile GPS Data)	71
5.1.2 GPS-Daten aus verbauten Navigationssystemen (Floating Car Data)	73
5.2 Mobile Network Data.....	75
5.3 Automatische Fahrgastzählungen im Öffentlichen Personenverkehr	78
5.4 Buchungs- und Zahlungsinformationen im Öffentlichen Personenverkehr	80
5.5 Nutzungsinformationen zu Sharing-Angeboten	82
5.6 Digitale Foto- und Videosysteme.....	84
5.7 WLAN / Bluetooth.....	86
5.8 Fazit zu den Datenquellen.....	88
6 Praxisbeispiele.....	91
6.1 Auswirkung des Baus einer neuen Bahnlinie auf den Modalsplit	91
6.1.1 Aufgabenstellung	91
6.1.2 Generische Ansätze.....	92
6.1.3 Grundlagen.....	92
6.1.4 Parameter und Annahmen	93
6.1.5 Vorgehen	94
6.1.6 Ergebnisse und Diskussion	95

6.2	Potenzialabschätzung für die Nutzung von E-Scootern	97
6.2.1	Aufgabenstellung	97
6.2.2	Generischer Ansatz.....	97
6.2.3	Grundlagen	97
6.2.4	Parameter und Annahmen.....	97
6.2.5	Vorgehen	98
6.2.6	Ergebnisse und Diskussion	99
6.3	Auswirkungen einer neuen P+Rail-Anlage	100
6.3.1	Aufgabenstellung	100
6.3.2	Generischer Ansatz.....	100
6.3.3	Grundlagen	101
6.3.4	Parameter und Annahmen.....	101
6.3.5	Vorgehen	102
6.3.6	Ergebnisse und Diskussion	103
6.4	Auswirkungen einer städtischen Velovorzugsroute auf den Veloverkehr	105
6.4.1	Aufgabenstellung	105
6.4.2	Generischer Ansatz.....	105
6.4.3	Grundlagen	106
6.4.4	Parameter und Annahmen.....	106
6.4.5	Vorgehen	108
6.4.6	Ergebnisse und Diskussion	109
6.5	Erkenntnisse aus den Praxisbeispielen.....	113
7	Synthese	115
7.1	Erkenntnisse Kapitel 2 bis 6	115
7.2	Nutzung neuer Datenquellen in generischen Verkehrsmodellen.....	116
7.3	Empfehlungen für die Anwendung generischer Verkehrsmodelle	117
7.3.1	Vorgehensvorschlag zur Wahl eines generischen Modellierungsansatzes	117
7.3.2	Einsatzgebiete und generelle Hinweise	118
8	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf.....	121
	Glossar	122
	Literaturverzeichnis	124
	Projektabschluss.....	129

Zusammenfassung

Eine wichtige Aufgabe der Verkehrsplanung ist es, die Wirkungen zukünftiger Entwicklungen wie Veränderung der Bevölkerungs- oder Raumstruktur oder geplanter verkehrlicher Massnahmen sowie Veränderungen des Verkehrsangebots und Preisgestaltung abzuschätzen. In der Praxis erfolgt dies klassisch mit synthetischen Verkehrsnachfragemodellen. Dabei handelt es sich um Modelle, die auf Basis grundlegender Informationen, wie räumlichen Strukturmerkmalen, den Eigenschaften des Verkehrsangebots und Informationen zum Verkehrsverhalten, die Verkehrsnachfrage ableiten bzw. synthetisieren. Es steht jedoch nicht immer ein synthetisches Verkehrsnachfragemodell in ausreichender Auflösung zur Verfügung, in manchen Fällen ist die Anwendung eines Verkehrsmodells zu aufwändig oder das Verkehrsmodell ist nicht auf die Beantwortung der vorliegenden Fragestellung ausgelegt. Zudem können manchmal nicht alle Aspekte wie z.B. intermodaler Verkehr, mit einem klassischen synthetischen Verkehrsnachfragemodell adäquat abgebildet werden.

Gleichzeitig ändert sich aufgrund der fortschreitenden Digitalisierung die Art und Menge der zu Verfügung stehenden Daten zum Verkehrsverhalten. Neue Datenquellen können das Verkehrsverhalten im Analysezustand potenziell genauer und umfassender beschreiben als synthetische Modelle. Damit entsteht zunehmend ein Bedarf für eine pragmatische Ergänzung bestehender Modellansätze, um die Nachteile der momentan verwendeten synthetischen Modelle zu umgehen und die Möglichkeit zu schaffen, bisher weniger im Vordergrund stehende Problemstellungen mit der Hilfe neuer Datenquellen bearbeiten zu können.

Damit bieten generische Modelle ein grosses Potenzial für die Anwendung in der Verkehrsplanung, das bisher jedoch nicht ausgeschöpft wird, da es kaum Literatur oder gesammeltes Anwenderwissen zu diesem Thema gibt. Es fehlt bisher auch eine sachlogische und einheitliche Definition des Begriffs «Generisches Modell in der Verkehrsplanung». Das Ziel dieser Forschungsarbeit war es daher, Wissen zu generischen Verkehrsmodellen oder generischen Modellteilen zugänglicher zu machen, indem konkrete Methoden sowie mögliche Datengrundlagen und ihre Einsatzmöglichkeiten vorgestellt werden. Zielpublikum des Berichts sind Fachpersonen aus der Verkehrsplanung und Verkehrsmodellierung. Der Bericht adressiert die folgenden Forschungsfragen:

- Was versteht man unter einem generischen Verkehrsmodell?
- Wie wird ein generisches Modell erstellt?
- Was sind geeignete Datengrundlagen?
- Inwiefern sind generische Modelle prognosefähig?
- Was ist bei der praktischen Anwendung von generischen Modellen zu beachten?
- Was ist bei der Kombination aus synthetischen und generischen Verkehrsmodellen zu beachten?
- Was sind praktische Grenzen von generischen Modellen?
- Welche Ergebnissgüte erreichen generische Modelle im Vergleich zu synthetischen Modellen?
- Wo liegen zeitliche und finanzielle Einsparungspotenziale?
- Wann sind generische Ansätze synthetischen Verkehrsmodellen vorzuziehen?

Die vorliegende Zusammenfassung fokussiert nachfolgend diese Forschungsfragen. Eine verdichtete Zusammenstellung der Erkenntnisse aus den einzelnen Bearbeitungsschritten des Forschungsvorhabens findet sich im Fazit-Kapitel des Forschungsberichts.

Was versteht man unter einem generischen Verkehrsmodell?

Ein generisches Verkehrsmodell ist ein Modell, das zur Untersuchung einer spezifischen Fragestellung erstellt wird. Es ist im Vergleich mit einem synthetischen Modell mit wenig Aufwand auf Räume mit ähnlichen Eigenschaften übertragbar und benötigt nicht zwangsläufig eine vorhandene Ausgangsmatrix als Referenzpunkt. Zudem kann es einen oder

mehrere Datensätze einbeziehen, die zu anderen Zwecken erhoben wurden. Es besteht aus einem Daten- und einem einfachen Wirkungsmodell und ist auf die Analyse ausgewählter Einflüsse begrenzt.

Generische Modelle ermöglichen es Planenden, Antworten auf spezifische Fragestellungen mit weniger Aufwand zu erhalten, als es die Anwendung, Erweiterung oder gar Neuerstellung eines klassischen Verkehrsmodells erfordert. Sie gehen jedoch in der Regel mit einer stärkeren Vereinfachung bzw. Abstraktion der Fragestellung einher. Dabei muss darauf geachtet werden, dass diese Vereinfachungen nicht zu weit reichen und wesentliche Wechselwirkungen nicht ausreichend berücksichtigt werden können. Darüber hinaus können generische Modelle in der Anwendung auch mit synthetischen Verkehrsmodellen kombiniert werden. So werden in der Praxis bei der Bewertung von Infrastrukturprojekten häufig nur die Auswirkungen auf die Routenwahl mit einem synthetischen Verkehrsmodell modelliert, da die Modellierung der Auswirkungen auf die Ziel- und Moduswahl mit einem Verkehrsmodell häufig als zu aufwändig erachtet wird. An dieser Stelle könnte es sich anbieten, die Abbildung der Routenwahlveränderungen im Verkehrsmodell mit einem generischen Modell für die Ziel- und Moduswahl zu kombinieren.

Wie wird ein generisches Modell erstellt?

Der erste zentrale Schritt bei der Erstellung eines generischen Verkehrsmodells ist die genaue Definition der Fragestellung, der angestrebten Analysetiefe und der verfügbaren Datengrundlagen. Ausgehend von dieser Definition kann dann der geeignete Ansatz gewählt werden. In dieser Forschungsarbeit werden insgesamt sechs verschiedene Ansätze (Multivariates Modell, Elastizitäten, Abschätzung mittels Faktoren, Pivot Point, Diskretisierte univariate Funktion, Gravitationsansatz) vorgestellt. Einige Modelle gehen von einer dominierenden Einflussgröße aus, andere basieren auf mehreren Einflussgrößen, die anhand von Nutzenfunktionen in einen Gesamtnutzen umgerechnet werden. Es gibt generische Modelle, die einen Ausgangs- oder Referenzpunkt benötigen und von diesem ausgehend Veränderungen inkrementell berechnen, andere berechnen die Zielgröße von Grund auf. Folgende Abb. 1 zeigt eine mögliche Gruppierung der vorgestellten generischen Modelle anhand von drei Faktoren:

- Einflussgrößen: Wie monokausal kann die Aufgabenstellung betrachtet werden: Gibt es eine dominierende Einflussgröße oder werden verschiedene Einflussgrößen berücksichtigt? Wird nur ein dominierender Einfluss berücksichtigt, wird die Zielgröße anhand von Faktoren berechnet. Soll der Zusammenhang zwischen der Zielgröße und mehreren Einflussgrößen untersucht werden, so kommen Nutzenfunktionen zum Einsatz, die die jeweiligen Einflüsse mittels Parameter gewichten und in einen Gesamtnutzen umrechnen.
- Referenzpunkt: Gibt es einen belastbaren Referenzpunkt, auf den die Berechnung abgestützt werden kann oder sind zur interessierenden Zielgröße keine Anhaltspunkte vorhanden? Im ersten Fall wird die Zielgröße jeweils nicht von Grund auf neu berechnet, sondern es werden (marginale) Veränderungen im Bezug zum Referenzpunkt ermittelt. Ist kein Referenzpunkt vorhanden, wird die Zielgröße anhand der Einflussgrößen neu berechnet.
- Linearität des Zusammenhangs: Kann die Zielgröße mittels eines konstanten Faktors aus der dominierenden Einflussgröße hergeleitet werden oder ist der Zusammenhang nicht über den gesamten Bereich der Einflussgröße linear?

Eine Sonderstellung hat der Gravitationsansatz. Dieser kann sowohl mit Referenzpunkt, z.B. zur Neuerstellung einer Matrix, als auch ohne Referenzpunkt, z.B. zur Verfeinerung einer Matrix, eingesetzt werden, eine oder mehrere Einflussgrößen berücksichtigen und sowohl einen linearen als auch mit einem nichtlinearen Zusammenhang abbilden.

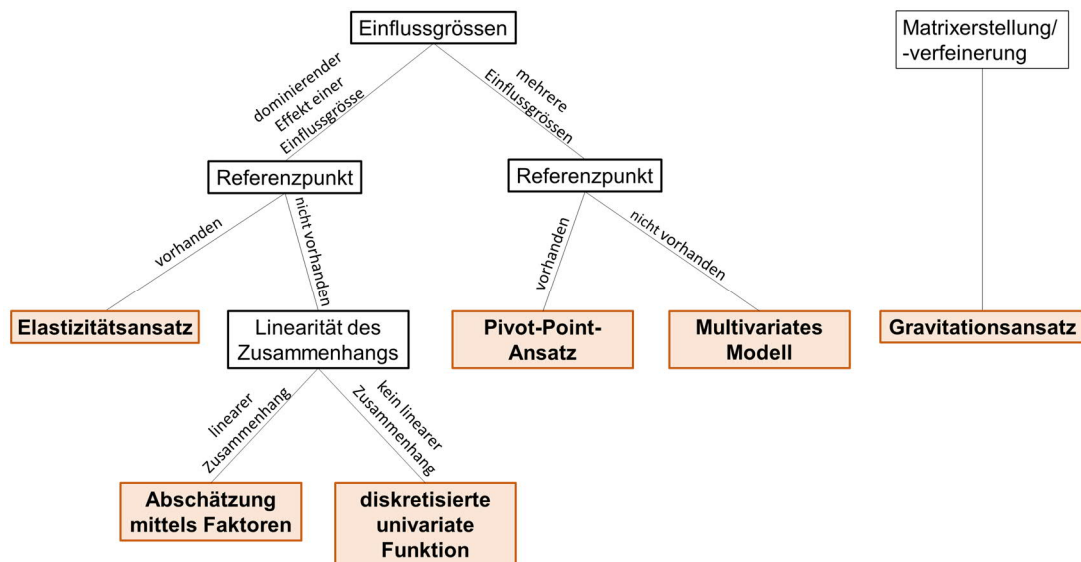


Abb. 1 Gruppierung generischer Ansätze

Ist die Problemstellung definiert, kann anhand dieser drei Faktoren ein geeigneter generischer Ansatz ausgewählt werden. Im nächsten Schritt müssen die Parameter des Modells bestimmt werden. Falls vorhanden, können dazu Parameter aus der Literatur verwendet werden. Es kann jedoch auch notwendig sein, die Parameter für den Anwendungszweck neu zu schätzen. Dies ist jedoch eine anspruchsvolle Aufgabe, die eine entsprechende Datengrundlage und Expertise voraussetzt.

Was sind geeignete Datengrundlagen?

Für die Erstellung und Anwendung von generischen Modellen sind grundsätzlich die gleichen Datenquellen geeignet wie für die Erstellung von synthetischen Verkehrsnachfragemodellen. Dazu gehören Datensätze zu Mobilitätskennziffern, wie bspw. der Mikrozensus Mobilität und Verkehr, statistische Daten zur Bevölkerung und Arbeitsplätzen, Reisezeitdaten etc. Daneben stellen auch synthetische Verkehrsnachfragemodelle eine gute Grundlage für generische Modelle dar. Insbesondere Nachfrage- und Kenngrößenmatrizen aus synthetischen Modellen erweisen sich als nützlich in der praktischen Anwendung.

Ein wesentlicher Vorteil der generischen Modelle ist darüber hinaus aber auch die Möglichkeit, neue Datenquellen für die Verkehrsplanung nutzen zu können. Diesen Datenquellen ist gemeinsam, dass sie kontinuierlich maschinell gesammelt und damit auch für längere Zeiträume, grössere Stichproben und in feinerer räumlicher und zeitlicher Auflösung zur Verfügung stehen als z.B. traditionelle Haushaltsbefragungen. Allerdings stehen dem tendenziell reduzierten Aufwand in der Datensammlung in der Regel ein erhöhter Aufwand in der Datenaufbereitung und ein teils eingeschränktes Analysepotenzial im Vergleich zu Informationen aus Haushaltsbefragungen gegenüber. Dieses Verhältnis von Kosten und Nutzen ist vor dem Hintergrund des Analyseanliegens, welches sich an das angestrebte generische Verkehrsmodell richtet, zu bewerten. In diese Überlegungen sind zudem Datenschutzanliegen und die angestrebte und benötigte Aussagekraft statistischer Analysen einzubeziehen.

Zentral ist, dass die Datengrundlagen zur Aufgabenstellung und zur gewünschten Analysetiefe passen. Die Qualität der Eingangsdaten bestimmt die Prognosequalität des angestrebten generischen Verkehrsmodells. Daher sind vor der Beschaffung von Grundlagedaten die Stichprobengröße und der Gültigkeitsbereich der Daten zu prüfen.

Inwiefern sind generische Modelle prognosefähig?

Die Prognosefähigkeit synthetischer Modelle stützt sich in der Regel auf die Annahme, dass das zugrundeliegende Verhalten der Bevölkerung, welches durch Modellparameter (z.B. Mobilitätsraten, Reisezeitparameter, Verkehrsmittelgunst etc.) ausgedrückt wird, im Prognosezustand unverändert bleibt. Diese Annahme kann auf generische Modelle übertragen werden. Bei der Übernahme von Parametern aus der Literatur oder der Übertragung eines Modells auf einen neuen Untersuchungsraum ist jedoch sicherzustellen, dass das Verkehrsverhalten in den betrachteten Räumen vergleichbar ist bzw. Unterschiede in räumlichen Charakteristiken über Parameter abgebildet werden.

Was ist bei der praktischen Anwendung von generischen Modellen zu beachten?

Der grösste Teil des Aufwands bei der Anwendung eines generischen Verkehrsmodells liegt meist in der Spezifikation des Problems und in der Abgrenzung der zulässigen Vereinfachungen. Zu Beginn einer Untersuchung müssen dazu das Ziel und die gewünschte Genauigkeit definiert werden. Vereinfachungen sind jeweils in Abstimmung mit den vorhandenen Datengrundlagen vorzunehmen, gut zu begründen und zu dokumentieren. Viele der Annahmen, die bei der Erstellung von synthetischen Modellen getroffen werden, sind den Anwender*innen eines synthetischen Modells nicht immer vollumfänglich bekannt. Bei der Anwendung eines generischen Modells müssen diese Annahmen hingegen explizit getroffen werden. Da die Annahmen mit vielen Unsicherheiten behaftet sind, sind Sensitivitätsanalysen zwingend erforderlich.

Da generische Modelle i.d.R. für eine konkrete Fragestellung erstellt und parametrisiert werden, handelt es sich jeweils um «Prototypen». Umso wichtiger ist es, die Ergebnisse einem Logik-Check zu unterziehen. Wird die Fragestellung gut abgebildet? Werden alle wesentlichen Einflussgrössen berücksichtigt? Liegen die Ergebnisse in einer ähnlichen Grössenordnung wie Auswirkungen bekannter, ähnlicher Massnahmen? Zusätzlich kann eine Variation der Annahmen und die Berechnung von Sensitivitäten Sicherheit geben, ob die Ergebnisse plausibel und belastbar sind.

Die Wahl des richtigen generischen Modells ist dabei von vielen Faktoren abhängig. Neben der konkreten Fragestellung bestimmen auch die vorhandenen Datengrundlagen die Wahl des richtigen Ansatzes und die Qualität der Modellergebnisse. Je nach Fragestellung ist die Datengrundlage jedoch sehr dünn. Eine mangelhafte Datengrundlage kann nicht durch einen guten generischen Ansatz kompensiert werden. Daher kommt in diesen Fällen den Sensitivitätsanalysen eine noch grössere Bedeutung zu.

Grundlagen aus bestehenden Verkehrsmodellen sind oft hilfreich, aber nicht zwingend notwendig. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurden vorwiegend schweizweit vorliegende Datengrundlagen verwendet: z.B. das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) 2017 und der Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV). Matrizen sind aber auch aus anderen Datenquellen ableitbar wie z.B. aus Mobilfunkdaten und nutzergenerierten Daten. Die Auflösung der Daten ist dabei jeweils zu beachten.

Die meisten der im Rahmen dieser Forschungsarbeit vorgestellten generischen Modelle können ohne (kostenpflichtige) Spezialsoftware berechnet werden. Sie lassen sich einfach und mit relativ wenig Zeitaufwand in einem Tabellenkalkulationsprogramm oder z.B. mit der freien Statistiksoftware R berechnen.

Was ist bei der Kombination aus synthetischen und generischen Verkehrsmodellen zu beachten?

Generische Modelle können eine gute Ergänzung zu synthetischen Verkehrsnachfragemodellen darstellen. Mit generischen Modellen können Fragestellungen modelliert werden, die im synthetischen Verkehrsnachfragemodell für den Untersuchungsraum nicht abgebildet werden (z.B. neue Verkehrsmittel oder Park+Rail) oder deren synthetische Modellierung in der Praxis zu aufwändig ist wie z.B. die Auswirkungen von Infrastrukturmassnahmen auf die Ziel- und Moduswahl. An dieser Stelle bietet es sich beispielsweise an, die

Abbildung der Routenwahlveränderungen im Verkehrsmodell mit einem generischen Modell für die Ziel- und Moduswahl zu kombinieren.

Der Austausch zwischen dem synthetischen und dem generischen Modell erfolgt dabei in der Regel über Nachfrage- und Kenngrössenmatrizen. Kenngrössenmatrizen aus dem synthetischen Modell können im generischen Modell für die Abbildung der Widerstände genutzt werden. Die Nachfragematrizen aus dem synthetischen Modell stellen den Ausgangspunkt für die Berechnungen für Nachfrageveränderungen im generischen Modell dar. Die durch das generische Modell veränderte Matrix kann anschliessend wieder in das synthetische Modell eingelesen und z.B. umgelegt werden.

Wie bei der Nachfragemodellierung in einem synthetischen Modell kann es dabei notwendig sein, Rückkoppelungen zwischen dem generischen Modell und dem synthetischen Modell zu rechnen. Ob und wie häufig dies notwendig ist, hängt vor allem von der Flughöhe der Aufgabenstellung und dem damit verbundenen Anspruch an die Genauigkeit der Ergebnisse ab. Sind Rückkoppelungen notwendig, ist zudem zu prüfen, ob eine Kombination aus generischem und synthetischen Modell tatsächlich effizienter ist als eine Neuberechnung der Nachfrage mit dem synthetischen Modell.

Was sind praktische Grenzen von generischen Modellen?

Generische Modelle sind noch stärker als synthetische Modelle von der Verfügbarkeit geeigneter Grundlagedaten abhängig. Daher ist ein entsprechender Aufwand für die Recherche und Aufbereitung der Grundlagedaten einzurechnen. Falls für den Anwendungsfall keine Parameter in der Literatur vorhanden sind, müssen diese zunächst ermittelt werden. Dafür ist eine entsprechende Expertise in der statistischen Analyse und Modellschätzung notwendig. Generische Modelle sind zudem in der Regel nicht geeignet, um komplexe Wechselwirkungen abzubilden, die in synthetischen Modellen häufig auch iterativ berechnet werden.

Welche Ergebnissgüte erreichen generische Modelle im Vergleich zu synthetischen Modellen?

Eine pauschale Aussage zur Ergebnissgüte ist schwierig zu treffen, da diese stark von der Fragestellung, dem Abstraktionsgrad und den verfügbaren Datenquellen abhängig ist. In einem der Praxisbeispiele werden die Ergebnisse von zwei generischen Ansätzen mit der Anwendung eines synthetischen Verkehrsnachfragemodells verglichen. In diesem Fall wies das synthetische Modell eine grössere Wirksamkeit der Massnahme aus als die generischen Modelle. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das synthetische Modell die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Variablen und die dadurch verursachten Verhaltensänderungen besser abbildet. Die generischen Modelle lieferten jedoch ebenfalls plausible Ergebnisse und zeigten sich gut geeignet für eine grobe Abschätzung der Effekte einer Massnahme.

Wo liegen zeitliche und finanzielle Einsparungspotenziale?

Die reine Anwendung eines generischen Ansatzes kann deutlich weniger aufwändig als die Anwendung eines synthetischen Modells sein. Dies gilt insbesondere für Aufgabenstellungen mit klar umrissenen Einflussgrössen ohne Wechselwirkungen bzw. für Aufgabenstellungen für die Erweiterungen eines synthetischen Modells notwendig wären. Nicht unterschätzt werden darf aber der Aufwand für die Spezifikation des Problems, die Abgrenzung der zulässigen Vereinfachungen und die Aufbereitung der notwendigen Grundlagedaten. Daneben sollten in Abhängigkeit von den zu treffenden Annahmen auch Ressourcen für die Berechnung von Sensitivitäten eingeplant werden.

Wann sind generische Ansätze synthetischen Verkehrsmodellen vorzuziehen?

Die Entscheidung über den Einsatz eines generischen Verkehrsmodells anstelle eines synthetischen Modells sollte sich an der erforderlichen Flughöhe sowie dem Vorhandensein und der Eignung eines synthetischen Modells orientieren. Generische Verkehrsmodelle sind insbesondere gut geeignet, auf hoher Flughöhe (z.B. im Rahmen einer Vorstudie) effizient Aussagen für eine klar umrissene Fragestellung zu erhalten. Sie sind weniger gut geeignet, detaillierte Analysen durchzuführen oder die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Projekten abzubilden. In solchen Fällen ist ein synthetisches Modell zu bevorzugen.

Darüber hinaus eignen sich generische Modelle gut dazu, synthetische Modelle zu ergänzen, wenn diese den zu untersuchenden Aspekt der Verkehrsnachfrage (z.B. Park+Rail) nicht abbilden oder deren Anwendung spezifische Fachkenntnisse erfordert, so dass beispielsweise eine Neuberechnung der Verkehrsmittelwahl nicht allen Anwendern möglich ist.

Résumé

Une tâche importante de la planification des transports consiste à estimer les effets des évolutions futures, tels que les changements de structure de la population ou de la structure géographique ou bien des mesures de transport projetées, telles que les changements dans l'offre et la tarification des transports. En pratique, cela se fait classiquement par modélisation synthétique de la demande de transport. Il s'agit de modèles qui déduisent ou synthétisent la demande de transport provenant d'informations de base telles que les caractéristiques structurelles géographiques, les propriétés de l'offre de transport et les informations sur le comportement en matière de transport. Cependant, un modèle synthétique de demande de transport n'est pas toujours disponible dans une résolution suffisante. Dans certains cas, l'application d'un modèle de transport est trop complexe ou le modèle de transport n'est pas conçu pour répondre aux questions posées. En outre, il arrive que tous les aspects, tels que le transport intermodal, ne puissent être représentés de manière adéquate par un modèle synthétique de demande de transport.

Dans le même temps, le type et la quantité de données disponibles sur le comportement en matière de transport évoluent en raison du progrès de la numérisation. De nouvelles sources de données peuvent potentiellement décrire le comportement en matière de transport dans l'état d'analyse de manière plus précise et plus complète que les modèles synthétiques. Il est donc de plus en plus nécessaire de compléter de manière pragmatique les approches de modèles existantes afin de contourner les inconvénients des modèles synthétiques actuellement utilisés et de créer la possibilité de traiter des problèmes auparavant moins importants à l'aide de nouvelles sources de données.

Les modèles génériques offrent ainsi un grand potentiel d'application encore inexploité dans la planification des transports, car il n'existe pratiquement pas de littérature ou de connaissances collectées auprès des utilisateurs sur ce sujet. Il manque également une définition cohérente et uniforme du terme «modèle générique dans la planification des transports». L'objectif de ce travail de recherche était donc de rendre plus accessible la connaissance des modèles de transport génériques ou de parties de modèles génériques en présentant des méthodes concrètes ainsi que des bases possibles de données et leurs applications éventuelles. Ce document s'adresse aux experts en planification et en modélisation des transports. Ce rapport aborde les questions de recherche suivantes:

- Qu'entend-on par modèle de transport générique?
- Comment élaborer un modèle générique?
- Que sont des bases de données appropriées?
- Dans quelle mesure les modèles génériques sont-ils capables de fournir des prévisions?
- Que faut-il prendre en considération dans l'application pratique des modèles génériques?
- Que faut-il prendre en considération lorsque l'on combine des modèles de transport synthétiques et génériques?
- Quelles sont les limites pratiques des modèles génériques?
- Quelle est la qualité des résultats obtenus par les modèles génériques par rapport aux modèles synthétiques?
- Quelles sont possibilités en gain de temps et d'argent?
- Quand les approches génériques sont-elles préférables aux modèles de transport synthétiques?

Ce résumé se concentre sur ces questions de recherche. Un résumé condensé des résultats des différentes étapes du projet de recherche se trouve dans le chapitre de conclusion du rapport de recherche.

Qu'entend-on par modèle de transport générique?

Un modèle de transport générique est un modèle établi pour étudier une question spécifique. Par rapport à un modèle synthétique, il peut être appliqué à des espaces présentant des caractéristiques similaires avec peu de difficultés et ne nécessite pas nécessairement une matrice initiale existante comme point de référence. En outre, il peut incorporer un ou plusieurs ensembles de données collectées à d'autres fins. Il se compose d'un modèle de données et d'un simple modèle d'impact et se limite à l'analyse d'influences sélectionnées.

Les modèles génériques permettent aux planificateurs d'obtenir des réponses à des questions spécifiques avec moins d'efforts qu'il n'en faudrait pour appliquer, étendre ou même créer un modèle de transport classique. Cependant, ils s'accompagnent généralement d'une plus grande simplification ou abstraction de la question posée. Il faut donc veiller à ce que ces simplifications n'aillent pas trop loin et à ce que les interactions essentielles soient suffisamment prises en compte. En outre, des modèles génériques peuvent également être combinés avec des modèles de transport synthétiques dans l'application. Ainsi, dans la pratique, seuls les effets sur le choix de l'itinéraire sont souvent modélisés à l'aide d'un modèle de transport synthétique lors de l'évaluation des projets d'infrastructure, car la modélisation des effets sur la destination et le choix du mode de transport à l'aide d'un modèle de transport est souvent considérée comme trop laborieuse. Il pourrait alors être judicieux de combiner la modélisation des changements de choix d'itinéraire dans le modèle de transport avec un modèle générique de choix de destination et de mode.

Comment élaborer un modèle générique?

La première étape centrale dans la création d'un modèle de transport générique est la définition précise de la question posée, de la profondeur d'analyse souhaitée et des bases de données disponibles. Sur la base de cette définition, on peut alors choisir l'approche appropriée. Dans ce travail de recherche, six approches différentes sont présentées (modèle multivarié, élasticités, estimation au moyen de facteurs, point pivot, fonction discrétisée univariée, approche gravitationnelle). Certains modèles supposent un facteur d'influence prédominant, d'autres sont basés sur plusieurs facteurs d'influence, qui sont convertis en une utilité globale sur la base de fonctions d'utilité. Il existe des modèles génériques qui nécessitent un point de départ ou de référence et calculent les changements de manière incrémentale à partir de celui-ci, d'autres calculent la valeur cible à partir de rien. La Fig. 1 suivante montre un regroupement possible des modèles génériques présentés sur la base de trois facteurs:

- Facteurs d'influence: Dans quelle mesure la tâche peut-elle être considérée comme monocausale? Y a-t-il un facteur d'influence dominant ou est-ce que plusieurs facteurs d'influence sont pris en compte? Si une seule influence dominante est prise en compte, la valeur cible est calculée sur la base de facteurs. Si l'on veut étudier la relation entre la valeur cible et plusieurs facteurs d'influence, on utilise des fonctions d'utilité qui pondèrent les influences respectives au moyen de paramètres et les convertissent en une utilité globale.
- Point de référence: Existe-t-il un point de référence fiable sur lequel le calcul peut être basé ou n'y a-t-il aucun indice disponible pour la valeur cible concernée? Dans le premier cas, la valeur cible n'est pas calculée à partir de rien, mais les changements (marginaux) par rapport au point de référence sont identifiés. Si aucun point de référence n'est disponible, la valeur cible est calculée sur la base des facteurs d'influence.
- Linéarité de la relation: La valeur cible peut-elle être déduite du facteur d'influence dominant au moyen d'un facteur constant ou la relation n'est-elle pas linéaire sur toute la plage des facteurs d'influence?

L'approche gravitationnelle occupe une position particulière. Elle peut être utilisée aussi bien avec un point de référence, par exemple pour la création d'une nouvelle matrice, que sans point de référence, par exemple pour l'affinement d'une matrice; elle peut prendre en compte un ou plusieurs facteurs d'influence et représenter aussi bien une relation linéaire que non linéaire.

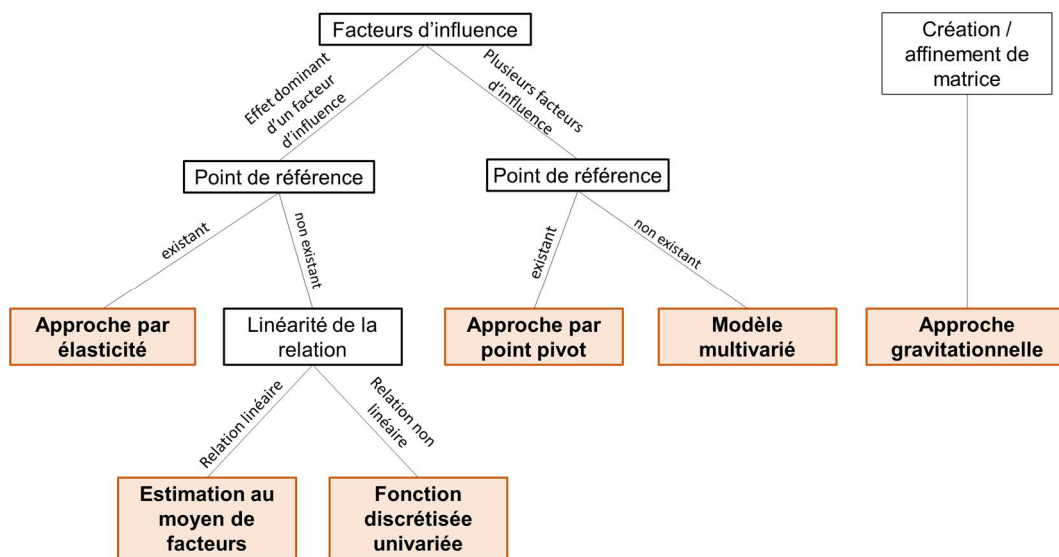


Fig. 1 Groupement des approches génériques

Une fois le problème défini, une approche générique appropriée peut être sélectionnée sur la base de ces trois facteurs. L'étape suivante consiste à déterminer les paramètres du modèle. S'ils sont disponibles dans la littérature, les paramètres peuvent être utilisés à cet effet. Cependant, il peut également être nécessaire d'estimer les paramètres pour l'objectif de l'application. Il s'agit toutefois d'un exercice difficile qui nécessite une base de données et une expertise appropriées.

Que sont des bases de données appropriées?

En principe, les mêmes sources de données conviennent pour la création et l'application de modèles génériques et pour la création de modèles synthétiques de demande de transport. Il s'agit notamment d'ensembles de données sur les indicateurs de mobilité, tels que le microrecensement sur la mobilité et les transports, les données statistiques sur la population et les lieux de travail, les données sur les temps de trajet, etc. En outre, les modèles synthétiques de demande de transport constituent également une bonne base pour les modèles génériques. En particulier, les matrices de demande et d'indicateurs des modèles synthétiques s'avèrent utiles dans les applications pratiques.

En outre, la possibilité d'utiliser de nouvelles sources de données pour la planification des transports constitue un avantage important des modèles génériques. Ces sources de données ont en commun d'être collectées en continu par des machines et donc d'être également disponibles sur des périodes plus longues avec des échantillons plus importants et une résolution géographique et temporelle plus fine qu'avec, par exemple, les enquêtes traditionnelles auprès des ménages. Cependant, l'effort de plus en plus réduit de collecte des données est généralement contrecarré par un effort plus élevé de traitement des données et par un potentiel d'analyse partiellement limité par rapport aux informations provenant des enquêtes sur les ménages. Ce rapport entre les coûts et les avantages doit être évalué dans le contexte de la préoccupation de l'analyse sur laquelle porte le modèle de transport générique visé. Les préoccupations relatives à la protection des données et l'importance souhaitée et requise de ces analyses statistiques doivent également être incluses dans ces considérations.

Il est essentiel que les bases de données soient adaptées à la tâche et à la profondeur d'analyse souhaitée. La qualité des données d'entrée détermine la qualité de la prévision du modèle de transport générique souhaité. Il faut donc vérifier la taille des échantillons et le domaine de validité des données avant d'obtenir les données de base.

Dans quelle mesure les modèles génériques sont-ils capables de fournir des prévisions?

La capacité de prévision des modèles synthétiques est généralement basée sur l'hypothèse que le comportement correspondant de la population qui est exprimé par les paramètres du modèle (par exemple, les taux de mobilité, les paramètres de temps de trajet, la préférence des moyens de transport, etc.), reste inchangé dans l'état de prévision. Cette hypothèse peut être appliquée aux modèles génériques. Toutefois, lors de la prise en compte de paramètres issus de la littérature ou de la transposition d'un modèle à une nouvelle zone d'étude, il faut s'assurer que le comportement en matière de transport dans les zones considérées est comparable ou que les différences dans les caractéristiques géographiques sont bien rendues par des paramètres.

Que faut-il prendre en considération dans l'application pratique des modèles génériques?

La plus grande partie de l'effort dans l'application d'un modèle de transport générique réside généralement dans la spécification du problème et dans la délimitation des simplifications admises. Au début d'une enquête, il faut à cet égard définir l'objectif et la précision souhaitée. Les simplifications doivent être à chaque fois faites en accord avec la base de données existante, être bien justifiées et documentées. De nombreuses hypothèses formulées lors de la création de modèles synthétiques ne sont pas toujours pleinement connues des utilisateurs/trices d'un modèle synthétique. Par contre, lorsqu'on utilise un modèle générique, ces hypothèses doivent être émises explicitement. Comme les hypothèses sont sujettes à de nombreuses incertitudes, des analyses de sensibilité sont obligatoires.

Et comme les modèles génériques sont généralement créés et paramétrés pour une question déterminée, il s'agit toujours de «prototypes». Il est donc d'autant plus important de soumettre les résultats à un contrôle logique. La problématique est-elle bien posée? Tous les facteurs d'influence significatifs sont-ils pris en compte? Les résultats sont-ils d'une ampleur similaire aux effets de mesures connues et similaires? En outre, le fait de varier les hypothèses et de calculer les sensibilités peut permettre de savoir avec assurance si les résultats sont plausibles et fiables.

Le choix du bon modèle générique dépend de plusieurs facteurs. En plus de la question concrète, les bases de données existantes déterminent le choix de la bonne approche et la qualité des résultats du modèle. Selon la question posée, la base de données peut toutefois être très mince. Une base de données médiocre ne peut être compensée par une bonne approche générique. Pour cette raison, des analyses de sensibilité prennent dans ces cas une importance encore plus grande.

Des bases (de données) en provenance de modèles de transports existants sont souvent utiles, mais pas forcément nécessaires. Dans le cadre de ce travail de recherche, la plupart des bases de données existantes utilisées sont valables pour toute la Suisse comme le Modèle national de trafic voyageurs (MNTP) 2017 et le Microrecensement mobilité et transports (MRMT). Toutefois, les matrices peuvent également être dérivées d'autres sources de données, telles que les données de téléphonie mobile et les données générées par les utilisateurs. La résolution des données doit être alors prise en compte dans chaque cas.

La plupart des modèles génériques présentés dans ce travail de recherche peuvent être calculés sans logiciel (payant) spécial. Ils peuvent être calculés facilement et avec une dépense de temps relativement faible dans un tableur ou, par exemple, avec le logiciel statistique gratuit R.

Que faut-il prendre en considération lorsque l'on combine des modèles de transport synthétiques et génériques?

Les modèles génériques peuvent être un bon complément aux modèles synthétiques de demande de transport. Les modèles génériques peuvent être utilisés pour modéliser des

questions qui ne sont pas représentées dans le modèle synthétique de demande de transport pour la zone d'étude (par exemple, les nouveaux modes de transport ou Park+Rail) ou dont la modélisation synthétique serait trop complexe en pratique, comme les effets de mesures d'infrastructure sur le choix de la destination et du mode. Il peut alors être judicieux de combiner la modélisation des changements de choix d'itinéraire dans le modèle de transport avec un modèle générique de choix de destination et de mode.

L'échange entre le modèle synthétique et le modèle générique se fait généralement par le biais de matrices de demande et d'indicateurs. Les matrices d'indicateurs provenant du modèle synthétique peuvent être utilisées dans le modèle générique pour la visualisation des résistances. Les matrices de demande provenant du modèle synthétique constituent le point de départ des calculs de l'évolution de la demande dans le modèle générique. La matrice modifiée par le modèle générique peut ensuite être relue dans le modèle synthétique et, par exemple, être réattribuée.

Comme pour la modélisation de la demande dans un modèle synthétique, il peut être nécessaire de calculer les retours d'informations entre le modèle générique et le modèle synthétique. La nécessité et la fréquence de cette opération dépendent avant tout du niveau de précision de la tâche et de l'exigence de précision des résultats qui en découle. Si des retours d'informations sont nécessaires, il faut également vérifier si une combinaison du modèle générique et du modèle synthétique est effectivement plus efficace que de recalculer la demande avec le modèle synthétique.

Quelles sont les limites pratiques des modèles génériques?

Les modèles génériques sont encore plus dépendants que les modèles synthétiques de la disponibilité de données de base appropriées. Par conséquent, un effort correspondant doit être pris en compte pour la recherche et la préparation des données de base. Si aucun paramètre n'est disponible dans la littérature pour ce cas d'application, il faut d'abord les déterminer. Cela nécessite une expertise appropriée en matière d'analyse statistique et d'estimation des modèles. En outre, les modèles génériques ne sont généralement pas adaptés à la représentation d'interactions complexes, qui sont souvent calculées de manière itérative dans les modèles synthétiques.

Quelle est la qualité des résultats obtenus par les modèles génériques par rapport aux modèles synthétiques?

Il est difficile de donner une réponse générale concernant la qualité des résultats, car elle dépend fortement de la question, du degré d'abstraction et des sources de données disponibles. Dans l'un des exemples pratiques, les résultats de deux approches génériques sont comparés à l'application d'un modèle synthétique de demande de transport. Dans ce cas, le modèle synthétique a montré une plus grande efficacité de la mesure que les modèles génériques. Cela est dû au fait que le modèle synthétique représente mieux les interactions entre les différentes variables et les changements de comportement qui en résultent. Cependant, les modèles génériques ont également fourni des résultats plausibles et se sont avérés bien adaptés à une estimation approximative des effets d'une mesure.

Quelles sont les possibilités en gain de temps et d'argent?

La pure application d'une approche générique peut être beaucoup moins complexe que l'application d'un modèle synthétique. Cela s'applique en particulier aux tâches dont les facteurs d'influence sont clairement définis sans interactions ou aux tâches pour lesquelles des extensions d'un modèle synthétique seraient nécessaires. Cependant, il ne faut pas sous-estimer l'effort nécessaire à la spécification du problème, à la délimitation des simplifications admissibles et à la préparation des données de base nécessaires. En outre, en fonction des hypothèses à retenir, des ressources doivent également être prévues pour le calcul des sensibilités.

Quand les approches génériques sont-elles préférables aux modèles de transport synthétiques?

La décision d'utiliser un modèle de transport générique plutôt qu'un modèle synthétique doit être fondée sur le niveau de précision requis et sur l'existence et la pertinence d'un modèle synthétique. Les modèles de transport génériques sont particulièrement bien adaptés pour obtenir efficacement des renseignements concernant une question clairement définie pour un niveau de précision faible (par exemple dans le cadre d'une étude préliminaire). Ils sont moins bien adaptés à la réalisation d'analyses détaillées ou à la représentation des interactions entre différents projets. Dans ce cas, il est préférable d'utiliser un modèle synthétique.

En outre, les modèles génériques sont bien adaptés pour compléter les modèles synthétiques si ceux-ci ne représentent pas l'aspect de la demande de transport à étudier (par exemple, Park+Rail) ou si leur application nécessite une expertise spécifique de sorte que, par exemple, un nouveau calcul du choix du mode de transport ne serait pas possible pour tous les utilisateurs.

Summary

One important task of transport planning is to estimate the effects of future developments, such as changes in population or spatial structure, and planned transport measures, such as changes in transport services and pricing. In practice, this is traditionally done using synthetic transport demand models. These derive or synthesise demand based on fundamental information such as spatial structural characteristics, the nature of the supply of transport and information on user behaviour. However, a synthetic transport demand model is not always available in sufficient resolution, in some cases its application is too costly, or the model not designed to answer the question at hand. Moreover, sometimes not all aspects, such as intermodal transport, can be adequately represented by a traditional synthetic model.

At the same time, the type and amount of data available on transport behaviour is changing given the advances in digitalisation. New data sources can potentially describe these patterns in the analysis state more accurately and comprehensively than synthetic models. Thus, there is an increasing need for a pragmatic supplementation of existing models, in order to circumvent the disadvantages of current synthetic models and answer previously less prominent questions with the help of new data sources.

Generic models offer great potential in transport planning. Given the dearth of literature and user knowledge on this topic, this potential has yet to be exploited. To date, there is also no factual and uniform definition of the term “generic transport model”. The aim of this paper is therefore to make knowledge of generic transportation models more accessible, by presenting concrete methods, possible data sources, and their likely applications. It is aimed at experts in transport planning and modelling, and addresses the following research questions:

- What is meant by a generic transportation model?
- How is it created?
- What are suitable data sources?
- To what extent are generic models predictive?
- What should be considered in the practical application of these models?
- What should be taken into account when combining synthetic and generic models?
- What are the practical limitations of generic models?
- What quality of results do generic models achieve compared to synthetic ones?
- Where are the potential savings in terms of time and money?
- When are generic approaches preferable to synthetic ones?

This summary focuses on these questions. A summary of the findings from the individual steps of the project can be found in the concluding chapter of the report.

What is meant by a generic transportation model?

A generic model is one that is created to study a specific issue. Compared to a synthetic model, it can easily be applied to a different region with similar properties, and does not necessarily require an existing initial matrix as a reference point. It may also include one or more data sets collected for other purposes. It consists of a data model and a simple impact model, and is limited to the analysis of selected influences.

Generic models enable planners to obtain answers to specific questions with less effort than it would take to apply, extend or even create a new synthetic transport demand model. However, they usually involve a greater simplification or abstraction of the question. Care must be taken to ensure that these simplifications do not go too far and fail to take sufficient account of significant interactions. Furthermore, generic models can be combined with synthetic ones. In practice, for example, when evaluating infrastructure projects, synthetic transportation models often only deal with the effects on route choice, because modelling the effects on mode and destination choice is often considered too costly. At this point, it

might be appropriate to combine the representation of route choice changes in the transportation model with a generic mode and destination choice model.

How is it created?

The first key step in the creation of a generic transportation model is to provide a precise definition of the problem, the desired depth of analysis, and the available data. In the light of this, the appropriate approach can then be chosen. This paper presents six different approaches: multivariate models, elasticities, estimation by factors, pivot point, discretised univariate function, and gravity model. Some models are based on one dominant influencing variable, others on several variables that are converted into a total utility by means of utility functions. Some generic models require a starting or reference point and calculate changes incrementally from that point; others calculate the target variable from scratch. The following Fig. 2 shows a possible grouping of the generic models based on three factors:

- **Influencing variables:** How monocausal can the task be considered: Is there one dominant influencing variable, or are different ones taken into account? If only one is used, the target value is calculated on the basis of factors. If the relationship between the target variable and several influencing variables is to be investigated, utility functions are used to weight the respective influences by means of parameters and convert them into a total utility.
- **Reference point:** Is there a reliable reference point on which the calculation can be based, or are no indications available for the target variable? In the first case, the target value is not recalculated from scratch. Instead, (marginal) changes in relation to the reference point are determined. If there is no reference point, the target value is calculated based on the influencing variables.
- **Linearity of the correlation:** Can the target value be derived from the dominant influence variable by means of a constant factor, or is the relationship not linear over the entire range of the influencing variable?

The gravity model has a special position. This can be used both with a reference point, for example when creating a new matrix, and without a reference point, such as when refining a matrix. It can take into account one or several influencing variables and represent both a linear and a non-linear relationship.

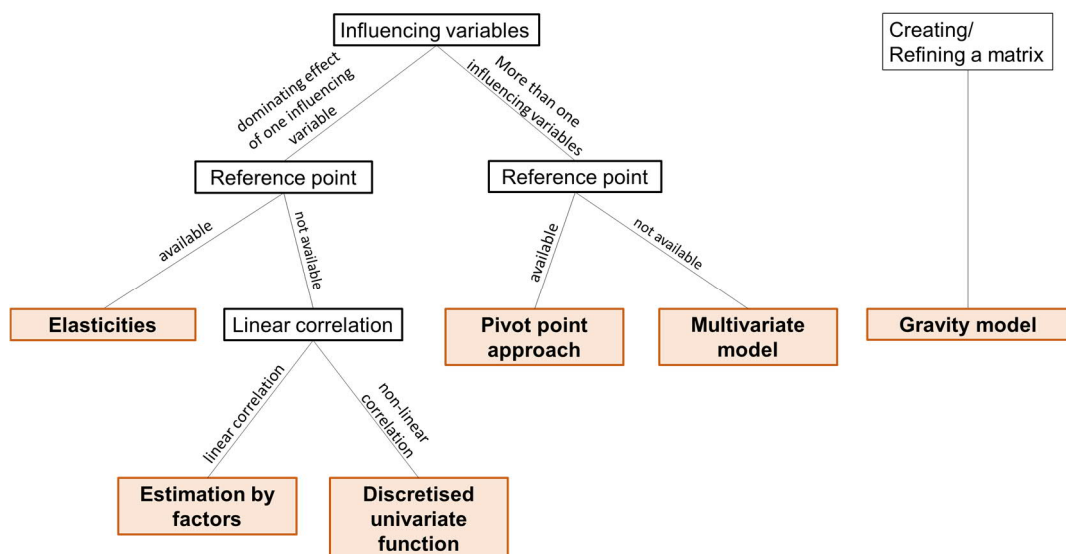


Fig. 2 Grouping of generic approaches

Once the problem is defined, a suitable generic approach can be selected based on these three factors. The next step is to determine the parameters of the model; if available, parameters from the literature can be used. However, it may also be necessary to estimate the parameters for the purpose of the specific application. That said, this is a demanding task that requires an appropriate data source and expertise.

What are suitable data sources?

In principle, the same data sources are suitable both for the creation and application of generic models and for the creation of synthetic transport demand models. These include data sets on mobility behaviour, such as the microcensus on mobility and transport, statistical data on the population and workplaces, and travel time data. In addition, synthetic transport demand models also provide a good basis for generic ones. In particular, demand and skim matrices from synthetic models are useful in practical applications.

Another major advantage of generic models is the possibility of using new data sources for transport planning. What these sources have in common is that they are continuously collected by machines and are thus available for longer periods of time, in larger samples and in finer spatial and temporal resolution than, for example, traditional household surveys. However, the generally reduced effort in collecting data is usually offset by an increased need to process it, and sometimes limited potential for analysing the data compared to information from household surveys. This relationship between cost and benefit has to be evaluated against the background of the purpose behind the analysis, which is directed at the intended generic transport model. These considerations must also take into account data protection concerns and the desired and necessary significance of the statistical analyses.

It is essential that the data sources fit the task and the required depth of analysis. The quality of the input data determines the forecast quality of the targeted generic model, so before obtaining baseline data, the sample size and the validity of the data should be checked.

To what extent are generic models predictive?

The forecasting ability of synthetic models is usually based on the assumption that the underlying behaviour of the population, which is expressed by model parameters (e.g. mobility rates, travel time parameters, transport preferences), remains unchanged during the forecast. This assumption can be applied to generic models as well. When adopting parameters from the literature or transferring a model to a new area of study, however, it must be ensured that traffic usage in the areas under consideration is comparable or that differences in spatial characteristics are represented by parameters.

What should be considered in the practical application of these models?

Most of the effort involved in applying a generic transportation model usually lies in specifying the problem and delineating the permitted simplifications. At the beginning of a study, both the goal and the targeted level of accuracy must be defined. Simplifications must be made in each case in coordination with the existing data, and must be thoroughly justified and documented. Many of the assumptions made when building synthetic models are not always fully known to the users of a synthetic model. When using a generic model, however, these assumptions must be made explicitly. As the assumptions are subject to many uncertainties, it is essential to conduct sensitivity analyses.

Since generic models are usually created and parameterised for a specific problem, they are always “prototypes”, which makes it all the more important to subject the results to a logic check. Is the question well mapped? Have all significant influencing variables been taken into account? Are the results similar in magnitude to effects of known, similar measures? In addition, varying the assumptions and calculating sensitivities can provide certainty as to whether the results are plausible and robust.

The choice of the right generic model depends on many factors. In addition to the specific problem, the data available also has a role to play in determining the choice of approach and the quality of the model results. Depending on the question, however, the data basis is very thin. Poor data cannot be compensated for by a good generic approach, so sensitivity analyses are even more important in these cases.

Basics from existing transportation models are often helpful, but not absolutely necessary. This research mainly uses data available throughout Switzerland: they include the National Passenger Transport Model (NPVM) 2017 and the Mobility and Transport Microcensus (MZMV). However, matrices can also be derived from other data sources such as mobile phone and user-generated data. The quality of the data must be taken into account in each case.

Most of the generic models presented in this research can be computed without special paid-for software, and can be calculated relatively quickly and easily using a spreadsheet or free statistical software such as R.

What should be taken into account when combining synthetic and generic models?

Generic models can be a good complement to synthetic transport demand models. They can be used to analyse issues that are not represented in the synthetic transport demand model for study region (e.g. new means of transport or park+rail) or whose synthetic modelling is too complex in practice, such as the effects of infrastructure measures on the choice of destination and mode of transport. At this point, it would be possible to combine the representation of route choice changes in the transportation model with a generic model for mode and destination choice.

The exchange between the synthetic and generic models usually takes place via demand and skim matrices, and skim matrices from the synthetic model can be used in the generic model for mapping resistances. Demand matrices from the synthetic model are the starting point for calculations to measure changes in demand in the generic model. The matrix modified by the generic model can then be read back into the synthetic model and re-assigned, for example.

As with demand analysis in a synthetic model, it may be necessary to calculate feedback effects between the generic and synthetic models. Whether and how often this is necessary depends above all on the degree of detail of the task and the required accuracy of the results. If feedback is necessary, we need to consider whether a combination of generic and synthetic models is more efficient than recalculating demand with the synthetic model.

What are the practical limitations of generic models?

Generic models are even more dependent on the availability of suitable basic data than synthetic ones, so a corresponding effort needs to be included in researching and preparing the basic data. If no parameters are available in the literature, these must first be determined, which requires appropriate expertise in analysing statistics and model estimation. Moreover, generic models are usually not suitable for representing complex interactions, which are often calculated iteratively in synthetic models.

What quality of results do generic models achieve compared to synthetic ones?

It is difficult to make a general statement on the quality of the results, as this depends strongly on the nature of the research, the degree of abstraction and the availability of data sources. In one of the practical examples, the results of two generic approaches were compared with the application of a synthetic transport demand model, and the synthetic model was more effective than the generic ones. This is because the synthetic model is a better representation of the interactions between different variables and the behaviour changes they cause. However, the generic models also delivered plausible results and proved to be well suited to providing a rough estimation of the effects of a measure.

Where are the potential savings in terms of time and money?

The application of a purely generic approach can be significantly less costly than a synthetic model. This applies in particular to tasks with clearly defined influencing variables without triggering interactions, or to tasks for which it would be necessary to extend a synthetic model. However, the effort involved in specifying the problem, delimiting permissible simplifications and preparing the necessary data must not be underestimated. In addition, depending on the assumptions to be made, resources should be planned for the calculation of sensitivities.

When are generic approaches preferable to synthetic ones?

The decision to use a generic model instead of a synthetic one should be based on the required degree of detail and the existence and suitability of a synthetic model. Generic models are particularly well suited to obtaining statements for a clearly defined problem at a more superficial level (e.g. within the framework of a preliminary study). They are less suitable for carrying out detailed analyses or mapping the interactions between different projects, where a synthetic model is preferable.

Furthermore, they are well suited to complementing synthetic ones if these do not represent the aspect of demand to be investigated (e.g. park+rail) or their application requires specific expertise so that, for example, recalculating the mode choice is not possible for all users.

1 Einleitung

Eine wichtige Aufgabe der Verkehrsplanung ist es, die Wirkungen zukünftiger Entwicklungen (z.B. Bevölkerung oder Preise) oder geplanter verkehrlicher Massnahmen (z.B. Veränderungen des Verkehrsangebots) abzuschätzen. Dazu werden u.a. Aussagen zur Entwicklung der Verkehrsströme und der Verkehrsaufkommen in dem betrachteten Gebiet oder auf bestimmten Streckenabschnitten, zum Modalshift oder zu betroffenen Bevölkerungsgruppen benötigt. In der Praxis werden diese häufig mit synthetischen Verkehrsnachfragemodellen ermittelt. Es steht jedoch nicht immer ein Verkehrsnachfragemodell in ausreichender Auflösung zur Verfügung, die Erstellung oder Anwendung eines Verkehrsmodells ist zu aufwändig oder das Verkehrsmodell ist nicht auf die Beantwortung der vorliegenden Fragestellung ausgelegt. Zudem können nicht alle Aspekte, z.B. intermodaler Verkehr, mit einem klassischen synthetischen Verkehrsnachfragemodell adäquat abgebildet werden.

Gleichzeitig ändert sich aufgrund der fortschreitenden Digitalisierung die Art und Menge der zu Verfügung stehenden Daten zum Verkehrsverhalten. Dabei handelt es sich einerseits um Daten aus bekannten Datenquellen wie Verkehrszählungen, die in höherer zeitlicher und räumlicher Auflösung sowie Abdeckung zur Verfügung stehen und andererseits um völlig neue Datenquellen wie die Standortdaten von Smartphone-Nutzer*innen oder die Aufzeichnung von Smart Card Transaktionen beim Ein- und Aussteigen im öffentlichen Verkehr. Mit diesen Aufzeichnungen kann das Verkehrsverhalten im Analysezustand potenziell genauer und umfassender beschrieben werden. Gleichzeitig bringen diese neue Datenquellen neue Herausforderungen mit sich, die teilweise noch nicht vollumfänglich bekannt sind. Aufgrund des grossen Potenzials neuer Datenquellen entsteht zunehmend ein Bedarf für eine pragmatische Ergänzung entsprechender Modellansätze, um zum einen die Nachteile/Aufwände der momentan verwendeten synthetischen Modelle zu umgehen und zum anderen die Möglichkeit zu schaffen, ganz neue Problemstellungen mit der Hilfe neuer Datenquellen bearbeiten zu können.

Eine Möglichkeit diese neuen Daten für die Verkehrsplanung zu nutzen sind generische Modelle, die synthetische Modelle oder Modellteile ergänzen oder für spezifische Fragestellungen ersetzen können. Generische Modelle ermöglichen es Planern, Antworten auf spezifische Fragestellungen mit weniger Aufwand zu erhalten als es die Anwendung oder gar Erstellung eines klassischen Verkehrsmodells erfordert. Sie gehen jedoch in der Regel mit einer Vereinfachung bzw. Abstraktion der Fragestellung einher. Dabei muss beachtet werden, dass die Fragestellung nicht so stark vereinfacht wird, dass wesentliche Wechselwirkungen nicht ausreichend berücksichtigt werden. Zudem ist bisher unklar, inwiefern generische Modelle prognosefähig sind. Die Prognosefähigkeit synthetischer Modelle stützt sich auf die Annahme, dass das zugrundeliegende Verhalten der Bevölkerung, welches durch Modellparameter (z.B. Mobilitätsraten, Reisezeitparameter, Verkehrsmittelgunst etc.) ausgedrückt wird, im Prognosezustand unverändert bleibt. Es ist zu untersuchen, inwiefern diese Annahme auf die Parameter generischer Modelle übertragbar ist.

Darüber hinaus können generische Modelle in der Anwendung auch mit synthetischen Verkehrsmodellen kombiniert werden. Dies ist insofern bedeutsam, als dass bei der Bewertung von Infrastrukturprojekten in der Praxis häufig nur die Auswirkungen auf die Routenwahl mit einem Verkehrsmodell modelliert werden. Die Modellierung der Auswirkungen auf die Ziel- und Moduswahl mit einem Verkehrsmodell ist finanziell und zeitlich aufwändig. Daher wird dies häufig entweder vernachlässigt oder auf der Basis von Erfahrungswerten abgeschätzt. An dieser Stelle bietet es sich beispielsweise an, die Abbildung der Routenwahlveränderungen im Verkehrsmodell mit einem generischen Modell für die Ziel- und Moduswahl zu kombinieren.

Damit bieten generische Modelle ein grosses Potenzial für die Anwendung in der Verkehrsplanung, das bisher jedoch nicht ausgeschöpft wird, da es kaum Literatur oder gesammeltes Anwenderwissen zu diesem Thema gibt. Es fehlt bisher auch eine sachlogische und einheitliche Definition des Begriffs «Generische Modelle in der Verkehrsplanung». Das Ziel

dieser Forschungsarbeit ist es daher, Wissen zu generischen Verkehrsmodelle oder generischen Modellteilen zugänglicher zu machen, indem konkrete Methoden sowie mögliche Datengrundlagen und ihre Einsatzmöglichkeiten vorgestellt werden. Dabei sollen die folgenden Forschungsfragen beantwortet werden:

- Was versteht man unter einem generischen Verkehrsmodell?
- Wie wird ein generisches Modell erstellt?
- Was sind geeignete Datengrundlagen?
- Inwiefern sind generische Modelle prognosefähig?
- Was ist bei der praktischen Anwendung von generischen Modellen zu beachten?
- Was ist bei der Kombination aus synthetischen und generischen Verkehrsmodellen zu beachten?
- Was sind praktische Grenzen von generischen Modellen?
- Welche Ergebnisgüte erreichen generische Modelle im Vergleich zu synthetischen Modellen?
- Wo liegen zeitliche und finanzielle Einsparungspotenziale?
- Wann sind generische Ansätze synthetischen Verkehrsmodellen vorzuziehen?

Zur Beantwortung dieser Fragen beginnt dieser Forschungsbericht im Kapitel 2 mit einer Literaturanalyse und der Definition des Begriffs «Generische Modelle in der Verkehrsplanung». In Kapitel 3 werden dann verschiedene generische Modellansätze zusammengetragen und für jeden Ansatz herausgearbeitet, welche Datengrundlagen benötigt werden, was das zugrundeliegende Wirkungsmodell ist, inwiefern das Modell übertragbar und prognosefähig ist, wie gut es anwendbar ist und welche Herausforderungen mit seiner Anwendung verbunden sind. Darauf aufbauend werden im Kapitel 4 verschiedene Anwendungsbereiche identifiziert, die ein grosses Potenzial für generische Ansätze in der Verkehrsplanung haben. Für jeden dieser Anwendungsbereiche wurde theoretisch aufgezeigt, wie die Fragestellung mit einem synthetischen Modell gelöst werden kann, welche generischen Ansätze alternativ verwendet werden können und was die Vor- und Nachteile der jeweiligen Lösungsansätze sind. Kapitel 5 ist dem Potenzial neuer Datenquellen gewidmet. Es werden verschiedene Datenquellen basierend auf neuen Technologien diskutiert, die einerseits zur Verbesserung synthetischer Modelle und andererseits zur Erstellung generischer Modelle genutzt werden können. In Kapitel 6 wird anhand von vier Praxisbeispielen konkret aufgezeigt, wie generische Modelle zur Beantwortung von Fragestellungen aus der Praxis genutzt werden können, welche Annahmen und Vereinfachungen getroffen werden müssen und woher die notwendigen Daten stammen können. Dadurch wird aufgezeigt, wo die Stärken und Schwächen von generischen Ansätzen liegen und worauf bei der Anwendung besonders zu achten ist. Der Bericht schliesst mit einer Synthese und Empfehlungen in Kapitel 7.

2 Stand der Forschung und Begriffsdefinition

Ein generisches Modell ist nicht auf eine einzelne Klasse von Anwendungsfällen festgelegt, sondern bietet eine Übertragbarkeit auf eine breite Menge möglicher Anwendungen. Diese Übertragbarkeit muss dabei gegebenenfalls über Anpassungen an die konkreten situativen Anforderungen realisiert werden. Generische Ansätze sind weit verbreitet. Sie finden sich beispielsweise in der Linguistik, in der Mathematik und Informatik und in den Naturwissenschaften.

Der Begriff des generischen Verkehrsmodells wird bisher kaum verwendet und ist nicht trennscharf definiert. Wie sich ein derartiges Konzept auf Modelle der Verkehrsnachfrage übertragen, definitorisch abgrenzen und anwenden lässt, wird auf den folgenden Seiten beschrieben. Dazu werden zunächst die in der Fachliteratur verwendeten Abgrenzungskriterien für synthetische und inkrementelle Modelle der Verkehrsnachfrage aufgezeigt und erläutert (Kapitel 2.1). Sodann wird ein Begriffsverständnis für «Generische Modelle in der Verkehrsplanung» für diese Forschungsarbeit hergeleitet (Kapitel 2.2).

2.1 Stand der Forschung

Gängige Abgrenzungen zwischen Modellen der Verkehrsnachfrage nutzen die Unterscheidung zwischen synthetischen und inkrementellen Modellen. Diese Unterscheidung baut auf den Möglichkeiten zur Erstellung und Nutzung vereinfachter Verkehrsnachfragemodelle auf. Nach Ortúzar und Willumsen (2001) umfassen diese „Simplified Transport Demand Models“ die folgenden Ansätze (s. auch Willumsen 2014):

1. Marginal- und Korridormodelle
2. Modellschätzungen auf Basis von Verkehrszählungen
3. Inkrementelle Modelle der Verkehrsnachfrage

Marginal- und Korridormodelle sind entweder räumlich auf begrenzte Untersuchungsgebiete oder inhaltlich auf ausgewählte Nachfragesegmente beschränkt. Sie beziehen die in diesen Gebieten wesentlichen Einflussfaktoren auf die Verkehrsnachfrage ein und erlauben so Vergleiche zwischen dem Ist- und einem Prognosezustand. Oft werden die betrachteten Korridore oder Nachfragesegmente aus einem bestehenden Verkehrsnachfragemodell übernommen, auf ausgewählte Einflussfaktoren reduziert, durch hochaufgelöste zusätzliche Grundlageinformationen ergänzt und ermöglichen so ausgewählte Analysen, die mit dem Ursprungsmodell nicht oder nur mit unverhältnismässig hohem Aufwand möglich gewesen wären.

Im Falle von **Modellschätzungen auf Basis von Verkehrszählungen** werden die gezählten Verkehrsmengen an einem Querschnitt als Ausgangspunkt zur Ableitung von Quell-Ziel-Beziehungen genutzt. Mittels eines Umlegungs- und Optimierungsmodells werden die Querschnittszählungen zur Erstellung von Verkehrsstrommatrizen verwendet. Die Verkehrsstrommatrizen ermöglichen dann darauf aufbauende Anwendungen vereinfachter Modellansätze. Im Falle von Modellschätzungen auf Basis von Verkehrszählungen bleibt in der Regel die Moduswahl unberücksichtigt. Diese Einschränkungen führen zu Limitationen für die Anwendungsmöglichkeiten der beiden Techniken. Dennoch finden sich zahlreich beispielhafte Anwendungen (für Marginalmodelle siehe de Cea, Ortúzar and Willumsen 1986; Für aus Verkehrszählungen abgeleitete Modelle siehe Willumsen 1987, Kanton Zürich 2017, Kaeslin, Lieberherr and Scherr 2014).

Weitreichende Anwendungsmöglichkeiten und eine hohe Übertragbarkeit der genutzten Methoden bieten dagegen **inkrementelle Modelle der Verkehrsnachfrage**. Auch profitiert insbesondere diese Art vereinfachter Verkehrsmodelle von den Potenzialen neuer Datenquellen, so dass ihre Anwendungsmöglichkeiten in den letzten Jahren noch gestiegen sind. Zudem weisen sie aufgrund der Übertragbarkeit des genutzten methodischen Repertoires eine grosse Nähe zur gesuchten Definition für generische Verkehrsmodelle auf. Da-

her werden im Folgenden die Unterscheidungsmerkmale zwischen synthetischen und inkrementellen Verkehrsnachfragemodellen herausgearbeitet und vorgestellt. Die dabei verwendeten Definitionen und Schaubilder sind angelehnt an die Arbeiten der FGSV (EVNM, in Erarbeitung), Winkler (2017), Friedrich und Schiller (2019).

Die Grundlage eines synthetischen Nachfragemodells sind Informationen zu den räumlichen Strukturmerkmalen, den Eigenschaften des Verkehrsangebots und Informationen zum Verkehrsverhalten. Diese Informationen werden synthetisiert, also zusammengeführt, und dienen als Simulationsbasis für die Nachbildung der relevanten Entscheidungsprozesse von Agenten, Haushalten oder verhaltenshomogenen Personengruppen. In einem synthetischen Verkehrsnachfragemodell wird die Verkehrsnachfrage also auf Basis grundlegender Informationen abgeleitet. Besteht ein solches Modell für einen Referenzzustand, können unter der Annahme eines konstanten Mobilitätsverhaltens zukünftige Verkehrsnachfragen prognostiziert werden, die aus Veränderungen in den Strukturdaten und/oder dem Verkehrsangebot resultieren. Hervorzuheben ist, dass im Falle eines synthetischen Modells die Verkehrsnachfrage sowohl für den Referenzzustand als auch für den oder die Prognosezustände auf Basis von Wegzielen und der mit der Erreichung dieser Ziele einhergehenden Aufwände (z.B. Zeit, Kosten) berechnet oder simuliert werden. Damit basieren die Resultate der Modellanwendungen auf der mathematischen Spezifikation des Nachfragemodells.

Inkrementelle Modelle der Verkehrsnachfrage dagegen leiten die Verkehrsbeziehungs-matrix aus empirischen Beobachtungen ab und verwenden diese empirische Matrix als Ausgangspunkt der Simulation. Tatsächlich ist die explizite Forderung einer bekannten Ausgangsmatrix bzw. eines bekannten Ausgangszustandes als Basis für die Prognose des zukünftigen Verkehrsgeschehens das vereinende Merkmal inkrementeller Modelle. Die zu der beobachteten Verkehrsbeziehungs-matrix gehörenden und relevanten räumlichen Strukturmerkmale und Eigenschaften des Verkehrsangebots sind zu bestimmen. Zur Berechnung von Nachfrageprognosen können diese beiden Größen dann gezielt verändert werden. Auf Basis der Veränderungen wird dann die Verkehrsnachfragematrix für den Prognosezustand z.B. mittels Elastizitätsanalysen oder Pivot Point-Betrachtung berechnet. Ein inkrementelles Modell nimmt also eine bestehende Verkehrsnachfragematrix und aktualisiert diese auf Basis veränderter räumlicher Strukturmerkmale und Verkehrsangebote. Damit rückt diese Modellart empirisch beobachtete Verkehrsbeziehungen in den Mittelpunkt und basiert weniger stark auf der mathematischen Spezifizierung des Modells als das bei synthetischen Verkehrsnachfragemodellen der Fall ist. Beispiele für die praktische Verwendung von inkrementellen Nachfragemodellen finden sich u.a. in Abraham, Shaw and Willumsen (1992) und Kribernegg (2005). Hinweise für kurze Prognosezeiträume finden sich in Min and Wynter (2011), eine Anwendung im Schweizer Güterverkehr ist in ARE (2015) zu finden.

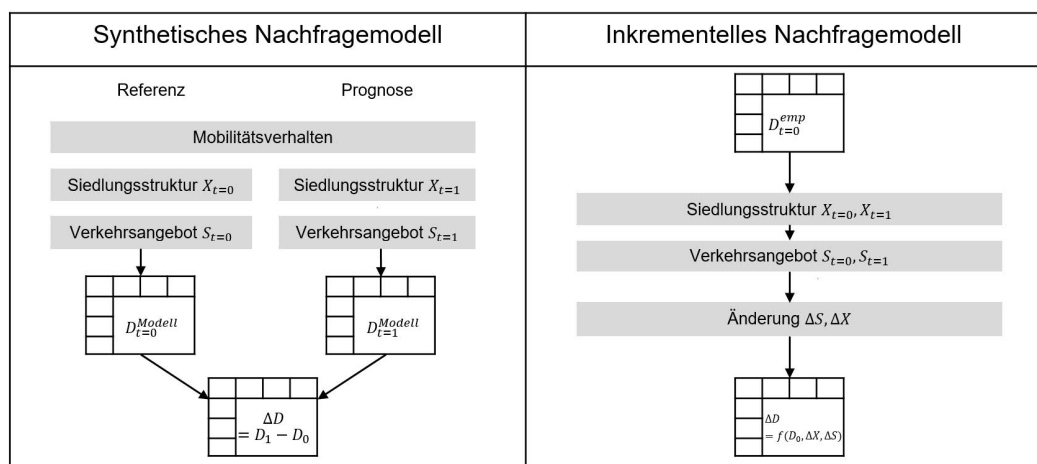


Abb. 1 Schema eines synthetischen und eines inkrementellen Verkehrsnachfragemodells (Quelle: FGSV (in Erarbeitung))

Elastizitätsbasierte inkrementelle Nachfragemodelle ermitteln die Veränderungsrate der Verkehrsnachfrage hinsichtlich einer ausgewählten Grösse, wie z.B. der Reisekosten. Die Veränderung dieser ausgewählten Grösse wird genutzt, um über die bekannte Elastizität das dann zu erwartende Verkehrsgeschehen zu berechnen. Auf diese Art wird also eine inkrementelle Veränderung hinsichtlich des Ausgangszustandes bestimmt. Zur Ermittlung der Elastizität der Verkehrsnachfrage hinsichtlich der verkehrsnachfragebeeinflussenden Grössen, wie z.B. Benzinpreise oder Parkgebühren, existieren in der Literatur zahlreiche Untersuchungen und Zusammenstellungen (siehe bspw. Goodwin 1992, de Jong and Gunn 2001, Dubernet 2019 sowie speziell für die Schweiz ARE 2012).

Inkrementelle Nachfragemodelle auf Basis einer Pivot Point-Betrachtung verwenden Wahlmodelle und die in diesen Modellen hinterlegten Nutzenfunktionen, um die Veränderungen einer oder mehrerer ausgewählter Grössen auf die Auswahl zwischen den zur Verfügung stehenden verkehrlichen Alternativen (z.B. MIV, ÖV und Velo) zu bewerten. Die verwendeten Ursprungsmatrizen dienen dabei als Ausgangspunkt und werden entlang der Bewertung angenommener Aufwandsveränderungen umstrukturiert. Auf diese Art wird eine inkrementelle Veränderung des Verkehrsgeschehens prognostiziert (für ein Beispiel zu einem Multinomialen Logit-Modell siehe Kumar (1980), für ein Nested Logit-Modell siehe Bates, Ashley and Hyman (1987)). Pivot Point Modelle werden in der verkehrsplanerischen Praxis der Schweiz verwendet (z.B. für die Abschätzung von Auswirkungen einer Verbesserung des ÖV-Angebotes auf die MIV-Nachfrage siehe Tiefbauamt St. Gallen (2015) oder für Arbeiten im Umfeld des STEP Schiene siehe BAV (2017)).

Der Vorteil inkrementeller Modelle liegt in ihrem geringeren Datenbedarf und ihrer kostengünstigen Anwendung. Gleichwohl sind empirische Grundlagen, beispielsweise in Bezug auf Ausgangsmatrizen oder die genannten Elastizitäten und Nutzenfunktionen, eine wichtige Voraussetzung. In der britischen Richtlinie für Verkehrsmodelle wird ihr Einsatz daher empfohlen. Demnach ist der Einsatz synthetischer Modelle, dieser Richtlinie nach, vor allem dann begründbar, wenn grosse Veränderungen in der Landnutzung zwischen Ausgangszustand und Prognose zu erwarten sind (Department for Transport 2014). Die Limitierung inkrementeller Modelle besteht in ihrem Bedarf nach bereits vorhandenen Ausgangsmatrizen und ihrer primären Fokussierung auf Angebotsvariablen und Aufwandsveränderungen (Winkler 2017).

2.2 Begriffsdefinition «Generische Modelle in der Verkehrsplanung»

In den zurückliegenden Jahren haben neue Technologien und gesellschaftliche Wandlungsprozesse neue Methoden der empirischen Datensammlung hervorgebracht. Die Potenziale diese Datenquellen für die Verkehrsmodellierung zu nutzen ist eine zentrale Herausforderung für die Verkehrsplanung. Es gilt zu klären, in welcher Form die Informationen verwendet werden können, welche Aspekte des Verhaltens in den Daten enthalten sind, wie die Informationen zu möglichen Modellarchitekturen stehen und welche Chancen und Risiken für Verkehrsnachfragemodelle die Datenverwendung birgt. Die dabei vorstellbaren Anwendungen gehen über die Möglichkeiten inkrementeller Verkehrsmodelle hinaus und umfassen bspw. oftmals die Möglichkeit zur Erzeugung empirischer Ausgangsmatrizen. Zudem lassen sich die Methoden zur Datenaufbereitung und Analyse mutmasslich leicht zwischen verschiedenen Anwendungsbereichen übertragen. Um eine Abgrenzung zu den oben beschriebenen inkrementellen Modellen zu ermöglichen, wird daher für Verkehrsnachfragemodelle, die Informationen aus derartigen neuen Datenquellen einbeziehen, der Ausdruck des generischen Verkehrsmodells verwendet. Er beschreibt ein Verkehrsnachfragemodell, das zur Untersuchung einer spezifischen Fragestellung erstellt wird. Es ist im Vergleich mit einem synthetischen Modell auf verschiedene Räume mit wenig Aufwand übertragbar und benötigt im Vergleich zu einem inkrementellen Modell nicht zwangsläufig eine vorhandene Ausgangsmatrix als Referenzpunkt. Zudem kann es einen oder mehrere Datensätze einbeziehen, die zu anderen Zwecken erhoben wurden. Es besteht aus einem Daten- und einem einfachen Wirkungsmodell und ist auf die Analyse ausgewählter Einflüsse begrenzt.

3 Auslegeordnung Generische Ansätze

So unterschiedlich die verkehrsplanerischen Fragestellungen sind, so unterschiedlich können die generischen Ansätze sein, um sie zu beantworten. Gerade weil generische Modelle nur für spezifische Fragestellungen eingesetzt werden können, ist es für die Anwendung in der Praxis hilfreich, auf eine Vielzahl an generischen Ansätzen zurückgreifen zu können, die auf die jeweiligen Fragestellungen zugeschnitten werden können. Die Herausforderung in der Praxis wird unter anderem darin bestehen, einen geeigneten Ansatz auszuwählen. Für eine Fragestellung gibt es unter Umständen nicht genau ein passendes generisches Verkehrsmodell, sondern je nach Anforderungen und Ausgangslage können verschiedene Ansätze zum gewünschten Ergebnis führen. Daher geht es vielmehr darum, die Aufgabenstellung sehr präzise zu analysieren, die vorhandenen Grundlagen vor dem Hintergrund der Datenqualität zu beurteilen und erst dann den am besten geeigneten Modellansatz auszuwählen. Bei der Modellwahl spielen neben der Ausgangslage auch die erforderliche Flughöhe bzw. Ergebnistiefe, vorhandene Ressourcen, Knowhow etc. eine Rolle.

Im vorliegenden Kapitel 0 werden folgende sechs verschiedene generische Ansätze vorgestellt:

- Multivariates Modell
- Elastizität
- Abschätzung mittels Faktoren
- Pivot Point
- Diskretisierte univariate Funktion
- Gravitationsansatz

Im nachfolgenden Kapitel 0 wird anhand von potenziellen Anwendungsbereichen theoretisch aufgezeigt, wie die jeweiligen generischen Modelle eingesetzt werden können, um eine spezifische Fragestellung zu beantworten. In Kapitel 0 schliesslich werden konkrete Praxisbeispiele berechnet und diskutiert. Für die hier vorgestellten generischen Modelle werden neben der allgemeinen Beschreibung des Ansatzes auch einige typische Aspekte eines generischen Modells anhand des folgenden Rasters beleuchtet:

- Daten: Welche Daten sind für die Anwendung des Modells erforderlich? Muss ein ganzer Datensatz ausgewertet werden oder steht eine einzelne Kennzahl im Vordergrund? Bezüglich Daten gilt für alle generische Modelle, dass sich diese auf die Schweiz beziehen oder aber auf die Schweiz übertragbar sein müssen.
- Wirkungsmodell: Wie wird anhand der Einflussgrössen die zu untersuchende Zielgrösse berechnet? Wie sehen die funktionalen Zusammenhänge aus?
- Übertragbarkeit/Prognosefähigkeit: Ist die den generischen Modellen zugesprochene Übertragbarkeit auf andere Räume und/oder Zeiträume (Prognosefähigkeit) gegeben? Sind hier allfällige Einschränkungen zu beachten?
- Spezifisch: Ist das generische Modell spezifisch, d.h. für die Berechnung einer konkreten Zielgrösse ausgelegt oder lässt es sich für allgemeine Fragestellungen einsetzen?
- Herausforderungen: Was sind besondere Herausforderungen bei der Anwendung des generischen Verkehrsmodells? Welches Ausmass an statistischem Vorwissen wird benötigt?
- Software: Braucht es für die Anwendung des Ansatzes Spezialsoftware oder kann die Berechnung mit Standardsoftware (Bsp. Excel oder R) durchgeführt werden?
- Bemerkung: Gibt es weitere Hinweise für die Anwendung des generischen Ansatzes?

3.1 Multivariates Modell

Ein multivariates Modell untersucht den Zusammenhang zwischen einer abhängigen Variablen (Zielgrösse) und mehreren unabhängigen Variablen (Prädiktoren). Unter dem Begriff der multivariaten Modelle wird eine Vielzahl an Modellen zusammengefasst, beispielsweise die Regressionsanalyse, die Faktorenanalyse oder die Diskriminanzanalyse. Im vorliegenden Forschungsbericht beschränken wir uns auf die Regressionsanalyse bzw. Regressionsmodelle.

Regressionsmodelle gehören zu den sogenannten strukturprüfenden Verfahren, bei denen es darum geht zu beschreiben, wie sich eine gesuchte Zielgrösse in Abhängigkeit mehrerer Prädiktoren verhält. Dabei kann entweder die Prognose der Zielgrösse im Zentrum stehen oder die Beschreibung des strukturellen Zusammenhangs. Eine einfache Form eines Regressionsmodells ist die multiple lineare Regression der Form $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p$ mit y als Zielgrösse, β als Modellparameter und x als Prädiktoren. In der Verkehrsplanung wird in diesem Zusammenhang auch von einer Nutzenfunktion gesprochen.

Daten: Um ein multivariates Modell anwenden zu können, müssen entweder die Modellparameter β (z.B. aus der Literatur) bekannt sein, oder es muss ein ausreichend grosser Datensatz für eine Schätzung der Modellparameter zur Verfügung stehen. Um die Zielgrösse für eine bestimmte Fragestellung zu berechnen, muss die Ausprägung aller Parameter bekannt sein.

Wirkungsmodell: Das Wirkungsmodell eines Regressionsmodells ist eine Funktion mit mehreren Parametern. Je nach Fragestellung (Zielgrösse) unterscheidet sich die Form der Funktion. Für metrische Zielgrössen und Prädiktoren ist das Wirkungsmodell eine multiple lineare Regression der Form $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p$. In der Verkehrsplanung sind die Zielgrössen jedoch oft nicht metrisch, sondern kategorial (z.B. Verkehrsmittelwahl, Routenwahl). In diesen Fällen ist das Wirkungsmodell eine logistische Regression der Form.

$$P(y = k|x) = \frac{e^{\beta_0^k + \beta_1^k x_1 + \dots + \beta_p^k x_p}}{\sum_{j=1}^K e^{\beta_0^j + \beta_1^j x_1 + \dots + \beta_p^j x_p}}$$

Übertragbarkeit/Prognosefähigkeit: Die räumliche Übertragbarkeit und Prognosefähigkeit eines Regressionsmodells ist gut, sofern der Raumbezug über Parameter (Prädiktoren) abgebildet ist. So kann ein Modell, das für das Jahr 2020 für die Stadt Bern entwickelt wurde, ohne Weiteres auch für andere Zeitzustände oder in der Stadt St.Gallen angewandt werden, sofern die räumlichen Eigenschaften der Städte mittels Prädiktoren beschrieben sind (z.B. Einwohnerdichte, Netzwerkichte, Steigungen etc.).

Spezifisch: Da ein Regressionsmodell nur eine bestimmte Zielgrösse voraussagt, ist es nur für eine spezifische Fragestellung anwendbar.

Herausforderungen: Sofern die Parameter der Funktion nicht bekannt sind, ist die Bestimmung und Plausibilisierung der Parameter anhand eines genügend grossen Datensatzes eine anspruchsvolle Aufgabe. Bei der Anwendung des Modells ist insbesondere der Gültigkeitsbereich des Modells zu berücksichtigen. Je nachdem, wie gross der Bereich ist, den die Daten für die Modellschätzung abdecken, können mit dieser Methode auch grosse Veränderungen der Zielgrösse berechnet werden. Von einer Extrapolation (Berechnung der Zielgrösse ausserhalb des Bereichs, in dem die Zielgrössen der für die Schätzung des Modells verwendeten Daten lagen) ist abzusehen. Im Gegensatz dazu stehen z.B. die Methoden «Pivot Point» und «Elastizität», die wegen der Referenzdaten für die Zielgrösse ein «Überschiessen» des Modells zwar verhindern, aber auch nur kleinere inkrementelle Veränderungen berechnen können.

Anwendbarkeit: Unter oben genannten Bedingungen sind die Modelle grundsätzlich einfach anwendbar, erfordern aber ein Grundverständnis für Inferenzstatistik und für Verkehrsmodellierung.

Software: Die Modellanwendung (ohne Schätzung der Parameter) kann einfach in Excel o.ä. umgesetzt werden. Für die Modellschätzung sind Statistik-Programme (R, biogeme o.ä.) erforderlich.

Bemerkung: Wie beim «Pivot Point»-Ansatz wird für die Berechnung der Zielgrösse die Beschreibung der Alternativen (Ausprägung der Prädiktoren) vorausgesetzt. Im Gegensatz zum Pivot Point sind aber bei Regressionsmodell keine Referenzdaten für die Zielgrösse erforderlich, da diese mit dem Modell direkt berechnet werden.

3.2 Elastizität

Eine Elastizität ist ein Mass, das die relative Änderung einer abhängigen Variablen (Zielgrösse) auf eine relative Änderung einer ihrer unabhängigen Variablen (Prädiktor) angibt (vgl. Frantzke 1999, S.80). Im Grunde genommen ist die Elastizität der Modellparameter ein Spezialfall der linearen Regression mit einem Prädiktor, bei der sowohl die Zielgrösse als auch der Prädiktor logarithmiert wird. In einem solchen Log-log-Modell werden also sowohl y als auch x transformiert: $y' = \beta'_0 + \beta'_1 x'$ mit $y' = \log(y)$, $x' = \log(x)$. Wenn in der Log-Log-Skala eine Gerade angepasst wird, so wird auf der Originalskala eine Potenzfunktion angepasst. Daraus ergibt sich für die Zielgrösse folgender funktionaler Zusammenhang: $y = \beta_0 x^{\beta_1}$ mit $\beta_0 = e^{\beta'_0}$, $\beta_1 = \beta'_1$. Der Parameter β_1 ist die Elastizität und hat folgende Bedeutung: Nimmt der Prädiktor x um 1% zu, so nimmt die Zielgrösse y um β_1 zu. Da es beim Elastizitätsansatz jeweils um Veränderungen der Zielgrösse geht, muss β_0 nicht bekannt sein. Dadurch lässt sich obiger Zusammenhang vereinfacht wie folgt beschreiben: $\frac{\Delta y}{y} = \varepsilon \frac{\Delta x}{x}$ mit $\varepsilon = \beta_1$ wie in der Literatur im Allgemeinen bezeichnet.

Daten: Um den Elastizitätsansatz anwenden zu können, muss der Modellparameter β , also die Elastizität, bekannt sein, oder es muss ein ausreichend grosser Datensatz für eine Schätzung der Elastizität zur Verfügung stehen.

Wirkungsmodell: Das Wirkungsmodell des Elastizitätsansatzes mit einem Prädiktor ist $\frac{\Delta y}{y} = \varepsilon \frac{\Delta x}{x}$. Nimmt der Prädiktor x um 1% zu, so nimmt die Zielgrösse y um ε zu.

Übertragbarkeit/Prognosefähigkeit: Die räumliche Übertragbarkeit und Prognosefähigkeit eines Elastizitätsansatzes ist gut, sofern sich das Verhalten in den Räumen ähnelt und nur marginale Veränderungen in der Zeit berechnet werden sollen.

Spezifisch: Da ein Elastizitätsansatz eine bestimmte Grösse voraussagt, ist er nur für eine spezifische Fragestellung anwendbar.

Herausforderungen: Die Elastizität in ihrer oben dargestellten Form ist ein linearer Ansatz. Er ist in der Regel nur für einen kleinen Bereich gültig, d.h. mit diesem Ansatz sollten vor allem inkrementelle Veränderungen der Zielgrösse untersucht werden. Für sehr grosse Änderungen muss der Ansatz ausgedehnt werden. Im Gegensatz zur Methode «Multivariates Modell» müssen beim Elastizitätsansatz Referenzdaten für die Zielgrösse vorhanden sein.

Anwendbarkeit: Der Elastizitätsansatz ist einfach anwendbar und erfordert wenig Verständnis für Statistik und Modelle.

Software: Der Elastizitätsansatz kann einfach in Excel o.ä. umgesetzt werden.

Bemerkung: Wie beim «Pivot Point»-Ansatz sind Referenzdaten für die Zielgrösse erforderlich, da mit dem Elastizitätsansatz inkrementelle Veränderungen eines Referenzzustands berechnet werden.

3.3 Abschätzung mittels Faktoren

Bei der Abschätzung mittels Faktoren wird die abhängige Variable (Zielgrösse) mittels eines konstanten Faktors aus einer dominierenden unabhängigen Variable (Prädiktor) berechnet. Werden für verschiedene Wertebereiche der unabhängigen Variablen unterschiedliche Faktoren angesetzt, so handelt es sich um eine diskretisierte univariate Funktion. Die Abschätzung mittels Faktoren ist so gesehen ein Spezialfall der diskretisierten univariaten Funktion.

Daten: Um eine Abschätzung mittels Faktoren durchführen zu können, muss entweder der funktionale Zusammenhang zwischen Zielgrösse und Prädiktor (d.h. der Umrechnungsfaktor) bekannt sein, oder es muss ein entsprechender Datensatz für die eigene Beschreibung der Funktion zur Verfügung stehen.

Wirkungsmodell: Das Wirkungsmodell der Abschätzung mittels Faktoren ist $y = f \cdot x$. Die Zielgrösse y wird berechnet, indem der Prädiktor x mit dem konstanten Faktor f multipliziert wird.

Übertragbarkeit/Prognosefähigkeit: Die räumliche Übertragbarkeit und Prognosefähigkeit der Abschätzung mittels Faktoren ist gut, sofern der Faktor raumunabhängig ist. Andernfalls ist eine Anpassung des Faktors mittels Korrekturfaktoren (z.B. für städtische und ländliche Gebiete) möglich. Die Prognosefähigkeit ist gegeben, wenn angenommen werden kann, dass der Faktor über einen grösseren Wertebereich konstant ist (Linearität) und der funktionale Zusammenhang auch in Zukunft unverändert bleibt.

Spezifisch: Da die Abschätzung mittels Faktoren eine bestimmte Grösse voraussagt, ist sie nur für eine spezifische Fragestellung anwendbar.

Herausforderungen: Die Abschätzung mittels Faktoren ist eine sehr starke Vereinfachung eines multivariaten Modells, indem nur ein dominierender Einflussfaktor berücksichtigt wird. Es muss daher sichergestellt werden, dass der berücksichtigte Prädiktor auch tatsächlich den dominierenden Einfluss auf die Zielgrösse hat. Zudem muss überprüft werden, ob die Annahme korrekt ist, dass der Faktor über alle Wertebereiche des Prädiktors konstant ist (Linearitätsannahme).

Anwendbarkeit: Die Abschätzung mittels Faktoren ist sehr einfach anwendbar und erfordert ein geringes Verständnis für Statistik und Modelle.

Software: Die Abschätzung mittels Faktoren kann einfach in Excel o.ä. umgesetzt werden.

3.4 Pivot Point

Der Pivot-Point-Ansatz untersucht den Zusammenhang zwischen einer abhängigen Variablen (Zielgrösse) und mehreren unabhängigen Variablen (Prädiktoren). Im Gegensatz zum multivariaten Modell wird jedoch die Zielgrösse nicht von Grund auf neu berechnet, sondern als (marginale) Veränderung im Vergleich zu einem Referenzpunkt.

Daten: Um den Pivot-Point-Ansatz anwenden zu können, muss die Nutzenfunktion V bekannt sein, ebenso ein Referenzzustand, der inkrementell verändert wird. Ist die Nutzenfunktion unbekannt, muss ein ausreichend grosser Datensatz für eine Schätzung der Parameter der Nutzenfunktion zur Verfügung stehen.

Wirkungsmodell: Im Zusammenhang mit verkehrsplanerischen Fragestellungen wird das Wirkungsmodell des Pivot-Point-Ansatzes oft in folgender Form formuliert (vgl. Ortúzar und Willumsen 2001):

$$p'_k = \frac{p_k^0 \cdot e^{V_k - V_k^0}}{\sum_j p_j^0 \cdot e^{V_j - V_k^0}}$$

mit

p'_k = Anteil der Alternative k im Planzustand

p_k^0 = Anteil der Alternative k im Referenzzustand

$(V_k - V_k^0)$ = Nutzendifferenz für die Alternative k

Das Wirkungsmodell beantwortet die Frage, wie sich der Anteil einer gewählten Alternative verändert, wenn sich der Nutzen dieser Alternative durch Veränderung der Parameter ändert.

Übertragbarkeit/Prognosefähigkeit: Die räumliche Übertragbarkeit und Prognosefähigkeit des Pivot-Point-Ansatzes ist gut, sofern die Parameter für die verschiedenen Räume gleich sind und marginale Veränderungen berechnet werden sollen.

Spezifisch: Da der Pivot-Point-Ansatz eine bestimmte Grösse voraussagt, ist es nur für eine spezifische Fragestellung anwendbar.

Herausforderungen: Der Pivot-Point-Ansatz ist ein inkrementeller Ansatz. Er ist in der Regel nur für einen relativ kleinen Bereich gültig, d.h. mit diesem Ansatz sollten vor allem inkrementelle Veränderungen der Zielgrösse untersucht werden. Im Gegensatz zur Methode «Multivariates Modell» müssen beim Pivot-Point-Ansatz Referenzdaten für die Zielgrösse vorhanden sein.

Anwendbarkeit: Der Pivot-Point-Ansatz ist relativ einfach anwendbar, erfordert aber ein gewisses Verständnis für inferenzstatistische Modelle und Verkehrsmodellierung.

Software: Der Pivot-Point-Ansatz kann einfach in Excel o.ä. umgesetzt werden.

Bemerkung: Wie beim Elastizitätsansatz sind Referenzdaten für die Zielgrösse erforderlich, da mit dem Pivot-Point-Ansatz inkrementelle Veränderungen eines Referenzzustands berechnet werden.

3.5 Diskretisierte univariate Funktion

Eine diskretisierte univariate Funktion untersucht den Zusammenhang zwischen einer abhängigen Variablen (Zielgrösse) und einer unabhängigen Variablen (Prädiktor). Es handelt sich um einen Spezialfall eines multivariaten Modells. Im Gegensatz zum multivariaten Modell wird nur ein dominierender Prädiktor betrachtet. Dieser wird jedoch diskretisiert, d.h. in Klassen aufgeteilt. Das Modell verknüpft somit den diskretisierten Prädiktor mit dem dazugehörigen Wert der Zielgrösse.

Daten: Um eine diskretisierte univariate Funktion anwenden zu können, muss entweder der funktionale Zusammenhang zwischen Zielgrösse und Prädiktor (inkl. der Diskretisierung) bekannt sein, oder es muss ein entsprechender Datensatz für die eigene Beschreibung der Funktion zur Verfügung stehen. Dabei ist der Zusammenhang zwischen Klassenbreite und Stichprobengrösse zu beachten: Bei geringer Stichprobengrösse führen zu viele Klassen zu wenig Datenpunkten pro Klasse und damit zu unsicheren Ergebnissen.

Wirkungsmodell: Das Wirkungsmodell einer diskretisierten univariaten Funktion ist im Grunde genommen eine Tabelle, die für jedes Intervall bzw. Klasse des Prädiktors einen Faktor oder direkt die zugehörige Zielgrösse angibt.

Übertragbarkeit/Prognosefähigkeit: Die räumliche Übertragbarkeit und Prognosefähigkeit einer diskretisierten univariaten Funktion ist möglich, sofern der funktionale Zusammenhang in den Räumen gleich ist und angenommen werden kann, dass der funktionale Zusammenhang sich auch in Zukunft nicht wesentlich verändert.

Spezifisch: Da eine diskretisierte univariate Funktion eine bestimmte Zielgrösse voraussetzt, ist es nur für eine spezifische Fragestellung anwendbar.

Herausforderungen: Die diskretisierte univariate Funktion ist im Grunde genommen eine Vereinfachung eines multivariaten Modells, womit im Vergleich zum multivariaten Modell die Aussagekraft sinkt. Es muss daher sichergestellt werden, dass der berücksichtigte Prädiktor auch tatsächlich den dominierenden Einfluss auf die Zielgrösse hat. Ebenso muss überprüft werden, ob die Diskretisierung eine sinnvolle Klassenbreite aufweist. Mit grossen Klassen kann zwar kleinen Stichproben begegnet werden, allerdings sinkt damit die Aussagekraft. Dieser generische Ansatz dient in erster Linie groben Abschätzungen.

Anwendbarkeit: Die Anwendung einer diskretisierten univariaten Funktion ist einfach und erfordert wenig Verständnis für Statistik und Modelle.

Software: Die Modellanwendung kann einfach in Excel o.ä. umgesetzt werden.

3.6 Gravitationsansatz

Der Gravitationsansatz beruht auf einer Analogie zum Newtonschen Gravitationsgesetzes, nachdem die Anziehungskraft zwischen zwei Körpern proportional zu ihrer Masse und invers proportional zum Quadrat ihrer Entfernung ist. Dieses Prinzip wird verwendet um verschiedene Zusammenhänge, wie z.B. die bilateralen Handelsströme zwischen zwei Ländern, zu modellieren. In der Verkehrsmodellierung wird der Gravitationsansatz vor allem für die Berechnung der Verkehrsverteilung verwendet. Die Masse einer Zelle entspricht dabei ihrem Quell- und Zielverkehrsaufkommen und die Entfernung zwischen den Zellen den generalisierten Kosten über alle Verkehrsmittel.

Mathematisch betrachtet, berechnet das Gravitationsmodell aus den Matrixrandsummen (Quell- und Zielverkehrsaufkommen) für jede Matrixzelle F_{ij} die Anzahl Fahrten von Quelle i nach Ziel j gemäss der folgenden Formel:

$$F_{ij} = k_{ij} \cdot Q_i \cdot Z_j \cdot f(V_{ij})$$

Wobei

k_{ij} = Normierungsfaktor (Lagegunst) für die Beziehung von Quelle i nach Ziel j

Q_i = Quellverkehr von Bezirk i

Z_j = Zielverkehr von Bezirk j

V_{ij} = Wert für die Nutzenfunktion bzw. generalisierten Kosten für eine Fahrt von i nach j

Die Funktion $f(V_{ij})$ kann dabei verschiedene Formen annehmen. In PTV Visum sind beispielsweise fünf verschiedenen Modelle hinterlegt (vgl. Handbuch PTV Visum 2020, S. 258). Das bekannteste in der Verkehrsplanung dürfte das Logit-Modell sein mit

$$f(UV_{ij}) = e^{c \cdot V_{ij}}$$

Daten: Um den Gravitationsansatz anwenden zu können, müssen die Randsummen der Matrix und der (negative) Nutzen für die Reise von i nach j bekannt sein. Der Nutzen kann dabei aus einem einzigen Wert (z.B. der Reisezeit) oder aus einer Funktion bestehen. Im zweiten Fall müssen auch die Modellparameter β der Nutzenfunktion sowie die Werte der Attribute bekannt sein (vgl. Wirkungsmodell multivariates Modell).

Wirkungsmodell: Das Wirkungsmodell des Gravitationsansatzes ist die Verteilungsfunktion $F_{ij} = k_{ij} \cdot Q_i \cdot Z_j \cdot f(V_{ij})$

Übertragbarkeit/Prognosefähigkeit: Die räumliche Übertragbarkeit eines Gravitationsmodells ist gut, sofern sich das Verhalten in den Räumen ähnelt.

Spezifisch: Da ein Gravitationsmodell die Verteilung einer Zielgrösse voraussagt, ist es nur für eine spezifische Fragestellung anwendbar.

Herausforderungen: Sofern die Parameter der Funktion nicht bekannt sind, ist die Bestimmung und Plausibilisierung der Parameter anhand eines genügend grossen Datensatzes eine anspruchsvolle Aufgabe (vgl. Herausforderungen Multivariates Modell). Für die Anwendung des Modells ist eine entsprechende Software notwendig. Verhalten, das auf einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen vom Durchschnitt abweicht (z.B. die hohe Anzahl Pendlerwege zwischen Zürich und Bern) ist schwierig zu modellieren. Hierzu kann in gewissem Ausmass der Normierungsfaktor k_{ij} verwendet werden.

Anwendbarkeit: Der Gravitationsansatz ist grundsätzlich einfach anwendbar, erfordert aber ein gewisses Grundverständnis für Statistik und Modellierung. Es kann neben der Verkehrsverteilung auch für andere Probleme verwendet werden, bei denen aus Randsummen Matrixwerte abgeleitet werden sollen.

Software: Ein Gravitationsmodell kann relativ einfach in PTV Visum berechnet werden. Es gibt jedoch auch entsprechende Libraries für Statistik-/Mathematik-Programme wie R, MATLAB oder für Python.

Bemerkung: Die Parameter der Nutzenfunktion können mittels Multivariaten Modellen ermittelt werden.

3.7 Zusammenfassung

Die in diesem Kapitel vorgestellten generischen Ansätze dienen dazu, eine interessierende Zielgrösse mittels einer oder mehreren Einflussgrössen zu beschreiben. Die Modelle lassen sich dabei entlang gewisser Faktoren gruppieren: Einige Modelle gehen von einer dominierenden Einflussgrösse aus, andere basieren auf mehreren Einflussgrössen, die anhand von Nutzenfunktionen in einen Gesamtnutzen umgerechnet werden. Es gibt generische Modelle, die einen Ausgangs- oder Referenzpunkt benötigen und von diesem ausge-

hend Veränderungen berechnen, andere berechnen die Zielgröße von Grund auf. Folgende Abb. 2 zeigt eine mögliche Gruppierung der vorgestellten generischen Modelle anhand von folgenden drei Faktoren:

- **Einflussgrößen:** Wie monokausal kann die Aufgabenstellung betrachtet werden: Gibt es eine dominierende Einflussgröße oder werden verschiedene Einflussgrößen berücksichtigt? Wird nur ein dominierender Einfluss berücksichtigt, wird die Zielgröße anhand von Faktoren berechnet. Soll der Zusammenhang zwischen der Zielgröße und mehreren Einflussgrößen untersucht werden, so kommen Nutzenfunktionen zum Einsatz, die die jeweiligen Einflüsse mittels Parameter gewichten und in einen Gesamtnutzen umrechnen.
- **Referenzpunkt:** Gibt es einen belastbaren Referenzpunkt, auf den die Berechnung abgestützt werden kann oder sind zur interessierenden Zielgröße keine Anhaltspunkte vorhanden? Im ersten Fall wird die Zielgröße jeweils nicht von Grund auf neu berechnet, sondern es werden (marginale) Veränderungen im Bezug zum Referenzpunkt ermittelt. Ist kein Referenzpunkt vorhanden, wird die Zielgröße anhand der Einflussgrößen neu berechnet.
- **Linearität des Zusammenhangs:** Kann die Zielgröße mittels eines konstanten Faktors aus der dominierenden Einflussgröße hergeleitet werden oder ist der Zusammenhang nicht über den gesamten Bereich der Einflussgröße linear?

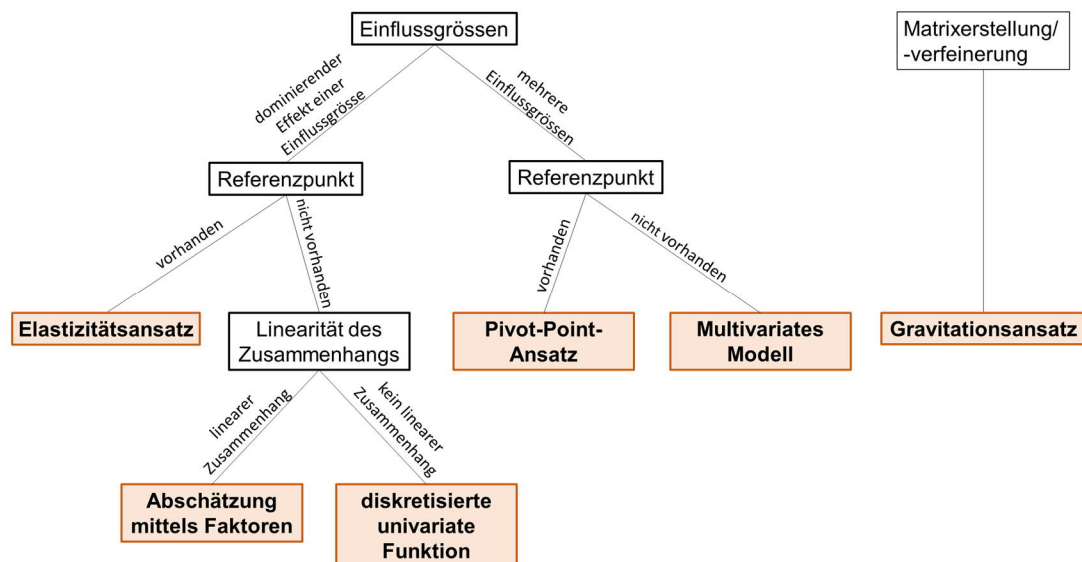


Abb. 2 Gruppierung generischer Ansätze

Die Auswahl eines geeigneten generischen Ansatzes kann unter Zuhilfenahme dieser Gruppierung erfolgen. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Hinweise nicht als fixes Regelwerk zu verstehen sind. Die Beurteilung der drei Faktoren erfordert einige Abwägungen, denn Zusammenhänge sind in der Realität nie monokausal. Das heisst, dass der Entscheid, die Fragestellung mittels eines dominierenden Faktors zu bearbeiten, bereits eine vereinfachende Annahme ist. Gründe für diesen Entscheid können mannigfaltig sein: Andere Einflüsse sind tatsächlich vernachlässigbar (Abstraktionsgrad), die vorhandenen Grundlagen lassen keine Anwendung des Pivot-Point-Ansatzes zu, die Flughöhe der Fragestellung legt diese Vereinfachung nahe. Ähnliche Überlegungen gelten auch für den Aspekt des Referenzpunktes: So kann zum Beispiel auch ein multivariates Modell statt des Pivot-Point-Ansatzes gerechnet werden, selbst wenn ein Referenzpunkt vorhanden ist. Gründe für diesen Entscheid könnte zum Beispiel ein zwar vorhandener, aber wenig belastbarer Referenzpunkt sein.

Im folgenden Kapitel 0 sowie im Rahmen der Praxisbeispiele in Kapitel 0 wird verdeutlicht, wie mittels des Flussdiagramms in Abb. 2 für eine konkrete Fragestellung ein geeigneter generischer Ansatz ausgewählt werden kann.

4 Potenzielle Anwendungsfälle

In diesem Kapitel werden Anwendungsbereiche identifiziert, die ein grosses Potenzial für generische Ansätze in der Verkehrsplanung haben. Auf der Grundlage der Erfahrungswissens der Bearbeiter, der Begleitkommission und den Teilnehmern des Expertenworkshops wurden dazu typische verkehrsplanerische Fragestellungen gesucht, bei denen synthetische Verkehrsmodelle an ihre Grenzen kommen, die nur schwer zu beantworten sind, wenn für den Untersuchungsraum kein geeignetes Verkehrsmodell vorliegt oder deren Beantwortung mit einem synthetischen Verkehrsmodell mit grossem Aufwand verbunden ist.

Das Ziel bei der Sammlung der Anwendungsbereiche ist es, ein mögliches breites Spektrum von Problemstellungen abzudecken, die in der Verkehrsplanung auftreten. Gleichzeitig ist aber die Auswahl eines passenden generischen Ansatzes stark von der konkreten Formulierung der Fragestellung abhängig. Sollen z.B. die Auswirkungen einer neuen Velovorzugsroute untersucht werden, können mit einem synthetischen Modell die Auswirkungen auf den Modalsplit und die Streckenbelastungen im Netz mit dem gleichen Modell beantwortet werden. Nutzt man hingegen generische Ansätze, so sind hierfür zwei verschiedene Ansätze notwendig. Der grösste Aufwand bei der Anwendung von generischen Modellen liegt daher in der Regel in der Spezifikation des Problems und in der Abgrenzung der zulässigen Vereinfachungen.

Aus diesen Gründen ist es nicht möglich, für jede mögliche Fragestellung anzugeben, welcher generische Ansatz generell gut geeignet ist. Als Hilfestellung für Anwender*innen wird vielmehr anhand von neun konkreten Anwendungsfällen aufgezeigt, wie bei der Auswahl des passenden generischen Ansatzes vorgegangen werden kann. Die Anwendungsfälle decken eine breite Palette an Themenbereichen wie Infrastruktur- oder Angebotsmassnahmen, personen- und kohortenbezogene Trends, intermodale Verkehrsmittelkombinationen und Langsamverkehr und neue Verkehrsmittel ab. Es werden die folgenden Anwendungsfälle betrachtet:

- Auswirkungen von Infrastruktur-/Angebotsmassnahmen
 - Auswirkungen Angebotsmassnahmen auf den Modalsplit (Kap. 4.1)
 - Auswirkung von Infrastrukturprojekten auf Tourismusfahrten (Kap 4.2)
 - Auswirkungen eines Parkraummanagements auf die Anzahl MIV-Fahrten (Kap 4.3)
- Personen- und Kohortenbezogene Trends
 - Auswirkungen von demografischen Trends auf Verkehrsverhalten (Kap 4.4)
 - Auswirkungen von Trends im Verkehrsverhalten auf Quell-Ziel-Matrizen (Kap 4.5)
- Intermodale Verkehrsmittelkombinationen
 - Auswirkungen einer neuen Park&Ride (P&R) Anlage auf die Anzahl MIV-Fahrten (Kap 4.6)
- Langsamverkehr und Neue Verkehrsmittel
 - Potenzialabschätzung für «neue» Verkehrsmittel (Kap 4.7)
 - Auswirkungen einer städtischen Velovorzugsroute (Kap 4.8)
 - Analyse der Nutzung von Parks / Freizeitflächen (Kap 4.9)

In den folgenden Unterkapiteln wird für jede dieser Fragestellung theoretisch aufgezeigt, wie diese mit synthetischen Modellen und mit generischen Ansätzen gelöst werden kann. Für die generischen Ansätze wird erläutert, welche Ansätze sich aus welchen Gründen eignen. Abschliessend werden die Vor- und Nachteile der jeweiligen Ansätze kurz erläutert. Ein Faktenblatt fasst die Erkenntnisse jeweils zusammen.

4.1 Auswirkungen von Angebotsmassnahmen auf den Modalsplit

Eine typische Fragestellung in der Verkehrsplanung ist, wie sich verschiedene Massnahmen, z.B. Einführung einer neuen ÖV-Linie, Bau einer Umfahrung oder Verbesserung der Veloinfrastruktur auf den Modalsplit auswirken. Häufig ist dabei nicht nur die Wirkung einzelner Massnahmen, sondern auch die Wirkung ganzer Massnahmenbündel interessant. In dem hier gewählten Beispiel soll die Auswirkung eines Bündels von Angebotsmassnahmen auf den Modalsplit in einem bestimmten Korridor abgeschätzt werden. Es liegt ein Verkehrsmodell vor, das jedoch nicht auf den Modalsplit in diesem Korridor kalibriert wurden. Der heutige Modalsplit im Korridor ist aufgrund einer unabhängigen Erhebung bekannt.

Die Untersuchung der Auswirkungen von Angebotsmassnahmen auf den Modalsplit ist eine klassische Anwendung für ein synthetisches Verkehrsmodell. Offen ist hier vor allem, wie mit den Abweichungen zwischen dem Modalsplit im Modell und dem erhobenen Modalsplit umgegangen werden soll. Hierzu gibt es grundsätzlich zwei Ansätze: Beim ersten Ansatz wird das Modell nachkalibriert und anschliessend angewendet. Der Modalsplit mit den Massnahmen kann dann direkt aus dem Modell ausgelesen werden. Eine andere Möglichkeit ist, die Massnahmen ohne Nachkalibration in das bestehende Modell einzubauen und dann den resultierenden Modalshift, d.h. die relative oder absolute Veränderung der Verkehrsmittelanteile in Modell, auf den erhobenen Modalsplit anzuwenden.

Die Auswahl eines geeigneten generischen Ansatzes hängt, wie in Kapitel 3.7 aufgezeigt, von den Grundlagen, der gewünschten Aussage und den relevanten Einflussfaktoren ab. Bei der vorliegenden Fragestellung gibt es nicht einen dominierenden Effekt, sondern es ändern sich verschiedene Aspekte des Verkehrsangebotes, die einen Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl haben. Zentral ist darüber hinaus, die Veränderung gegenüber dem heutigen Modalsplit auszuweisen, d.h. es gibt einen Referenzpunkt. Damit ist der Pivot Point Ansatz von den in Kapitel 3 beschriebenen generischen Ansätzen am besten für die Beantwortung der Fragestellung geeignet.

Für die Berechnung des **Pivot-Points** werden die Parameter der Nutzenfunktion für jedes Verkehrsmittel benötigt. Diese können aus dem Verkehrsmodell oder aus Befragungsdaten, z.B. der an den Mikrozensus gekoppelten SP-Befragung zur Verkehrsmittel- und Routenwahl (vgl. ARE 2017), übernommen werden. Dann werden für jede Relation die verkehrsmittelbezogenen Kosten bestimmt. Quelle dafür kann z.B. das bestehende Verkehrsmodell sein. Für den Referenzzustand werden die Kosten so verändert, dass sie die zu untersuchenden Massnahmen abbilden. Daraus kann mit der Pivot-Point Formel für jede Relation ein neuer Modalsplit bzw. der Modalshift berechnet werden.

Der Vorteil der Anwendung eines synthetischen Verkehrsmodells ist, dass die Veränderung des Angebots (z.B. ein neuer ÖV-Fahrplan) direkt in das Modell implementiert wird. Dadurch werden weniger Annahmen zu den Auswirkungen der Angebotsänderungen benötigt. Das Ergebnis ist daher unabhängiger von den Anwender*innen und besser reproduzierbar. Zudem können komplexe Interaktionen besser abgebildet werden.

Die Anpassungen im Pivot-Point Ansatz sind hingegen besser nachvollziehbar, da diese jeweils durch die Anwender*innen begründet werden müssen. Ausserdem sind Analysen auf einer höheren Flughöhe möglich, wenn z.B. noch kein neuer ÖV-Fahrplan vorliegt.

Zudem ist der Aufwand für eine Modellanwendung deutlich grösser und erfordert eine gute Grundkenntnis des Verkehrsmodells, mit dem die Massnahmen untersucht werden sollen. Der Aufwand für die Nachkalibrierung ist dabei noch grösser als für die Modalshift-Betrachtung mit Modell.

In Kapitel 6.1 wird dieser Anwendungsfall anhand eines konkreten Praxisbeispiel vertieft diskutiert.

Fragestellung

Auswirkungen diverser Massnahmenbündel (z.B. Einführung einer neuen ÖV-Linie oder Verbesserung der MIV-Infrastruktur) auf den **Modalsplit** in einem Korridor (im Sinne eines Relationenbündels)

Rahmenbedingungen: Es existieren Nachfragematrizen für verschiedene Verkehrsmittel, die jedoch nicht auf den relationsbezogenen Modalsplit kalibriert wurden. Es existieren unabhängige Daten zum relationsbezogenen Modalsplit (z.B. aus dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr).

Wie würde diese Fragestellung mit synthetischen Modellen gelöst?

Nachkalibration	Prüfung des Modells, ob der Modalsplit im betrachteten Korridor valide abgebildet wird. Falls nicht: Nachkalibration des Modells auf den relationsbezogenen Modalsplit auf Basis von Zählwerten. Implementierung der Massnahmen und Nachfrageberechnung (Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl). Bestimmung des veränderten Modalsplits direkt aus dem Modell.
Modalshift	Keine Nachkalibrierung des Modells. Implementierung der Massnahmen und Neuberechnung der Nachfrage (Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl). Bestimmung des Modalshifts durch Differenzbildung. Anwendung des Modalshifts auf den bestehenden Modalsplit (aus anderen Quellen).

Mit welchen generischen Modellansätzen lässt sich die Fragestellung beantworten?

Pivot Point	Auswertung des relationsbezogenen Modalsplits aus den Matrizen. Ermittlung der verkehrsmittelbezogenen Reisekosten (aus Modellen oder Routenplanern) und Bewertungsparameter (Parameter der Nutzenfunktion aus z.B. SP-Befragungen). Pivot Point-Ansatz zur Berechnung des neuen relationsbezogenen Modalsplits, indem die Eingangsgrössen der Nutzenfunktion aufgrund der Massnahmen angepasst werden (z.B. Reisezeitverkürzung im ÖV). Bestimmung des Modalshifts durch Differenzbildung. Anwendung des Modalshifts auf den bestehenden Modalsplit (aus anderen Quellen).
-------------	---

Welche Datengrundlagen sind dafür erforderlich und wie werden diese bezogen?

Pivot Point	Nutzenfunktionen aus dem Modell, Verkehrsmittelwahl (Modalsplit) für die betroffenen Relationen im Modell, effektiver Modalsplit für die betroffenen Relationen aus anderen Quellen (z.B. Erhebungen)
-------------	---

Würdigung der Ansätze

Synthetische Ansätze gewährleisten höhere Reproduzierbarkeit/Unabhängigkeit von den Anwender*innen (weniger Experteneinschätzung). Abbildung höherer Komplexität möglich. Hoher zeitlicher Aufwand (bei Variante Modalshift deutlich geringer als bei Variante Nachkalibration).

Pivot-Point-Ansatz ermöglicht manuelle Eingriffe an mehreren Stellen, ggf. bessere Nachvollziehbarkeit, höherer Wert der Experteneinschätzung, allerdings quantifiziert und damit kommunizierbar. Mittlerer zeitlicher Aufwand.

Die Variante Nachkalibration basiert auf der Annahme, dass der Modalsplit im Modell in sich konsistent ist, in der absoluten Grösse aber von der Realität abweichen kann.

Wahl des Ansatzes stark von Planungsstand, Datenverfügbarkeit und Relevanz der Fragestellung abhängig.

4.2 Auswirkung von Infrastrukturprojekten auf Tourismusfahrten

Die meisten in der Schweiz eingesetzten Verkehrsmodelle setzen den Schwerpunkt auf den Alltagsverkehr. Tourismusfahrten mit Übernachtungen werden darin in der Regel nicht abgebildet. Will eine Tourismusgemeinde die Auswirkungen eines Infrastrukturprojektes wie den Bau einer Umfahrungsstrasse oder die Einrichtung einer neuen ÖV-Linie untersuchen, stellt sich oft die Frage, welche Auswirkungen dies auf Übernachtungsgäste und ihre Verkehrsmittelwahl bei der An- und Abreise hat.

Um diese Fragestellung mit einem bestehenden synthetischen Modell beantworten zu können, muss das Modell zunächst um ein neues Nachfragesegment erweitert werden. Dies ist notwendig, da sich die Wahlentscheidungen bei Tourismusfahrten in allen Bereichen (Anzahl Wege, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl) fundamental von denen für Alltagsfahrten unterscheiden. Daher müssen auch völlig neue Parameter auf Basis spezifischer Erhebungen ermittelt werden. Als Strukturgrössen können z.B. die Anzahl Betten in der Gemeinde verwendet werden. Je nach Ausrichtung der Gemeinde ist auch eine Erstellung von saisonalen Tourismusmatrizen (je Verkehrsmittel) sinnvoll. Zudem werden Informationen über die Anzahl Besucher spezifischer Tourismusdestinationen (sozusagen die Zielseite) benötigt. Erst nach der Erweiterung des synthetischen Modells wären anschliessend die Auswirkungen der Infrastrukturprojekte durch Anwendung des Modells inkl. Neuberechnung Ziel- und Verkehrsmittelwahl ermittelbar.

Die Auswahl eines geeigneten generischen Ansatzes hängt, wie in Kapitel 3.7 aufgezeigt, von den Grundlagen, der gewünschten Aussage und den relevanten Einflussgrössen ab. Ob eine oder mehrere Einflussgrössen relevant sind, ist abhängig vom zu betrachtenden Infrastrukturprojekt. Handelt es sich um ein Strassenprojekt, so geht es vor allem um die Verbesserung der Reisezeit im MIV und damit um eine einzige Einflussgrösse. Bei der Einführung einer neuen ÖV-Linie können neben der Reisezeit im ÖV weitere Faktoren wie die Anzahl Umsteigevorgänge oder die Zu- und Abgangszeit relevant sein. Diese können aber auch in Reisezeitäquivalente umgerechnet werden, womit sich die Einflussgrössen auf eine reduzieren. Im Hinblick auf den Referenzzustand sind gemäss Aufgabenstellung die Auswirkungen auf den Tourismusverkehr gesucht und damit die Veränderung gegenüber einem Referenzzustand. Im vorliegenden Anwendungsbeispiel liegt jedoch noch kein Referenzzustand vor, sondern muss zunächst noch ermittelt werden.

Der erste geeignete generische Ansatz ist die Abschätzung der Nachfragereaktion mit **Elastizitäten**. Dazu muss jedoch zunächst der Referenzzustand in Form von verkehrsmittelspezifischen Tourismusmatrizen ermittelt werden. Dies kann beispielsweise durch eine Gästebefragung erfolgen oder auch aus anderen Statistiken wie den aggregierten Wohnorten von Hotelgästen oder der Nutzung von Gästeparkplätzen. Liegen die Tourismusmatrizen vor, können die Auswirkungen der Infrastrukturmassnahmen z.B. auf die Verkehrsmittelwahl mittels Elastizitäten bestimmt werden. Bei der Recherche der Elastizitäten ist es wichtig, Quellen zu verwenden, die sich explizit auf Tourismusfahrten beziehen, da diese sich deutlich von den Elastizitäten für alltägliche Verkehre unterscheiden können.

Der zweite Ansatz ist die Berechnung der Nachfragereaktion mit einem **multivariaten Modell**. Auch für diesen Ansatz müssen zunächst die Tourismusmatrizen auf Grundlage von empirischen Daten ermittelt werden. Dann müssen für die Schätzung des multivariaten Modells geeignete Datensätze gefunden werden. Eine Möglichkeit sind die Ergebnisse des Zusatzmoduls «Reisen mit Übernachtungen» des Mikrozensus' über mehrere Jahre kombiniert mit Angaben zu grösseren Infrastrukturprojekten in der Nähe von Tourismusregionen im gleichen Zeitraum. Auf Basis dieser Daten könnte ein multivariates Regressionsmodell geschätzt werden, dessen abhängige Variable z.B. der Modalshift ist. Dieses Modell kann dann angewandt werden, um die Reaktion auf das Infrastrukturprojekt zu ermitteln.

Bei allen Ansätzen ist zu beachten, dass Tourismusverkehre mit Übernachtung je nach Ort starken saisonalen Schwankungen (Winter- bzw. Sommerdestination) unterliegen. Deshalb ist bei der Abgrenzung der Aufgabenstellung abzuklären, ob saisonale Schwankungen auftreten und welches die relevante Saison ist.

Eine Erweiterung eines bestehenden synthetischen Modells ist mit grossem Aufwand verbunden und daher nur dann sinnvoll, wenn abzusehen ist, dass in Zukunft regelmässig Anwendungen mit Bezug Tourismusfahrten durchgeführt werden sollen. Bei der Ermittlung eines neuen Nachfragesegments muss sichergestellt sein, dass nur bisher nicht abgebildete Verkehre enthalten sind. Ansonsten besteht die Gefahr, dass solche Verkehre bereits durch andere Verkehrszwecke (z.B. Freizeitverkehr) abgedeckt sind und doppelt betrachtet werden.

Der Aufwand für die Ermittlung der empirischen Matrizen ist stark abhängig von der Datenverfügbarkeit. Können geeignete Elastizitäten gefunden werden, ist eine Abschätzung der Auswirkungen mittels Elastizitäten einfach durchzuführen und mit relativ wenig Aufwand verbunden. Die grösste Herausforderung wird sein, geeignete Datengrundlagen für die Ableitung von Matrizen sowie der Elastizitäten zu finden.

Die Schätzung des multivariaten Modells ist eine herausfordernde Aufgabe und mit einem gewissen Aufwand, vor allem für die Datenbeschaffung, verbunden. Bei der Anwendung des Modells ist der Gültigkeitsbereich des Modells zu berücksichtigen und die berechneten Veränderungen kritisch zu hinterfragen.

Fragestellung

Auswirkung von **Infrastrukturprojekten** auf **Tourismusfahrten** mit Übernachtung, die im Verkehrsmodell nicht abgebildet werden.

Rahmenbedingungen: Es existiert keine Nachfragematrix für Tourismusfahrten.

Wie würde diese Fragestellung mit synthetischen Modellen gelöst?

(Teil-) Neuschätzung eines bestehenden multimodalen Modells um ein neues Nachfrage-segment. Schätzung einer Nutzenfunktion für die Ziel- und Verkehrsmittelwahl auf Basis spezifischer Erhebungen. Erstellung saisonaler Tourismusmatrizen (je Verkehrsmittel) unter Berücksichtigung der Anzahl und Herkunft von Übernachtungsgästen und des zuvor erstellten Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells. Nachkalibration des gesamten Verkehrsmodells auf die Zähl-daten. Bewertung der Infrastrukturprojekte durch Anwendung des Modells inkl. Neuberechnung Ziel- und Verkehrsmittelwahl.

Mit welchen generischen Modellansätzen lässt sich die Fragestellung beantworten?

Elastizitäten Erstellung saisonaler Tourismusmatrizen auf Basis spezifischer Erhebungen zu Anzahl, Herkunft und Verkehrsmittelwahl der Übernachtungsgäste. Ableitung von Elastizitäten (z.B. Preis- oder Reisezeitelastizität) auf Basis Literaturrecherche. Abschätzung der Nachfragereaktion auf ein neues Infrastrukturprojekt mittels Elastizitäten.

Multivariates Modell Erstellung saisonaler Tourismusmatrizen auf Basis spezifischer Erhebungen zu Anzahl, Herkunft und Verkehrsmittelwahl der Übernachtungsgäste. Schätzung eines multivariaten Regressionsmodells zum Einfluss grosser Infrastrukturprojekte auf Tourismusfahrten (z.B. Herkunft, Verkehrsmittelwahl) auf Basis von Jahresreihen aus dem Mikrozensus Zusatzmodul und Angaben zu den (grossen) vorhandenen bzw. geplanten Infrastrukturprojekten. Nutzung des multivariaten Modells für die Berechnung der Nachfragereaktionen mittels Pivot Point.

Welche Datengrundlagen sind dafür erforderlich und wie werden diese bezogen?

Elastizitäten Auswertung von Hoteldaten zur Herkunft und Verkehrsmittelwahl (z.B. aus Erhebungen für Kurtaxe), Literaturrecherche zu Elastizitäten

Multivariates Modell Hoteldaten (s.o.), Mikrozensus Modul mit Übernachtungen, Liste grösserer Infrastrukturprojekte und Auswirkungen auf relevante Variablen

Würdigung der Ansätze

Tourismusverkehre mit Übernachtung unterliegen je nach Ort starken saisonalen Schwankungen (Winter- bzw. Sommerdestination). Deshalb gilt es je Infrastrukturprojekt zu klären, ob saisonalen Schwankungen auftreten, welches die relevante Saison ist und auf welchen Anteil der saisonalen Spitzen die Infrastruktur ausgelegt werden soll.

Eine Erweiterung des synthetischen Modells ist mit grossem Aufwand verbunden und daher nur dann sinnvoll, wenn abzusehen ist, dass in Zukunft regelmässig Anwendungen mit Bezug Tourismusfahrten durchgeführt werden sollen. Bei der Ermittlung eines neuen Nachfragesegments muss sichergestellt sein, dass nur bisher nicht abgebildete Verkehre enthalten sind. Ansonsten besteht die Gefahr, dass solche Verkehre bereits in anderen Verkehrszwecken (z.B. Freizeitverkehr) abgedeckt sind.

Die grösste Herausforderung für die generischen Ansätze ist die Schätzung der empirischen Matrizen, da hierfür kaum Datengrundlagen vorhanden sind. In vielen Fällen wird eine Erhebung passender Daten notwendig sein. Für die Anwendung des Elastizitätsansatzes kann es zudem eine sein, in der Literatur geeignete Elastizitäten zu finden. Die Schätzung des Multivariaten Modells ist eine herausfordernde Aufgabe und mit einem gewissen Aufwand verbunden. Bei der Anwendung des Modells sind die berechneten Veränderungen kritisch zu hinterfragen.

4.3 Auswirkungen eines Parkraummanagements auf die Anzahl MIV-Fahrten

Da jede MIV-Fahrt auf einem Parkplatz startet und auf eben solch einem endet, kommt dem Thema Parkraummanagement in der Verkehrsplanung eine grosse Bedeutung zu. Die Abschätzung der Auswirkungen eines Parkraummanagements auf die Anzahl MIV-Fahrten ist daher ein potenziell wichtiger Anwendungsbereich. Für eine Stadt oder Gemeinde ist aus verkehrsplanerischer Sicht in erster Linie die Frage nach dem MIV-Aufkommen relevant. Im Folgenden wird diskutiert, wie die Reduktion der Anzahl MIV-Fahrten in einem Perimeter durch die Einführung eines Parkraummanagements bestimmt werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass die Ausgestaltung des Parkraummanagements (Bepreisung, räumlicher und zeitlicher Anwendungsbereich, Anzahl Parkplätze, Leitsystem für freie Parkplätze) bekannt ist. Weiter wird angenommen, dass Nachfragematrizen für verschiedene Verkehrsmittel existieren.

Das Parkraummanagement kann in klassischen synthetischen Verkehrsmodellen abgebildet werden, indem die Parkkosten in die Nutzenfunktion integriert werden. In den heute gängigen Verkehrsmodellen werden Parkkosten i.d.R. in einer pauschalen Form berücksichtigt, allerdings zu wenig differenziert, als dass lokale Regimes abgebildet werden könnten. Eine Neuintegration von Parkkosten in ein bestehendes Modell erfordert Änderungen der Modellstruktur, die Neuschätzung und Integration neuer Nutzenfunktionen, die Neuberechnung der Nachfrage sowie eine Neukalibration.

Die Auswahl eines geeigneten generischen Ansatzes hängt, wie in Kapitel 3.7 aufgezeigt, von den Grundlagen, der gewünschten Aussage und den relevanten Einflussfaktoren ab. Im Fokus des Interesses liegt die Veränderung der MIV-Matrix durch Einführung eines Parkraummanagements. Mit der bestehenden MIV-Nachfragematrix steht also ein Referenzpunkt zur Verfügung. Die vorliegende Fragestellung kann zudem je nach verfügbarer Datengrundlage stärker oder weniger stark vereinfacht werden.

Eine starke Vereinfachung führt zu der Annahme, dass ein dominierender Faktor wie z.B. die Parkkosten für die Nachfrage entscheidend ist. In diesem Fall kann die Fragestellung mit einem **Elastizitätsansatz** bearbeitet werden. Hierzu müssen Elastizitäten für die Nachfrageveränderungen beim MIV anhand einer Literaturrecherche bestimmt werden. Anschliessend erfolgt die Anwendung der Elastizitäten auf die MIV-Matrix im Untersuchungsraum. Da der Elastizitätsansatz (marginale) Veränderungen von einem Referenzpunkt aus berechnet, müssen im Referenzzustand bereits Parkkosten implementiert sein. Sollten im Referenzzustand keine Parkkosten vorhanden sein, könnten behelfsmässig fiktive Kosten als Ausgangslage dienen, beispielsweise durch Umrechnung der Parksuchzeit in monetäre Kosten.

Ein **Pivot-Point-Ansatz** bedeutet eine weniger starke Vereinfachung der Fragestellung, da damit mehrere Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Zunächst müssen die Parameter der Nutzenfunktion auf Basis einer SP-Befragung oder anhand einer Literaturrecherche ermittelt werden. Anschliessend wird der relationsbezogene Modalsplit für den Quell-Ziel- und Binnenverkehr der betreffenden Zonen innerhalb des Parkraummanagements ausgewertet. Mit dem Pivot-Point-Ansatz wird der neue relationsbezogene Modalsplit unter Berücksichtigung des Parkraummanagements bestimmt.

Für die Anwendung des Pivot-Point-Ansatzes werden die Parameter der Nutzenfunktion für jedes relevante Verkehrsmittel benötigt. Diese können aus dem Verkehrsmodell oder aus Befragungsdaten, z.B. der SP-Befragung im Rahmen des Mikrozensus (vgl. ARE 2017), übernommen werden. Für den Elastizitätsansatz müssen Elastizitäten für Parkkosten recherchiert werden.

Der Vorteil der Anwendung eines synthetischen Verkehrsmodells ist, dass die Nachfrageberechnung direkt im Verkehrsmodell erfolgt. Bei der Erstellung des Modells müssen zwar ebenso wie beim generischen Ansatz diverse Annahmen getroffen werden. Bei einer nochmaligen Anwendung des Modells aber kann im Gegensatz zu einem generischen Ansatz mit weniger Annahmen gearbeitet werden. Das Ergebnis ist damit unabhängiger von den

Anwender*innen und besser reproduzierbar. Der Aufwand für eine Anpassung und Neuschätzung des klassischen synthetischen Nachfragemodells ist jedoch finanziell und zeitlich im Rahmen einer Projektbearbeitung nicht realistisch leistbar. Die Berechnung mit dem Pivot-Point Ansatz ist deutlich weniger aufwändig und gut nachvollziehbar, da die Annahmen durch die Anwender*innen begründet werden müssen. Noch einfacher ist die Anwendung des Elastizitätsansatz, da hier keine Nutzenfunktionen zum Einsatz kommen. Es ist zu beachten, dass Parkkosten in der Regel anders bewertet werden als z.B. Treibstoffkosten. Für die Nutzenfunktionen und Elastizitäten sollten daher Befragungen oder Quellen verwendet werden, die explizit Parkplatzkosten berücksichtigen.

Fragestellung

Auswirkungen eines **Parkraummanagements** auf die Anzahl MIV-Fahrten im Perimeter aus kommunaler Sicht. Die Ausgestaltung des Parkraummanagements (Bepreisung, räumlicher und zeitlicher Anwendungsbereich, Anzahl Parkplätze, Leitsystem für freie Parkplätze) ist bekannt.

Rahmenbedingungen: Es existieren Nachfragematrizen für verschiedene Verkehrsmittel.

Wie würde diese Fragestellung mit synthetischen Modellen gelöst?

Makroskopisches Integration der Parkkosten in die Nutzenfunktion für die Ziel- und Verkehrsmittelwahl auf Basis einer SP-Befragung. Neuberechnung der Nachfrage (Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl).

Mit welchen generischen Modellansätzen lässt sich die Fragestellung beantworten?

Pivot-Point	Ermittlung einer Nutzenfunktion mit Parkkosten für die Verkehrsmittelwahl auf Basis einer SP-Befragung. Auswertung des relationsbezogenen Modalsplits für Quell-Ziel- und Binnenverkehr der betreffenden Zonen innerhalb des Parkraummanagements. Pivot-Point-Ansatz zur Berechnung des neuen relationsbezogenen Modalsplits. Bestimmung des Modalshifts durch Differenzbildung.
Elastizität	Ermittlung von Gesamtelastizität und Kreuzelastizitäten für die Nachfrageveränderungen beim MIV, ÖV, Langsamverkehr durch Literaturrecherche. Anwendung der Elastizitäten auf die Matrizen im Untersuchungsraum.

Welche Datengrundlagen sind dafür erforderlich und wie werden diese bezogen?

Pivot-Point	Parameter der Nutzenfunktion (z.B. aus eigener SP-Befragung, der SP-Befragung im Mikrozensus oder anderen Modellen)
Elastizität	Elastizitäten für Parkkosten auf MIV-, ÖV-, Langsamverkehrs-Fahrten

Würdigung der Ansätze

Parkkosten werden in der Regel anders bewertet als z.B. Treibstoffkosten. Für die Nutzenfunktionen und Elastizitäten sollten daher Befragungen oder Quellen verwendet werden, die explizit Parkplatzkosten berücksichtigen.

4.4 Auswirkungen von demografischen Trends auf Verkehrsverhalten

Das Verkehrsverhalten von Personen ist geprägt von ihren Lebensumständen. Aus diesem Grund wird in der Verkehrsmodellierung die Bevölkerung in sogenannte verhaltenshomogene Gruppen unterteilt. Das sind Gruppen, deren Verkehrsverhalten (z.B. im Hinblick auf Verkehrsaufkommen, Wegezwecke oder Verkehrsmittelwahl) ähnliche Muster aufweist. Ändert sich nun die Zusammensetzung der Bevölkerung (z.B. zunehmende Alterung der Bevölkerung oder Entwicklung zu kleineren Haushaltsgrößen) oder ihre räumliche Verteilung (z.B. Reurbanisierung), kann dies Auswirkungen auf die Anzahl Wege im Untersuchungsraum, den Modalsplit und die Belastung von Strecken haben.

Mit einem synthetischen Modell können diese Veränderungen einfach umgesetzt werden, sofern die dafür erforderlichen verhaltenshomogenen Gruppen im Modell verwendet werden. Für die Modellierung muss für jede Zone und verhaltenshomogene Gruppe die Anzahl Personen aktualisiert werden. Anschliessend kann die Nachfrage neu gerechnet werden. Der Aufwand für diese Neuberechnung ist davon abhängig, wie anwendungsfreundlich die Nachfrageberechnung im jeweiligen Modell umgesetzt wurde. Dazu kommt der Aufwand für die Anpassung der Anzahl Personen. Dieser ist vor allem davon abhängig, ob eine pauschale Hochrechnung vorgenommen werden kann oder ob räumlich differenzierte Anpassungen notwendig sind.

Eine Lösung der Aufgabenstellung mit generischen Modellen setzt voraus, dass für die zu untersuchenden Verkehrsmittel Nachfragematrizen vorliegen. Diese können aus einem synthetischen Verkehrsmodell stammen oder auf andere Weise (z.B. durch eine Befragung oder eine Nummernschilderhebung) erhoben worden sein. Die Auswahl eines geeigneten generischen Ansatzes hängt, wie in Kapitel 3.7 aufgezeigt, von den Grundlagen, der gewünschten Aussage und den relevanten Einflussfaktoren ab. Da es sich um eine Anpassung einer Matrix handelt, kann der Gravitationsansatz verwendet werden, um den Einfluss neuer Strukturgrößen auf die Matrix zu bestimmen. Betrachtet man die Einflussgrößen, ist die Veränderung der Anzahl Personen der dominierende Effekt. Es gibt mit den bestehenden Matrizen einen Referenzpunkt. Nimmt man darüber hinaus an, dass die Veränderung des Verkehrsaufkommens linear zur Veränderung der Anzahl Personen ist, ist der zweite geeignete generische Ansatz eine Hochrechnung mittels Faktoren.

Für die Hochrechnung mit dem **Gravitationsansatz** wird die Veränderung der relevanten Strukturgrößen für jede Zone benötigt. Damit können dann die Randsummen der Nachfragematrizen ermittelt werden. Die Verteilung der Fahrten auf die einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen erfolgt dann mit dem Gravitationsansatz. Dafür wird eine Widerstandsfunktion benötigt. In der einfachsten Form kann hier die Reisezeit oder die Distanz verwendet werden, es können aber auch andere Funktionen hinterlegt werden. Für die Berechnung des Gravitationsansatzes kann Spezialsoftware (z.B. PTV VISUM) verwendet werden, es gibt aber auch entsprechende Libraries für R oder Python. Ein Gravitationsansatz kann auch dazu verwendet werden, die Nachfrage räumlich zu verfeinern. Mit den Hektarrasterdaten des BFS (STATPOP und STATENT) stehen dafür schweizweit entsprechende Grundlagen zur Verfügung.

Für die **Abschätzung mittels Faktoren** werden Hochrechnungsfaktoren ermittelt, die den Einfluss spezifischer demographischer Effekte auf die Verkehrsmittelwahl oder die Anzahl Wege wiedergeben. Die Faktoren können auf Basis einer Literaturrecherche oder von Annahmen gesetzt werden. Mit diesen Faktoren werden dann die Nachfragematrizen hochgerechnet.

Eine Abschätzung mit Faktoren ist daher vor allem geeignet, um pauschale Effekte wie eine globale Zunahme der Bevölkerung abzubilden. Mit dem Gravitationsansatz können hingegen auch räumlich differenzierte Veränderungen abgebildet werden. Beide Ansätze stossen allerdings an ihre Grenzen, wenn sich die Zusammensetzung der Bevölkerung ändert (z.B. Zunahme des Anteils von Rentnern). In einer Anwendung eines synthetischen Modells wird dem «automatisch» Rechnung getragen. Bei den generischen Ansätzen müs-

sen dann Annahmen getroffen werden, welchen Einfluss die Änderung der Bevölkerungsstruktur auf die Randsummen respektive die Hochrechnungsfaktoren hat. Dies ist in der Regel ein sehr komplexes Unterfangen und die resultierenden Wechselwirkungen können mit generischen Modellen nicht vollumfänglich abgebildet werden. Daher ist in diesem Fall der Einsatz eines synthetischen Modells zu bevorzugen.

Fragestellung

Auswirkungen von **demografischen Trends** auf Verkehrsverhalten (Verkehrsaufkommen, Ziel- und Verkehrsmittelwahl, Verkehrsbelastungen auf Strecken). Unter demografischen Effekten verstehen wir jegliche Effekte welche die Anzahl, die Zusammensetzung und die räumliche Verteilung der Bevölkerung betrifft (z.B. zunehmende Alterung der Bevölkerung, Trend zur Reurbanisierung, kleinere Haushaltsgrößen, etc.)

Rahmenbedingungen: Es existieren Nachfragematrizen für verschiedene Verkehrsmittel.

Wie würde diese Fragestellung mit synthetischen Modellen gelöst?

Strukturgrößen Ermittlung neuer Strukturgrößen je Zone für den gewünschten Prognosezustand. Anwendung bekannter Verkehrserzeugungsraten. Neuberechnung der Nachfrage (Verkehrsaufkommen, Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl).

Mit welchen generischen Modellansätzen lässt sich die Fragestellung beantworten?

Gravitationsansatz Ermittlung neuer Strukturgrößen je Zone für den gewünschten Prognosezustand. Hochrechnung der Randsummen anhand dieser Strukturgrößen. Verteilung der Fahrten je Verkehrsmittel mittels Gravitationsansatz (Widerstand entspricht Reisezeit).

Abschätzung mit-Ermittlung von Hochrechnungsfaktoren, die den Einfluss spezifischer demographischer Effekte auf die Verkehrsmittelwahl, die Anzahl Wege etc. wiedergeben. Hochrechnung der Nachfragematrizen.

Welche Datengrundlagen sind dafür erforderlich und wie werden diese bezogen?

Gravitationsansatz Strukturgrößen (z.B. aus kantonalen Prognosen oder aus den Hektarrasterdatensätzen des BFS), Reisezeiten zwischen den Zonen (z.B. aus einem synthetischen Modell)

Abschätzung mit-Strukturgrößen (z.B. aus kantonalen Prognosen), Recherchen zu den Auswirkungen demographischer Effekte auf das Verkehrsverhalten

Würdigung der Ansätze

Der Einfluss einer reinen Bevölkerungszunahme oder -abnahme ist mit generischen Modellen gut abbildbar, da hier einfache Hochrechnungen der bestehenden Matrizen erfolgen.

Schwieriger ist es, wenn sich die Zusammensetzung der Bevölkerung ändert (z.B. Zunahme des Anteils von Rentnern). In einem synthetischen Modell wird dem «automatisch» Rechnung getragen. Bei den generischen Ansätzen müssen Annahmen (Basis Literaturrecherche oder Experteneinschätzung) getroffen werden, welchen Einfluss die Änderung der Bevölkerungsstruktur auf die Randsummen respektive die Hochrechnungsfaktoren hat. Dies ist in der Regel ein sehr komplexes Unterfangen und die resultierenden Wechselwirkungen können mit generischen Modellen nicht vollumfänglich abgebildet werden. Daher ist in diesem Fall der Einsatz eines synthetischen Modells zu bevorzugen.

4.5 Auswirkungen von Trends im Verkehrsverhalten auf Quelle-Ziel-Matrizen

Die Parameter zur Abbildung des Verkehrsverhaltens (z.B. Erzeugungsraten, Parameter der Verkehrsmittelwahl) im Ist-Zustand werden in der Regel auf der Grundlage von Befragungen zum heutigen Verkehrsverhalten ermittelt. Zeitreihenanalysen in der Schweiz haben gezeigt, dass das durchschnittliche Verkehrsverhalten und damit die Parameter des Verkehrsverhaltens über die Zeit stabil sind. Daher gehen Prognosemodelle in der Regel davon aus, dass die Verhaltensparameter des Ist-Zustands auch im Prognosezustand gültig sind. Es gibt jedoch auch gesellschaftliche Trends, die bei gleichbleibender Anzahl Einwohner und Arbeitsplätzen zu einer Zunahme bzw. Reduktion der Verkehrsnachfrage führen können. Beispiele dafür sind: eine Zunahme von Homeoffice und Onlineshopping, mehr junge Personen ohne Führerausweis oder eine grössere Mobilität der neuen Rentnergeneration.

Um die Auswirkungen dieser Veränderungen mit synthetischen Modellen zu ermitteln, müssen die entsprechenden Parameter des Nachfragemodells angepasst werden. Für die Ermittlung der neuen Parameter können klassische Mobilitätserhebungen oder SP-Befragungen genutzt werden, es werden aber in jedem Fall Annahmen notwendig sein. Mit diesen neuen Parametern kann dann die Nachfrage neu gerechnet werden. Der Aufwand für diese Neuberechnung ist davon abhängig, wie anwendungsfreundlich die Nachfrageberechnung im jeweiligen Modell umgesetzt wurde.

Eine Lösung der Aufgabenstellung mit generischen Modellen setzt voraus, dass für die zu untersuchenden Verkehrsmittel Nachfragematrizen für den Prognosezustand ohne den zu untersuchenden Trend vorliegen. Diese können z.B. aus einem synthetischen Verkehrsmodell stammen. Die Auswahl eines geeigneten generischen Ansatzes hängt von der jeweiligen Fragestellung ab. In diesem Anwendungsbeispiel wurden dazu vier Trends analysiert, die aktuell zu beobachten sind.

- Der erste Trend ist eine Zunahme von Homeoffice. Dieser Trend bestand schon vor der Covid19-Pandemie, es ist aber zu erwarten, dass sich dieser aufgrund der Erfahrungen mit Homeoffice im letzten Jahr noch verstärken wird. Mehr Homeoffice führt zu weniger Pendlerfahrten. Die Fragestellung ist mit dem Anwendungsbeispiel «Auswirkungen von demografischen Trends auf Verkehrsverhalten» (vgl. Kapitel 4.4) vergleichbar. Auch hier geht es darum, die Nachfragematrix anzupassen. Es gibt eine dominierende Einflussgrösse, einen Referenzpunkt und es kann ein linearer Zusammenhang angenommen werden. Geeignete generische Ansätze sind daher der Gravitationsansatz und die Hochrechnung mittels Faktoren.
- Der zweite Trend ist ein Rückgang von Führerausweisbesitzraten bei jungen Erwachsenen. Dieser Trend hat vor allem Auswirkungen auf die Verkehrsmittelwahl. Die Verkehrsmittelwahl hängt von vielen verschiedenen Einflussgrössen ab. Mit dem bestehenden Modalsplit bzw. dem Prognose-Modalsplit ohne Berücksichtigung des Trends gibt es ein Referenzpunkt. Damit ist der Pivot-Point-Ansatz für die Beantwortung dieser Fragestellung gut geeignet.
- Weitere spannende Trends sind die grössere Mobilität junger Rentner im Vergleich zu früheren Generationen und eine Zunahme von Onlineshopping. Die grössere Mobilität junger Rentner führt zu mehr Wegen pro Person in dieser Altersgruppe. Dabei handelt es sich vor allem um Freizeitwege. Die Zunahme von Onlineshopping führt im Gegenzug zu weniger Einkaufswegen. Hierbei kann noch unterschieden werden zwischen Einkauf des täglichen Bedarfs und Einkauf des längerfristigen Bedarfs. Die Auswirkungen beider Trends sind modellierungstechnisch mit dem Trend zu mehr Homeoffice vergleichbar. Geeignete generische Ansätze sind daher der Gravitationsansatz und die Hochrechnung mittels Faktoren.

Für die **Hochrechnung mit dem Gravitationsansatz** werden die veränderten Randsummen der Nachfragematrix benötigt. Dazu muss für jede Zone der Anteil Ortsveränderungen des zu untersuchenden Fahrtzwecks (z.B. Pendler- oder Einkaufsfahrten) ermittelt werden. Ausgehend von diesem Anteil und der Annahme zur Veränderung durch den neuen Trend können dann die neuen Randsummen ermittelt werden. Dies wird an folgendem Beispiel

verdeutlicht: Betrachtet werden die Quelfahrten in Zone A. In der Prognose ohne Berücksichtigung des Trends sind dies 1'000 Fahrten/Tag. Aus den fahrtzweckspezifischen Matrizen des Verkehrsmodells wurde ermittelt, dass der Anteil Pendlerfahrten an den Quelfahrten 20% beträgt, also 200 Fahrten. Zur Berücksichtigung des Trends wird angenommen, dass die Anzahl Pendlerfahrten aufgrund von Homeoffice um 10% zurückgehen. Damit starten in der Zone A 20 Fahrten weniger pro Tag. Die neue Randsumme für Quelfahrten beträgt somit 980 Fahrten/Tag. Mit den so ermittelten Randsummen kann dann der Gravitationsansatz gerechnet werden. Für den Gravitationsansatz wird eine Widerstandsfunktion benötigt. In der einfachsten Form kann hier die Reisezeit oder die Distanz verwendet werden, es können aber auch andere Funktionen hinterlegt werden. Für die Berechnung des Gravitationsansatzes kann Spezialsoftware (z.B. PTV VISUM) verwendet werden, es gibt aber auch entsprechende Libraries für R oder Python.

Für die **Abschätzung mittels Faktoren** werden Hochrechnungsfaktoren ermittelt, die den Einfluss der Verhaltenstrends auf die Verkehrsmittelwahl oder die Anzahl Wege wiedergeben (z.B. Homeoffice führt zu einer Reduktion aller Wege um 2%). Mit diesen Faktoren werden dann die Nachfragematrizen hochgerechnet.

Für die Berechnung des **Pivot-Point-Ansatzes** werden die Parameter der Nutzenfunktion für jedes Verkehrsmittel benötigt. Diese können aus dem Verkehrsmodell oder aus Befragungsdaten übernommen werden. Wichtig ist, dass die Nutzenfunktion die relevante Variable (hier der Führerausweisbesitz bzw. als Proxy allenfalls der PW-Besitz) enthält. Dann werden für jede Relation verkehrsmittelbezogene Kosten bestimmt. Quelle dafür kann z.B. das bestehende Verkehrsmodell sein. Für den Referenzzustand werden dann die Führerausweis- bzw. PW-Besitzraten so verändert, dass sie den Trend angemessen abbilden. Daraus kann mit der Pivot-Point-Formel für jede Relation ein neuer Modalsplit bzw. der Modalshift berechnet werden.

Unabhängig davon, mit welchem Ansatz Trends im Verkehrsverhalten modelliert werden, hängt die Qualität der Prognose vor allem von den zugrundeliegenden Annahmen ab. Für belastbare Ergebnisse sollten diese durch eine breite Diskussion mit Fachexpert*innen gut abgestützt sein.

Die Auswahl des geeigneten Ansatzes hängt stark von der Fragestellung ab. Soll eine erste Einschätzung vorgenommen werden, wie gross die Auswirkungen dieser Trends sein könnten, sind generische Modelle zweckdienlich. Geht es aber darum, diese Trends bei weiteren Anwendungen wie der Bewertung von Infrastrukturmassnahmen zu berücksichtigen, ist eine Modellierung mit einem synthetischen Modell dringend anzuraten, da dabei viele Wechselwirkungen berücksichtigt werden können, die in einem generischen Modell nicht abbildbar sind.

Fragestellung

Auswirkungen von **Trends im Verkehrsverhalten** auf Quell-Ziel-Matrizen. Bisherige Prognosemodelle gehen häufig davon aus, dass das Bevölkerungsverhalten nicht verändert und somit die Parameter des Verkehrsverhalten auch im Prognosezustand gültig sind. Es gibt jedoch gesellschaftliche Trends, die bei gleichbleibender Anzahl Einwohner und Arbeitsplätzen zu einer Zunahme bzw. Reduktion der Verkehrsnachfrage führen können. Mögliche Trends sind: Homeoffice, Onlineshopping, Junge Leute ohne Führerausweis, Mehr Mobilität der jungen Rentner, etc.

Rahmenbedingungen: Es existieren Nachfragematrizen für verschiedene Verkehrsmittel.

Wie würde diese Fragestellung mit synthetischen Modellen gelöst?

Neuschätzung Nachfragemodell Ermittlung neuer Strukturgrößen (Altersverteilung, Einkommensklassen, Mobilitätswerkzeugbesitz, vorhandene Wirtschaftsbranchen etc.) für den Prognosezustand. Ableitung neuer Parameter (Verkehrserzeugungsraten, Ziel- und Verkehrsmittelwahl-Parameter) für einzelne Verhaltensgruppen basierend auf einer SP-Befragung oder anderen Quellen. Neuberechnung der Nachfrage (Verkehrsaufkommen, Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl).

Mit welchen generischen Modellansätzen lässt sich die Fragestellung beantworten?

Trend: Zunahme Homeoffice Ermittlung von Homeoffice-Faktoren je Wirtschaftsbranche basierend auf dem Potenzial für Homeoffice. Berechnung von neuen Matrizen für den Verkehrszweck Arbeit mittels **Gravitationsansatz** oder **Hochrechnungsfaktoren** (siehe Faktenblatt demografische Effekte).

Trend: Rückgang Führerausweisbesitz bei jungen Erwachsenen Abschätzung der veränderten Verkehrsmittelwahl aufgrund des veränderten Mobilitätswerkzeugbesitzes mittels **Pivot-Point** Ansatz.

Trend: grössere Mobilität (junger Rentner) Ermittlung von Faktoren für die Zunahme der Anzahl Freizeitwege je Altersgruppe. Berechnung von neuen Matrizen für den Verkehrszweck Freizeit mittels **Gravitationsansatz** oder **Hochrechnungsfaktoren** (siehe Faktenblatt demografische Effekte).

Trend: Zunahme Online-Shopping Ermittlung von Online-Shopping-Faktoren basierend auf Raumstrukturdaten. Berechnung von neuen Matrizen für den Verkehrszweck Einkauf mittels **Gravitationsansatz** oder **Hochrechnungsfaktoren** (siehe Faktenblatt demografische Effekte).

Welche Datengrundlagen sind dafür erforderlich und wie werden diese bezogen?

Trend: Zunahme Homeoffice Strukturdaten der Bevölkerung, Branchenmix innerhalb des Untersuchungsgebiets, Ergebnisse einer Befragung zum Mobilitätsverhalten

Trend: Rückgang Führerausweisbesitz bei jungen Erwachsenen Strukturdaten der Bevölkerung, Längsquerschnitt über die Anzahl erfolgreich absolvierter Fahrschulprüfungen, Ergebnisse einer Befragung zum Mobilitätsverhalten

Trend: grösseres Mobilitätsbedürfnis (junger Rentner) Strukturdaten der Bevölkerung, Ergebnisse einer Befragung zum Mobilitätsverhalten

Trend: Zunahme Online-Shopping Besucherzahlen publikumsintensiver Einkaufseinrichtungen, Strukturdaten der Bevölkerung, Ergebnisse einer Befragung zum Mobilitätsverhalten

Würdigung der Ansätze

Kritisch ist bei dieser Fragestellung weniger die Umsetzung im Modell, sondern die zugrundeliegenden Annahmen zur Grösse und Auswirkung der Trends. Hier ist eine gute Abstützung der Annahmen zentral.

Generische Modelle sind gut geeignet für eine Abschätzung der Auswirkungen dieser Trends. Um ein massnahmensensitives Prognosemodell zu erhalten, ist jedoch eine Neuberechnung der Nachfrage mit einem synthetischen Modell vorzuziehen.

4.6 Auswirkungen einer P+Rail-Anlage

Der kombinierten Mobilität kommt eine immer grössere Bedeutung zu. Die Abschätzung der Auswirkungen einer P+Rail-Anlage auf die Nachfrage ist daher ein potenziell wichtiger Anwendungsbereich. Aus Sicht einer Stadt oder Gemeinde können in diesem Zusammenhang verschiedene Fragestellungen von Interesse sein: Wie hoch ist das Nachfragepotenzial für ein solches Angebot, d.h. wie viele Parkplätze müssen zur Verfügung gestellt werden? Wie stark reduziert sich die MIV-Nachfrage in einem Zentrumsgebiet, wenn umliegend P+Rail-Anlagen erstellt oder ausgebaut werden? Im Folgenden wird diskutiert, wie die MIV-Reduktion in einem Zielgebiet durch die Einführung von umliegenden P+Rail-Anlagen abgeschätzt werden kann, wenn bereits eine Nachfragematrix für den MIV zur Verfügung steht, die jedoch keine P+Rail-Verkehre abbildet.

Die klassischen synthetischen Verkehrsmodelle berücksichtigen i.d.R. keine P+Rail-Angebote. Die Integration von P+Rail in ein bestehendes Modell erfordert daher weitreichende Änderungen der Modellstruktur, Anpassungen am Netz und an der Zonenstruktur, die Neuschätzung und Integration neuer Nutzenfunktionen, die Neuberechnung der Nachfrage, eine Neukalibration und vieles mehr. Daher stellt sich die Frage, inwiefern ein generischer Ansatz für diese Fragestellung ebenfalls von Nutzen sein kann.

Die Auswahl eines geeigneten generischen Ansatzes hängt, wie in Kapitel 3.7 dargelegt, von den Grundlagen, der gewünschten Aussage und den relevanten Einflussfaktoren ab. Da für die Nutzung der P+Rail-Anlage keine Angaben vorhanden sind, liegt kein Referenzpunkt vor. Die Verkehrsmittelwahl zwischen MIV und ÖV (in Kombination mit MIV) ist von zahlreichen Faktoren abhängig. Daher wird von keinem dominierenden Einfluss ausgegangen. Mit diesen Voraussetzungen bietet sich ein multivariates Modell als generischer Ansatz an.

Für die Bearbeitung der Fragestellung werden nur die Pendlerbeziehungen betrachtet, da P+Rail-Anlagen vorwiegend auf Pendler ausgerichtet sind. Je Quelle-Ziel-Beziehung wird als Alternative zum MIV-Weg eine Variante mit Nutzung von P+Rail erstellt, indem der MIV-Weg in zwei Etappen aufgetrennt wird: Etappe 1 führt mit dem MIV von der Quelle bis zur neuen P+Rail-Anlage, Etappe 2 führt von der P+Rail-Anlage mit dem ÖV zum Ziel. Für beide Alternativen wird die Nutzenfunktion ausgewertet und gemäss dem **multivariaten Modell** die Auswahlwahrscheinlichkeit für den MIV-Weg und den kombinierten Weg berechnet. Von der bestehenden MIV-Matrix werden Anteile gemäss der Auswahlwahrscheinlichkeit abgetrennt. Ergibt sich für eine bestimmte Relation, z.B. für den Weg via P+Rail eine Auswahlwahrscheinlichkeit von 60%, so wird die MIV-Nachfrage auf der betreffenden Relation um 60% reduziert. Die Kapazität der P+Rail-Anlage wird berücksichtigt, indem nur die Relationen mit der grössten Auswahlwahrscheinlichkeit bis zur Kapazitätsgrenze umgelagert werden. Die auf diese Weise reduzierte MIV-Matrix wird im zu untersuchenden Perimeter hinsichtlich des Zielverkehrs analysiert, womit das MIV-Reduktionspotenzial durch P+Rail berechnet werden kann. Das auf diese Weise berechnete Reduktionspotenzial betrifft den Hinweg zur Arbeit. Die Rückfahrt nach Hause kann auf gleiche Weise berechnet werden. Das MIV-Reduktionspotenzial ergibt sich durch Analyse des Quellverkehrs im zu untersuchenden Perimeter.

Für den gewählten generischen Ansatz sind einerseits die Parameter der Nutzenfunktionen erforderlich, andererseits müssen für jede Quell-Zielbeziehung auch die Ausprägungen der Attribute der Nutzenfunktionen vorliegen. Je nachdem sind das z.B. Distanz- und Reisezeitmatrizen für MIV und ÖV. Im Falle des kombinierten Weges sind evtl. Zeitzuschläge für den Umstieg zu berücksichtigen und zu bewerten. Zudem muss die Kapazität der P+Rail-Anlage bekannt sein.

Der Aufwand für eine Anpassung und Neuschätzung des klassischen synthetischen Nachfragemodells ist finanziell und zeitlich beträchtlich. P+Rail-Anlagen werden hauptsächlich von Pendlern benutzt. Für die Berechnung muss daher eine Pendlermatrix vorhanden sein. Falls diese nicht vorliegt, muss anhand von Annahmen eine Pendlermatrix von der Gesamtmatrix abgespalten werden. Die Nutzenfunktion muss neben der Reisezeit auch Zuschläge für das Umsteigen und die Zuverlässigkeit der Anschlüsse berücksichtigen. Mit

preislichen Anreizen können Umsteigebeziehungen bei einer P+Rail Anlage verstärkt gefördert werden.

In Kapitel 6.3 wird dieser Anwendungsfall anhand eines konkreten Praxisbeispiel vertieft diskutiert.

Fragestellung

Auswirkungen einer neuen **P+Rail**-Anlage auf die Anzahl MIV-Fahrten im Perimeter

Rahmenbedingungen: Es existierte eine Nachfrage-Matrix für den MIV, die aber keine P&R-Verkehre abbildet.

Wie würde diese Fragestellung mit synthetischen Modellen gelöst?

Anpassung und Neuschätzung
Die Integration von P+Rail in ein bestehendes Modell erfordert weitreichende Änderungen der Modellstruktur, Anpassungen an Netz und Zonen-Nachfragemodellstruktur, die Neuschätzung und Integration neuer Nutzenfunktionen, die Neuberechnung der Nachfrage, eine Neukalibration u.v.m.

Mit welchen generischen Modellansätzen lässt sich die Fragestellung beantworten?

Multivariates Mo-Je Quell-Ziel-Beziehung (nur Pendlerbeziehungen) Erstellung einer P+Rail-Alternative durch Auftrennung in zwei separate Etappen vom Quellbezirk bis zur neuen P+Rail-Zone und von dort bis zum Zielbezirk. Auswahl der Relationen, die neu über die P+Rail-Zone verkehren: Berechnung der Nutzen für den Weg mit und ohne P+Rail. Wenn der Nutzen mit P+Rail grösser ist, wird für die jeweilige Relation eine modale Verlagerung angenommen. Berücksichtigung der Kapazität der P+Rail-Anlage, indem nur die Relationen mit dem grössten Nutzengewinn bis zur Kapazitätsgrenze umgelagert werden.

Welche Datengrundlagen sind dafür erforderlich und wie werden diese bezogen?

Multivariates Mo-Nutzenfunktionen, Kapazität der P+Rail-Anlage

Würdigung der Ansätze

Der Aufwand für eine Anpassung und Neuschätzung des Nachfragemodells ist finanziell und zeitlich im Rahmen einer Projektbearbeitung nicht realistisch leistbar. Daher ist die Anwendung eines generischen Modells zu empfehlen.

P&R-Anlagen haben tendenziell nur für Pendler-Beziehungen einen Einfluss auf das Verkehrsverhalten. Für die Berechnung muss eine Pendlermatrix vorhanden sein. Falls diese nicht vorliegend ist, muss anhand von Annahmen eine Pendlermatrix von der Gesamtmatrix abgespalten werden.

Die Nutzenfunktion muss neben der Reisezeit auch Zuschläge für das Umsteigen und die Zuverlässigkeit der Anschlüsse berücksichtigen.

Mit preislichen Anreizen können Umsteigebeziehungen bei einer P&R Anlage verstärkt gefördert werden.

4.7 Potenzialabschätzung für «neue» Verkehrsmittel

Eine in Zukunft vermutlich immer häufigere Fragestellung in der Verkehrsplanung werden Potenzialabschätzungen für «neue» Verkehrsmittel sein. Darunter verstehen wir z.B. E-Bikes oder E-Scooter. Aus Sicht einer Stadt oder Gemeinde können in diesem Zusammenhang verschiedene Fragestellungen im Vordergrund stehen: Wie hoch ist das Nachfragepotenzial für ein solches Angebot, d.h. wie viele Personen würden E-Scooter benutzen? Ebenso kann die Frage nach dem Modalshift im Fokus sein: Wie viele Personen können vom MIV auf E-Scooter verlagert werden (beispielsweise Ersatz von P+Rail durch ein E-Scooter-Angebot)? Die räumliche Verteilung kann ebenfalls von Interesse sein: Wo sollten E-Scooter-Stationen installiert werden? Im Folgenden wird diskutiert, wie eine Potenzialabschätzung (Anzahl Nutzer*innen) berechnet werden kann, wenn bereits Nachfragematrizen für verschiedene Verkehrsmittel, jedoch nicht für die «neuen» Verkehrsmittel existieren und auch keine Zählzeiten für die «neuen» Verkehrsmittel vorliegen.

In klassischen synthetischen Verkehrsmodellen sind neue Verkehrsmittel i.d.R. nicht explizit abgebildet, sondern sie sind allgemein im Fuss- und Veloverkehr enthalten. Theoretisch besteht die Möglichkeit, für diese Verkehrsmittel separate Nachfragematrizen zu erstellen. Hierzu müssten die Parameter der Nutzenfunktion der Verkehrsmittelwahl unter Einbezug der neuen Verkehrsmittel mit Hilfe einer SP-Befragung ermittelt werden. Die Nachfrageberechnung im Verkehrsmodell muss dann unter Berücksichtigung des neuen Verkehrsmittels neu durchgeführt werden, indem Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl neu berechnet und kalibriert werden.

Die Auswahl eines geeigneten generischen Ansatzes hängt, wie in Kapitel 3.7 aufgezeigt, von den Grundlagen, der gewünschten Aussage und den relevanten Einflussfaktoren ab. Da für die neuen Verkehrsmittel keine Nachfragematrizen vorliegen, liegt kein Referenzpunkt vor. Die vorliegende Fragestellung kann zudem je nach verfügbarer Datengrundlage stärker oder weniger stark vereinfacht werden.

Eine starke Vereinfachung wäre die Annahme, dass v.a. ein dominierender Faktor wie z.B. die Reiseweite für die Nachfrage entscheidend ist. In diesem Fall kann die Fragestellung mit einer **univariaten diskretisierten Funktion** beantwortet werden. Für die Definition der Funktion sind typische Reiseweiten des neuen Verkehrsmittels aus Erhebungen zu recherchieren. Für wichtige Quell-/Zielbeziehungen innerhalb des Untersuchungsraums kann auf Basis der mittleren Reisedistanzen und der bestehenden Matrizen eine Ableitung des zukünftigen Modalsplits und somit eine Abschätzung des Nachfragepotenzials auf einzelnen Achsen erfolgen.

Ein **multivariates Modell** bedeutet eine weniger starke Vereinfachung der Fragestellung, da damit mehrere Einflussfaktoren berücksichtigt werden können. Für die Anwendung des Modells müssen die Parameter der Einflussfaktoren aus Erhebungen bzw. Befragungen geschätzt werden. Denkbar wäre die Berücksichtigung folgender Einflussgrößen: Reisedistanzen, Wohndichte, Raumtyp, Verkaufszahlen oder Qualität der Infrastruktur. Ist das Modell vollständig parametrisiert, kann die Nachfrage direkt berechnet werden. Im Gegensatz zur univariaten diskretisierten Funktion muss daher kein Anteil aus bestehenden Matrizen abgespalten werden.

Je nach gewähltem Ansatz sind unterschiedliche Daten erforderlich. Für die diskretisierte univariate Funktion sind vor allem typische Reiseweiten der neuen Verkehrsmittel z.B. aus dem Mikrozensus zu recherchieren. Es gilt jedoch zu beachten, dass der Mikrozensus gerade in Bezug auf neue Verkehrsmittel kritisch zu hinterfragen und zu plausibilisieren ist, da die aktuellen Entwicklungen des Verkehrsverhaltens nicht berücksichtigt sind. Für das multivariate Modell müssen für alle Parameter Daten vorliegen, die beispielsweise von Verleih-Anbietern (z.B. durchschnittliche Ausleihdauer, Fahrtstanz, Quell-Ziel-Relationen etc.) bezogen werden können (vgl. Kapitel 5.4).

Der Vorteil der Anwendung eines synthetischen Verkehrsmodells ist, dass die Nachfrageberechnung direkt im Verkehrsmodell erfolgt. Dadurch müssen bei der konkreten Anwendung weniger Annahmen getroffen werden. Das Ergebnis ist daher unabhängiger von den

Anwender*innen und besser reproduzierbar. Allerdings ist dieser Ansatz mit sehr grossem Aufwand verbunden.

Die Anwendung der univariaten diskretisierten Funktion ist in seiner Struktur einfach nachvollziehbar, da nur eine dominierende Einflussgrösse betrachtet wird. Aufgrund der Einfachheit des Ansatzes werden jedoch einige potenziell relevante Einflussfaktoren nicht berücksichtigt. Daher ist viel Erfahrung bei der Einordnung und Interpretation der Ergebnisse gefordert.

Das multivariate Modell benötigt Ergebnisse einer SP-Befragung, um die Parameter der Nutzenfunktion zu schätzen. Falls keine SP-Befragung zu den neuen Verkehrsmitteln im Untersuchungsraum vorliegt oder durchgeführt werden kann, können auch andernorts durchgeführte SP-Befragungen verwendet werden, sofern angenommen werden kann, dass das Verkehrsverhalten in den Räumen vergleichbar ist.

Für alle generischen Ansätze zur Beantwortung dieser Fragestellung gilt, dass die Verkehrsmengen der «neuen» Verkehrsmittel tendenziell saisonalen Schwankungen unterliegen können. Es gilt den Modellzeitraum auf die Zählzeiten/Parameter abzustimmen (z.B. Differenzierung Sommermodell / Wintermodell).

In Kapitel 6.2 wird dieser Anwendungsfall anhand eines konkreten Praxisbeispiel vertieft diskutiert.

Fragestellung

Potenzialabschätzung für **«neue» Verkehrsmittel** (z.B. E-Bikes, E-Trottinette) aus Sicht einer Stadt oder Gemeinde: Nachfragemenge, Modalshift und räumliche Verteilung

Rahmenbedingungen: Es existieren Nachfragematrizen für verschiedene Verkehrsmittel, jedoch nicht für die «neuen» Verkehrsmittel. Es existieren keine Zählzeiten für die «neuen» Verkehrsmittel.

Wie würde diese Fragestellung mit synthetischen Modellen gelöst?

Neuschätzung Ermittlung der Parameter für die Nutzenfunktion der Verkehrsmittelwahl der Nachfragematrix neuen Verkehrsmittel mithilfe einer SP-Befragung und Neuberechnung der Nachfrage (Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl).

Mit welchen generischen Modellansätzen lässt sich die Fragestellung beantworten?

Diskretisierte uni-Recherche typischer Reiseweiten der «neuen» Verkehrsmittel aus Erhebungs-
variate Funktion gen. Abschätzung wichtiger Quell-/Zielbeziehungen innerhalb des Untersuchungsraums auf Basis der typischen Reisedistanzen und der bestehenden Matrizen. Qualitative Ableitung des zukünftigen Modalsplits und Abschätzung des Nachfragepotenzials auf einzelnen Achsen.

Multivariates Mo-Schätzung eines multivariaten Modells zur Ermittlung des Einflusses ver-
dell scheidener Variablen auf die Nachfrage der neuen Verkehrsmittel. Mögliche Variablen: typische Reisedistanzen, Wohndichte, Raumtyp, Verkaufszahlen, Qualität Infrastruktur, etc. Ermittlung der Hauptfaktoren auf die Nachfrage. Berechnung des globalen oder relationsbezogenen Aufkommens.

Welche Datengrundlagen sind dafür erforderlich und wie werden diese bezogen?

Diskretisierte uni-Typische Reiseweiten der neuen Verkehrsmittel aus dem Mikrozensus oder
variate Funktion aus Daten von Verleih-Anbietern (z.B. durchschnittliche Ausleihdauer, Fahrt-
distanz, Quell-Ziel-Relationen, etc.)

Multivariates Mo-Daten zu den Variablen: Je nach Variablen müssen diese bei den einzelnen
dell Fachämtern oder von Verleih-Anbietern bezogen werden.

Würdigung der Ansätze

Die Verkehrsmengen der «neuen» Verkehrsmittel können saisonalen Schwankungen unterliegen. Es gilt den Modellzeitraum auf die Zählzeiten abzustimmen (z.B. Differenzierung Sommermodell / Wintermodell).

Falls keine SP-Befragung zu den neuen Verkehrsmitteln im Untersuchungsraum vorliegt oder durchgeführt werden kann, können auch andersorts durchgeführte SP-Befragungen verwendet werden, sofern angenommen werden kann, dass das Verkehrsverhalten in den Räumen vergleichbar ist.

4.8 Auswirkungen einer städtischen Velovorzugsroute

Eine Stadt möchte die Einrichtung von Velovorzugsrouten prüfen. Es stehen verschiedene Varianten zur Diskussion. Um zu ermitteln, welche Varianten den grössten Nutzen aufweisen, sollen in einem ersten Schritt die Auswirkungen dieser Velorouten auf die Verkehrsmittel- und Routenwahl im betroffenen Korridor ermittelt werden. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass ein synthetisches Verkehrsmodell vorliegt, das eine Veloverkehrsmatrix beinhaltet. Diese wurde jedoch nicht kalibriert. Das Netzmodell im Modell sei nicht fein genug für die Abbildung des Veloverkehrs und es wurde bisher keine Nutzenfunktion für die Routenwahl aufgestellt. Veloverkehrsdaten liegen keine vor.

Die Analyse neuer Infrastrukturelemente wie Velovorzugsrouten ist eine klassische Anwendung von synthetischen Verkehrsmodellen. Im vorliegenden Anwendungsbeispiel müsste jedoch das Modell zunächst erweitert werden. Im ersten Schritt muss dazu ein Netzmodell für den Veloverkehr erstellt werden und mit für den Veloverkehr relevanten Attributen wie Steigungen oder vorhandener Veloinfrastruktur attribuiert werden. Im nächsten Schritt ist eine Nutzenfunktion für die Umlegung der Veloverkehrsnachfrage zu ermitteln. Die initialen Parameter der Nutzenfunktion können auf Basis von SP-Befragungen oder RP-Daten (z.B. von Plattformen, die Velofahrten von Nutzer*innen sammeln) bestimmt werden. Anschliessend werden sie im Rahmen der Kalibration angepasst. Für die Kalibration sind Zähldaten notwendig. Diese müssen entsprechend erhoben werden. Neben klassischen Querschnittszählungen kann hier auch der Einsatz neuerer Datenquellen wie GPS-Tracks (vgl. Kapitel 5.1.1) oder Nutzungsinformationen von Sharing-Angeboten (vgl. Kapitel 5.4) verwendet werden. Nachdem das Veloverkehrsmodell auf die Zähldaten kalibriert wurde, können die geplanten Velovorzugsrouten in das Modell eingebaut und die Verkehrsmittel- und Routenwahl neu berechnet werden. Eine solche Erweiterung eines Modells ist so aufwändig, dass dieser Aufwand für eine einzelne Modellanwendung nicht vertretbar ist. Ist jedoch zu erwarten, dass solche Anwendungen in der Zukunft wiederholt und ggf. auch in anderen Gemeinden des Modellperimeters gewünscht sein werden, lohnt es sich, eine Erweiterung auf übergeordneter Ebene zu prüfen.

Die Auswahl von geeigneten generischen Ansätzen hängt, wie in Kapitel 3.7 aufgezeigt, von den Grundlagen, der gewünschten Aussage und den relevanten Einflussfaktoren ab. Im ersten Schritt ist zu überprüfen, ob es eine dominierende Einflussgrösse gibt oder mehrere Einflussgrössen die Verkehrsmittel- und Routenwahl beeinflussen. Die wichtigste Verbesserung durch eine Velovorzugsroute ist zweifelsohne eine Verkürzung der Reisezeit. Doch auch andere Faktoren wie ein grösserer Fahrkomfort oder mehr Sicherheit können Verkehrsteilnehmende dazu veranlassen, eine Velovorzugsroute zu benutzen. Idealerweise wird daher ein generischer Ansatz verwendet, der verschiedene Einflussgrössen berücksichtigen kann. Liegen jedoch zu wenig Informationen zu anderen Einflussgrössen vor oder ist eine vereinfachte Abschätzung aufgrund der Flughöhe der Fragestellung ausreichend, können auch Ansätze verwendet werden, die nur eine Einflussgrösse berücksichtigen. Im zweiten Schritt ist zu überprüfen, ob ein Referenzpunkt vorhanden ist. Gemäss Aufgabenstellung ist die Veränderung zum heutigen Zustand aufzuzeigen. Das heisst, es gibt einen Referenzpunkt sowohl im Hinblick auf die Verkehrsmittelwahl als auch die Routenwahl. Es fehlen aber die Datengrundlagen für den Referenzpunkt bzw. müssen im Rahmen der Bearbeitung erst generiert werden. Es kommen daher sowohl Ansätze mit als auch ohne Referenzpunkt in Frage.

Aufgrund der schwierigen Datengrundlage kommen in Abhängigkeit vom vorhandenen Budget für dieses Anwendungsbeispiel daher verschiedene Ansätze in Frage:

- Pivot-Point-Ansatz & Umlegung
- Multivariates Modell mit nutzergenerierten Daten
- Potenzialanalyse mittels Faktoren

Für den **Pivot-Point-Ansatz** mit Umlegung muss zunächst für den betrachteten Korridor ein Velonetz erstellt werden. Dies kann entweder durch Verfeinerung des MIV-Netzes oder auf Basis anderer Datenquellen wie GIS-Netze der Stadt/des Kantons oder OpenStreet-Map erfolgen. Eine vollständige Modellierung des gesamten Netzes ist dabei allerdings

nicht notwendig. Wichtig ist nur, dass alle relevanten Alternativen zur betrachteten Velovorzugsroute im Netz enthalten sind. Für die Umlegung ist eine möglichst einfache Nutzenfunktion zu wählen. Im Rahmen eines Pilotprojekts (vgl. Tiefbauamt Stadt Zürich 2019) hat sich gezeigt, dass einige wenige Kriterien (Distanz, Steigung, Belastung MIV) ausreichend sind für eine erste Annäherung der Nutzenfunktion. Möglich ist auch eine Bestwegumlegung, da anders als im MIV keine Verdrängungseffekte aufgrund der Belastung zu erwarten sind. Die Nachfrage kann aus dem Verkehrsmodell durch Identifikation der relevanten Relationen in den Matrizen abgeleitet werden. Der Referenzpunkt für den Modalsplit ergibt sich aus den bestehenden Matrizen. Die Berechnung des Modalshifts erfolgt mit dem Pivot-Point-Ansatz. Die Nutzenfunktion dafür wird aus dem Modell übernommen. Verändert wird dabei die Reisezeit für das Velo und ggf. andere Einflussgrößen, sofern sie in der Nutzenfunktion abbildbar sind. Anschliessend wird die neue Velonachfrage auf das Velonetz mit Velovorzugsroute umgelegt.

Wird die Qualität der unkalibrierten Veloverkehrsmatrix des Modells als nicht ausreichend eingeschätzt oder liegt keine solche Matrix vor, kann eine Abschätzung der Auswirkungen auch mit Hilfe von **multivariaten Modellen und nutzergenerierten Daten** durchgeführt werden. Verkehrsteilnehmer können heutzutage ihre Wege mit dem Smartphone oder dezidierten GPS-Geräten tracken (vgl. Kapitel 5.1.1). Dies ist gerade bei Velofahrenden sehr beliebt. Verschiedene Plattformen bieten den Nutzer*innen an, diese Daten zu speichern und auf attraktive Art auszuwerten. Die Plattformen aggregieren diese Daten und bieten die aggregierten Daten für die Nutzung durch Dritte an. Die Datensätzen enthalten Angaben zu Quell-Ziel-Beziehungen, gewählten Routen, Geschwindigkeiten und in gewissem Umfang zum Verkehrszweck. Auswertungen einer solchen Plattform für den Kanton Zürich (vgl. Amt für Verkehr 2020) zeigen eine hohe Korrelation der Tages- und Jahresganglinien mit Zählstellendaten. Für die vorliegende Fragestellung können diese Daten auf verschiedene Art genutzt werden. Mit den erhobenen Quell-Ziel-Beziehungen kann die Nachfrage abgeschätzt bzw. die Velomatrix des Verkehrsmodells plausibilisiert werden. Und auf Grundlage der Routendaten kann ein multivariates Routenwahlmodell geschätzt werden. Dieses kann dann verwendet werden, um die Routenwahl mit und ohne Velovorzugsroute zu berechnen. Keine Aussagen können hingegen zur Verkehrsmittelwahl gemacht werden, da die Daten den ÖV und MIV nicht abbilden. Dies müsste dann auf andere Weise, z.B. mit einem Pivot Point Ansatz geschehen.

Für die **Potenzialanalyse mittels Faktoren** werden in Matrizen des kantonalen Modells die Quell-Ziel-Beziehungen identifiziert, für die die neue Velovorzugsroute relevant sein könnten. Im Rahmen einer Literaturanalyse werden Verlagerungsfaktoren ermittelt. Besonders interessant dazu sind Studien zu den Auswirkungen anderer Velovorzugsrouten. Anhand dieser Faktoren wird dann abgeschätzt, wie viele Velofahrende zukünftig eine Velovorzugsroute nutzen würden.

Der Vorteil des Ansatzes «Pivot-Point mit Umlegung» ist, dass er eine relativ detaillierte Abbildung der Auswirkungen sowohl auf die Verkehrsmittelwahl als auch auf die Routenwahl ermöglicht. Verglichen mit den anderen generischen Ansätzen ist dies allerdings mit höheren Aufwänden verbunden. Dies gilt insbesondere für die Modellierung des Velonetzes. Da aber nur die relevanten Routen im Korridor abgebildet werden müssen, ist der generische Ansatz immer noch deutlich weniger aufwändig als eine Erweiterung des synthetischen Modells. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zudem zu beachten, dass die Abschätzungen auf einer nicht kalibrierten Velomatrix beruhen. Je nach Qualität dieser Matrix kann dies zu grösseren Unsicherheiten führen. Daher kann es sinnvoll sein, Sensitivitätsrechnungen durchzuführen.

In Kapitel 6.4 wird dieser Anwendungsfall anhand eines konkreten Praxisbeispiel vertieft diskutiert.

Fragestellung

Auswirkungen einer städtischen **Velovorzugsroute** auf den Veloverkehr (Verkehrsmittel und Routenwahl) im betroffenen Korridor

Rahmenbedingungen: Es existiert eine Veloverkehrsmatrix, die jedoch nicht kalibriert wurde. Es gibt kein Netzmodell für das Velo und auch keine Nutzenfunktion für die Routenwahl. Es liegen geeignete Velozählraten vor.

Wie würde diese Fragestellung mit synthetischen Modellen gelöst?

Umlegung Veloverkehrsmatrix Erstellung eines Netzmodells für den Veloverkehr. Ermittlung einer Nutzenfunktion für die Umlegung, Umlegung der Veloverkehrsmatrix auf das Netz, Kalibration der Belastungen. Modellierung der Velovorzugsroute im Modell inkl. Neuberechnung der Verkehrsmittel- und Routenwahl.

Mit welchen generischen Modellansätzen lässt sich die Fragestellung beantworten?

Pivot Point & Umlegung Erstellung eines Velonetzes für den Korridor unter Beachtung, dass alle potenziellen Alternativrouten im Netz enthalten sind. Berechnung des Modalsplits durch Pivot Point mit den Nutzenfunktionen des multimodalen Verkehrsmodells. Umlegung des Veloverkehrs auf das Velonetz mit einer möglichst einfachen Nutzenfunktion.

Multivariates Mo-Verschiedene Plattformen sammeln in grossen Stil Daten zum Verkehrsverhalten mit nutzer-generierten Daten von Joggern, Wanderern und Velofahrenden. Die Datensätze enthalten Angaben zum Routing, Geschwindigkeiten und zum Verkehrszweck. Nutzung dieser Daten zur Ermittlung der Nachfrage und Schätzung multivariater Routenwahlmodelle. Abschätzung der Routenwahlveränderungen.

Potenzialanalyse Identifikation der Quell-Ziel-Beziehungen, für die die Velovorzugsroute relevant sein könnte. Ermittlung von Verlagerungsfaktoren in der Routen- und Verkehrsmittelwahl auf Basis von Erfahrungswerten aus der Literatur. Abschätzung des Anteils Velofahrten aus der unkalibrierten Veloverkehrsmatrix, welche die neue Velovorzugsroute benutzen. Abschätzung des Verlagerungspotenzial von MIV und ÖV auf die Velovorzugsroute. Berechnung des Potenzial durch Zusammenführung der verlagerten Fahrten und der Velofahrten, die neu die Velovorzugsroute benutzen.

Welche Datengrundlagen sind dafür erforderlich und wie werden diese bezogen?

Pivot Point & Umlegung Netzdaten Veloverkehr, Zählraten über den Untersuchungszeitraum

Multivariates Mo-Nutzer-generierter Datensatz zu Velofahrten über eine möglichst lange Zeit-dell mit nutzer-generierten Daten reihe und grossen Untersuchungsraum, Zählraten für die Hochrechnung auf nerierten Daten absolute Mengen

Potenzialanalyse Nachfragebeziehungen aus dem Basismodell, Referenzwerte aus vergleich-mittels Faktoren baren Untersuchungsräumen

Würdigung der Ansätze

Der synthetische Ansatz mit der Erstellung eines neuen Veloverkehrsnetzes ist sehr aufwändig und für ein einzelnes Projekte nicht realistisch. Falls jedoch in absehbarer Zeit mehrere solcher Untersuchungen geplant sind, kann dieser Ansatz erwogen werden. Anders sieht diese Einschätzung zudem aus, wenn bereits ein kalibriertes Veloverkehrsmodell vorliegt. In diesem Fall ist die Verwendung des synthetischen Modells zu bevorzugen.

Bei der Nutzung von nutzer-generierten Daten aus verschiedenen Jahren gilt es unbeabsichtigte Effekte auf die Daten zu berücksichtigen. Dazu gehören Veränderungen der Plattformen und des Markts, in dem sie sich bewegen, sowie der Anreize und Verfahren für die Erfassung und Weiterverarbeitung von Daten. Die Zulässigkeit und geeignete Korrekturmassnahmen müssen immer für den einzelnen Anwendungsfall abgeschätzt werden.

4.9 Analyse der Nutzung von Parks / Freizeitflächen

Der Fussverkehr gewinnt vor allem im urbanen Raum eine zunehmende Bedeutung. Im SVI Forschungsauftrag «Fussverkehrspotenzial in Agglomerationen» wurde untersucht, welche Faktoren dazu beitragen den Fussverkehr in urbanen Gebieten zu fördern. Wichtige Einflussfaktoren waren einerseits eine hohe Dichte und Diversität von möglichen Zielen und andererseits die Qualität der Umgebung. Letztere ist zentral für das Wohlbefinden der Fussgänger und die Aufenthaltsnutzung. Eine hohe Aufenthaltsqualität führt dazu, dass der öffentliche Raum als Begegnungsort wahrgenommen wird, an dem auch soziale Interaktionen stattfinden können.

Traditionelle Räume mit hoher Aufenthaltsqualität sind Parks und Freizeitflächen. Sie spielen in vielen Schweizer Städten und Agglomerationen eine wichtige Rolle für die Erholung der Bevölkerung und als Begegnungsort für die Quartiersbevölkerung. Bisher gibt es jedoch nur wenig Daten dazu, wie diese Flächen genutzt werden. Neue Technologien können hier eine wichtige Rolle bei der Analyse dieser spielen. Die daraus abgeleiteten Erkenntnisse können dazu genutzt werden, auch andere Räume für die Aufenthaltsnutzung attraktiver zu machen. Darum beschäftigt sich das letzte Anwendungsbeispiel mit der Möglichkeit der Nutzung neuer Technologien zur Analyse der Nutzung von Parks / Freizeitflächen. Aufgrund der anders gearteten Aufgabenstellung lässt sich dieses Anwendungsbeispiel jedoch nur bedingt mit den zuvor beschriebenen Anwendungsbeispielen vergleichen.

Mit synthetischen Modellen ist eine Modellierung dieser Verkehre nicht möglich. Einerseits werden die Fussverkehrsmatrizen aufgrund fehlender Netze und Zählraten nicht kalibriert, andererseits werden in diesen Modellen nur Wege abgebildet, die zwischen zwei verschiedenen Orten bzw. Aktivitäten durchgeführt werden. Der Weg als Selbstzweck wie beim Spaziergehen, Wandern oder Joggen kann hingegen nicht angemessen abgebildet werden.

Ein geeigneter generischer Ansatz für die Analyse der Nutzung von Parks ist die Auswertung von Raum-Zeit-Trajektorien von Parknutzenden mit **multivariaten Regressionsmodellen**. Multivariate Regressionsmodelle sind deshalb gut geeignet, da es bei der Fragestellung nicht darum geht, Veränderungen gegenüber einem Referenzzustand aufzuzeigen und in der Regel mehrere Einflussgrössen relevant sind. Zur Ermittlung der Trajektorien können die Bewegungen der Parknutzenden mit einem feinmaschigen Netz aus Bluetooth Beacons (vgl. Kapitel 5.7) erfasst werden. An den Parkeingängen kann mittels Hand- oder Radarzählungen die Gesamtzahl Nutzer*innen bestimmt und daraus Erkennungsraten abgeleitet und eine Hochrechnung der Ergebnisse vorgenommen werden. Auf Grundlage dieser Daten können dann verschiedene multivariate Modelle erstellt werden.

Eine Anwendung wäre zum Beispiel die Ermittlung der Faktoren für längere Aufenthaltszeiten. Dazu können z.B. mittels Clusteranalyse Aufenthaltsorte identifiziert werden, an denen sich mehrere Nutzer*innen über längere Zeit aufhalten. Diese Cluster können dann mit den zu untersuchenden Einflussgrössen für die Aufenthaltsqualität (z.B. Feuerstelle, Wiese, Spielplatz, Sitzgelegenheiten, Nähe zum nächsten Weg, Bäume in der Nähe etc.) beschrieben werden. Auf dieser Grundlage kann dann ein multivariates Modell geschätzt werden, das den Zusammenhang zwischen Aufenthaltslänge und den verschiedenen Attributen abbildet.

Eine weitere mögliche Anwendung ist die Schätzung eines multivariaten Routenwahlmodells für Spaziergänger. Dazu werden aus den Trajektorien Quell-Ziel-Beziehungen bestimmt, für die es Beobachtungen von mehreren Nutzer*innen gibt. Anschliessend werden für jede Quell-Ziel-Beziehung die möglichen Routen bestimmt und ihnen potenziell relevante Attribute zugeordnet (z.B. Länge, Bodenbelag, Baumbestand entlang der Route, besondere Merkmale wie Seeblick etc.). Für jede Route wird zudem bestimmt, von welchem Prozentsatz der Nutzer*innen sie gewählt wird. Auf dieser Grundlage kann dann ein multivariates Modell geschätzt werden, mit dem bestimmt werden kann, welche Attribute den grössten Einfluss auf die Routenwahl haben.

Eine Stärke von generischen Modellen ist, dass sie auch dort zum Einsatz kommen können, wo ein synthetisches Modell an seine Grenzen stösst, wie es bei diesem Anwendungsbeispiel der Fall ist. Hier geht es im ersten Schritt um eine explorative Analyse des Nutzungsverhaltens, wofür multivariate Modelle ein gutes Werkzeug darstellen.

Dabei ist zu beachten, dass für die Schätzung von aussagekräftigen Modellen die Stichprobe ausreichend gross muss. Entsprechen feinmaschig sollte daher das Detektornetz sein. Zudem sollten beim Erhebungsdesign externe Faktoren wie Saisonalität und das Wetter berücksichtigt werden. Um die Ergebnisse auf andere Orte übertragen zu können, empfiehlt es sich zudem, Erhebungen an mehreren Orten durchzuführen. Die Erhebung der Variablen zur Beschreibung der Alternativen ist aufwändig, aber essenziell, um aussagekräftige Resultate zu erhalten. Vor Beginn der Fragestellung sollte daher das Ziel der Analyse genau eingegrenzt werden.

Fragestellung

Mit Hilfe neuer Technologien soll die **Nutzung von Parks / Freizeitflächen** analysiert werden. Das Ziel der Studie ist es, Erkenntnisse abzuleiten, wie auch andere Räume für den Fussverkehr und insbesondere die Aufenthaltsnutzung attraktiver gemacht werden können. Dazu werden die Bewegungen der Parknutzer*innen mit einem feinmaschigen Netz aus Bluetooth Beacons (vgl. Kapitel 5.7) erfasst. Das Ergebnis der Aufzeichnungen sind die Raum-Zeit-Trajektorien der Nutzer*innen. An den Parkeingängen kann mittels Hand- oder Radarzählungen die Gesamtzahl Nutzer*innen bestimmt und daraus Erkennungsraten abgeleitet und eine Hochrechnung der Ergebnisse vorgenommen werden.

Wie würde diese Fragestellung mit synthetischen Modellen gelöst?

Makroskopisches Modell Die Nachfrage im Fussverkehr wird in makroskopischen Modellen meist mangels Datenverfügbarkeit nicht auf Zählwerte kalibriert. Eine Modellierung der Aufenthaltsnutzung ist in klassischen Verkehrsmodellen nicht möglich.

Mit welchen generischen Modellansätzen lässt sich die Fragestellung beantworten?

Multivariates Mo-Aus den Trajektorien wird ermittelt, wo die Nutzenden sich für längere Zeit aufhalten. Mittels Clusteranalyse werden typische Aufenthaltsorte über alle lungen der Faktoren für längere Aufenthaltszeiten (z.B. Feuerstelle, Wiese, Spielplatz, Sitzgelegenheiten, Nähe zum nächsten Weg, Bäume in der Nähe etc.) beschrieben. Daraus wird ein Multivariates Modell geschätzt, das den Zusammenhang zwischen Aufenthaltslänge und den verschiedenen Attributen abbildet.

Multivariates Mo-Für spezifische Relationen werden die möglichen Routen ermittelt und an- dell zur Ermitt- hand der Bluetooth Trajektorien ermittelt, welche Routen von welchem Pro- zentsatz der Nutzer*innen gewählt werden. Den Routenalternativen werden wahlparameter potenziell relevante Attribute zugeordnet (z.B. Länge, Bodenbelag, Baumbe- stand entlang der Route, besondere Merkmale wie Seeblick etc.). Daraus wird ein multivariates Modell geschätzt, mit dem bestimmt werden kann, wel- che Attribute den grössten Einfluss auf die Routenwahl haben.

Welche Datengrundlagen sind dafür erforderlich und wie werden diese bezogen?

Multivariates Mo-Raum-Zeit-Trajektorien von Parknutzenden, Zählraten zur Hochrechnung der dell zur Ermitt- Trajektorien, Attribute zur Beschreibung der Aufenthaltsorte lungen der Fakto- ren für längere Aufenthaltszeiten

Multivariates Mo-Raum-Zeit-Trajektorien von Parknutzenden, Zählraten zur Hochrechnung der dell zur Ermitt- Trajektorien, Netzgraph zur Beschreibung der Routenalternativen, Attribute lungen der Routen- zur Beschreibung der Alternativen wahlparameter

Würdigung der Ansätze

Für die Schätzung von aussagekräftigen Modellen muss die Stichprobe ausreichend gross und das Detektornetz möglichst feinmaschig sein. Zudem haben die Jahreszeit und das Wetter einen sehr grossen Einfluss auf den Aufenthalt in Parkanlagen. Das muss beim Erhebungsdesign entsprechend beachtet werden. Um die Ergebnisse auf andere Gegebenheiten übertragen zu können, empfiehlt es sich zudem, Erhebungen an mehreren Orten durchzuführen. Die Erhebung der Variablen zur Beschreibung der Alternativen ist aufwändig, aber essenziell, um aussagekräftige Resultate zu erhalten. Vor Beginn der Fragestellung sollte daher das Ziel der Analyse genau eingegrenzt werden.

4.10 Fazit

In diesem Kapitel wurden Anwendungsbereiche identifiziert, die ein grosses Potenzial für generische Ansätze in der Verkehrsplanung haben. Für jeden Anwendungsbereich wurde eine Fragestellung konkretisiert und für diese Fragestellung aufgezeigt, wie sie mit synthetischen Modellen gelöst werden könnte und welche generischen Ansätze sich aus welchen Gründen eignen und was die Vor- und Nachteile der einzelnen Ansätze sind.

Die Stärken von synthetischen Verkehrsmodellen sind, dass sie unabhängig von der Anwendung validiert werden und so das Verkehrsverhalten im Untersuchungsraum insgesamt plausibel abbilden. Damit müssen die Anwender*innen deutlich weniger eigene Annahmen treffen und die Ergebnisse sind besser reproduzierbar. Zudem können synthetische Verkehrsmodelle Wechselwirkungen z.B. zwischen Ziel- und Verkehrsmittelwahl besser abbilden als dies mit generischen Ansätzen möglich ist. Falls ein synthetisches Modell für den Untersuchungsraum vorliegt, ist es daher sinnvoll zu prüfen, ob es für die Beantwortung der Fragestellung geeignet ist. Dies gilt insbesondere für Fragestellungen, für die das synthetische Modell explizit gebaut wurde, wie z.B. Veränderungen in der Bevölkerungsstruktur. Falls das vorhandene synthetische Modell den zu untersuchenden Aspekt des Verkehrsverhaltens nicht abbildet, ist zu prüfen, inwiefern in der Zukunft ähnliche Anwendungen zu erwarten sind. Falls ein Kanton oder eine Gemeinde in der Zukunft viele Veloverkehrsmassnahmen prüfen will, kann es beispielsweise sinnvoll sein, das Verkehrsmodell um ein Velonetz zu erweitern und die Veloverkehrsmatrix zu kalibrieren. Für die Untersuchung einer einzelnen P+Rail-Anlage ist hingegen eine Anpassung und Neuschätzung des synthetischen Verkehrsmodells finanziell und zeitlich nicht realistisch leistbar.

Die Stärken von generischen Ansätzen sind, dass diese für eine einzelne Anwendung oft weniger aufwändig sind als die Anwendung eines synthetischen Verkehrsmodells. Zudem kann das Vorgehen und die hinterlegten Annahmen transparent aufgezeigt werden. Für Entscheidungsträger, die nicht mit Verkehrsmodellen vertraut sind, sind daher die Resultate oft besser nachzuvollziehen und erwecken weniger den Eindruck einer Blackbox. Generische Ansätze sind darüber hinaus einem breiteren Anwenderkreis zugänglich, da insbesondere die Neuberechnung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl mit einem synthetischen Verkehrsmodell ein gewisses Mass an Expertenwissen und Vertrautheit mit dem spezifischen Verkehrsmodell erfordert. Besonders gut geeignet sind generische Ansätze für Anwendungen auf hoher Flugebene aber auch für Anwendungen, bei denen synthetische Modelle an ihre Grenzen kommen.

Die Auswahl des geeignetsten generischen Ansatzes ist weniger vom Kontext der Fragestellung abhängig, sondern vielmehr von den erwarteten Einflussgrössen, den vorhandenen Datengrundlagen und den erwarteten Auswirkungen. Sowohl die Fragestellung als auch der erwartete Output muss daher vor der Auswahl des generischen Ansatzes sehr spezifisch definiert sein. Eine gute Hilfestellung kann dabei das in Kapitel 3.7 aufgezeigte Flussdiagramm sein.

Aus der Diskussion der Anwendungsbeispiele haben sich zudem folgende allgemeingültige Hinweise für die Anwendung von generischen Ansätzen ergeben:

- In einigen der Anwendungsbeispielen wird das Vorhandensein von Nachfragematrizen vorausgesetzt. Mit dem NPVM 2017 liegen schweizweit Nachfragematrizen in relativ hoher Auflösung vor. Falls es für das Untersuchungsgebiet ein kantonales oder regionales Verkehrsmodell gibt, sollte geprüft werden, ob diese für die Anwendung besser geeignet sind. Natürlich können aber auch Nachfragematrizen aus anderen Quellen (z.B. Befragungen oder Nummernschilderhebungen) genutzt werden. Liegt ein synthetisches Verkehrsmodell vor, sollte zudem geprüft werden, welche Grundlagen und Ergebnisse aus dem Modell hilfreich sind, um einen generischen Ansatz einzusetzen.
- Für die Anwendung von generischen Ansätzen sind oft Annahmen zu treffen. Diese wirken sich aufgrund fehlender Wechselwirkungen mit anderen Aspekten oft stärker auf das Ergebnis aus als in synthetischen Modellen. Daher ist es hier besonders wichtig, diese Annahmen breit abzustützen. Für Aussagen zur Belastbarkeit der Ergebnisse kann daher die Berechnung von Sensitivitäten sinnvoll sein.

- Da ein generischer Ansatz stark auf Annahmen beruht, sind die Ergebnisse der Anwendung vor dem Hintergrund dieser Annahmen immer kritisch zu hinterfragen.
- Die reine Anwendung eines generischen Ansatzes ist in der Regel nicht aufwändig. Der Aufwand für die Aufbereitung der notwendigen Grundlagedaten ist aber nicht zu unterschätzen.
- Für sehr spezifische Fragestellungen kann es eine Herausforderung sein, die geeigneten Parameter oder Elastizitäten in der Literatur zu finden. Dies wird dadurch erschwert, dass die Parameter auf der Grundlage von Schweizer Daten geschätzt sein sollten, da das Verkehrsverhalten in anderen Ländern teilweise stark von dem in der Schweiz abweichen kann.
- Die Schätzung und Anwendung von generischen Modellen erfordert gewisse Erfahrung in der Verkehrsmodellierung. Wichtig ist dabei auch immer Stichprobengrößen und Gültigkeitsbereiche zu beachten.
- Bei der Abwägung zwischen generischen und synthetischen Modellen spielt neben den vorhandenen Grundlagedaten die Flughöhe der Fragestellung eine wichtige Rolle. Generische Modelle sind besonders gut geeignet für Abschätzung auf einer hohen Flughöhe und haben dort einen deutlichen Kostenvorteil gegenüber synthetischen Modellen. Für eine detaillierte Betrachtung von konkreten Massnahmen oder der Abbildung von Wechselwirkungen sind hingegen synthetische Verkehrsmodelle geeigneter.
- Generische Ansätze bieten eine gute Möglichkeit, neue Datenquellen für Anwendungen in der Verkehrsplanung zu nutzen.

5 Datenquellen zum Aufbau generischer Verkehrsmodelle

Moduspezifische Quell-Ziel-Matrizen sind, wie in Kapitel 2 ausführlich beschrieben, ein Hauptbestandteil synthetischer Modelle der Verkehrsnachfrage. In der Regel werden dabei verschiedene Aufwände (z.B. Reisezeit, Kosten, Entfernung etc.) über Nutzenfunktionen in Nutzen für die einzelne verhaltenshomogene Gruppe umgewandelt. Die so entstehende Nutzenmatrix wird mit Daten des Verkehrsverhaltens und der Raumstruktur synthetisch durch Modellberechnungen verknüpft. Die Daten des Verkehrsverhaltens und die Parameter der Nutzenfunktionen werden über empirischen Methoden bestimmt. Die Verkehrsverhaltensdaten stammen dabei traditionell aus Haushaltsbefragungen (für eine Übersicht zur Sammlung von Daten durch Befragungen oder Beobachtungen in der Verkehrsforschung siehe Widmer und Aemisegger (2015), siehe auch Ruesch, Widmer und Axhausen (2018)). In der Schweiz ist der Mikrozensus Mobilität und Verkehr die zentrale Befragung zum Verkehrsverhalten (BFS und ARE 2017). Als Grundlage zur Bestimmung von Parametern der Nutzenfunktionen steht die Schweizer Stated-Preference-Befragung zur Verkehrsmodus- und Routenwahl zur Verfügung (ARE 2016, siehe auch ARE 2017). Daten aus Verkehrszählungen stellt beispielsweise das ASTRA für die Nationalstrassen zur Verfügung (ASTRA 2018), während Pendlerdaten in der PEND-Statistik des Bundesamtes für Statistik (BFS) publiziert werden (BFS, 2020).

Insbesondere die Planung, Durchführung und Analyse von Haushaltsbefragungen zum Verkehrsverhalten geht mit hohen zeitlichen und monetären Kosten einher. In diesem Zusammenhang richten sich Hoffnungen auf das Potenzial neuer Datenquellen. Sie sollen die beschriebenen Kosten reduzieren und ein möglichst vollständiges und aktuelles Bild der Verkehrsbeziehungen zeichnen. Statt verhältnismässig kleiner Stichproben aus Haushaltsbefragungen und daraus resultierenden partiellen Quell-Ziel-Matrizen sollen räumliche Verkehrsverflechtungen direkt und möglichst umfassend beobachtbar sein. Beispiele für diese neueren Datenquellen finden sich im Bereich GPS-basierter Beobachtungen, automatischer Zählsysteme und von Nutzungsinformationen zu Sharing-Angeboten der Mikromobilität. Im Folgenden werden ausgewählte Beispiele für derartige neue Datenquellen vorgestellt und hinsichtlich ihres Potenzials zur Erstellung generischer Verkehrsmodelle beschrieben. Die Beschreibungen sind bewusst kurz gehalten, da sie bereits in anderen Arbeiten ausführlich vorgestellt werden. Detailliertere Darstellungen der jeweiligen Technik und des ihr innewohnenden Potenzials für Mobilitätsenerhebungen finden sich beispielsweise in Widmer et al. (2016) (siehe auch Widmer und Buhl (2011), FGSV (2019)).

Zu jeder Datenquelle wird zunächst der datengenerierende Prozess und damit das Zustandekommen der Informationen beschrieben. Da die Qualität der Prognosen eines Verkehrsnachfragemodells direkt von der Qualität der Eingangsdaten abhängig ist, wird dabei besonders auf die Stichprobengrösse, die Möglichkeit für statistische Verallgemeinerungen und die enthaltenen soziodemographischen Charakteristika und Verkehrsinformationen geachtet. Explizit wird auch auf die Einwilligung und Mitwirkung der befragten Personen und damit verbundene Aspekte des Datenschutzes eingegangen.

Danach werden je Datenquelle die für die Erstellung eines generischen Verkehrsmodells notwendigen Informationen in Form eines Faktenblattes präsentiert. Dieses Faktenblatt beschreibt stichpunktartig die rechtliche Verfügbarkeit und räumliche Auflösung der Daten, ob die Informationen ergänzend oder ersetzend zu traditionellen Erhebungsdaten stehen und welche Aspekte des Verkehrsverhaltens in Bezug auf Aktivitäten und/oder Wege und Entscheidungen zur Ziel-, Modus- und Routenwahl enthalten sind. Ferner liefert das Faktenblatt Hinweise für die Anwendungspotenziale in generischen Verkehrsmodellen und geeignete Modellierungsansätze. Beispielfhaft werden Berichte zur Datenaufbereitung benannt. Auch sind die Kosten zur Datenbeschaffung und –aufbereitung im Verhältnis zu traditionellen Haushaltsbefragungen grob geschätzt. Genauere Angaben zu den finanziellen Aufwänden fallen schwer, da sie von zahlreichen Faktoren wie beispielsweise der Datenerhebungsmethode, dem Untersuchungsgebiet und der Stichprobengrösse abhängig sind.

Die Faktenblätter schliessen mit den Vor- und Nachteilen für die Verwendung der Datenquelle in der Verkehrsnachfragemodellierung.

Hauptsächlich beschäftigen sich die Faktenblätter mit Datenquellen, die in direktem Bezug zum Verkehrsverhalten stehen und den Nachvollzug räumlicher Bewegungen erlauben. Die entsprechenden Datenquellen sind:

- Mobile GPS Data
- Floating Car Data
- Mobile Network Data
- Automatische Fahrgastzählungen im Öffentlichen Personenverkehr
- Buchungs- und Zahlungsinformationen im Öffentlichen Personenverkehr
- Nutzungsinformationen zu Sharing-Angeboten
- Digitale Foto- und Videosysteme
- Wifi / Bluetooth

5.1 Daten aus Global Navigation Satellite Systems

Das bekannteste Global Navigation Satellite System (GNSS) ist das Global Positioning System (GPS). Dieses System wird hier stellvertretend für weite Systeme beschrieben. Es nutzt die Entfernung zwischen einem GPS-fähigen Objekt und mehreren Satelliten zur Ermittlung räumlicher Positionsinformationen. Geräte, die technische Navigationshilfen anbieten sind GPS-fähig. Diese Geräte lassen sich weiter unterteilen in:

- Tragbare Geräte, beispielsweise Smartphones, Tablets oder GPS-Logger;
- Fest verbaute Geräte, beispielsweise fahrzeuggebundene Navigationssysteme.

In beiden Fällen stimmen Nutzer*innen der Sammlung und Verwendung der Daten einmalig bei der Übernahme des Empfangsgerätes oder der Installation einer App zu.

Das Zusammenspiel aus zeitlichen Informationen und räumlichen Positionsdaten erlaubt die Ableitung von Bewegungen und die Berechnung von Geschwindigkeiten für das Empfangsgerät (Mannsfeld 2009). Generelle technische Herausforderungen in der Positionsbestimmung umfassen mögliche Fehler in den Satelliten, Störungen des Signals zwischen Satelliten und Empfangsgerät, beispielsweise durch Decken oder Häuserschluchten, und Fehler im Empfangsgerät selbst (Bauer 2011, siehe auch Montini et al. 2014).

Welche Informationen übergeben werden, ist anbieterabhängig. Die Möglichkeit des Nachvollzugs einzelner Raum-Zeit-Trajektorien ist an eine ID für den Signalempfänger gebunden und in der Regel für einen Tag möglich. Einzelne Anbieter wenden auch kürzere oder längere Zeitintervalle an. Zur Verwendung der Daten in einem Verkehrsnachfragemodell müssen die Raum-Zeit-Trajektorien aufbereitet werden. Diese Arbeiten umfassen die Unterteilung der Trajektorien in Wege, wofür Verweildauern genutzt werden. Dabei ist auf Zwischenhalte zu achten, die im Falle eines Verkehrsnachfragemodells nur teilweise von Relevanz sind, verursacht beispielsweise durch Tankvorgänge, das Rasten oder Umsteigevorgänge im ÖV. Herausforderungen können auch aus Staus und Datenlücken z.B. in Tunneln oder stark abschirmenden Verkehrsmitteln (z.B. Zügen) resultieren. Auf Basis der Unterteilungen entstehen Wegeketten und Quell-Ziel-Matrizen (s. Montini et al. 2014). Einige Anbieter fahrzeugbezogener Systeme offerieren die bereits in Wege unterteilten Trajektorien als eigenes Produkt, wobei aus datenschutzrechtlichen Gründen die exakten Start- und Zielorte verfälscht werden. In einem solchen Fall ist zu erfragen, wie die Wegeketten hergeleitet wurden und mit den beschriebenen Herausforderungen in Bezug auf irrelevante Zwischenstopps umgegangen wurde. Insgesamt ist festzuhalten, dass die Qualität der räumlich-zeitlichen Auflösung im Falle von GPS-Daten hoch ist.

Die Wegezwecke bzw. die im Rahmen eines Stopps durchgeführten Aktivitäten müssen auf Grundlage der baulichen Umgebung des Zielortes und der zeitlichen Charakteristika (Dauer, Uhrzeit, Häufigkeit des Aufenthalts am gleichen Ort) hergeleitet und den Daten zugespielt werden. Auch die verwendeten Verkehrsmittel müssen imputiert werden. Dies erfolgt in der Regel auf Grundlage einer Mischung zwischen Geschwindigkeits- und Beschleunigungsmustern sowie der Übereinstimmung der räumlichen Datenpunkte mit digitalen Verkehrsnetzen und beispielsweise ÖV-Haltestellen. Die gewählten Routen werden durch ein Map-Matching zwischen Datenpunkten und einem digitalen Verkehrsnetz identifiziert.

5.1.1 GPS-Daten aus tragbaren und App-fähigen Signalempfängern (Mobile GPS Data)

Im Falle von Daten, die auf GPS-Logs aus tragbaren und App-fähigen Signalempfänger resultieren, bieten eine Reihe von Firmen die Implementierung von Zusatzbefragungen in der angebotenen Tracking-App an. Diese Kombinationen werden als aktives GPS-Erhebungsdesign bezeichnet (Rindsfuser und Klügl 2014) und nutzen den Vorteil, dass mobilfunkfähige Geräte und insbesondere Telefone oft am Körper getragen werden und über Eingabemedien verfügen (s. Cottril 2013). Eine solche Befragung ist zusätzlich zu beauftragen und die entsprechenden Befragungsinhalte sind festzulegen. Zielen die erfragten Informationen auf Details der Verkehrserzeugung, der Wegezwecke oder auf die Ziel-, Routen- und Verkehrsmittelwahl ab, können sie Unsicherheiten reduzieren, die bei einer ausschliesslichen Verwendung der GPS-Daten und den oben beschriebenen Imputationen bestehen. Daneben lassen sich individuelle Informationen zu den gerätetragenden Personen und ihren Haushalten erfragen. Die Befragungen lassen sich technisch vergleichsweise aufwandsarm programmieren. Es ist jedoch zu bedenken, dass die Informationen aus Zusatzbefragungen eine steigende Last für die Gerätetragenden bedeuten und, genau wie Haushaltsbefragungen, mit einem Betreuungsaufwand einhergehen. Auch können die erfragten Informationen unvollständig sein.

Die räumliche Auflösung GPS-basierter Daten ist hoch. Als ein Resultat dieser hohen Auflösung enthalten die Daten auch Wege mit kurzen Distanzen. Demgegenüber sind die Möglichkeiten zur statistischen Verallgemeinerung begrenzt. Die hergeleiteten empirischen Quell-Ziel-Matrizen beruhen immer auf einer tendenziell kleinen Stichprobe des Gesamtverkehrs. Generell bildet die Durchdringung des Tracking-App Anbieters in Bezug auf das Gesamtverkehrsgeschehen den Schlüssel für Hochrechnungen. Werden soziodemographische Daten im Rahmen einer Zusatzbefragung erfasst, ist die Ziehung geschichteter oder quotierter Stichproben möglich. Die Hochrechnung der Stichprobenmerkmale kann dann auch auf Personenebene erfolgen.

Datengrundlage

Bewegungsprofile aus tragbaren GPS-Empfängern, bspw. Smartphones (Mobile GPS Data)

Kurzbeschreibung der Datenquelle

Die Daten enthalten raum-zeitliche Bewegungen der mobilen Empfangsgeräte und lassen Rückschlüsse auf die Verkehrsmittel-, Routen- und, mit Einschränkungen, Zielwahl zu.

Verfügbarkeit der Daten

Rechtlich	Die Teilnahme an der Datensammlung erfolgt freiwillig über die Nutzung einer Tracking-App. Je nach Anwendungsfall sind Querschnitt- und Längsschnittdaten verfügbar.
Räumlich	Flächendeckend, wobei die fein aufgelösten Bewegungen eines Empfangsgerätes (nicht zwangsläufig einer Person) erfasst werden.

Wie stehen die Daten zu traditionellen Erhebungsdaten?

Komplementär	Soziodemographie, Mobilitätswerkzeugbesitz lassen sich vergleichsweise leicht in Zusatzbefragungen umsetzen.
Substituierend	Ersatz von Wegetagebüchern (s. Kohla and Meschik 2013)

Welche Entscheidungen sind in den Daten enthalten?

Verkehrsaufkommen	Aus den Trajektorien werden Wege auf Basis von Verweildauern abgeleitet, ohne dass eine Differenzierung der Stopps möglich ist (z.B. Rastplatz, Stau, Signalanlage). Einzelne Anbieter splitten lange Wege (> 2 Stunden Reisezeit) auf.
Zielwahl	Der Wegezweck muss über den Abgleich zwischen Trajektorien, Aktivitätendauern, der baulichen Umgebung und Flächennutzung imputiert werden. Die Liste potenzieller Ziele und eine Differenzierung von Personengruppen lassen sich durch Zusatzbefragungen eingrenzen.
Moduswahl	Die Moduswahl muss durch ein Map-Matching mit digitalen Verkehrsnetzen und realisierte Geschwindigkeiten sowie Beschleunigungsmustern imputiert werden. Sie kann auch durch Zusatzbefragungen erhoben werden.
Routenwahl	Wird zwischen Quelle und Ziel und auf Grundlage eines Map-Matchings der erfassten Trajektorien auf ein elektronisches Verkehrsnetz imputiert.

Für welche generischen Modellierungsansätze eignen sich die Daten?

Die Daten eignen sich zur Schätzung multivariater Modelle für die oben genannten Entscheidungen. Damit sind auch Ansätze auf Basis von Elastizitäten, Faktoren und der Pivot Point nutzbar. In Bezug auf den Gravitationsansatz können Widerstandsfunktionen abgeleitet werden.

Beispielhafte Quellen und Hinweise zur Datenaufbereitung

Qualitätsstandard	National cooperative highway research program (NCHRP) (2014a, 2014b, 2018)
Erfahrungsberichte	Montini (2016), Molloy (2020), Nationales Forschungsprogramm (NFP) 75 (im Erscheinen).

Was sind die zu erwartenden Kosten im Verhältnis zu Haushaltsbefragungen?

Für die Beschaffung	Gleich: Die Daten oder Angebote zur Datensammlung sind einzukaufen. Zu erfragen ist zudem der Marktanteil der Anbieter im Untersuchungsgebiet, die Möglichkeit und der Aufwand für Zusatzbefragungen und wie die Daten selektiert werden.
Für die Datenaufbereitung	Teurer und mit Unsicherheiten verbunden: Viele Informationen müssen imputiert werden. Die abgeleiteten OD-Relationen müssen entsprechend der Marktdurchdringung des Anbieters oder entsprechenden soziodemographischen Informationen hochgerechnet werden.

Was sind die Nachteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

Die Stichprobe ist oft gering und die enthaltenen Verkehrsverflechtungen sind als partiell anzusehen. Ohne Zusatzbefragung fehlen Informationen zu Aktivitäten und Personengruppen, womit eine Prüfung der Repräsentativität und die Hochrechnung der Stichprobe herausfordernd und mit Unsicherheiten behaftet sind.

Was sind die Vorteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

Hohe räumliche und zeitliche Auflösung. Die Möglichkeit für Zusatzbefragungen erhöht die Kosten und Befragungslast, hilft aber auch Unsicherheiten im Bereich der Imputation verkehrlicher Informationen und bei der Hochrechnung zu reduzieren (s. Oliveira et al. 2011).

5.1.2 GPS-Daten aus verbauten Navigationssystemen (Floating Car Data)

Auch im Falle festverbauter Navigationssysteme und den resultierenden Floating Car Data müssen die in der Regel tagesfein aufgelösten Raum-Zeit-Trajektorien auf der Basis von Verweildauern in Wege differenziert werden. Die Wegezwecke sind dann auf Grundlage der baulichen Umgebung des Zielortes und der Verweildauern herzuleiten. Die Moduswahl entfällt, da die Daten in der Regel auf den Motorisierten Individualverkehr bezogen sind. Einzelne Anbieter unterscheiden in den Daten zwischen PW und LW. Die Merkmale der gewählten Routen sind durch ein Map-Matching zwischen Datenpunkten und Strassennetz herzuleiten.

Für Hochrechnungen sind die Durchdringung des Anbieters in Bezug auf das Gesamtverkehrsgeschehen und die spezifische Flottenzusammensetzung der Fahrzeuge mit Signalempfänger zu ermitteln. Diese Informationen stellen den Schlüssel für eine statistische Hochrechnung der Stichprobenmerkmale dar. Zusatzbefragungen, wie sie bei Mobile GPS Data leicht möglich sind, sind für Floating Car Data schwierig umzusetzen. Sie wären an die Möglichkeit und Erlaubnis zur Kontaktaufnahme zu den Fahrzeughaltern gebunden und aus Gründen der Komplexität im Befragungsablauf mit einem hohen Aufwand verbunden. Das Erhebungsdesign ist daher beinahe immer passiv (Rindsfuser und Klügl 2014). Aufgrund der fehlenden Möglichkeiten für Zusatzbefragungen lassen sich die Unsicherheiten in der Imputation verkehrlicher Informationen und bei der Hochrechnung nicht reduzieren und stellen die zentrale Schwachstelle dieser Datenquelle dar.

Datengrundlage (Dargestellt werden nur Merkmale mit Unterschieden zu Mobile GPS Data)

Bewegungsprofile aus fest verbauten Navigationssystemen (Floating Car Data)

Kurzbeschreibung der Datenquelle

Die Daten enthalten raum-zeitliche Bewegungen aus Navigationsgeräten und eignen sich zur Ableitung monomodaler Quell- und Zielverkehrsaufkommen.

Verfügbarkeit der Daten

Rechtlich	ID's werden in der Regel nach 24 Stunden verändert, gering besetzte OD-Relationen werden gelöscht.
Räumlich	Flächendeckend, wobei die fein aufgelöste Bewegungen eines Fahrzeuges (nicht zwangsläufig einer Person) erfasst werden.

Wie stehen die Daten zu traditionellen Erhebungsdaten?

Komplementär	Soziodemographie, Mobilitätswerkzeugbesitz müssen erfragt werden.
Substituierend	Ersatz von MIV-Fahrtenbüchern.

Welche Entscheidungen sind in den Daten enthalten?

Zielwahl	Der Wegezweck muss über den Abgleich zwischen Trajektorien, Aktivitätendauern, der baulichen Umgebung und Flächennutzung imputiert werden, ohne dass eine Differenzierung nach Personengruppen möglich ist (Erwerbstätiger, Dienstreisender, Tourist). Bei gering besetzten Relationen werden die exakten Quell- und Zielorte unkenntlich gemacht. Wege mit geringen Distanzen sind enthalten.
Moduswahl	Teilweise ist eine Differenzierung zwischen PW und LW in den Daten enthalten. Weitere Verkehrsmittel werden in der Regel nicht abgebildet.
Routenwahl	Wird auf Grundlage eines Map-Matchings der erfassten Trajektorien auf ein elektronisches Strassennetz imputiert.

Für welche generischen Modellierungsansätze eignen sich die Daten?

Die Daten eignen sich zur Schätzung multivariater Modelle für die oben genannten Entscheidungen. Damit sind auch Ansätze auf Basis von Elastizitäten, Faktoren und der Pivot Point nutzbar. In Bezug auf den Gravitationsansatz können Widerstandsfunktionen abgeleitet werden.

Beispielhafte Quellen und Hinweise zur Datenaufbereitung

Qualitätsstandard	National cooperative highway research program (NCHRP) (2014a, 2014b)
Erfahrungsberichte	PTV (2019)

Was sind die zu erwartenden Kosten im Verhältnis zu Haushaltsbefragungen?

Für die Beschaffung	Günstiger: Den GPS-Anbietern liegen die Daten als Speed Profiles (Geschwindigkeiten und Reisezeiten) und Way Points (Quell-Zielbeziehungen) vor. Zu erfragen ist der Marktanteil der Anbieter im Untersuchungsgebiet und ob bzw. wie die Daten selektiert werden.
Für die Datenaufbereitung	Teurer und mit Unsicherheiten verbunden: Die abgeleiteten OD-Relationen müssen der Marktdurchdringung des Anbieters entsprechend auf Basis der Wegdistanzen für das Untersuchungsgebiet hochgerechnet werden.

Was sind die Nachteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

Die Stichprobe ist aufgrund geringer Flottengrößen oft klein und die enthaltenen Verkehrsverflechtungen sind als partiell anzusehen. In den Daten fehlen Informationen zu Aktivitäten und Personengruppen, womit eine Prüfung der Repräsentativität und die Hochrechnung der Stichprobe herausfordernd sind.

Was sind die Vorteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

Datenquelle mit ausreichend genauer räumlichen und zeitlichen Auflösung. Teilweise wird für den MIV eine Unterteilung in PW und LW angeboten. Die Daten können helfen, bestehende Quell-Ziel-Matrizen (bspw. aus einer Haushaltsbefragung) durch empirische Informationen anzureichern.

5.2 Mobile Network Data

Mobile Network Data (MND), auch als Floating Phone-Daten bezeichnet, enthalten Informationen zu den räumlichen Bewegungen eines mobilfunkfähigen Gerätes, wie beispielsweise ein Mobiltelefon, ein Tablet oder ein Laptop (alle Geräte mit SIM-Karte). Diese Bewegungen werden in unterschiedlichen Intervallen aufgezeichnet, solange der entsprechende mobile Datenservice eingeschaltet oder, im Falle eines Telefons, solange das Gerät eingeschaltet ist. Die höchste räumliche Auflösung der Daten entspricht der Grösse einer Funkzelle, die eine Ausdehnung von wenigen hundert Metern in urbanen Umgebungen bis zu vielen Kilometern Durchmesser in ländlichen Räumen annehmen kann. Die Nutzer*innen stimmt innen stimmt der Sammlung und Verwendung der Daten einmalig bei der Übernahme des Telefons oder der Aktivierung des mobilen Datenservices zu. In der Folge ist keine weitere aktive Handlung notwendig.

Die Übergabe des Gerätes zwischen Funkzellen lässt sich als räumliche Bewegung interpretieren. Diese Bewegungen sind in Form von Raum-Zeit-Trajektorien in den Daten dokumentiert. Aufgrund der hierarchischen Struktur von Mobilfunknetzwerken, die zwischen feiner aufgelösten Funkzellen und räumlichen Zusammenschlüssen von Funkzellen in gröber aufgelöste Location Areas unterscheidet, hat das Nutzungsverhalten einen direkten Einfluss auf die Dichte der Beobachtungen: Die aktive Nutzung eines Gerätes durch Telefonieren, das Versenden von Nachrichten und die Nutzung mobiler Daten von Apps wird auf Ebene der Mobilfunkzellen erfasst. Passive Verhaltensweisen werden dagegen nur auf Ebene der gröber aufgelösten Location Areas erfasst. Ist das Empfangsgerät nicht in Gebrauch oder Bewegung führt das Funknetz im Abstand einiger Stunden ein Positionsbestätigung durch. Unschärfen in den Raum-Zeit-Trajektorien sind bedingt durch die räumliche Ausdehnung der Funkzellen, da die exakte Position eines Gerätes innerhalb der beobachteten Zelle nicht genauer bestimmt werden kann. Daneben kann es im Überlappungsgebiet mehrerer Funkzellen zu Unsicherheiten in Bezug auf räumliche Bewegungen kommen. Dieses als Flickering bezeichnete Phänomen beschreibt den Wechsel eines Gerätes zwischen überlappenden Funkzellen, ohne dass eine räumliche Bewegung stattgefunden hat. Auch die Überlastung einer Funkzelle kann zu Unschärfen führen, da in diesem Fall zwar eine räumliche Bewegung stattfindet, die Signalübergabe in die überlastete Funkzelle aber verzögert wird. Diese Unsicherheiten schränken die Möglichkeiten zur Erkennung von kurzen Wegen unter etwa 2 km Länge erheblich ein (PTV 2020).

Wie bei GPS-basierten Daten ist die Möglichkeit des Nachvollzugs einzelner Raum-Zeit-Trajektorien an eine ID für das Empfangsgerät gebunden. Zur Verwendung der Daten in einem Verkehrsnachfragemodell müssen die Raum-Zeit-Trajektorien aufbereitet werden. Dazu sind zunächst anhand von Verweildauern die Raum-Zeit-Trajektorien in Wege zu unterteilen, was mit den für GPS-Daten bereits beschriebenen Herausforderungen im Bereich irrelevanter Stopps verbunden ist (Friedrich et al. 2010). Die Aktivitäten und angesteuerten Ziele müssen auf Grundlage der Verweildauern und der baulichen Umgebung hergeleitet werden, was sich aufgrund der niedrigeren räumlichen Auflösung deutlich schwieriger gestaltet als im Falle von GPS-Daten. Auch die genutzten Verkehrsmodi müssen hergeleitet werden, was durch den Abgleich der Wege mit Verkehrsnetzen geschieht. Aufgrund der niedrigen räumlichen Auflösung sind diese Arbeiten explizit auf den Verkehrsmodus begrenzt und funktionieren erst für Reiseweiten ab 40 km Luftlinie einigermaßen zuverlässig. Die Herleitung der Routenwahl funktioniert durch den Abgleich mit Verkehrsnetzen und ist durch die niedrige räumliche Auflösung der Daten an zahlreiche Annahmen und die damit einhergehenden Unsicherheiten gebunden (Friedrich 2010).

In der Regel werden die Daten bereits in Form von Quell-Ziel-Informationen, beispielsweise auf Ebene von Postleitzahlen, angeboten. Aus Datenschutzgründen werden dabei Wege auf dünn besetzten Relationen gelöscht, um die Anonymität der Gerätenutzenden nicht zu gefährden. Verfügbar sind oft wenige soziodemographische Informationen, wie Altersklasse und Geschlecht, zur vertragsunterzeichnenden Person für die SIM-Karte eines Gerätes (Bamberger et al. 2017). Es ist zu erfragen, ob diese Informationen zur Verfügung gestellt werden.

Für Verallgemeinerungen ist zu beachten, dass die Kunden eines Mobilfunkanbieters nur einen Teil aller mobilfunknutzenden Personen in einer Bevölkerung ausmachen und dass eine Verzerrung in Richtung einer gewissen Stichprobenpopulation wahrscheinlich ist. Trotz dieser Einschränkungen sind die Stichproben in der Regel sehr gross. Eine Hochrechnung der sich ergebenden Quelle-Ziel-Beziehungen muss auf Basis der Nutzenden und der über sie bekannten soziodemographischen Eigenschaften erfolgen. Manche Datenprovider bieten derartige Hochrechnungen an. Durch eine möglichst repräsentative Vervielfältigung der Stichprobenelemente wird eine synthetische Population geschaffen, welche die soziodemographische Merkmalsverteilung der Grundgesamtheit möglichst gut erfüllt.

Datengrundlage

Bewegungsprofile auf Basis von Mobile Network Data (MND; Floating Phone Data)

Kurzbeschreibung der Datenquelle

Die Daten enthalten raum-zeitliche Bewegungen zwischen Funkzellen und eignen sich zur Erstellung von Quell- und Zielverkehrsaufkommen und ggf. von Quell-Ziel-Matrizen.

Verfügbarkeit der Daten

Rechtlich	ID's werden nach 24 Stunden verändert, gering besetzte OD-Relationen werden gelöscht.
Räumlich	Flächendeckend, wobei die grob aufgelösten Bewegungen eines Gerätes (nicht zwangsläufig einer Person) zw. Funkzellen erfasst werden.

Wie stehen die Daten zu traditionellen Erhebungsdaten?

Komplementär	Soziodemographie, Mobilitätswerkzeugbesitz etc. müssen erfragt werden
Substituierend	Ggf. Ersatz von eintägigen Wegetagebüchern

Welche Entscheidungen sind in den Daten enthalten?

Verkehrsaufkommen	Aus den Trajektorien werden Wege auf Basis von Verweildauern abgeleitet, ohne dass eine Differenzierung der Stopps möglich ist (z.B. Rastplatz, Stau, Signalanlage).
Zielwahl	Muss über den Abgleich zwischen Trajektorien, Aktivitätendauern, der baulichen Umgebung und Flächennutzung imputiert werden, ohne dass eine Differenzierung nach Personengruppen möglich ist (Erwerbstätiger, Dienstreisender, Tourist).
Moduswahl	Muss durch Abgleich mit Verkehrsnetzten imputiert werden und ist derzeit auf die Moduserkennung von MIV, ÖV und Flugzeugen beschränkt, da erst ab Distanzen von 30 bis 50 km Luftlinie zuverlässig.
Routenwahl	Wird zwischen Quelle und Ziel, den Zwischenpunkten der Trajektorien und vor dem Hintergrund des ermittelten Modus und des entsprechenden Verkehrsnetzes imputiert. Ist aufgrund der niedrigen räumlichen Auslösung teilweise mit erheblichen Unsicherheiten verbunden.

Für welche generischen Modellierungsansätze eignen sich die Daten?

Die Daten eignen sich u.U. zur Ableitung von Quell-Ziel-Matrizen. Damit sind die Grundlagen zur Anwendung des Gravitationsansatzes gegeben. Daneben können multivariate Modelle für die oben genannten Entscheidungen geschätzt und der Elastizitäts-, Faktoren- und Pivot Point-Ansatz angewendet werden.

Beispielhafte Quellen und Hinweise zur Datenaufbereitung

Qualitätsstandard	National cooperative highway research program (NCHRP) (2019).
Erfahrungsberichte	PTV (2020), Bamberger et al. (2017), Çolak (2014), Nationales Forschungsprogramm (NFP) 75 (im Erscheinen).

Was sind die zu erwartenden Kosten im Verhältnis zu Haushaltsbefragungen?

Für die Beschaffung	Günstiger: Den Mobilfunkanbietern liegen die Daten ihrer Kunden vor. Zu erfragen ist der Marktanteil der Anbieter in der Zielpopulation und welche Aufbereitungsprozeduren für die Bereitstellung der Trajektorien genutzt werden.
Für die Datenaufbereitung	Teurer: Die abgeleiteten OD-Relationen müssen den Marktanteilen des Anbieters entsprechend auf Personenbasis (nicht auf Basis der Wege) für die Zielpopulation (extern) hochgerechnet werden. Diese Arbeiten werden oft durch den Datenanbieter ausgeführt und sind entsprechend zahlungspflichtig. Es entsteht eine synthetische Bevölkerung, welche die Zielbevölkerung repräsentiert.

Was sind die Nachteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

In den Daten fehlen Informationen zu Aktivitäten und Personengruppen, was Untersuchungen zu den erfassten Nachfragegruppen und zur Repräsentativität erschwert. Die räumliche und zeitliche Auflösung ist oft grob. Die Verkehrsmittelerkennung ist für die Nachfragemodellierung unzureichend. Die Algorithmen zur Aufbereitung der Daten werden häufig nicht offengelegt (Blackbox).

Was sind die Vorteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

Günstige Datenquelle mit oft ausreichend hohen Marktanteilen, um eine Extrapolation der Verkehrsnachfrage zu erlauben. Dazu sind aber Kenntnisse zu den Marktanteilen nötig.

5.3 Automatische Fahrgastzählungen im Öffentlichen Personenverkehr

Automatische Fahrgastzählssysteme (AFZS) haben in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen und werden von vielen Verkehrsunternehmen und –verbünden eingesetzt. Zum Einsatz kommen dabei verschiedene Varianten, welche für ausgerüstete Fahrzeuge die Ein- und Aussteigerzahlen erfassen. Diesen Systemen ist gemein, dass sie Rückschlüsse auf die Verkehrsnachfrage an den Haltestellen, die personenbezogene Verkehrsmenge zwischen den Haltestellen, die Fahrzeugbesetzungen und, vor dem Hintergrund einer bekannten Entfernungsmatrix zwischen den Haltestellen eines Kurses, die Verkehrsleistungen in Personenkilometern (Pkm) erlauben. Aus den Zahlen lassen sich durchschnittliche Beförderungsweiten ableiten und, zusammen mit den oben beschriebenen Zahlen, für die Verkehrsnachfragemodellierung nutzen. Die Güte der Daten ist abhängig von der technischen Zuverlässigkeit des Zählsystems (Ausfallsicherheit), der Zuverlässigkeit der Zählungen (Erfassungssicherheit) und der Stichprobenplanung für eine spätere Hochrechnung von Kursen auf Linien oder Netze (VDV 2018).

Datengrundlage

Automatische Fahrgastzählsysteme (AFZS) im Öffentlichen Personenverkehr

Kurzbeschreibung der Datenquelle

Die Daten enthalten raum-zeitliche Bewegungen zwischen Haltestellen und erlauben Aussagen zu Verkehrsmengen, Fahrzeugbesetzungen und haltestellenbezogenen Verkehrsaufkommen.

Verfügbarkeit der Daten

Rechtlich	Die ein- und aussteigenden Fahrgäste werden in Echtzeit gezählt, bzw. durch Kamerasysteme erfasst. Werden dabei Persönlichkeitsmerkmale aufgezeichnet, gelten die entsprechenden Datenschutzerfordernungen.
Räumlich	Auf Kurse und Fahrzeuge mit entsprechender Ausrüstung begrenzt.

Wie stehen die Daten zu traditionellen Erhebungsdaten?

Komplementär	Informationen zu Wegeketten, Quelle und Ziel abseits der Haltestellen, Soziodemographie und Mobilitätswerkzeugbesitz müssen erfragt werden.
Substituierend	Ersatz von manuellen Fahrgastzählungen.

Welche Entscheidungen sind in den Daten enthalten?

Verkehrsaufkommen	Begrenzt auf das Verkehrsaufkommen an und zwischen Haltestellen.
Zielwahl	Ohne Zusatzbefragung nicht möglich.
Moduswahl	Entfällt: Die Daten werden für ein bestimmtes Verkehrsmittel bezogen.
Routenwahl	Entfällt: Es wird die Route einer ÖV-Etappe erfasst, die aber durch die Linie vorgegeben ist.

Für welche generischen Modellierungsansätze eignen sich die Daten?

Da keine direkten Informationen zum Verkehrsverhalten vorliegen, ist das Anwendungsspektrum generischer Modellierungsansätze eingeschränkt. Auf Basis der haltestellenbezogenen Verkehrsaufkommen lassen sich haltestellenbasierte Quell-Ziel-Matrizen schätzen. Diese können als Grundlage für Modelle mit Referenzpunkt wie der Pivot Point-Ansatz oder Elastizitäten dienen.

Beispielhafte Quellen und Hinweise zur Datenaufbereitung

Qualitätsstandard	VDV (2018)
Erfahrungsberichte	Nahverkehrsplan Berlin 2019-2023, Land Berlin.

Was sind die zu erwartenden Kosten im Verhältnis zu Haushaltsbefragungen?

Für die Beschaffung	Teurer: Kamerasysteme sind zu beschaffen und in den Fahrzeugen zu installieren. Schnittstellen für die Energieversorgung und den Datentransfer sind bereitzustellen. Die Güte der erfassten Daten ist mittels Vergleichszählungen zu evaluieren.
Für die Datenaufbereitung	Günstiger: Die Bestimmung von Verkehrsmengen, Fahrzeugbesetzungen und Verkehrsleistungen sind leicht, mit geringen Unsicherheiten möglich und können automatisiert werden. Mittlere Beförderungsweiten und darauf basierende mögliche OD-Relationen zwischen den Haltestellen müssen erfragt und imputiert werden und sind mit zusätzlichem Aufwand und Unsicherheiten verbunden.

Was sind die Nachteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

Für Aussagen zu einem gegebenen ÖV-Netz wird eine ausreichend hohe Durchdringung mit AFZS benötigt. Zur Sicherung der Datenqualität sind Vergleichszählungen notwendig. In den Daten fehlen Informationen zu den Wegequellen und -zielen, zu Aktivitäten und Personengruppen.

Was sind die Vorteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

Nachfragedaten aus AFZS werden linienfein auf Ebene der Haltestellen zur Verfügung gestellt. Sie enthalten Informationen zu Verkehrsmengen, Fahrzeugbesetzungen und haltestellenfeine Ein- und Ausstiegszahlen. Damit bieten sie eine gute Grundlage zur Modellkalibration.

5.4 Buchungs- und Zahlungsinformationen im Öffentlichen Personenverkehr

Im ÖV haben E-Ticketing-Systeme in den letzten Jahren eine starke Verbreitung erfahren. Die daraus entstehenden Informationen werden zunehmend für die Modellierung der Verkehrsnachfrage verwendet. Die Daten enthalten Informationen zum Zeitpunkt und Ort der ÖV-Nutzung. Im Falle von regelmässigen Systemnutzenden und Abonnementbesitzern lassen sich die Transaktionsdaten oftmals mit Kundenprofilen verknüpfen, wobei dann die entsprechenden Datenschutzerfordernungen gelten (Leonhäuser 2017). Eine Voraussetzung dafür ist, dass die Abonnementbesitzenden ihre Fahrten vor Reiseantritt buchen. Ist dies nicht oder nur teilweise notwendig, müssen die entsprechenden Reisendenzahlen aus anderen Erhebungen abgeschätzt und zugespielt werden (eine derartige Datenquelle stellt die Frequenzerhebung der Schweizer Bahnen (FQ-Erhebung) dar (Scherr and Bützberger 2016)). Da die Nutzung derartiger Abrechnungssysteme oft über die mobilen Endgeräte (z.B. Smartphones) der Verkehrsnachfragenden erfolgt, sind Zusatzbefragungen, wie im Falle von Mobile GPS Data (s. Kapitel 4.1.1), vergleichsweise leicht umsetzbar.

Datengrundlage

Transaktionsdaten aus einem App- oder SmartCard-basierten Ticketing

Kurzbeschreibung der Datenquelle

Enthalten sind Informationen zu Start- und Endzeit sowie Start- und Zielhaltestellen einer ÖV-Fahrt oder zum Geltungsbereich eines Tickets ab einer Starthaltestelle. Aussagen zu Verkehrsmengen, Fahrzeugbesetzungen und haltestellenbezogenen Quell-Ziel-Verkehrsaufkommen sind möglich.

Verfügbarkeit der Daten

Rechtlich	Die alleinigen Buchungsinformationen sind anonym. Werden diese mit Kundenprofilen verknüpft, gelten entsprechende Datenschutzanforderungen.
Räumlich	Die genutzten Systeme sind heterogen. Daher sind die Datenstrukturen i.d.R. auf ein Verkehrsunternehmen oder einen Verkehrsverbund begrenzt.

Wie stehen die Daten zu traditionellen Erhebungsdaten?

Komplementär	Informationen zu Wegeketten, Quelle und Ziel abseits der Haltestellen, Soziodemographie abseits der Kundenprofile und Mobilitätswerkzeugbesitz müssen erfragt werden. Die Daten können Fahrgastzählungen ergänzen. Im Falle App-basierter Systeme lassen sich Zusatzbefragungen vergleichsweise aufwandsarm umsetzen.
Substituierend	Teils können Befragung zu gewählten ÖV-Verbindungen ersetzt werden.

Welche Entscheidungen sind in den Daten enthalten?

Verkehrsaufkommen	Begrenzt auf das Verkehrsaufkommen an und zwischen Haltestellen.
Zielwahl	Ohne Zusatzbefragung begrenzt auf Zielhaltestelle oder Adressfeldeingabe.
Moduswahl	Entfällt: Die Daten werden für ein bestimmtes Verkehrsmittel bezogen.
Routenwahl	Kann aus der gebuchten Verbindung geschlossen werden.

Für welche generischen Modellierungsansätze eignen sich die Daten?

Auf Basis der haltestellenbezogenen Verkehrsaufkommen sind haltestellenbasierte Quell-Ziel-Matrizen und die Routen dazwischen ableitbar. Die Quell-Ziel-Matrizen können als Grundlage für Modelle mit Referenzpunkt wie der Pivot Point-Ansatz oder Elastizitäten dienen. Mit den Routenwahlinformationen lassen sich multivariate Modelle schätzen. Damit sind auch Ansätze auf Basis von Elastizitäten, Faktoren und der Pivot Point nutzbar.

Beispielhafte Quellen und Hinweise zur Datenaufbereitung

Qualitätsstandard	Für generelle Hinweise zu Big Data und Data Mining in der Verkehrsplanung siehe Widmer und Buhl (2011), FGSV (2019).
Erfahrungsberichte	Pfannenschmidt, Ehmke und Schreier (2017), Leonhäuser (2017), siehe auch Scherr and Bützberger (2016)

Was sind die zu erwartenden Kosten im Verhältnis zu Haushaltsbefragungen?

Für die Beschaffung	Günstiger: Die Daten liegen den Verkehrsanbietern mit elektronischem Ticketing vor.
Für die Datenaufbereitung	Teurer: Die Daten sind aufzubereiten und, um ihr volles Potenzial zu entfalten, mit kundenbezogenen Informationen anzureichern. Für Verallgemeinerungen sind Kenntnisse zum Anteil und den Merkmalen der Kunden notwendig.

Was sind die Nachteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

Die Daten eignen sich nur für Analysen des ÖV-Verkehrsverhaltens. In den Daten fehlen Informationen zu den Wegequellen und -zielen, zu Aktivitäten und, ohne Zuspielen von Informationen oder Zusatzbefragungen, zu Personengruppen.

Was sind die Vorteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

Elektronische Ticketing-Systeme gewinnen an Bedeutung. Die Daten liegen vor und enthalten Informationen zu haltestellenfeinen Relationen und Ketten von ÖV-Etappen. Sie sind eine gute Grundlage zur Modellkalibration und, in Verbindung mit soziodemographischen Informationen aus kundenbezogenen Stammdaten, zum Aufbau von Verkehrsnachfragemodellen im Bereich des ÖV.

5.5 Nutzungsinformationen zu Sharing-Angeboten

Die Mietvorgänge von Sharing Angeboten erzeugen Daten, die in der Verkehrsnachfragemodellierung genutzt werden können. Zur Veranschaulichung wird dies am Beispiel eines öffentlichen Radvermietsystems (ÖFVS) aufgezeigt. Die Schilderungen lassen sich auf weitere Sharing Angebote übertragen.

Eine Beobachtung für das ÖFVS entspricht der Positionsveränderung eines Mietvelos. Erfasst werden die Rad-ID und Informationen sowie Zeit und Ort des Mietstartes und –endes. Somit wird ausschliesslich die mit dem Angebot zurückgelegte Etappe erfasst. Selten sind zudem soziodemographische Informationen zu den Mietenden verfügbar. Die plausibilisierten und bearbeiteten Daten lassen Rückschlüsse zu Verkehrsmengen, den Fahrten-dauern und Fahrtenweiten zu (Rabenstein 2015). Die verfügbaren Daten entsprechen meist einer Vollerhebung für den Sharing-Anbieter. Für die Velofahrten im Perimeter stellen sie nur eine Stichprobe dar.

Datengrundlage

Bewegungsprofile auf Basis von Mietvorgängen zu Sharing-Angeboten

Kurzbeschreibung der Datenquelle

Die Daten enthalten Raum-Zeit-Koordinaten zur Entnahme und Rückgabe von Sharing-Angeboten oder sogar die mittels GPS nachverfolgten Routen im Bereich Mikromobilität (E-Scooter, Mietvelos).

Verfügbarkeit der Daten

Rechtlich	In den Daten wird der raum-zeitliche Standortwechsel eines Angebotselements (bspw. Velo/Roller) ausgewiesen. Personenbezogene Informationen sind in den Daten meist nicht enthalten.
Räumlich	Flächendeckend, bei Verwendung von GPS-Loggern routenfein, sonst als Ort der Fahrzeugentnahme und -rückgabe.

Wie stehen die Daten zu traditionellen Erhebungsdaten?

Komplementär	Informationen zu Wegeketten, Fahrtzwecken, Quelle und Ziel abseits der Fahrzeugleihe, Soziodemographie und Mobilitätswerkzeugbesitz müssen erfragt werden.
Substituierend	Informationen zur Nachfrage und Nutzung des betrachteten Verkehrsmittels.

Welche Entscheidungen sind in den Daten enthalten?

Verkehrsaufkommen	Die Trajektorien sind in Wege unterteilt. Zur nutzenden Person sind im besten Fall eine ID aber keine weiteren Eigenschaften bekannt.
Zielwahl	Ohne Zusatzbefragung auf Rückgabeort des Verkehrsmittels begrenzt.
Moduswahl	Entfällt: Die Daten werden für ein bestimmtes Verkehrsmittel bezogen.
Routenwahl	Wird bei GPS-Logs über ein Map-Matching mit dem Strassenverkehrsnetz hergeleitet (wobei das Strassennetz oft nicht fein genug aufgelöst ist, um tatsächliche Routen und Abkürzungen abzubilden) oder muss zwischen Entnahme- und Rückgabekoordinate imputiert werden.

Für welche generischen Modellierungsansätze eignen sich die Daten?

Auf Basis der Nutzungsinformationen ist eine Quell-Ziel-Matrix zu den Orten der Verkehrsmittelentnahme und -rückgabe ableitbar. Aufgrund der oben genannten Beschränkungen in den Bereichen Ziel- und Routenwahl ist die Anwendung eingeschränkter multivariater Modelle möglich. Auch Elastizitäten, Faktoren und der Pivot Point-Ansatz sind nutzbar. Zudem ist die Anwendung des Gravitationsansatzes mit Einschränkungen möglich.

Beispielhafte Quellen und Hinweise zur Datenaufbereitung

Qualitätsstandard	Rabenstein (2015)
Erfahrungsberichte	Friedrich et al. (2015), Li et al (2020)

Was sind die zu erwartenden Kosten im Verhältnis zu Haushaltsbefragungen?

Für die Beschaffung	Günstiger: Die Daten liegen den Betreibern vor, werden aber nicht immer kommerziell vertrieben. Zu klären ist der Marktanteil der Anbieter in der Zielpopulation und die Verfügbarkeit konkurrierender Angebote.
Für die Datenaufbereitung	Günstiger: Die Daten entsprechen meist einer Vollerhebung des Anbieters und müssen lediglich aufbereitet und qualitätsgeprüft werden.

Was sind die Nachteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

In den Daten fehlen Informationen zu Wegezwecken und Wegeketten. In der Regel fehlen auch Informationen zu Soziodemographie und damit zu Personengruppen.

Was sind die Vorteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

Günstige Datenquelle, die oft einer Vollerhebung des jeweiligen Anbieters entspricht und die inkrementelle Berücksichtigung urbaner Mikromobilitätsangebote in Verkehrsnachfragemodellen erlaubt.

5.6 Digitale Foto- und Videosysteme

Digitale Foto- und Videosysteme erfassen Personen oder Fahrzeuge und können bei Nutzung mehrerer Geräte deren raum-zeitlichen Bewegungen nachvollziehen. Ein Beispiel ist die automatische Nummernschilderfassung, Automatic Number Plate Recognition-System (ANPR). Hier wird das Nummernschild eines Fahrzeugs erfasst, um einen Zeitstempel ergänzt, mittels einer Texterkennung ausgelesen und in eine verschlüsselte Zeichenfolge überführt (Otterstätter 2013). Die Verschlüsselung erfolgt über einen deterministischen Algorithmus, der für ein Nummernschild an verschiedenen Kamerastandorten die gleiche ID erzeugt. So können die Trajektorien eines Fahrzeugs im Netz nachvollzogen werden. Die IDs wechseln in der Regel nach 24 Stunden, da die Daten aus Videosystemen als personenbezogen gelten. Weiterführende Ansätze beschäftigen sich bereits mit der Personen- und Gesichtserkennung (siehe Freiwald and Tsao 2010).

Der Nachvollzug der raum-zeitlichen Bewegungen enthält Informationen zu Quell-Ziel-Verkehren, Fahrzeiten und Routenwahlentscheidungen. Die Erkennungsraten für Kontrollschilder sind mit über 90% in der Regel hoch, wobei beispielsweise Verschmutzungen oder nicht identische Kontrollschilder bei PW mit Anhängern Probleme verursachen können. Verallgemeinerungen und Hochrechnungen sind analog zum Vorgehen bei Verkehrszählungen möglich. Für Verkehrsnachfragemodelle irrelevante Zwischenhalte können eine Herausforderung darstellen.

Datengrundlage

Automatische Kennzeichenerfassung mit Kamerasystemen (ANPR)

Kurzbeschreibung der Datenquelle

Die Daten enthalten Raum-Zeit-Trajektorien und erlauben bei ausreichender räumlichen Abdeckung die Ableitung des Verkehrsaufkommens im Detektionsraum sowie der gewählten Routen.

Verfügbarkeit der Daten

Rechtlich	Die Daten gelten als personenbezogen, die Kennzeichen werden in nicht-rückrechenbare IDs transformiert. Die Aufnahmen werden nicht gespeichert.
Räumlich	Abhängig von den Positionen und der Dichte des Detektornetzes, wobei die Bewegungen eines Fahrzeugs erfasst werden.

Wie stehen die Daten zu traditionellen Erhebungsdaten?

Komplementär	Verkehrszählungen, parallele Querschnittszählungen mit Zeitstempel.
Substituierend	Ersatz von Kordonzählungen.

Welche Entscheidungen sind in den Daten enthalten?

Verkehrsaufkommen	Je nach Anordnung der Messstellen lässt sich das MIV-Aufkommen eines Gebietes herleiten
Zielwahl	Für das Untersuchungsgebiet lassen sich Verkehrsbeziehungen in Abhängigkeit von der Dichte des Detektornetzes herleiten.
Moduswahl	Entfällt: Das System richtet sich an den MIV.
Routenwahl	Kann in Abhängigkeit vom Detektornetz nachverfolgt werden.

Für welche generischen Modellierungsansätze eignen sich die Daten?

Auf Basis der Nummernschildnachverfolgung ist eine Quell-Ziel-Matrix innerhalb des Erhebungskordons ableitbar. Anwendungen des Pivot Point-, des Elastizitätsansatzes und die Nutzung einer univariaten Verteilungsfunktion sind möglich. Auch ein eingeschränkter Gravitationsansatz ist nutzbar.

Beispielhafte Quellen und Hinweise zur Datenaufbereitung

Qualitätsstandard	Einen Einblick gewährt Friedrich (2009).
Erfahrungsberichte	Für die Generierung von Quell-Ziel-Matrizen aus ANPR-Daten siehe Castillo et al. (2008). Zur Kombination von ANPR-Daten mit Zähldaten siehe Howe (2009).

Was sind die zu erwartenden Kosten im Verhältnis zu Haushaltsbefragungen?

Für die Beschaffung	Teurer: Die Kamerasysteme sind aufgrund der Datenschutzerfordernungen und der Kombination aus optischer Erfassung, Texterkennung und ID-Transformation teuer.
Für die Datenaufbereitung	Neutral: Die Ableitung von OD-Relationen ist vergleichsweise leicht möglich. Für Hochrechnungen sind ggf. Zähldaten zu sammeln und aufzubereiten.

Was sind die Nachteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

Die Beobachtungsgebiete sind aufgrund einer Anzahl erforderlichen Kameras begrenzt. Die enthaltenen monomodalen Verkehrsverflechtungen können mit Zähldaten angereichert und verallgemeinert werden. In den Daten fehlen Informationen zu Aktivitäten und Personengruppen, wobei es keine Möglichkeit für Zusatzbefragungen gibt.

Was sind die Vorteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

Bei Kenntnissen zur Nummernschildherkunft eine Datenquelle für potenziell weitlaufende OD-Relationen.

5.7 WLAN / Bluetooth

WLAN und Bluetooth sind funkbasierte Kommunikationssysteme, welche u.a. in Smartphones, Computern und Tablets sowie modernen Autos verbaut sind. Die dabei realisierten Sendereichweiten sind vergleichsweise schwach und liegen unter optimalen Bedingungen im Freien für WLAN bei bis zu 200 Metern, für Bluetooth bei bis zu 100 Metern. Jedes Sende- und Empfangsgerät ist, wenn die entsprechende Funktion im Endgerät eingeschaltet ist, über eine ID-Kennung (MAC-Adresse) identifizierbar. Diese MAC-Kennungen werden von Detektoren erfasst und um einen Zeitstempel ergänzt (Merkle und Terzis 2002). Aus den bekannten Standorten der Detektoren, der zeitlichen Erfassung der Endgeräte und deren individuelle MAC-Adressen lassen sich Raum-Zeit-Trajektorien ableiten (Schmietendorf 2011, Kay and Jackson 2012).

Herausforderungen resultieren aus den meist geringen Erkennungsraten durch Personen ohne Endgeräte oder mit abgestellten Funktionen und teils verzögerten Detektionszeiten, die im Bereich Bluetooth bis zu zehn Sekunden betragen können. Auch ist eine exakte räumliche Verortung innerhalb der Abdeckung eines Detektors nicht möglich. Innerhalb räumlich begrenzter Gebiete lassen sich Quell-Ziel-Verkehrsaufkommen für den IV und ÖV ausreichend detailliert nachverfolgen (Otterstätter 2013), wobei die Hochrechnung der erfassten Stichprobe aufgrund der unbekannten Erkennungsraten herausfordernd ist (Höpfel et al. 2007). Auch enthalten die Daten Verweildauer und können somit eine Ergänzung für Befragungen zu Aufenthaltsqualitäten sein z.B. für Untersuchungen zu Fussverkehrspotenzialen (siehe Erath et al. 2019).

Datengrundlage

Bewegungsprofile auf Basis von WiFi / Bluetooth-Daten

Kurzbeschreibung der Datenquelle

Die Daten enthalten Raum-Zeit-Trajektorien und erlauben den Nachvollzug von Routenwahlen und, mit Einschränkungen, Quell- und Zielbeziehungen im Untersuchungsgebiet.

Verfügbarkeit der Daten

Rechtlich	Viele Mobilfunkgeräte variieren ihre MAC-Adressen automatisch. Im Falle kommerzieller Daten werden die MAC-Adressen nach 24 Stunden alterniert.
Räumlich	In Abhängigkeit von der Dichte des Detektornetzes, wobei die Bewegungen eines Gerätes erfasst werden.

Wie stehen die Daten zu traditionellen Erhebungsdaten?

Komplementär	Soziodemographie und Mobilitätswerkzeugbesitz müssen erfragt werden.
Substituierend	Für überschaubare Untersuchungsräume lassen sich primär Routenwahlen nachvollziehen.

Welche Entscheidungen sind in den Daten enthalten?

Verkehrsaufkommen	Die Ableitung von Verkehrsaufkommen ist aufgrund der oft geringen Stichprobengröße und der unbekannten Durchdringungsraten herausfordernd.
Zielwahl	Über Verweildauern lassen sich Wege und Verkehrsbeziehungen herleiten. Rückschlüsse zum Verkehrszweck sind nur sehr eingeschränkt möglich.
Moduswahl	Kann mit erheblichen Unsicherheiten auf Basis von Geschwindigkeiten oder passierten Detektoren imputiert werden.
Routenwahl	Kann in Abhängigkeit vom Detektornetz nachverfolgt werden.

Für welche generischen Modellierungsansätze eignen sich die Daten?

Die Daten eignen sich zur Ableitung kleinräumiger Quell-Ziel-Matrizen. Damit sind die Grundlagen zur Anwendung des Gravitationsansatzes gegeben. Daneben können eingeschränkte multivariate Modelle für die oben genannten Entscheidungen geschätzt und der Elastizitäts-, Faktoren- und Pivot Point-Ansatz, ebenfalls mit Einschränkungen, angewendet werden.

Beispielhafte Quellen und Hinweise zur Datenaufbereitung

Qualitätsstandard	Einen Einblick gewährt Otterstätter (2013).
Erfahrungsberichte	Für Reisezeiten und Quell-Ziel-Beziehungen Leitzke (2011), Barcélo et al. (2010). Zur Zielwahl siehe Danalet et al. (2016).

Was sind die zu erwartenden Kosten im Verhältnis zu Haushaltsbefragungen?

Für die Beschaffung	Neutral: Das Netzwerk an Hotspots und Detektoren muss ausreichend dicht sein. Die Anonymität der Gerätetragenden ist zu gewährleisten.
Für die Datenaufbereitung	Neutral: Die Daten sind mit Unsicherheiten behaftet. Die Verkehrsverflechtungen und Routenwahl lassen sich aufwandsarm herleiten. Hochrechnungen sind jedoch herausfordernd, da die Stichprobengröße oft gering ist und der Anteil an eingeschalteten Gerätefunktionalitäten in der Grundgesamtheit unbekannt ist.

Was sind die Nachteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

Die Verkehrsverflechtungen sind als partiell anzusehen. Die Durchdringung der Grundgesamtheit mit aktiven Endgeräten ist unbekannt und muss geschätzt werden. Es fehlen Informationen zu Wegezwecken und Soziodemographie. Die Hochrechnung der Stichprobe ist daher herausfordernd.

Was sind die Vorteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?

Für begrenzte räumliche Gebiete lässt sich eine ausreichend aufgelöste Stichprobe erzielen. Mit Zusatzbefragungen sind Hochrechnungen auf Quell-Ziel-Matrizen möglich.

5.8 Fazit zu den Datenquellen

Die vorgestellten Datenquellen sind als Beispiele zu verstehen, die den Aufbau und die Nutzung generischer Verkehrsmodelle ermöglichen. Im Vergleich zu Haushaltsbefragungen werden die Informationen im Falle der beschriebenen Datenquellen kontinuierlich maschinell gesammelt und können teils nach eigener Feldarbeit, teils nach dem Bezug oder Kauf der Daten analysiert werden. Dabei kann sich der Bezug der Daten als zeitintensiv erweisen. Dem tendenziell reduzierten Aufwand in der Datensammlung stehen in der Regel ein erhöhter Aufwand in der Datenaufbereitung und ein teils eingeschränktes Analysepotenzial im Vergleich zu Informationen aus Haushaltsbefragungen gegenüber. Dieses Verhältnis von Kosten und Nutzen ist vor dem Hintergrund des Analyseanliegens, welches sich an das angestrebte generische Verkehrsmodell richtet, zu bewerten. In diese Überlegungen sind zudem Datenschutzanliegen und die angestrebte und benötigte Aussagekraft statistischer Analysen einzubeziehen.

Insgesamt bringen Überlegungen zu den verfügbaren und nutzbaren Datenquellen damit eine weitere Komplexitätsdimension in die Beschäftigung mit generischen Verkehrsmodellen ein. Die in Kapitel 4.10 bereits genannten allgemeinen Hinweise zur Anwendung generischer Verkehrsmodelle lassen sich vor dem Hintergrund der beispielhaft genannten Datenquellen wie folgt ergänzen:

- Das an ein generisches Verkehrsmodell gerichtete Analyseanliegen bestimmt die Wahl der Datengrundlage und den Modellierungsansatz.
- Die räumliche und zeitliche Auflösung der Daten und die in ihnen enthaltenen Rückschlussmöglichkeiten auf die Verkehrsnachfrage in den Dimensionen Verkehrsaufkommen, Ziel-, Modus- und Routenwahl grenzt die Wahl des generischen Modellierungsansatzes ein.
- Die Qualität der Eingangsdaten bestimmt die Prognosequalität des angestrebten generischen Verkehrsmodells. Es ist gerade dieser Zusammenhang, der vermittelt über die Stichprobengröße und den Gültigkeitsbereich der Daten, statistische Kenntnisse voraussetzt.
- Der Bezug und insbesondere die Aufbereitung und Analyse der Daten können zeitintensiv ausfallen. Dabei stehen oft mehrere Datenquellen mit den jeweiligen Stärken und Schwächen zur Verfügung. Frühzeitige Überlegungen zur Eignung dieser Datenquellen und Abklärungen zur Datenverfügbarkeit und den enthaltenen Informationen sind anzuraten.
- Die Arbeiten mit den Daten sind zu dokumentieren, um die Bildung von Blackboxes zu vermeiden.

Das folgende Kapitel 6 präsentiert ausgewählte Praxisbeispiele, die den Zusammenhang zwischen Datenquellen, generischen Modellierungsansätzen und Analyseinteressen verdeutlichen und vertiefen.

Methode	
Verteilung aggregierter Strukturdaten auf Raster- und Verkehrszellen	
Kurzbeschreibung der Datenquelle	
Auf Basis bestehender Informationen zu räumlichen Lagen, Siedlungsstrukturen und weiteren Informationen wie z.B. Geschlosszahlen wird ein hektarbasiertes Grundraster mit Flächenanteilen erarbeitet und als Grundlage für die Verteilung räumlich aggregierter Strukturdaten genutzt.	
Wie stehen die erzeugten Daten zu traditionellen Quellen für Strukturdaten?	
Komplementär	Hochaggregiert verfügbare Informationen zu Strukturdaten (auf Eben von Agglomerationen oder Kantonen) werden annahmehasiert auf Kommunen verteilt.
Substituierend	Herausforderungen aus der Nutzung von Arbeitsstätten- und Beschäftigtenstatistiken, in denen Betriebssitze und Arbeitsorte oftmals identisch sind, werden umgangen.
Welche Arten von Informationen werden betrachtet?	
Art der Strukturdaten	Räumlich verteilt werden können z.B. Informationen zu Einwohnerzahlen, Gewerbeflächen, Mischnutzungen und Freizeitanlagen. Die Flächenanteile können bei Bedarf für verschiedene Siedlungsgrößenklassen, Raumtypen und Gemeindegrenzen verallgemeinert und angewendet werden.
Für welche Arten von Modellen eignen sich die Daten?	
Modellart 1	Nationale, regionale und lokale Modelle
Modellart 2	Korridor- und Marginalmodelle
Beispielhafte Quellen und Hinweise zur Datenaufbereitung	
Erfahrungsbericht	PTV et al. (2016), Linder und Dreyer (2019); Für den Fall einer Aggregation räumlich fein aufgelöster Grundlagedaten siehe ARE (2019).
Was sind die zu erwartenden Kosten im Verhältnis zu eigenen Strukturdatenerhebungen?	
Für die Beschaffung	Günstiger: Die zu verteilenden aggregierten Daten liegen vor. Die Grundlagen für die Flächenanteile des hektarbasierten Rasters sind zu sammeln.
Für die Datenaufbereitung	Neutral: Das hektarbasierte Grundraster ist zu bilden und als Basis für die räumliche Verteilung der aggregierten Strukturdaten anzuwenden. Die sich ergebenden Hektarwerte sind detailliert zu plausibilisieren.
Was sind die Nachteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?	
Statistische Methode zur einheitlichen räumlichen Verteilung von Strukturdaten, die mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet ist.	
Was sind die Vorteile einer Verwendung in einem Verkehrsnachfragemodell?	
Hochaufgelöste räumliche Verteilung ausgewählter Strukturdaten, die sich auf weitere Untersuchungsgebiete übertragen lässt.	

6 Praxisbeispiele

Anhand von Praxisbeispielen wird in diesem Kapitel konkret aufgezeigt, wie generische Modelle zur Beantwortung von Fragestellungen aus der Praxis genutzt werden können. Für jedes dieser Praxisbeispiele wird aufgezeigt, welche Annahmen und Vereinfachungen getroffen werden müssen, wie ein geeigneter Ansatz ausgewählt wird und woher die notwendigen Daten stammen können. Anschliessend wird das Beispiel berechnet. Dadurch wird aufgezeigt, wo die Stärken und Schwächen verschiedener generischer Ansätze liegen und worauf bei der Anwendung besonders zu achten ist. **Tab. 1** gibt einen Überblick über die Praxisbeispiele, die diskutierten Modellansätze, die verwendeten Quellen für die Modellparameter sowie die verwendeten Datengrundlagen.

Tab. 1 Übersicht Praxisbeispiele

Fragestellung	Modellansatz	Herkunft Parameter	Datengrundlagen
Auswirkung des Baus einer neuen Bahnlinie auf den Modalsplit	Pivot Point, Elastizitäten	Vrtic und Axhausen (2003) BAV (2017) ARE (2012) ARE (2017)	Kantonales Modell
Potenzialabschätzung für die Nutzung von E-Scootern	Diskretisierte univariate Funktion	Eigene Schätzung	NPVM 2017 MZMV 2015
Auswirkungen einer neuen P+Rail-Anlage	Multivariates Modell	ARE (2017)	NPVM 2017
Auswirkungen einer städtischen Velovorzugsroute auf den Veloverkehr	Faktorabschätzung Multivariates Modell	Velorouter TAZ ¹	STATPOP STATENT Velonetz Stadt ZH Digitales Höhenmodell

6.1 Auswirkung des Baus einer neuen Bahnlinie auf den Modalsplit

6.1.1 Aufgabenstellung

Die 1860 in Betrieb genommene Bahnstrecke Neuchâtel – La Chaux-de-Fonds (– Le Locle) ist ca. 30 Kilometer lang und verbindet acht Orte miteinander. Die Bahnstrecke muss saniert werden, im Rahmen der Sanierung ist jedoch keine Verbesserung des Angebots möglich. Daher prüft der Kanton Neuchâtel den Bau einer neuen Direktlinie von Neuchâtel nach La Chaux-de-Fonds. Im Rahmen dieser Überprüfung sollen die Auswirkungen auf die Verkehrsmittelwahl aufgezeigt werden.

Die neue Verbindung zwischen La Chaux-de-Fonds und Neuchâtel soll auf direktem Weg zwischen den beiden Orten mit nur einem Halt in Cernier verkehren. Das bedeutet, dass die bisherigen Halte im Val-de-Ruz (Hauts-Geneveys, Chambrelieu und Geneveys-sur-Coffrane) entfallen und durch vier Buslinien ersetzt werden. Die Reisezeit zwischen La Chaux-de-Fonds und Neuchâtel verkürzt sich auf 14 Minuten. Die Verbindung wird im 15 Minuten-Takt statt wie heute im 30 Minuten-Takt angeboten. Es gibt neue Durchbindungen von Linien von Le Locle ins Val de Travers bzw. nach Gorgier / Yverdon.

¹ https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full_view/3e2a9e9f-cd6b-48f9-8dc4-84a92b90411a

6.1.2 Generische Ansätze

Für die Abschätzung der Auswirkungen auf die Verkehrsmittelwahl werden zwei generische Ansätze gewählt: Elastizitäten und der Pivot-Point-Ansatz.

Elastizitäten

Eine Elastizität ist ein Mass, das die relative Änderung einer abhängigen Variablen (Zielgrösse) aufgrund der relativen Änderung einer ihrer unabhängigen Variablen (Prädiktor) angibt. Der Zusammenhang zwischen der Zielgrösse y und dem Prädiktor x lässt sich vereinfacht wie folgt beschreiben: $\frac{\Delta y}{y} = \varepsilon \frac{\Delta x}{x}$. Die Elastizität ε_x dabei gibt an, um wieviel sich die Prozent sich die Zielgrösse y verändert, wenn sich der Prädiktor x um 1% verändert.

Um den Elastizitätsansatz anwenden zu können, müssen die entsprechenden (direkten und Kreuz-)Elastizitäten z.B. aus der Literatur bekannt sein. Relevant für die vorliegende Fragestellung ist vor allem die Elastizität für die Reisezeit im ÖV. Daneben müssen für das Projekt die zu erwartenden Veränderungen in der Reisezeit vorliegen.

Pivot-Point-Ansatz

Mit dem Pivot-Point-Ansatz kann die Veränderung der Auswahlwahrscheinlichkeit einer Alternative als Reaktion auf die Veränderung von einem oder mehreren Attributen dieser oder einer konkurrierenden Alternative berechnet werden. Dies geschieht mit der folgenden Formel:

$$P'_k = \frac{P_k^0 \cdot e^{(V'_k - V_k^0)}}{\sum_i P_i^0 \cdot e^{(V'_i - V_i^0)}}$$

Wobei

P'_k = Auswahlwahrscheinlichkeit der Alternative k im Planfall
 P_k^0 = Auswahlwahrscheinlichkeit der Alternative k im Referenzfall
 V'_k = Nutzen der Alternative k im Planfall
 V_k^0 = Nutzen der Alternative k im Referenzfall

Für die Berechnung des Modalshifts mit dem Pivot-Point-Ansatz wird für die relevanten Verkehrsmittel je eine Nutzenfunktion benötigt. Im vorliegenden Beispiel sind die relevanten Verkehrsmittel der MIV und der ÖV. Diese Nutzenfunktionen werden in der Regel auf der Basis von SP-Befragungen (wie z.B. der SP-Befragung im Rahmen des Mikrozensus Verkehrs und Mobilität) ermittelt.

Für die Beschreibung der Alternativen muss zudem für alle Attribute, die sich zwischen dem Planfall und dem Referenzfall ändern, relationsscharfe Informationen für die Ausprägung im Referenzfall und in Planfall vorliegen. In diesem Beispiel ergeben sich Änderungen nur für die ÖV-Alternative. Die relevanten Attribute sind dabei:

- Reisezeit
- Preis
- Anzahl Umsteigen
- Intervall/Takt
- Zu- und Abgangszeit

6.1.3 Grundlagen

Die Auswirkungen der direkten Bahnstrecke Neuchâtel – La Chaux-de-Fonds wurde in früheren Studien bereits untersucht. In der Studie Kanton Neuchâtel (2016b) wurde beispielsweise aufgezeigt, welche Wohlfahrts-, Wertschöpfungs- und Einkommenseffekte

durch eine solche Bahnlinie zu erwarten sind. Zur Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen der Bahnlinie wurde dazu die Bahnlinie in das Verkehrsmodell des Kantons Neuchâtel (VM-NE) eingefügt und ein vollständiger Modelldurchlauf inkl. Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl berechnet. Die Ergebnisse dieser Arbeiten dienen als Vergleichsgrundlage für die Ergebnisse der Berechnungen mit den generischen Modellen. Zudem werden aus diesem Projekt die folgenden Eingangsdaten und Zwischenergebnisse übernommen:

- Quelle-Ziel-Matrizen MIV und ÖV des Referenzzustands
- Kenngrössenmatrizen MIV
 - Fahrzeit (Planfall = Referenzfall)
 - Distanz (Planfall = Referenzfall)
- Kenngrössenmatrizen ÖV
 - Fahrzeit (Referenz und Planfall)
 - Distanz (Referenz und Planfall)
 - Zu- und Abgangszeit (Referenz und Planfall)
 - Umsteigehäufigkeit (Referenz und Planfall)
 - Bedienhäufigkeit (Referenz)

Die meisten der relevanten Kenngrössen lagen sowohl für den Referenzfall als auch den Planfall vor. Ausnahmen sind die Kosten und das Intervall der ÖV-Verbindungen. Für diese beiden Kenngrössen mussten entsprechende Annahmen getroffen werden. Diese sind im nächsten Abschnitt beschrieben.

6.1.4 Parameter und Annahmen

Herleitung Kosten

Die Kosten werden aus der Distanz-Kenngrössenmatrix berechnet. Da im VM-NE keine Preise hinterlegt sind, werden die Kostensätze aus dem NPVM 2010 übernommen. Diese betragen 0.20 CHF/km für den ÖV und 0.16 CHF/km für den MIV.

Herleitung Intervall

Für den Referenzfall wird das Intervall aus der Bedienhäufigkeit gemäss VM-NE berechnet. Die Bedienungshäufigkeit entspricht der Anzahl Fahrten im Umlegungszeitraum. Daraus werden die Fahrten pro Betriebsstunde unter der Annahme von 19 Stunden Betriebszeit berechnet. Aus den Anzahl Fahrten pro Betriebsstunde kann dann das Intervall berechnet werden.

Die Berechnung des Intervalls im Planfall erfolgt dann auf Basis des Intervalls im Referenzzustand. Dazu wird das Intervall der Quell-Ziel-Beziehungen angepasst, die von der Verkürzung des Taktes von 30 Minuten auf 15 Minuten profitieren. Dazu wird im ersten Schritt mittels einer Spinnenanalyse die Quell-Ziel-Beziehungen identifiziert, die im Referenzfall die Bahnlinie benutzen. Es wird angenommen, dass für Beziehungen, deren Intervall im Referenzzustand kleiner als 15 Minuten oder grösser als 30 Minuten ist, andere ÖV-Angebote massgebend für das Intervall sind. Diese werden daher im Referenzfall nicht angepasst. Für Beziehungen mit einem Intervall zwischen 15 und 30 Minuten wird das Intervall im Planzustand um 15 Minuten reduziert.

Annahme Besetzungsgrad

Wie im VM-NE (vgl. Kanton Neuchâtel 2016a) wird ein Besetzungsgrad MIV von 1.2 verwendet.

Elastizitäten

Zur Ermittlung der Elastizitäten wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Herangezogen werden drei Studien (Vrtic und Axhausen 2003, ARE 2012 und ARE 2017), in denen

die Elastizitäten aus SP-Befragungen abgeleitet wurden, und der Leitfaden des Bundesamtes für Verkehr (BAV) für die Bewertung von Modulen für den STEP Ausbauschnitt 2030 (vgl. BAV 2017). Die in den Berichten ausgewiesenen Elastizitäten sind in **Tab. 2** aufgelistet.

Tab. 2 Verwendete Elastizitäten

Kenngrösse	Vrtic und Axhausen (2003)	BAV (2017)	ARE (2012)	ARE (2017)
Reisezeit ÖV	-0.58	-1.00	-0.81	-0.80
Preis ÖV	-0.25	-	-0.15	-0.50
Intervall ÖV	-0.23	-	-	-
Bedienungshäufigkeit	-	+0.40	-	-

In allen Quellen sind Elastizitäten für die Reisezeit ausgewiesen. Diese unterscheiden sich jedoch stark voneinander und liegen im Bereich von -0.58 bis -1.0. In den Auswertungen der SP-Befragungen wird zudem jeweils eine Kostenelastizität ausgewiesen. Auch hier sind zwischen den Studien deutliche Unterschiede auszumachen. Zwei Studien weisen darüber hinaus noch Elastizitäten zum Intervall bzw. der Bedienungshäufigkeit aus. Da sich die Elastizitäten so stark voneinander unterscheiden, wird die Elastizitätsberechnung im Folgenden mit allen vier Quellen durchgeführt und die Ergebnisse anschliessend einander gegenübergestellt.

Pivot Point

Im VM-NE werden nach Personengruppen differenzierte Ziel- und Verkehrsmittelwahlparameter verwendet. Diese wurden aus der SP-Befragung zum Mikrozensus Verkehr und Mobilität 2010 abgeleitet. Für die vorliegende Anwendung sind die personengruppenspezifischen Parameter jedoch zu differenzieren. Es werden daher die in ARE (2012) ausgewiesenen Parameter verwendet. Diese sind in **Tab. 3** aufgelistet.

Tab. 3 Parameter Pivot Point

Kenngrösse	Parameter MIV	Parameter ÖV
Konstante	0.185	-
Reisezeit	-1.383	-0.921
Preis	-0.050	-0.050
Zu- und Abgangszeit	-	-2.493
Intervall	-	-0.414
Umsteigezahl		-0.378

6.1.5 Vorgehen

Die Berechnungen beider Ansätze erfordert keine Spezialsoftware, sondern kann in einem Tabellenkalkulationsprogramm oder mit Skripten vorgenommen werden. Mit beiden Ansätzen erfolgt die Berechnung der Nachfrageänderung separat für jede Quell-Ziel-Beziehung. Anschliessend werden die Ergebnisse aufsummiert.

Elastizitäten

Für die Berechnung der Elastizitäten werden zunächst die relativen Veränderungen der Kenngrössen zwischen Planzustand und Referenzzustand berechnet. Dann wird die relative Veränderung der Nachfrage ÖV durch Multiplikation der relativen Kenngrössenänderung mit der Elastizität berechnet. Daraus wird dann die absolute Veränderung der ÖV-Fahrten je Quell-Ziel-Beziehung berechnet. Aufgrund der Distanzen in diesem Fallbeispiel

wird angenommen, dass alle neuen ÖV-Fahrten Verlagerungen aus dem MIV sind. Diese werden daher von den MIV-Fahrten unter Berücksichtigung des Besetzungsgrades abgezogen.

Durch die Einführung der Bahnlinie in diesem Fallbeispiel verändert sich nicht nur die Fahrzeit im ÖV, sondern auch andere Attribute wie Kosten, Zu- und Abgangszeiten und Intervalle bzw. Bedienungshäufigkeiten. Eine Elastizität berücksichtigt per Definition immer nur eine Variable. Um mehrere sich Variablen zu berücksichtigen, gibt es zwei Möglichkeiten. Bei der ersten Variante wird für jede Variable die Elastizitätsberechnung einzeln durchgeführt und anschliessend die Effekte aufsummiert. In der zweiten Variante werden die anderen Grössen in Reisezäquivalente umgerechnet. Im vorliegenden Fallbeispiel wird der erste Ansatz verwendet.

Pivot-Point Ansatz

Für den Pivot Point-Ansatz wird für die Quell-Ziel-Beziehung der Nutzen der beiden Alternativen MIV und ÖV auf Basis der Kenngrössen und der in **Tab. 3** aufgeführten Parameter berechnet. Dann wird der neue bimodale Modalsplit mit der Pivot Point-Formel berechnet:

$$p'_k = \frac{p_k^0 \cdot e^{V_k - V_k^0}}{\sum_j p_j^0 \cdot e^{V_j - V_k^0}}$$

mit

p'_k = Anteil der Alternative k im Planzustand

p_k^0 = Anteil der Alternative k im Referenzzustand

$(V_k - V_k^0)$ = Nutzendifferenz für die Alternative k

Durch Ausmultiplikation mit der Anzahl ÖV- bzw. MIV-Fahrten im Referenzfall ergeben sich dann die Anzahl Fahrten im Planfall.

6.1.6 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Pivot Point- und Elastizitätsberechnungen sind in **Tab. 4** dargestellt und mit den Ergebnissen der Berechnungen mit dem synthetischen Modell aus der Studie Kanton Neuchâtel (2016b) verglichen.

Tab. 4 Ergebnisse Fallbeispiel Neue Bahnlinie

Berechnungsmethode	ÖV-Fahrten Referenz	ÖV-Anteil Referenz	ÖV-Fahrten Plan-Zustand	Zunahme ÖV-Fahrten	ÖV-Anteil Planzustand
Synthetisches Modell	41'790	25.4%	43'952	2'163	26.4%
Pivot Point	41'790	25.4%	43'290	1'501	26.2%
Elastizität Vrtic (2003)	41'790	25.4%	42'691	901	25.9%
Elastizität Leitfaden BAV	41'790	25.4%	43'042	1'252	26.1%
Elastizität ARE (2012)	41'790	25.4%	42'567	777	25.9%
Elastizität ARE (2017)	41'790	25.4%	43'049	1'259	26.1%

Wie darin zu sehen ist, wurde in der Berechnung mit dem synthetischen Modell ein grösserer Modalshift ermittelt als mit den generischen Ansätzen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das synthetische Modell die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Variablen und die dadurch verursachten Verhaltensänderungen und die Auswirkungen auf den MIV besser abbilden.

Bei den generischen Ansätzen ist wiederum der Modalshift mit dem Pivot Point grösser als mit den Elastizitäten, wobei es bei den Elastizitäten grosse Unterschiede gibt. Auch wenn in diesem Beispiel mehrere Einflussfaktoren berücksichtigt wurden, stammt der grösste Effekt jeweils von der Fahrtzeit. Dies zeigt auf, wie wichtig es ist, die recherchierten Elastizitäten zu hinterfragen. Dabei sollte vor allem berücksichtigt werden, dass Elastizitäten in der Regel nicht linear sind, sondern für einen bestimmten Mittelwert berechnet werden. Wenn der Mittelwert stark von der vorliegenden Situation abweicht, kann dies zu Verzerrungen führen. Ausserdem ist gerade im ÖV zu beachten, für welche ÖV-Fahrten die Elastizitäten berechnet wurden, da es durchaus Unterschiede zwischen Fernverkehr, Regionalverkehr und Lokalverkehr geben kann. Berücksichtigt man dies, ist der Elastizitätsansatz je nach Fragestellung gut geeignet für eine grobe Abschätzung der Effekte einer Massnahme.

Für eine detailliertere Betrachtung ist jedoch der Pivot Point vorzuziehen. Die Berechnung des Pivot Points ist nur geringfügig aufwändiger als die Berechnung der Elastizitäten und führt zu differenzierteren Resultaten.

Für die Berechnung der Veränderungen der Variablen konnte in diesem Fallbeispiel auf die Kenngrössenmatrizen einer existierenden Studie zurückgegriffen werden. Wie an der Herleitung der Variable «Intervall» aufgezeigt, ist aber auch eine manuelle Anpassung mittels Annahmen möglich.

Durch die Berechnung auf der Ebene von Quelle-Ziel-Beziehungen zwischen Zonen des VM-NE sind auch räumlich differenzierte Auswertungen möglich. Grundsätzlich können die Berechnungen aber auch auf einer grösseren Aggregationsstufe durchgeführt werden. Dazu müssen dann zur Aufgabenstellung passende Annahmen zur Vereinfachung getroffen werden.

6.2 Potenzialabschätzung für die Nutzung von E-Scootern

6.2.1 Aufgabenstellung

Die Gemeinde Meilen möchte prüfen, wie gross das Nutzungspotenzial von E-Scootern ist. Dabei soll das Angebot als Freefloating-Miete ausgestaltet werden, d.h. die Fahrzeuge können an einem beliebigen Standort ausgeliehen und abgestellt werden. Die Lokalisierung der Gefährte erfolgt mittels einer App. Konkret soll die Frage beantwortet werden, wie viele Nutzer*innen pro Tag zu erwarten sind. Ergänzend könnte neben der Anzahl Nutzer*innen auch die pro Weg zurückgelegte Fahrleistung bestimmt werden. Im folgenden Beispiel wird auf diese ergänzende Auswertung verzichtet, da sie methodisch exakt gleich erfolgt wie die Berechnung der Anzahl Personen und daher keinen Erkenntnisgewinn in Bezug auf die Methodik bringt.

6.2.2 Generischer Ansatz

Für die Bearbeitung der Fragestellung ist die aktuelle Nachfrage nach E-Scootern unbekannt, d.h. es gibt keinen Referenzpunkt, der als Ausgangspunkt für die Berechnung dienen könnte. Es wird angenommen, dass in diesem Beispiel in erster Linie die geroutete Distanz für die Verkehrsmittelwahl entscheidend ist und somit der dominierende Faktor ist. Daher wird für dieses Fallbeispiel als generischer Ansatz eine diskretisierte univariate Funktion gewählt. Dabei wird untersucht, wie sich ein dominierender Prädiktor (Distanzklasse) auf die zu untersuchende Zielvariable (Verkehrsmittelwahl E-Scooter) auswirkt. Das Modell gibt für jede Distanzklasse den Anteil der fahrzeugähnlichen Geräte (FÄG) an allen Verkehrsmitteln an. Da der Grundlagendatensatz aus dem Mikrozensus die E-Scooter nicht als separates Verkehrsmittel aufführt, sondern sie unter dem Verkehrsmittel «fahrzeugähnliche Geräte (FÄG)», erfasst wird vereinfachend angenommen, dass der Anteil der E-Scooter gleichbedeutend mit dem Anteil FÄG sind.

6.2.3 Grundlagen

Als Grundlage steht das NPVM 2017 (MIV und ÖV) sowie der Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015 zur Verfügung. Für die Bearbeitung der Fragestellung werden aus den beiden Datenquellen folgende Informationen herangezogen:

NPVM 2017

- Nachfragematrix Personenverkehr (MIV und ÖV)
- Kenngrössenmatrix MIV (Distanz)
- Kenngrössenmatrix ÖV (Distanz)

Mikrozensus 2015

- Etappendatensatz mit folgenden Attributen: geroutete Distanz, Verkehrsmittel

6.2.4 Parameter und Annahmen

Für die Potenzialabschätzung wird vereinfachend angenommen, dass die modale Verlagerung vom MIV und ÖV zu E-Scootern gleichermassen stattfindet. Die Verlagerung vom Fuss- und Veloverkehr wird vernachlässigt, obwohl zu erwarten ist, dass dieser Modalshift bedeutender ist als die Verlagerung vom MIV und ÖV. Da jedoch die Fuss- und Veloverkehrsmatrizen des NPVM für diese Fragestellung als zu ungenau erachtet werden, wird dieser Teil der Verlagerung vernachlässigt. Damit wird das Potenzial für E-Scooter in dieser Berechnung unterschätzt. Für die exemplarische Durchführung dieses Fallbeispiels, um das grundsätzliche Vorgehen aufzuzeigen, ist diese Vereinfachung zulässig. Für eine reale Anwendung sollte jedoch zwingend geprüft werden, ob eine belastbare Grundlage für den Fuss- und Veloverkehr zur Verfügung steht.

Der Grundlagendatensatz aus dem Mikrozensus führt die E-Scooter nicht als separates Verkehrsmittel auf, sondern erfasst sie unter dem Verkehrsmittel «fahrzeugähnliche Geräte (FÄG)». Vereinfachend wird angenommen, dass der Anteil der E-Scooter gleichbedeutend mit dem Anteil FÄG sind. Mit dieser Vereinfachung wird der Anteil der E-Scooter etwas überschätzt, da FÄG neben E-Scootern auch andere Verkehrsmittel umfasst.

Für die diskretisierte univariate Funktion werden folgende Distanzklassen definiert: [0, 0.5 km], (0.5, 1.0 km], (1.0, 1.5 km], (1.5, 2.0 km], (2.0, 2.5 km], (2.5, 3.0 km], (3.5, 4.0 km], (4.0, 4.5 km], (4.5, 5.0 km]. Wege von mehr als 5 km werden vernachlässigt.

6.2.5 Vorgehen

In einem ersten Schritt wird die diskretisierte univariate Funktion berechnet, indem der Etappendatensatz des Mikrozensus nach Distanzklassen und Verkehrsmitteln ausgewertet wird. Hierfür wird die geroutete Distanz gemäss den definierten Distanzklassen in Abschnitt 6.2.4 klassifiziert und für jede Distanzklasse die Anzahl Etappen über die Verkehrsmittel MIV und ÖV und die Anzahl Etappen für das Verkehrsmittel FÄG ausgewertet. Durch Division kann pro Distanzklasse der Anteil FÄG an den Verkehrsmitteln MIV und ÖV berechnet werden. Folgende **Tab. 5** zeigt diese Auswertung und damit die Definition der diskretisierten univariaten Funktion:

Tab. 5 Diskretisierte univariate Funktion zur Beschreibung des Anteils FÄG nach Distanzklassen

Distanzklasse	Anzahl Etappen total	Anzahl Etappen FÄG	Anteil FÄG
[0, 0.5 km]	3'268	455	13.9%
(0.5, 1.0 km]	9'095	568	6.2%
(1.0, 1.5 km]	10'346	277	2.7%
(1.5, 2.0 km]	9'800	117	1.2%
(2.0, 2.5 km]	7'889	38	0.5%
(2.5, 3.0 km]	7'339	23	0.3%
(3.0, 3.5 km]	6'206	17	0.3%
(3.5, 4.0 km]	5'378	13	0.2%
(4.0, 4.5 km]	5'068	5	0.1%
(4.5, 5.0 km]	4'255	15	0.4%

Im nächsten Schritt geht es um die Anwendung dieser Funktion auf die Aufgabenstellung. Hierfür wird für die Gemeinde Meilen die Nachfrage- und Distanzmatrix für MIV und ÖV herangezogen. Um eine Gesamtmatrix zu erhalten, werden die beiden Nachfragematrizen MIV und ÖV addiert. Die beiden Distanzmatrizen werden gemittelt, wobei die jeweiligen Nachfrageanteile als Gewichtungsfaktoren in die Berechnung eingehen. Somit stehen für die Beantwortung der Fragestellung eine Gesamtnachfragematrix sowie eine Gesamt-kenngrössenmatrix für die Distanz zur Verfügung. Folgende **Abb. 3** veranschaulicht dieses Vorgehen.

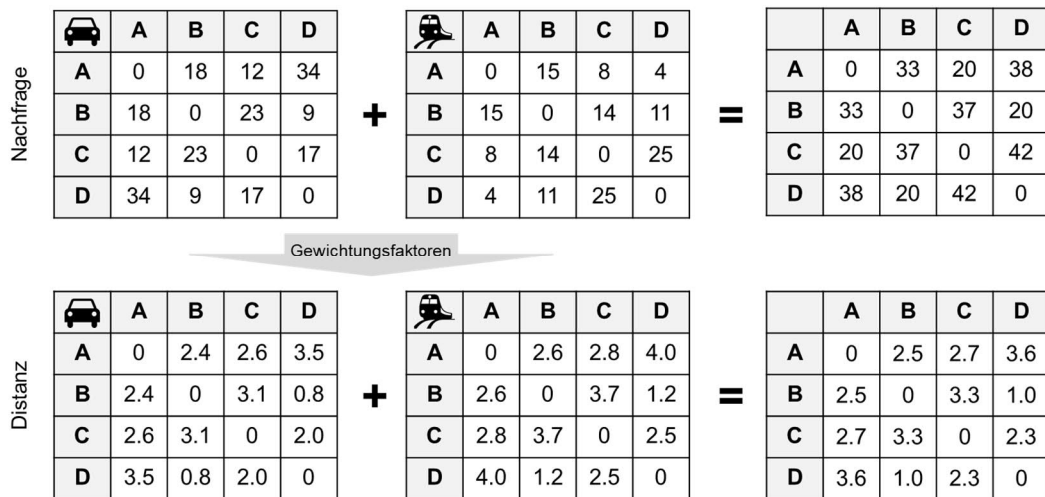


Abb. 3 Schematische Darstellung zur Berechnung der Gesamtmatrizen.

Für die Abschätzung des Nachfragepotenzials wird nun für jede Relation gemäss der univariaten Funktion ein Teil der Nachfrage abgespalten. Die Summe über die Potenzialmatrix beschreibt das Nachfragepotenzial in Anzahl Fahrten mit E-Scootern für die Gemeinde Meilen (vgl. Abb. 4).

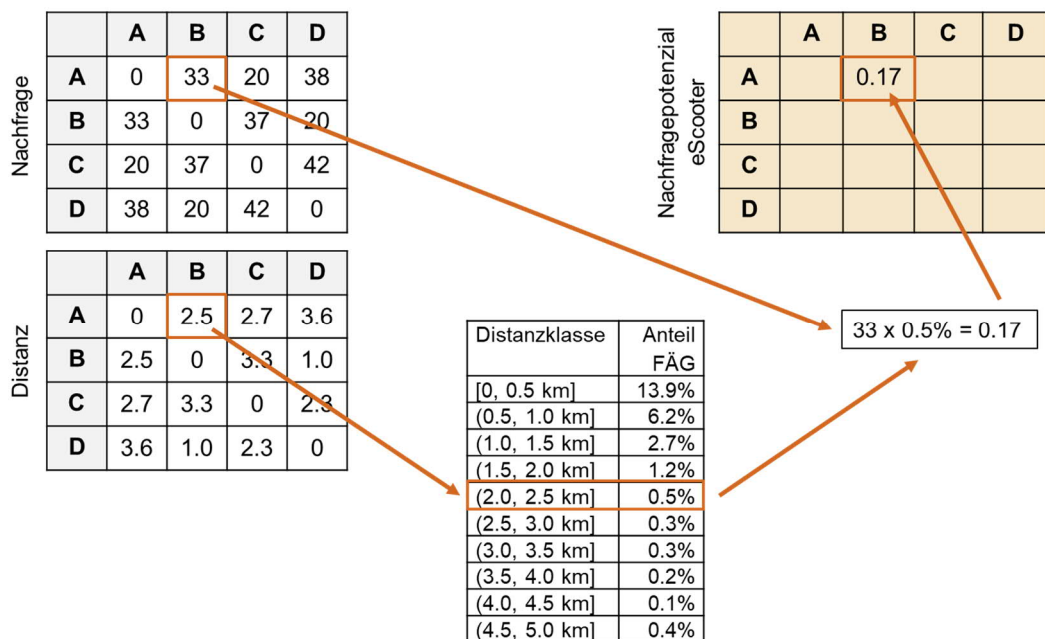


Abb. 4 Schematische Darstellung Berechnung des Nachfragepotentials von eScootern.

6.2.6 Ergebnisse und Diskussion

Die Berechnung des Fallbeispiels gemäss beschriebenen Vorgehen ergibt ein Nachfragepotenzial von **39 E-Scooter Fahrten pro Tag** in der Gemeinde Meilen. Aufgrund folgender Einschränkungen bei der gewählten Methode ist dieses Ergebnis nur exemplarisch zu verstehen:

Vernachlässigung der Verlagerung vom Fuss- und Veloverkehr sowie induziertem Verkehr

Die grösste Vereinfachung in diesem Fallbeispiel ist die Vernachlässigung der Verlagerung vom Fuss- und Veloverkehr auf E-Scooter. Dies gilt sowohl für eigenständige Fuss- und

Velowege als auch für die erste und letzte Meile zum ÖV. Dieses Potenzial dürfte deutlich grösser sein als die berücksichtigte Verlagerung vom MIV und ÖV. Mit dieser Vereinfachung wird somit das Potenzial von E-Scootern deutlich unterschätzt. Ebenso nicht berücksichtigt wird der Effekt des induzierten Verkehrs.

Differenzierung der fahrzeugähnlichen Geräte

Für die Definition der univariaten diskretisierten Funktion wurde vereinfachend angenommen, dass das Verkehrsmittel «FÄG» mit E-Scootern gleichzusetzen ist. Damit wird bei der Berechnung das Potenzial für E-Scooter überschätzt. Diese Überschätzung dürfte jedoch um einiges geringer sein als die Unterschätzung aufgrund der Vernachlässigung des Fuss- und Veloverkehrs. Somit wird das Potenzial in der Summe nach wie vor unterschätzt.

Räumliche Differenzierung

Das Potenzial wurde im Rahmen dieses Fallbeispiel ohne räumliche Differenzierung abgeschätzt. Für jede Quelle-Ziel-Beziehung wurde die gleiche univariate diskretisierte Funktion angewandt und somit ein vergleichbares Umsteigepotenzial angenommen. Als Verfeinerung der Methode könnte die Funktion räumlich differenziert werden, indem beispielweise Steigungen berücksichtigt werden. Erschwerend ist dabei allerdings die relativ kleine Stichprobe im Mikrozensus. Je stärker die Berechnung nach weiteren Kriterien differenziert wird, desto kleiner wird der Stichprobenumfang und damit die Belastbarkeit der Ergebnisse.

Aktualität der Grundlagendaten

Die Auswertung des Mikrozensus und damit die Definition der univariaten Funktion basiert auf Daten des Jahres 2015. Das Nutzungsverhalten hat sich in den letzten sechs Jahren stark verändert und es ist zu erwarten, dass dieselbe Analyse mit aktuelleren Mikrozensusdaten eine deutlich höheres Nachfragepotenzial für E-Scooter ergeben würde.

Auflösung

Das NPVM ist nicht überall in der Schweiz gleich fein aufgelöst. Je feiner die Zonierung und das Strassennetz, desto höhere Qualität weisen die Kenngrössenmatrizen und Nachfragematrizen für einen betrachteten Standort auf. Daher ist die räumliche Auflösung eines Modells vor der Anwendung zu prüfen.

6.3 Auswirkungen einer neuen P+Rail-Anlage

6.3.1 Aufgabenstellung

Der Bahnhof Richterswil verfügt aktuell über 132 P+Rail-Parkplätze. Die Gemeinde Richterswil möchte zusammen mit der SBB abschätzen, wie gross das theoretische Potenzial für P+Rail am Standort Richterswil ist. Zur Beantwortung dieser Fragestellung soll berechnet werden, wie gross die Nachfrage wäre, wenn keine Parkplatzbeschränkung bestünde.

6.3.2 Generischer Ansatz

Für die Bearbeitung der Fragestellung gilt die aktuelle Nachfrage der P+Rail-Anlage als unbekannt, d.h. es gibt keinen Referenzpunkt, der als Ausgangspunkt für die Berechnung dienen könnte. Zudem gibt es keinen dominierenden Faktor; mehrere Einflüsse sollen bei der Berechnung berücksichtigt werden. Daher wird für dieses Fallbeispiel als generischer Ansatz ein multivariates Modell, konkret ein multinominales logistisches Regressionsmodell, gewählt. Dabei wird untersucht, wie sich verschiedene Prädiktoren auf die zu untersuchende binäre Zielvariable «Wahl des Verkehrsmittels» mit den Ausprägungen «MIV» und «P+Rail» auswirken. Das Modell hat die Form

$$P(y = k|x) = \frac{e^{\beta_0^k + \beta_1^k x_1 + \dots + \beta_p^k x_p}}{\sum_{j=1}^K e^{\beta_0^j + \beta_1^j x_1 + \dots + \beta_p^j x_p}}$$

Der Ausdruck $P(y_i = k|x)$ bezeichnet dabei die Wahrscheinlichkeit, dass die Alternative i mit der Attributausprägung x gewählt wird. Der Ausdruck $\beta_0 + \beta_1 \cdot x_{i1} + \beta_2 \cdot x_{i2} + \dots + \beta_p \cdot x_{ip}$ im Exponenten wird linearer Prädiktor genannt. In der Verkehrsplanung wird in diesem Zusammenhang auch von einer Nutzenfunktion gesprochen. Für die folgende Fragestellung wird auf die Berechnung der Auswahlwahrscheinlichkeit verzichtet, sondern vereinfacht nur die Nutzenfunktion für die beiden Alternativen «MIV» und «P+Rail» ausgewertet und angenommen, dass derjenige Teil der bestehenden MIV-Nachfrage auf P+Rail umsteigt, der damit einen Nutzengewinn gegenüber der reinen MIV-Fahrt erzielt. Dieses vereinfachte Vorgehen ist gleichbedeutend mit der Annahme, dass bei zwei Alternativen stets die Alternative mit höherem Nutzen gewählt wird. Bei der Diskussion der Ergebnisse wird darauf eingegangen, welchen Effekt diese Vereinfachung auf die Berechnungsergebnisse hat.

Im Modell werden folgende Prädiktoren berücksichtigt:

- Kosten [in CHF]
- Parkkosten [in CHF]
- Fahrtzeit [in Minuten]

Für die verschiedenen Verkehrsmittel werden dabei unterschiedliche Parameter für Kosten und Zeit verwendet.

In den Prädiktor «Kosten» fliessen (für den MIV) kilometerabhängige Fahrzeugkosten ein sowie allfällige Ticketkosten für den ÖV und Kosten für die Benutzung der P+Rail-Anlage ein. Der Prädiktor «Zeit» berechnet sich als kombinierte Fahrtzeit. Vereinfachend werden Umsteigezeiten und Takt gemeinsam pauschal mit einem konstanten Zeitzuschlag bewertet.

Die Parameter werden aus der Literatur recherchiert und nicht neu geschätzt.

6.3.3 Grundlagen

Als Grundlage steht das NPVM 2017 (MIV und ÖV) sowie die Analyse der SP-Befragung 2015 zur Verkehrsmodus- und Routenwahl zur Verfügung. Für die Bearbeitung der Fragestellung werden aus dem NPVM folgende Daten herangezogen:

- Nachfragematrix Personenverkehr (MIV und ÖV)
- Kenngrössenmatrizen MIV (Reisezeit und Distanz)
- Kenngrössenmatrizen ÖV (Reisezeit (inkl. Umsteigezeiten) und Distanz)

Aus der Analyse der SP-Befragung werden die Modellparameter übernommen (siehe Abschnitt 6.3.4)

6.3.4 Parameter und Annahmen

Aus der Analyse der SP-Befragung (ARE, 2017; nicht-fahrtzweckspezifisches Modell mit linearen Nutzenfunktionen und ohne Soziodemographie) stehen die in **Tab. 6** aufgeführten Modellparameter (β -Parameter der Nutzenfunktion) zur Verfügung:

Tab. 6 Parameter multivariates Modell

Kenngrösse	Parameter MIV	Parameter ÖV
Konstante	-	-0.522
Reisezeit	-0.057	-0.038
Kosten	-0.164	-0.164
Parkkosten	-0.135	-

Für die Berechnung der Nutzenfunktionen werden neben der Verwendung der in Abschnitt 6.3.3 beschriebenen Grundlagen die in **Tab. 7** aufgeführten Annahmen getroffen:

Tab. 7 Annahmen P+Rail

Attribut	Wert
Fahrtkosten MIV pro km [CHF]	0.184
Kosten Benutzung P+Rail pro Tag [CHF] ²	2.19
Kosten ÖV-Abo pro Tag [CHF] ³	6.10
Parkkosten pro Tag [CHF]	4.00
Pauschaler Zeitzuschlag ÖV [Minuten] für Berücksichtigung von Takt und Umsteigen MIV-ÖV	10

6.3.5 Vorgehen

Folgende *Abb. 5* zeigt schematisch, wie das Nachfragepotenzial abgeschätzt wird. Ausgangslage ist die MIV-Nachfrage (direkter oranger Pfeil von A nach B). Für jede MIV-Relation wird folgende Nutzenfunktion einmal für den reinen MIV-Weg (oranger Pfeil) und einmal für den Weg via P+Rail ausgewertet (blauer Pfeil):

$$\begin{aligned}
 \text{Nutzen MIV} = & - 0.057 * [\text{Fahrzeit MIV von A nach B}] \\
 & - 0.164 * [\text{MIV-Distanz von A nach B}] * 0.184 \\
 & - 0.135 * 4.00 \text{ CHF Parkkosten an Ort B} \\
 \\
 \text{Nutzen P+Rail} = & - 0.522 \\
 & - 0.057 * [\text{Fahrzeit MIV von A zu P+Rail}] \\
 & - 0.038 * ([\text{Fahrzeit ÖV}] + 10 \text{ min Zeitzuschlag}) \\
 & - 0.164 * [\text{MIV-Distanz von A zu P+Rail}] * 0.184 \\
 & - 0.164 * (2.19 \text{ P+Rail-Kosten} + 6.10 \text{ ÖV-Ticket})
 \end{aligned}$$

² Gemäss www.sbb.ch (abgerufen am 26.05.2021) beträgt die Jahresgebühr CHF 800, was einem Tagespreis von CHF 2.19 entspricht (800/365).

³ Gemäss www.zvv.ch (abgerufen am 26.05.2021) beträgt die Jahresgebühr für ein Zonenabo der 2. Klasse (alle Zonen) CHF 2'226, was einem Tagespreis von CHF 6.10 entspricht (2226/365).

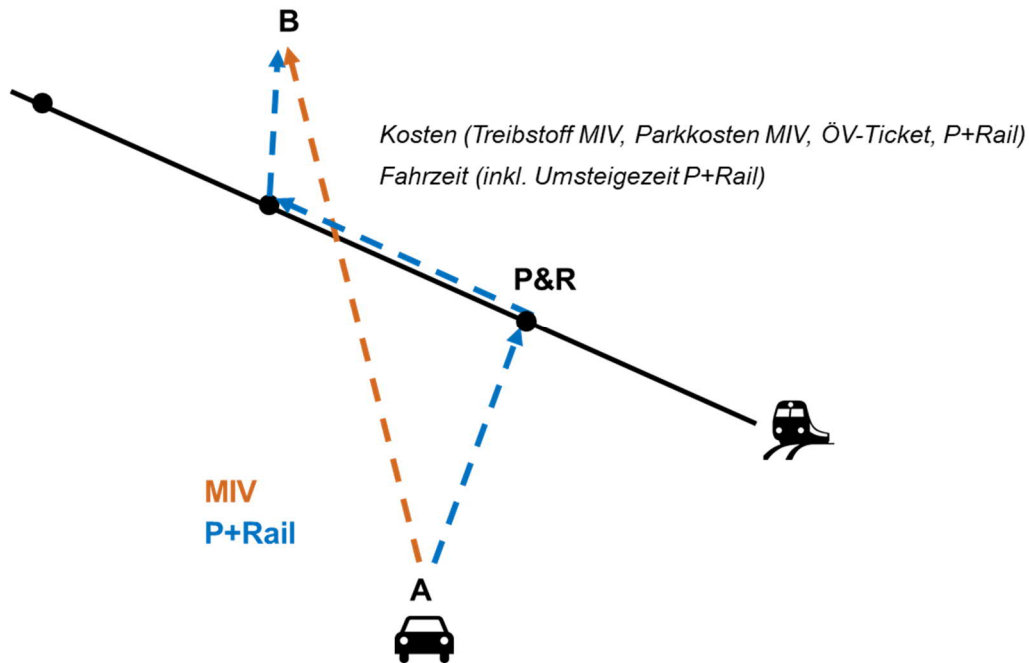


Abb. 5 Schematische Darstellung der Nachfragepotenzialabschätzung.

Im Rahmen dieses Praxisbeispiels werden folgende Vereinfachungen angenommen:

- Der Abgangsweg von der ÖV-Haltestelle zum Ziel der Reise wird vereinfachend vernachlässigt. Damit wird die reine MIV-Fahrt in der Tendenz etwas benachteiligt, da der ÖV-Weg zu kurz angenommen wird.
- Die Parksuchzeit für den MIV sowie allfällige Wegekosten vom Parkplatz zum Ziel der Fahrt werden vernachlässigt. Damit wird die reine MIV-Fahrt in der Tendenz etwas bevorzugt, da der MIV-Weg zu kurz angenommen wird.
- Die Kosten für das Umsteigen vom MIV auf den ÖV werden pauschal mit 10 Minuten Wartezeit berücksichtigt. Diese beinhalten sowohl die effektive Umsteigezeit als auch allfällig entstehende Wartezeiten infolge Takt, Verspätung etc.
- Für jede Relation wird die Differenz zwischen Nutzen MIV und Nutzen P+Rail gebildet. Diejenigen Fahrten, die beim Nutzen P+Rail besser abschneiden als beim Nutzen MIV, werden neu vollständig über die P+Rail-Anlage geführt. Die Summe über alle Fahrten ergibt das Potenzial.

6.3.6 Ergebnisse und Diskussion

Die Berechnung des Fallbeispiels gemäss beschriebenem Vorgehen ergibt ein Nachfragepotenzial von **104 Fahrzeugen** für den P+Rail-Standort Richterswil. Da dieser Wert in der Grössenordnung der vorhandenen Parkplätze von 132 liegt, wird das Ergebnis grundsätzlich als plausibel erachtet.

Für das vorliegende Fallbeispiel wurden Grundlagen verwendet, die in dieser Form für die ganze Schweiz vorliegen. Damit ist die Anwendung dieses Beispiel räumlich auf andere Standorte übertragbar. Die Berechnung kann ohne kostenpflichtige Software – beispielsweise mit der freien Software R – durchgeführt werden.

Bei der Interpretation der Ergebnisse gilt es dennoch einige Punkte zu beachten:

Sensitivität

Für das Modell mussten einige Annahmen getroffen werden. Insbesondere der Preis für den Parkplatz am Ziel (wird für die Berechnung des Nutzens der MIV-Route verwendet) ist

sehr schwierig abzuschätzen, da es keine Grundlage dafür gibt. Für das Fallbeispiel wurden CHF 4.00 angenommen. Während dieser Parameter schwierig festzulegen ist, hat er gleichzeitig einen grossen Einfluss auf das Ergebnis: Eine Erhöhung des Parkplatzpreises am Ziel um 10% erhöht die Nachfrage nach P+Rail-Parkplätzen um 45%. Eine Verringerung des Preises um 10% reduziert die Nachfrage nach P+Rail um 28%.

Ein weiterer Parameter, der festzulegen ist, ist der pauschale Zeitzuschlag für Umsteigen, Takt etc. Für das Fallbeispiel wurden hierfür 10 Minuten angenommen. Wird dieser Wert um 10% erhöht, reduziert sich die Nachfrage um 20%. Wird der Wert hingegen um 10% reduziert, erhöht sich die Nachfrage nach P+Rail um 30%.

Diese exemplarischen Berechnungsbeispiele zeigen, dass das Berechnungsergebnis sehr stark von den Annahmen beeinflusst wird und daher eine Sensitivitätsberechnung unumgänglich ist. Die Annahmen sind mit der Auftraggeberschaft abzustimmen und gut zu dokumentieren. Die Ergebnisse sollten eher als Bandbreiten angegeben werden statt als Punktergebnisse. In diesem Fall würde man vielleicht eher von einem Potenzial von 70 bis 150 Fahrzeugen sprechen, statt den exakten Wert von 104 anzugeben.

Vereinfachte Nutzenfunktion und Entscheidungsmodell

Die hier verwendete Nutzenfunktion mit Reduktion auf Kosten, Parkkosten und Fahrtzeit ist stark vereinfacht. Weitere Aspekte wie Verspätungswahrscheinlichkeit, Parksuchzeit, ÖV-Takt etc. könnten ebenfalls miteinfließen, bedingen aber detailliertere Grundlagen. In Anbetracht dessen, dass bereits kleine Änderungen der Eingangsparameter eine grosse Hebelwirkung erzeugen, empfiehlt es sich, die Nutzenfunktion einfach zu halten und sich auf die wichtigsten Eingangsgrössen zu beschränken.

Für die Verkehrsmittelwahl wurde vereinfachend angenommen, dass diejenigen Relationen der bestehenden MIV-Nachfrage vollständig auf P+Rail umsteigen, die damit einen Nutzengewinn gegenüber der reinen MIV-Fahrt erzielen. Diese Annahme bedeutet für Relationen, bei denen die Auswahlwahrscheinlichkeit für P+Rail grösser als 50% beträgt, dass alle Fahrzeuge neu die P+Rail-Anlage benutzen. Ist die Auswahlwahrscheinlichkeit hingegen kleiner als 50% wechselt niemand. Gemäss dem Ansatz des multivariaten Modells müsste die MIV-Nachfrage jedoch gemäss der Auswahlwahrscheinlichkeit abgespalten werden. Wenn auf einer Relation 300 Fahrzeuge verkehren und die Berechnung der Auswahlwahrscheinlichkeit für P+Rail 33% ergibt, dann müssten 100 Fahrzeuge auf P+Rail umsteigen (und nicht 0, wie im Fallbeispiel gerechnet). Die Abspaltung der Nachfrage gemäss Auswahlwahrscheinlichkeiten hat jedoch den Nachteil, dass sich viele sehr kleine Anteile am Schluss zu einer beträchtlichen Zahl an Umsteiger aufsummieren. Wird das Fallbeispiel mit der Aufteilung der MIV-Nachfrage gemäss Auswahlwahrscheinlichkeit berechnet, so ergibt sich ein Potenzial von rund 35'000 Fahrzeugen statt 104 Fahrzeugen. Grund hierfür ist, dass sehr kleine Anteile von über 2'000'000 Relationen aufsummiert werden. Werden in dieser Berechnung Wahrscheinlichkeiten von kleiner als 1% auf 0 gesetzt, so beträgt das Potenzial immer noch rund 30'000 Fahrzeuge. Erst mit der Annahme, dass eine abgespaltene Nachfrage von kleiner als 1 ignoriert wird, ergibt sich ein deutlich kleineres Potenzial von rund 7'700 Fahrzeugen, das aber immer noch unplausibel erscheint.

Auflösung

Das für das Fallbeispiel angewandte NPVM ist nicht überall in der Schweiz gleich fein aufgelöst. Je feiner die Zonierung und das Strassennetz, desto höhere Qualität weisen die Kenngrössenmatrizen und Nachfragematrizen für einen betrachteten Standort auf. Daher ist die räumliche Auflösung eines Modells vor der Anwendung zwingend zu prüfen.

6.4 Auswirkungen einer städtischen Velovorzugsroute auf den Veloverkehr

6.4.1 Aufgabenstellung

Die Stadt Zürich prüft die Einführung mehrerer Velovorzugsrouten. Um zu ermitteln, welche Varianten den grössten Nutzen aufweisen, sollen in einem ersten Schritt die Auswirkungen dieser Velorouten ermittelt werden. Beim Bau einer städtischen Velovorzugsroute ist einerseits mit Verlagerungseffekten vom MIV und ÖV hin zum Veloverkehr und andererseits mit Verlagerungen in der Routenwahl zu rechnen. Dies kann mit der verbesserten Infrastruktur und den damit einhergehenden Reisezeit-, Komfort- und Sicherheitsgewinnen begründet werden. Das folgende Praxisbeispiel fokussiert auf die Auswirkungen auf die Routenwahl im betroffenen Korridor. In einem zweiten Schritt müssten dann auch allfällige Modal-Shift-Effekte (z.B. mittels Pivot-Point-Ansatz) abgeschätzt werden.

Es steht weder ein Veloverkehrsmodell noch eine geeignete Quell-Ziel-Matrix zur Verfügung. Daher muss die Quell-Ziel-Matrix mittels generischen Ansätzen abgeschätzt werden. Alternativ kann eine empirische Quell-Ziel-Matrix beispielsweise aus Fitness-Apps und/oder aus dem Bike-To-Work-Tracking verwendet werden.

6.4.2 Generischer Ansatz

Quell-Ziel-Matrix

Für die Abschätzung der Quell-Ziel-Matrix ist kein Referenzpunkt vorhanden. Vereinfachend kann aber davon ausgegangen werden, dass die Veloverkehrsnachfrage proportional zu den Strukturdaten (Vollzeitäquivalente und Wohnbevölkerung) ist. Das heisst, es wird von einer dominierenden Einflussgrösse und einem linearen Zusammenhang ausgegangen. Als generischer Ansatz wird daher die Abschätzung mittels Faktoren verwendet. Als Prädiktor wird die Summe der Strukturdaten am Quell- und Zielort verwendet.

Das Volumen wird initial mit einem Faktor proportional zu der Summe der Strukturdaten am Quell- und Zielort geschätzt und anschliessend mit einer distanzabhängigen Widerstandsfunktion skaliert. Abschliessend werden die resultierenden Werte randomisiert, um Abweichungen zwischen den Veloverkehrsaufkommen abzubilden. Für eine systematische Abbildung der räumlichen Verteilung der Veloverkehrsanteile liegen leider keine ausreichenden Grundlagedaten vor.

Routenwahl

Für die Berechnung der Routenwahlveränderungen gilt die aktuelle Routenwahl im Veloverkehr als unbekannt, d.h. es gibt keinen Referenzpunkt, der als Ausgangspunkt für die Berechnung dienen könnte. Zudem gibt es keinen dominierenden Faktor; mehrere Einflüsse sollen bei der Berechnung berücksichtigt werden. Daher wird für dieses Fallbeispiel als generischer Ansatz ein multivariates Modell gewählt. Im Modell werden folgende Prädiktoren berücksichtigt:

- Länge
- steigungsbereinigte Geschwindigkeit
- Attraktivitätsklasse (unter Berücksichtigung von Veloinfrastruktur, zulässiger Höchstgeschwindigkeit und MIV-Belastung)

Die Operationalisierung dieser Prädiktoren ist in Kapitel 6.4.4 beschrieben.

6.4.3 Grundlagen

Als Grundlagen dienen folgende Daten:

- Statistik der Ständigen Wohnbevölkerung STATPOP, georeferenziert, im Hektarraster (Quelle: BFS): Einwohnerinnen und Einwohner
- Statistik der Unternehmen STATENT, georeferenziert, im Hektarraster (Quelle: BFS): Vollzeitäquivalente
- Veloverkehrsnetz mit einem gemäss «Strecken-Attraktivität» operationalisierten Widerstands-Attribut (Quelle: Open Data, Stadt Zürich, https://data.stadt-zuerich.ch/dataset/geo_fuss_und_velowegnetz)
- Hexagonales Raster über das Gebiet der Stadt Zürich als Quell- bzw. Zielorte. Die dem Zentroiden eines Hexagons nächstgelegene Netzwerkkante diene als Anbindung an des Veloverkehrsnetz.
- Digitales Höhenmodell zur Ableitung der Globalsteigung von neu erfassten Netzwerkkanten (Quelle: Swisstopo)

6.4.4 Parameter und Annahmen

Quell-Ziel-Matrix

Für die Berechnung der synthetischen Nachfrage wurden die Strukturdaten am Quell- und Zielort wie folgt verarbeitet (α : Faktor für Erzeugung von Velowegen je Struktureinheit, EW: Einwohnerinnen und Einwohner; VZÄ: Vollzeitäquivalente; Q: Quellort; Z: Zielort; ρ : Distanzfaktor; R: Zufallsvariable $\in [0, 1]$):

$$\text{Volumen } V_{Q-Z} = \alpha \times \frac{[\text{Summe}(\text{EW}_Q + \text{VZÄ}_Q) + \text{Summe}(\text{EW}_Z + \text{VZÄ}_Z)] \times \rho}{R}$$

Der Faktor α kann aus Erhebungsdaten hergeleitet und/oder auf der Grundlage von Zähl-daten kalibriert werden. Im vorliegenden Fallbeispiel wurde er so gewählt, dass die resultierenden Routenbelastungen möglichst gut mit den Zähl-daten der Dauerzählstellen der Stadt Zürich übereinstimmen. Dies wurde mit einem Faktor von $\alpha = 0.1$ erreicht.

Der Distanzfaktor ρ skaliert die Nachfrage auf einer Quell-Ziel-Beziehung in Abhängigkeit der Luftliniendistanz. Die dazu verwendete Funktion stammt aus einer Expertenschätzung und ist in **Abb. 6** dargestellt.

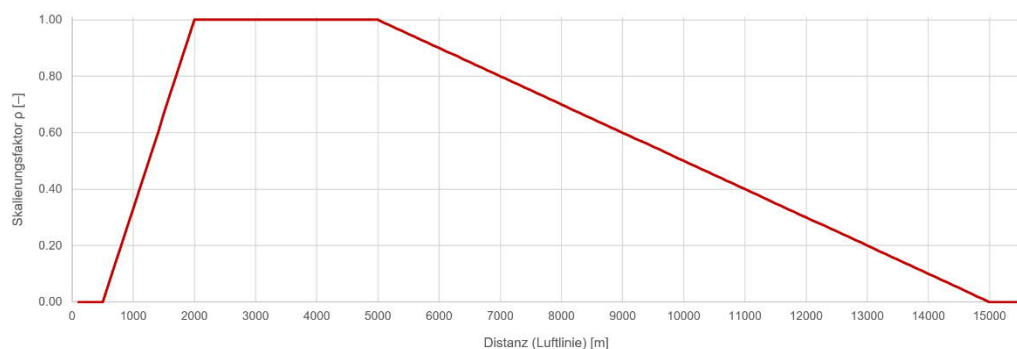


Abb. 6 Funktion für Distanzfaktor ρ

Folgende **Abb. 7** zeigt schematisch, wie die Veloverkehrsnachfrage für eine Quell-Ziel-Relation abgeschätzt wird.

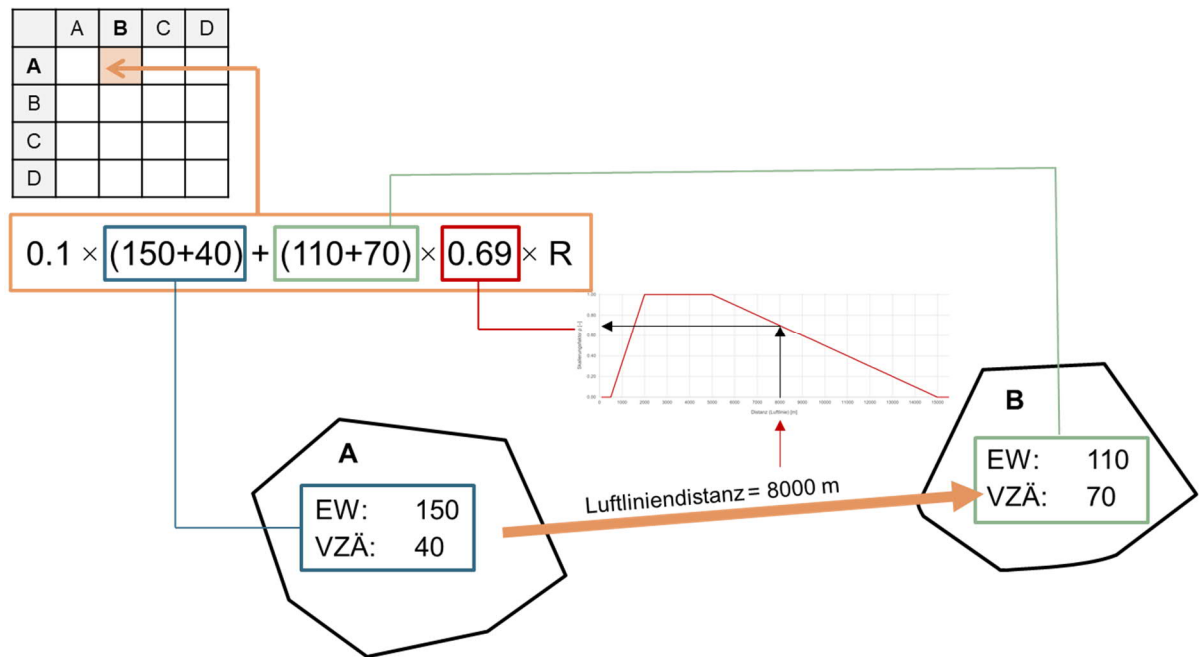


Abb. 7 Schematische Darstellung der Berechnung der Veloverkehrsnachfrage.

Das wie oben beschrieben abgeschätzte Volumen pro Quelle-Ziel-Beziehung wurde anschliessend auf maximal 3'000 Fahrten pro Quell-Ziel-Beziehung begrenzt. Zudem wurden Volumen unterhalb von 30 Fahrten aus Effizienzüberlegungen aus der weiteren Analyse entfernt.

Routenwahl

Die Parametrisierung des multivariaten Modells für die Routenwahl beruht auf der Operationalisierung «attraktivste Route» im Veloverkehrsnetz bzw. Veloroutenplaner der Stadt Zürich. Für die neu erstellten Velovorzugsrouten wird die Operationalisierung gemäss der Methodik des Tiefbauamts angewendet (Die Methodik-Beschreibung ist aktuell nicht öffentlich zugänglich, kann aber beim Metadaten-Kontakt gemäss geocat.ch⁴ erfragt werden).

Die Methodik des Tiefbauamts berechnet pro Netzwerkkante eine anisotrope steigungsberaunigte Geschwindigkeit bzw. Fahrzeit (r: Steigung in Prozent $\in [-10, 10]$):

steigungsbereinigte Geschwindigkeit $v_{\text{kor}} = -1.2 \times r + 16$

Für Steigungen kleiner als -10% wird die Geschwindigkeit mit konstant 28 km/h modelliert, für Steigungen grösser als 10% mit 4 km/h.

Ferner verwendet die Methodik der Stadt Zürich vier Attraktivitätsklassen:

- Klasse 1:
 - Veloweg vorhanden oder
 - Tempo 20 oder
 - Tempo 0 oder
 - Tempo 30 mit maximal 1'000 MIV-Fahrzeugen pro Tag (oder keine Fahrzeuganzahlangebe)

⁴ https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full_view/3e2a9e9f-cd6b-48f9-8dc4-84a92b90411a

- Klasse 2:
 - Tempo 30 mit 1'000–5'000 MIV-Fahrzeugen pro Tag oder
 - Velostreifen vorhanden mit maximal 7'500 MIV-Fahrzeugen pro Tag oder
 - maximal 1'500 MIV-Fahrzeuge pro Tag
- Klasse 3:
 - Tempo 30 mit mehr als 5'000 MIV-Fahrzeugen pro Tag oder
 - Velostreifen vorhanden mit mehr als 7'500 MIV-Fahrzeugen pro Tag oder
 - maximal 7'500 MIV-Fahrzeuge pro Tag
- Klasse 4:
 - restliche Strassen mit mehr als 7'500 MIV-Fahrzeugen pro Tag

In Abhängigkeit der Attraktivitätsklasse werden Netzwerkkanten pönalisiert:

- Klasse 1: keine Pönalisierung, d.h. Modell-Fahrzeit = echte Fahrzeit
- Klasse 2: Pönalisierung von 20%, d.h. Modell-Fahrzeit = echte Fahrzeit $\times$ 1.2
- Klasse 3: Pönalisierung von 40%, d.h. Modell-Fahrzeit = echte Fahrzeit $\times$ 1.4
- Klasse 4: Pönalisierung von 80%, d.h. Modell-Fahrzeit = echte Fahrzeit $\times$ 1.8

Um diese Operationalisierung auf neu erstellte Netzwerkkanten anwenden zu können, wurden die Länge und Steigung neu erstellter Kanten ermittelt. Bezüglich Infrastruktur und MIV wurde für neu erstellte Netzwerkkanten die beste Klasse (Klasse 1) angenommen. Dies entspricht dem Wegfall der oben ausgeführten Pönalisierung (für die Klassen 2 bis 4 wird die angenommene Fahrzeit mit einem Faktor > 1 multipliziert).

6.4.5 Vorgehen

Quell-Ziel-Matrix

Für die Erzeugung der synthetischen Nachfrage wurden georeferenzierte Strukturdaten (Vollzeitäquivalente und Wohnbevölkerung) eingesetzt, um für alle Permutationen von in der Stadt Zürich möglichen Quell-Ziel-Beziehungen ein Veloverkehrsvolumen zu simulieren. Die Strukturdaten zu Einwohnerinnen und Einwohnern sowie Arbeitsplätzen (Vollzeitäquivalenten) liegen in einem hexagonalen Raster vor. Die einzelnen Hexagone wurden jeweils auf die ihrem Mittelpunkt nächstgelegene Netzwerkkante angebunden. Diese vorbereitenden Arbeiten wurden in einem Geoinformationssystem (Esri ArcGIS) und in einer Datenverarbeitungsumgebung (ETL-Tool Safe Software FME) durchgeführt.

Routenwahl

Die so generierte Verkehrsnachfrage und das in verschiedenen Velovorzugsrouten-Varianten untergliederte städtische Verkehrsinfrastrukturangebot wurden anschliessend mittels der Programmiersprache Python 2.7 und dem Package NetworkX (<https://networkx.org>) zur Netzwerkanalyse weiterverarbeitet. Für jedes Quell-Ziel-Paar wurden die entsprechenden Verkehrsmengen im städtischen Netz mittels NetworkX in einem NetworkX.DiGraph (*directed graph*) mittels der Funktion `NetworkX.dijkstra_path()`⁵ geroutet und die Verkehre auf den einzelnen Netzwerkkanten summiert. Einbahnregimes wurden

⁵https://networkx.org/documentation/networkx-1.10/reference/generated/networkx.algorithms.shortest_paths.weighted.dijkstra_path.html

dabei in der Modellierung mitberücksichtigt. Regelungen bezüglich Abbiegebeziehungen wurden aber vereinfachend ausser Betracht gelassen.

Diese Analyse wurde einmal mit dem unveränderten Veloverkehrsnetz und dann einmal pro Velovorzugsroute durchgeführt. Die Velovorzugsrouten wurden mittels Verbesserung der Qualität der Veloinfrastruktur, Verkürzung der Fahrzeit, Verbesserung der Durchgängigkeit (Aufhebung von Einbahn-Regimes) und/oder durch das Einfügen neuer Netzwerkanten (Tunnels, Rampen) operationalisiert. In einem Nachprozessierungsschritt wurde die Differenz zwischen den Veloverkehrsmengen mit und ohne neue Velovorzugsroute ermittelt. Diese wurde anschliessend als Differenzbelastungsplot im Geoinformationssystem in diskreten Klassen dargestellt und auf einer Basiskarte überlagert.

6.4.6 Ergebnisse und Diskussion

Die resultierenden Differenzbelastungsplots sind in den Abbildungen **Abb. 8** bis **Abb. 11** dargestellt. Neben dem Potenzial der neuen Strecken sind auch die Auswirkungen auf die Zu- und Abgangswege sowie parallele Routen zu sehen, die unter Berücksichtigung der zugrunde liegenden Daten plausibel sind. Wie bei einer Umlegung in einem klassischen synthetischen Verkehrsmodell können mit diesem Ansatz also umfassende Verlagerungswirkungen abgebildet werden. Damit kann der hier vorgestellte generische Ansatz komplexere Effekte abbilden als z.B. eine Handumlegung. Eine Einschränkung des vorgestellten Ansatzes ist allerdings, dass nur Routenwahlveränderungen abgebildet werden. Für die Abschätzung von Verkehrsmittelwahlveränderungen müsste dies mit weiteren Ansätzen (z.B. Elastizitäten) kombiniert werden. Allerdings ist dafür bisher noch wenig Literatur vorhanden.

Auf ein Ausweisen konkreter Zahlen wurde in diesem Fallbeispiel verzichtet, da die zugrunde liegende Nachfragematrix stark vereinfacht abgeschätzt wurde. Eine genauere Modellierung mit einem generischen Ansatz wäre z.B. mit einem Gravitationsmodell möglich. Alternativ könnte auch die Veloverkehrsmatrix eines Verkehrsmodells ohne Veloverkehrsumlegung verwendet werden oder die Nachfragematrix aus nutzergenerierten Daten, z.B. aus Fitness-Apps und/oder aus dem Bike-To-Work-Tracking abgeleitet werden. Der Vorteil von nutzergenerierten Daten wäre zudem, dass diese häufig auch Streckenbelastungen umfassen, die zur Plausibilisierung und/oder Kalibrierung des Routenwahlmodells verwendet werden können.

Der Ansatz ist grundsätzlich auch gut auf andere Räume übertragbar. Die Übertragbarkeit ist allerdings stark abhängig von den entsprechenden Datengrundlagen, insbesondere dem Velonetz. Für die Stadt Zürich lag bereits ein attribuiertes Velonetz vor, welches für diese Arbeiten übernommen werden konnte. Muss ein neues Velonetz erstellt werden, führt dies zu deutlich grösseren Aufwänden. Auch ohne die Erstellung eines Velonetzes war die Berechnung dieses Fallbeispiels deutlich aufwändiger als die übrigen Fallbeispiele.

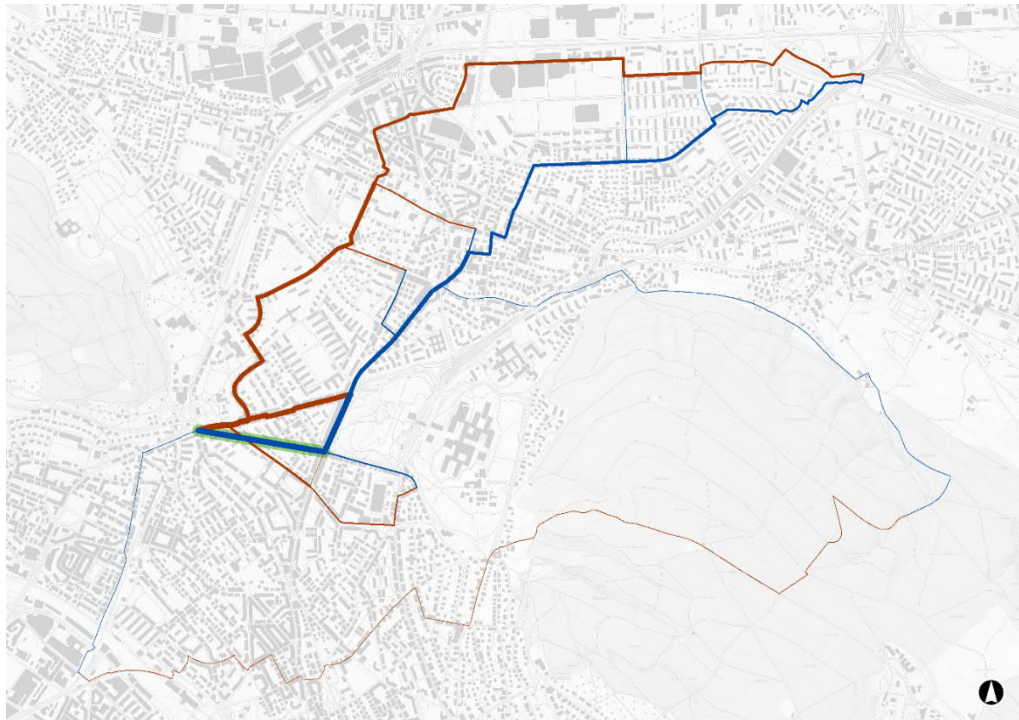


Abb. 8 Velovorzugsroute Tunnel Bucheggplatz–Milchbuck. Grün: Perimeter der Massnahme; Rot: Reduktion Veloverkehr durch Massnahme; Blau: Zunahme Veloverkehr durch Massnahme.

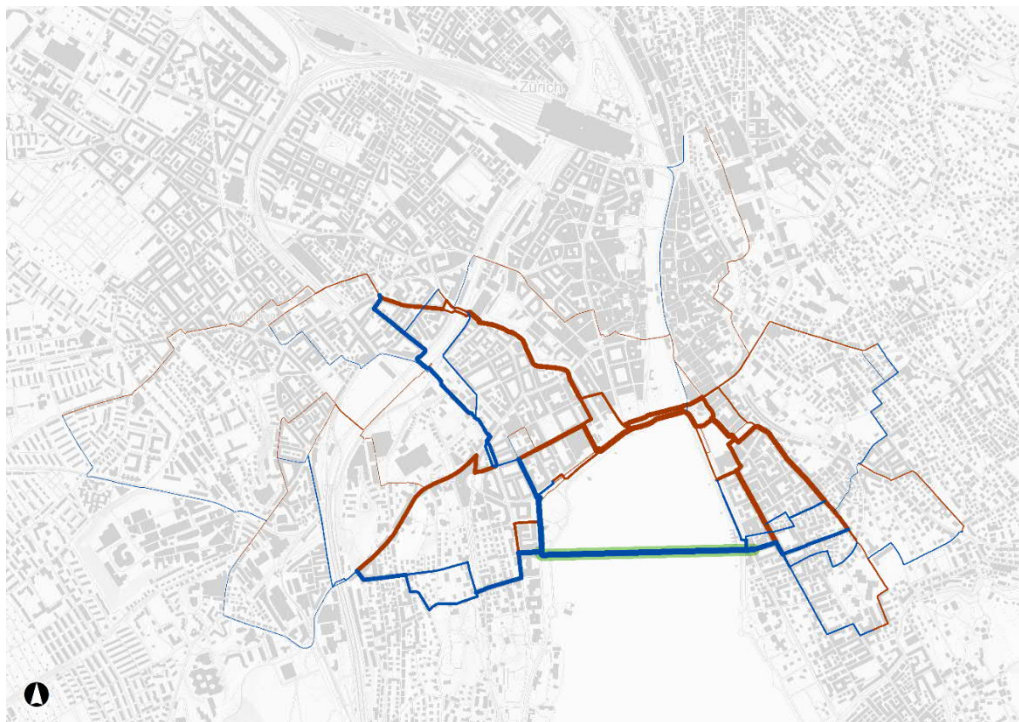


Abb. 9 Velovorzugsroute Seetunnel Enge–Utoquai. Grün: Perimeter der Massnahme; Rot: Reduktion Veloverkehr durch Massnahme; Blau: Zunahme Veloverkehr durch Massnahme.

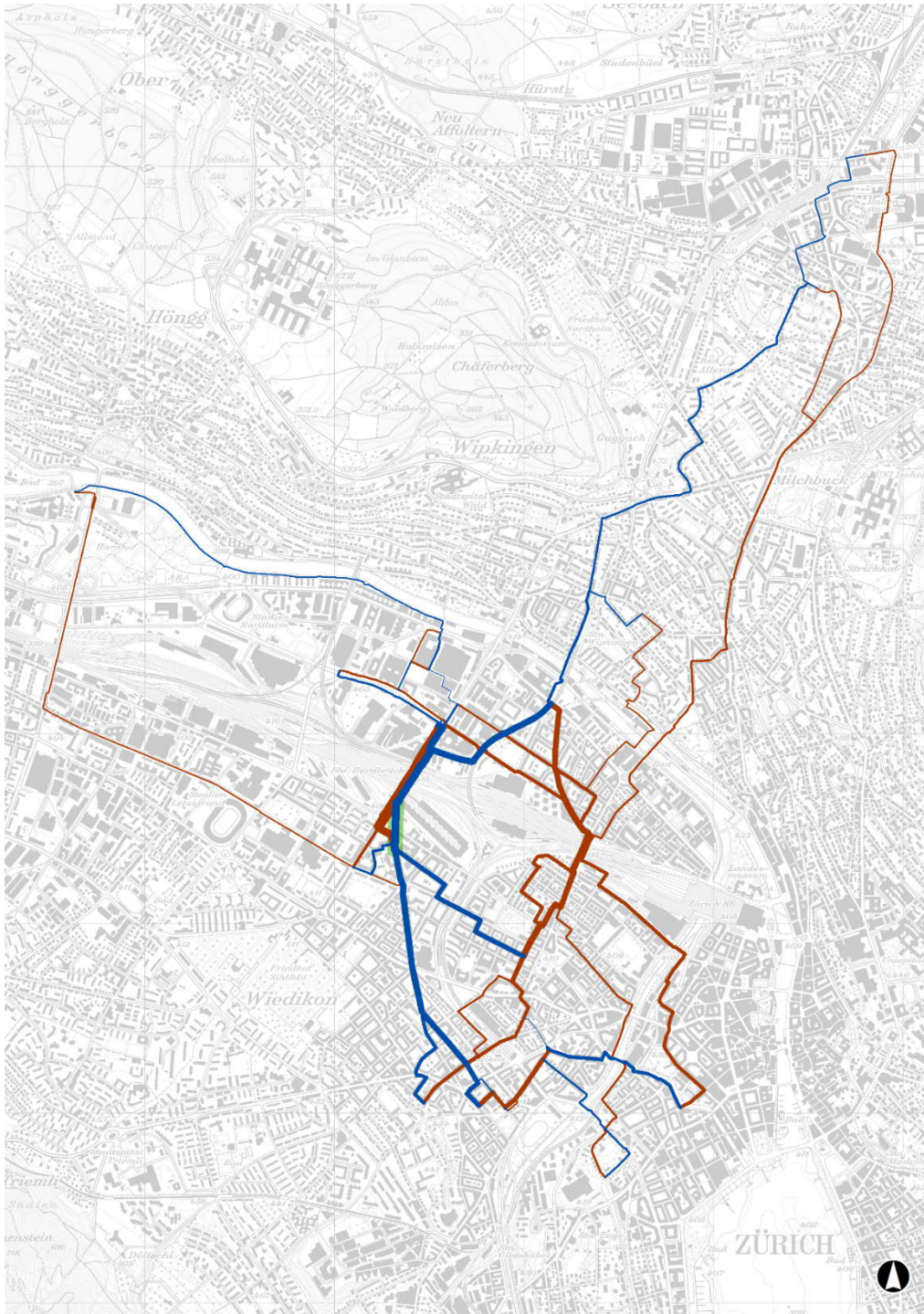


Abb. 10 Velovorzugsroute Rampe Hardbrücke–Sihlfeldstrasse. Grün: Perimeter der Massnahme; Rot: Reduktion Veloverkehr durch Massnahme; Blau: Zunahme Veloverkehr durch Massnahme.

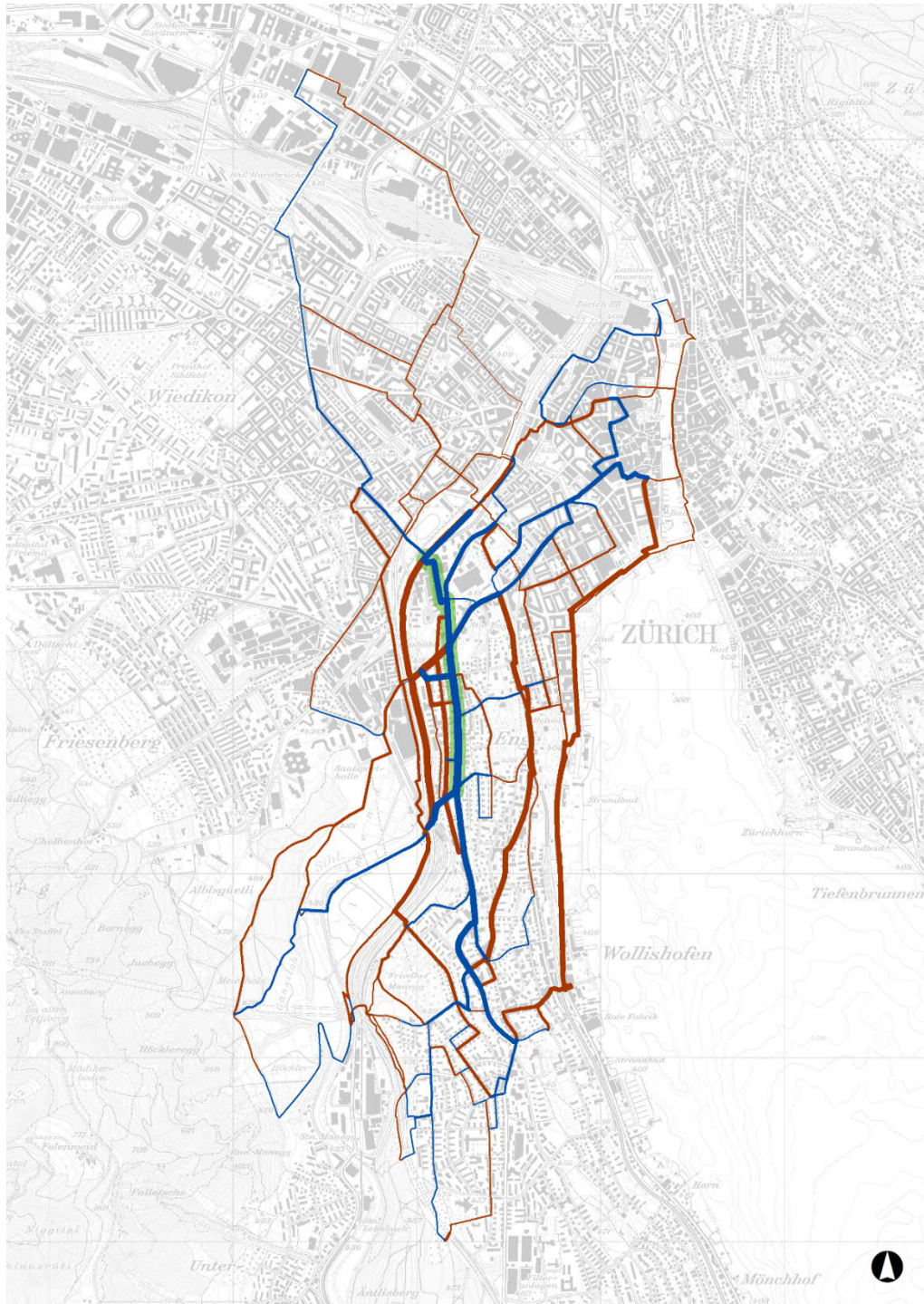


Abb. 11 Velovorzugsroute Brandschenkestrasse. Grün: Perimeter der Massnahme; Rot: Reduktion Veloverkehr durch Massnahme; Blau: Zunahme Veloverkehr durch Massnahme.

6.5 Erkenntnisse aus den Praxisbeispielen

Die Durchführung der Praxisbeispiele im Rahmen dieser Forschungsarbeit hat aufgezeigt, wo die Stärken und Schwächen von generischen Ansätzen liegen und worauf bei der Anwendung besonders zu achten ist. Die in Kapitel 0 formulierte Definition eines generischen Verkehrsmodells hat deutlich gemacht, dass generische Verkehrsmodelle für *spezifische* Fragestellungen eingesetzt werden. Sowohl die Praxisbeispiele als auch die Faktenblätter in Kapitel 0 haben gezeigt, dass der Konkretisierung der Fragestellung bzw. der Spezifikation des Problems im Zusammenhang mit generischen Verkehrsmodellen eine entscheidende Rolle zukommt. Je nachdem, welche Grundlagen vorliegen und welche konkreten Aussagen gemacht werden sollen, kommen andere generische Ansätze zur Anwendung: Gibt es einen verlässlichen Referenzpunkt, der als Ausgangslage verwendet werden kann? Gibt es einen dominierenden Einfluss auf die zu untersuchende Zielgrösse oder spielen mehrere Faktoren eine Rolle? Sind funktionale Zusammenhänge bereits aus der Literatur bekannt oder müssen Parameter aus umfangreichen Datensätzen geschätzt werden? Welche Vereinfachungen sind unter den gegebenen Umständen zulässig? Diese Fragen deuten bereits an, dass der Umgang mit generischen Modellen – wie dies auch bei der Anwendung von klassischen synthetischen Verkehrsmodellen der Fall ist – eine gewisse Erfahrung voraussetzt. Die folgenden Erkenntnisse aus den Praxisbeispielen sollen die Anwender*innen von generischen Modellen unterstützen:

- Der grösste Teil des Aufwands bei der Anwendung eines generischen Verkehrsmodells liegt in der Regel in der Spezifikation des Problems und in der Abgrenzung der zulässigen Vereinfachungen. Gemeinsam mit dem Auftraggeber muss dazu zu Beginn das Ziel und die gewünschte Genauigkeit definiert werden. Vereinfachungen sind jeweils in Abstimmung mit den vorhandenen Datengrundlagen vorzunehmen und gut zu begründen.
- Die Wahl des richtigen generischen Modells ist von vielen Faktoren abhängig. Neben der konkreten Fragestellung (siehe oben) bestimmen auch die vorhandenen Grundlagen die Wahl des richtigen Ansatzes.
- Generische Modelle sind im Gegensatz zu klassischen synthetischen Verkehrsmodellen vereinfachte Modelle. In die Erstellung von klassischen Modellen fliessen viele Grundlagen und Annahmen ein. Bei der Anwendung von generischen Modellen müssen diese Annahmen explizit getroffen werden. Da die Annahmen mit vielen Unsicherheiten behaftet sind, sind Sensitivitätsanalysen zwingend erforderlich.
- Da generische Modelle i.d.R. für eine konkrete Fragestellung erstellt und parametrisiert werden, handelt es sich jeweils um «Prototypen». Umso wichtiger ist es, die Ergebnisse einem Logik-Check zu unterziehen. Wird die Fragestellung gut abgebildet? Werden alle wesentlichen Einflussgrössen berücksichtigt? Die Variation der Annahmen und somit die Berechnung von Sensitivitäten kann zusätzlich Sicherheit geben, ob die Ergebnisse plausibel und belastbar sind.
- Wie bei allen Modellen ist die Qualität der Datengrundlage entscheidend für die Qualität der Modellergebnisse. Je nach Fragestellung ist die Datengrundlage jedoch sehr dünn, wie z.B. bei der Potenzialabschätzung für «neue» Verkehrsmittel in Kapitel 6.2.2. Eine mangelhafte Datengrundlage kann nicht durch einen guten generischen Ansatz kompensiert werden. Daher kommt in diesen Fällen den Sensitivitätsanalysen eine noch grössere Bedeutung zu.
- Grundlagen aus bestehenden Verkehrsmodellen sind oft hilfreich, aber nicht zwingend notwendig. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurden vorwiegend schweizweit vorliegende Datengrundlagen verwendet: NPVM und Mikrozensus. Matrizen sind aber auch aus anderen Datenquellen ableitbar wie z.B. aus Mobilfunkdaten und nutzergenerierten Daten. Die Auflösung der Daten ist dabei jeweils zu beachten.
- Die meisten der im Rahmen dieser Forschungsarbeit vorgestellten generischen Modelle können ohne (kostenpflichtige) Spezialsoftware berechnet werden. Sie lassen sich einfach und mit relativ wenig Zeitaufwand in einem Tabellenkalkulationsprogramm oder z.B. mit der freien Statistiksoftware R berechnen.

7 Synthese

In den Kapitel 2 bis 6 wurden generische Verkehrsmodelle aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet. In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse daraus zusammengeführt (Kapitel 7.1) und anschliessend der Einsatz von neuen Datenquellen in generischen Verkehrsmodellen diskutiert (Kapitel 7.2). Abschliessend werden Empfehlungen für die Anwendung generischer Verkehrsmodelle in der Praxis gegeben (Kapitel 7.3).

7.1 Erkenntnisse Kapitel 2 bis 6

Für die Ableitung anwendungsbezogener Empfehlungen zum Umgang mit generischen Verkehrsmodellen werden die wichtigsten Erkenntnisse der Kapitel 2 bis 6 zunächst nochmals zusammengefasst und in Erinnerung gerufen:

- Kapitel 2 leitet über den Stand der Forschung die Merkmale für die Unterscheidung zwischen synthetischen Verkehrsnachfragemodellen und sogenannten vereinfachten inkrementellen Nachfragemodellen her. Im Unterschied zu diesen bereits voneinander abgegrenzten Modelltheorien wird der Begriff des generischen Verkehrsmodells neu eingeführt. Die angebotene Definition hebt erstens die Möglichkeit zur Verwendung neuer und sensorbasierter Daten hervor und betont zweitens die Übertragbarkeit der Modelle auf weitere Untersuchungsräume. Ein generisches Modell besteht dabei aus einem Daten- und einem einfachen Wirkungsmodell und ist auf die Analyse ausgewählter Einflüsse begrenzt.
- Kapitel 3 stellt ausgewählte Modellansätze und Berechnungsmethoden vor, welche die Erarbeitung und Anwendung generischer Verkehrsmodelle erlauben. Die Wahl des jeweiligen Ansatzes hängt dabei von der Art und Anzahl der zu berücksichtigenden Einflussgrössen, der Verfügbarkeit von Referenzpunkten für die Berechnungen und Annahmen über die Funktion zur Beschreibung der grundlegenden Ursache-Wirkungsbeziehungen ab. Neben einer Beschreibung der Stärken und Schwächen der vorgestellten Berechnungsmethoden wird ein Flussdiagramm zur Auswahl einer passenden Berechnungsmethode präsentiert.
- Kapitel 4 zeigt Anwendungsbereiche für generische Verkehrsmodelle auf. Diese kommen bevorzugt dann zum Einsatz, wenn für einen Untersuchungsraum oder eine spezifische Fragestellung kein synthetisches Verkehrsnachfragemodell vorhanden ist und aus zeitlichen oder monetären Gründen nicht erstellt werden kann. Die Stärke generischer Ansätze der Verkehrsmodellierung liegt darin begründet, dass sie schneller und kostengünstiger auf eine bestimmte Fragestellung anwendbar und in den Resultaten transparenter und leichter nachvollziehbar als das Vorgehen in synthetischen Modellen sind. Allerdings können Wechselwirkungen in generischen Modellen nur sehr eingeschränkt abgebildet werden. Zudem sind generische Modelle auf ein konkretes Analyseinteresse beschränkt, welches neben den erwarteten Einflussgrössen, den verfügbaren Daten und den erwarteten Auswirkungen die Wahl des generischen Berechnungsansatzes bestimmen.
- Kapitel 5 ist dem Potenzial neuer Datenquellen für die Anwendung generischer Berechnungsansätze gewidmet, wobei ausgewählte Beispiele im Detail beschrieben werden. Hervorzuheben ist dabei, dass die Wahl der verfügbaren Datengrundlage die Wahl des Berechnungsansatzes für das generische Verkehrsnachfragemodell beeinflusst und umgekehrt. Die Auswahl der Kombination von Datengrundlage und Modellansatz ist daher vor dem Hintergrund des Untersuchungsinteresses zu treffen. Im Falle der Datengrundlage ist dabei zu bedenken, dass die Prognosequalität eines Verkehrsnachfragemodells stets von der Qualität der Eingangsdaten abhängig ist.
- Kapitel 6 zeigt anhand von vier Praxisbeispielen auf, wie generische Modelle konkret angewendet werden können, wo ihre Stärken und Schwächen liegen und welche Herausforderungen bei der Anwendung auftreten können. Dabei wurde deutlich, dass ein grosser Teil des Aufwandes bei der Anwendung eines generischen Modells in der Regel in der Spezifikation des Problems und in der Abgrenzung der angemessenen Vereinfachungen. Ein wesentlicher Teil der Spezifikation sind auch die Annahmen, welche bei generischen Modellen expliziter getroffen werden müssen als bei synthetischen

Modellen. Da die Annahmen mit vielen Unsicherheiten behaftet sind, sind Sensitivitätsanalysen zwingend erforderlich. Ebenso wichtig ist es, alle Ergebnisse einem Logik-Check zu unterziehen. Eine entscheidende Rolle kommt auch dem Umfang und der Qualität der Datengrundlagen zu. Eine mangelhafte Datengrundlage kann nicht durch einen guten generischen Ansatz kompensiert werden.

7.2 Nutzung neuer Datenquellen in generischen Verkehrsmodellen

Der Einsatz generischer Modelle der Verkehrsnachfrage bewegt sich im Spannungsfeld zwischen Analyseinteresse, den vermuteten Einflussfaktoren, den verfügbaren Datengrundlagen sowie den generischen Berechnungsansatz. Diese Faktoren stehen in Wechselwirkung, wodurch eine Entscheidung zu einem dieser Faktoren zu Konsequenzen und einer Einschränkung des Möglichkeitsraumes der anderen Faktoren führt. Abbildung 11 zeigt eine schematische Darstellung des angesprochenen Zusammenhangs.

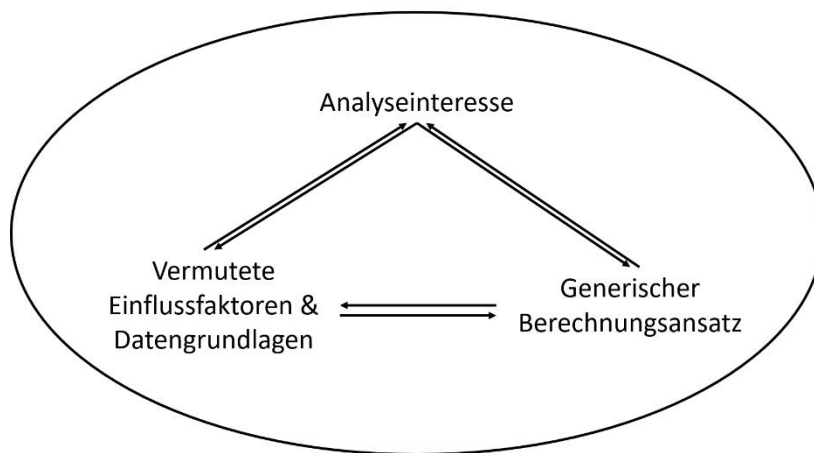


Abb. 12 Schema des Zusammenhangs zwischen Analyseinteresse, Datengrundlage und Modellierungsansatz

Da die spezifische Kombination aus Datengrundlagen und Berechnungsansätzen in Wechselwirkung mit dem Analyseinteresse und Anwendungszweck des zu erstellenden generischen Modells stehen und eine vollständige Auflistung aller Kombinationsmöglichkeiten den Rahmen des vorliegenden Berichtes sprengen würde, wird am Beispiel von Veloverleihsystemen aufgezeigt, wie die Nutzung neuer Datenquellen in generischen Verkehrsmodellen aussehen könnte.

Die Analyseinteressen im Bereich von Veloverleihsystemen können im Bereich der folgenden und beispielhaften Fragestellungen liegen:

- Welche Quantitäten des betrachteten Verkehrsmittels werden in einer Angebotsregion benötigt?
- Wo sind die Angebote zu platzieren, um eine möglichst hohe Nachfrage zu erfahren?

Für ein generisches prognosefähiges Nachfragemodell zum Veloverkehr werden im Minimum aggregierte empirische Informationen zum verkehrsmittelspezifischen Verhalten der Verkehrsnachfragenden benötigt. Diese Informationen enthalten die Nutzungsintensitäten (bspw. die Ausleihzahlen zu einem Veloverleihsystem) in einem bestimmten Zeitintervall und Gebiet sowie Informationen zu den (bedeutendsten) Verkehrsverflechtungen, also den verkehrsmittelspezifischen Quellen (Ort der Verkehrsmittelübernahme) und Zielen (Ort der Verkehrsmittelrückgabe). Je detaillierter diese Informationen aufgelöst sind, desto präzisere Analysen und damit auch Anwendungen des angestrebten generischen Nachfragemodells werden möglich.

Diese Informationen sind in traditionellen Datenquellen in der Regel nicht (bzw. nicht in der gewünschten Auflösung) enthalten. Daher bietet sich der Einsatz neuer Datengrundlagen an. Besonders vielversprechend erscheinen dabei vor allem die folgenden Methoden, deren Auflistung in Folgenden einer Rangreihung mit abnehmender Kosten-Nutzen-Relation entspricht:

1. Nutzungsinformationen: Sharing-Angebote gehen in der Regel mit Nutzungsgebühren einher, was mit einer Authentifizierung der Nutzenden im Falle der Entnahme und Rückgabe des Verkehrsmittels verbunden ist. Dadurch sind die Quellen, Ziele und die Ausleihdauern bekannt. Die Distanzen können imputiert werden. Die Informationen sind insbesondere im Falle stationsgebundener Systeme einfach nutzbar, entsprechen einer Vollerhebung und gehen mit vergleichsweise geringen Kosten einher (vgl. Kapitel 4.5).
2. GPS-Daten: Insbesondere im Falle von free-floating Systemen werden Raumkoordinaten benötigt, die aus fest in den Verkehrsmitteln verbauten Signalempfängern oder aus App-gesteuerten Nutzungszugängen stammen (vgl. Kapitel 4.1.1 und 4.1.2). Derartige Informationen liegen den Betreibern von free-floating Systemen in der Regel vor. Die im Faktenblatt „Mobile GPS Data“ (Kapitel 4.1.1) geschilderten Herausforderungen im Bereich der Hochrechnung entfallen, wenn es sich für das betrachtete Verkehrsmittel um eine Vollerhebung handelt. Sind mehrere Anbieter im Modellperimeter vertreten, sollten für eine Hochrechnung zumindest die Marktanteile der entsprechenden Akteure ermittelt werden.
3. Sind keine Nutzungsinformationen verfügbar, können im Falle stationsgebundener Systeme WiFi- und Bluetooth-Detektoren einen Eindruck der raum-zeitlichen Verkehrsverflechtungen liefern (vgl. Kapitel 4.7). Dabei gelten die im entsprechenden Faktenblatt genannten Einschränkungen im Bereich der Hochrechnung.

Sind die genannten Informationen zu angebotsspezifischen Nutzungshäufigkeiten und Verkehrsverflechtungen verfügbar, lässt sich bspw. ein multivariates Modell schätzen. Ein solches Modell erlaubt einfache Abschätzungen zu dominanten Einflüssen, beispielsweise aus den Bereichen der preislichen Gestaltung, des Wetters oder der Topografie zwischen Quell- und Zielorten. Auch ein Bezug zur baulich-sozialen Umwelt ist möglich und erlaubt über bspw. Kenntnisse zu Bevölkerungsdichten oder der Art und Entfernung zu Points of Interests (POI) Aussagen zu günstigen Platzierungsmöglichkeiten für das betrachtete Verkehrsangebot. Liegen zudem Informationen zu möglichen substituierten Verkehrsmitteln (z.B. aus einer zusätzlichen Befragung) und Verkehrsbeziehungsmatrizen für die Bereiche MIV und ÖV (bspw. aus einem synthetischen Modell) vor, können Modellanwendungen zur Abschätzung von Verlagerungseffekten zwischen den Verkehrsmodi durchgeführt werden.

7.3 Empfehlungen für die Anwendung generischer Verkehrsmodelle

Auf Basis der gewonnen Erkenntnisse lässt sich festhalten, dass generische Modelle im Vergleich zu synthetischen Modellen primär auf eine spezifische Fragestellung fokussieren und mit einem eingeschränkten Allgemeinheitsanspruch einhergehen. Das Anwendungsgebiet und das Prognoseinteresse muss daher im Vorfeld der Modellerstellung und -anwendung wesentlich detaillierter bestimmt werden, als dies bei einem synthetischen Modell der Fall ist. Eine mangelnde Tiefe in diesen Abklärungen erhöht das Risiko einer reduzierten Validität der Modellierungsergebnisse und damit unzuverlässiger Resultate.

7.3.1 Vorgehensvorschlag zur Wahl eines generischen Modellierungsansatzes

Welcher generische Modellansatz gewählt wird, hängt vom Analyseinteresse und Anwendungsgebiet, der angestrebten Analysetiefe und der verfügbaren Datengrundlage ab. Zwischen diesen drei Dimensionen sind umfangreiche Konsistenzprüfungen vorzunehmen. Die Konsistenzprüfungen sind logischer Natur und dienen der Abschätzung des Deckungsgrades zwischen den Untersuchungszielen und möglichen Einschränkungen durch die

Wahl der Grundlagedaten und der generischen Berechnungsmethode. Dabei empfiehlt sich ein an den folgenden Leitfaden angelehntes Vorgehen:

1. Zunächst sind das angedachte Anwendungsgebiet, das Anwendungsziel und die Analysetiefe für die angestrebte Modellanwendung detailliert zu beschreiben.
2. In Bezug auf die Datengrundlage ist zu klären, ob ein synthetisches Verkehrsmodell zur Verfügung steht und um einen generisch modellierten Teil erweitert werden kann oder ob ausgewählte Informationen aus dem synthetischen Modell für generische Modellansätze genutzt werden können.
3. Die Möglichkeiten für Bezug, Aufbereitung und Analyse verhaltensbezogener Daten zum Modellperimeter sind so früh wie möglich zu eruieren, da die Datenaufbereitung oft zeitintensiv ist. Dabei stehen oft mehrere Datenquellen zur Verfügung. Zu jeder dieser Quellen sind die anwendungsbezogenen Stärken und Schwächen zu ermitteln. Es ist zwingend sicherzustellen, dass die Daten für den untersuchten Perimeter gültig sind. Insbesondere bei Daten aus ausländischen Quellen ist zu prüfen, ob sich das Verkehrsverhalten auf die Schweiz übertragen lässt. Es empfiehlt sich bereits im Zuge dieser Arbeiten den Kontakt zu den Datenanbietenden zu suchen und die Bereitschaft und Konditionen zur Datennutzung und -übergabe abzufragen. Analoges gilt für den Fall der Beschaffung eigener Messgeräte oder der Inanspruchnahme von Dienstleistungsangeboten im Bereich der Datensammlung, -aufbereitung und -analyse. Explizit sind dabei Aspekte des Datenschutzes zu berücksichtigen: An welchen Stellen gefährden Informationen die Anonymität einzelner Personen? Welche Akteure haben zu welchen Zeitpunkten Zugang zu Datensätzen? Und wie kann ein sicherer Austausch der Informationen erfolgen?
4. Liegt eine derartige Liste vor, ist der generische Modellierungsansatz vor dem Hintergrund des Anwendungsgebietes und der verfügbaren Datengrundlage zu wählen. Dabei sind die angestrebte Erkenntnistiefe, das Potenzial für statistische Unsicherheit und die Herausforderungen für eine Hochrechnung zu berücksichtigen. Auch die verfügbaren zeitlichen und monetären Ressourcen beeinflussen die Wahl des Modellierungsansatzes. Für die Wahl einer spezifischen Berechnungsmethode wird die Verwendung des in Abb. 13 präsentierten Flussdiagramms empfohlen.

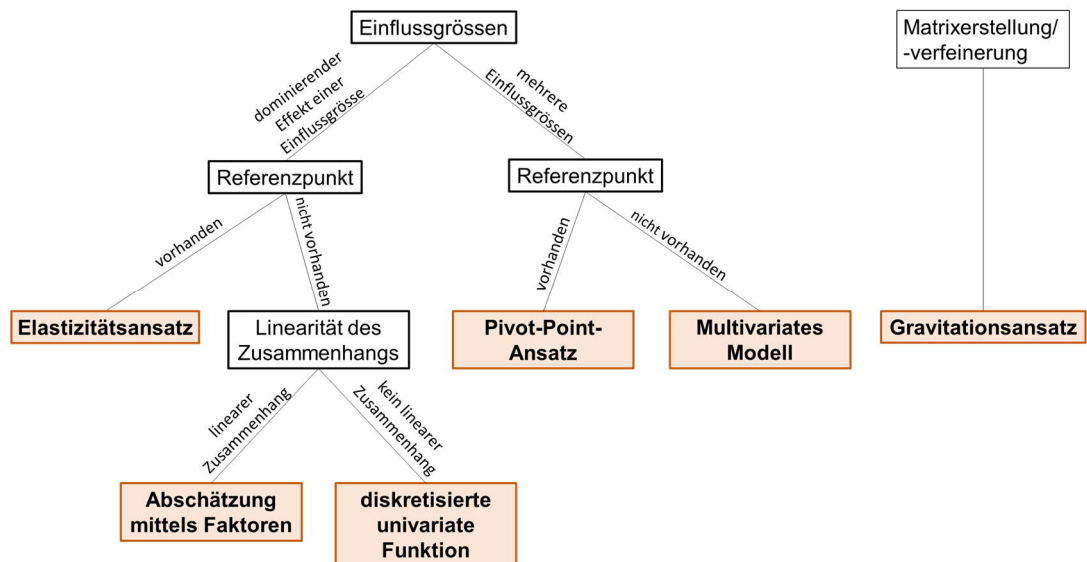


Abb. 13 Gruppierung generischer Ansätze

7.3.2 Einsatzgebiete und generelle Hinweise

Aufgrund ihrer Eigenschaften sind generische Modelle der Verkehrsnachfrage vor allem für unmittelbare Fragestellungen geeignet, die eine rasche Antwort erfordern und für die kein geeignetes synthetisches Modell zur Verfügung steht. Die aufgezeigten Herausforde-

rungen im Bereich der Datengrundlagen und die Vereinfachungen im Bereich der Modellierungs- und Berechnungsansätze erlauben eine begründete erste Abschätzung von Wirkungen. Fällt diese Abschätzung vielversprechend aus, sind vertiefende Analysen anzustreben. Mögliche Einschränkungen in Bezug auf die Analysetiefe und das Prognosepotenzial aus der Anwendung eines generischen Modellierungsansatzes sind ebenso zu dokumentieren und auszuweisen wie alle für die entsprechenden Berechnungen getroffenen Annahmen.

Die Vielfalt der für generische Modellansätze nutzbaren Datenquellen und ihre spezifischen Profile und Herausforderungen lässt es für Betreiber von Verkehrsnachfragemodellen wie Gemeinden, Kantone und Bundesämter lohnenswert erscheinen, eigene Fachkräfte für den Umgang mit derartigen Daten zu beschäftigen. Da neue Datenquellen und sensorbasierte Daten an vielen Stellen Verwendung finden, können die entsprechenden personellen Ressourcen potenziell mehreren Fachabteilungen zuarbeiten.

Wo immer möglich, sollten Genehmigungen für die Markteinführung von Verkehrsangeboten mit den Nutzungsrechten von Monitoringdaten (z.B. Nutzungsinformationen und Verkehrsverflechtungen) für die genehmigende Instanz (Gemeinde/Kanton/Bund) einhergehen. Diese Nutzungsrechte sind notwendig, um den jeweiligen Aufgaben in der integrierten Verkehrsplanung gerecht werden zu können und die Daten zur Erstellung generischer Verkehrsmodelle zeitnah nutzen zu können.

8 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Einige generische Ansätze, wie der Elastizitätsansatz werden bereits heute in der Verkehrsplanung eingesetzt. Andere sind bisher weniger bekannt. Mit dieser Forschungsarbeit wurde eine Grundlage dafür geschaffen, dass auch andere generische Ansätze künftig in der Praxis eine breitere Anwendung finden. Da generische Ansätze sehr spezifisch auf eine Problemstellung zugeschnitten sind, wäre es hilfreich an zentraler Stelle eine Sammlung generischer Anwendungen anzulegen. Diese könnte einerseits als Nachschlagewerk bzw. Beispielsammlung für neue Anwender*innen dienen und andererseits genutzt werden, um weitergehende Empfehlungen zu erarbeiten.

Bei der Berechnung der Praxisbeispiele wurden zwei besondere Herausforderungen für die praktische Anwendung ersichtlich: Die Recherche oder Schätzung passender Parameter für die Nutzenfunktion oder Elastizitäten und die Verfügbarkeit geeigneter Daten als empirische Basis für das generische Modell.

Für manche Fragestellungen – wie z.B. die Verkehrsmittelwahl zwischen MIV und ÖV – sind passende Parameter aus Modellschätzungen für die Schweiz verfügbar. Wie im ersten Praxisbeispiel (vgl. Kapitel 6.1) diskutiert, können die verfügbaren Parameter bzw. Elastizitäten aber stark voneinander abweichen. Hier muss dann von den Anwender*innen entschieden werden, welche Parameter für den Untersuchungsraum und die Nachfragestruktur am passendsten sind. Für andere Fragestellungen, z.B. neue Verkehrsmittel, liegen noch überhaupt keine geeigneten Modellschätzungen vor. Hilfreich wäre hier eine Sammlung von verfügbaren Modellschätzungen einschliesslich einer Beschreibung der für die Modellschätzung verwendeten Datengrundlagen und den Wertebereich der Prädiktoren, für den die Parameter verwendet werden können, die fortlaufend erweitert werden könnte.

Im Hinblick auf die zweite Herausforderung, die Verfügbarkeit passender Datenquellen, lässt sich feststellen, dass das Potenzial neuer Datenquellen in der Schweiz heute noch viel zu wenig für die Verkehrsplanung genutzt wird und zu wenig über den Umgang mit diesen Daten bekannt ist. Hier sind weitere Forschungsarbeiten mit dem Fokus auf ausgewählte Datenquellen und ihr möglicher Einsatz in der Praxis notwendig. Ein erster Schritt dazu ist die 2021 begonnene Forschungsarbeit «VPT_20_11A Möglichkeiten zur Nutzung neuer Daten». Die Erkenntnisse dieser Arbeit können anschliessend genutzt werden, um die Einsatzmöglichkeiten in generischen Modellen weiter auszuleuchten.

Darüber hinaus wäre es sehr hilfreich, in den nächsten Jahren Praxiserfahrungen mit generischen Verkehrsmodellen zu sammeln, um zu sehen, ob sich daraus weitere Herausforderungen und Lösungsansätze ergeben. Dies würde aufzeigen, für welche Fragestellungen sich generische Ansätze besonders bewähren. Eine solche Sammlung wäre auch eine gute Grundlage für die Abstimmung von Qualitätskriterien analog zur Forschungsarbeit «SVI 2012/001 Qualitätssicherung von Verkehrsmodellberechnungen».

Glossar

Begriff	Bedeutung
IV	Individualverkehr
LW	Lastkraftwagen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Mobilitätswerkzeug	~ bezeichnet ein Verkehrsmittel, das von einer Person für Ortveränderungen genutzt werden kann, da die Person das Verkehrsmittel entweder besitzt (PW oder Velo) oder über eine Nutzungsberechtigung (ÖV-Abo) verfügt.
Modalshift	~ beschreibt die Veränderung des Modalsplits, z.B. aufgrund von Infrastruktur- oder verkehrspolitischen Massnahmen
Modalsplit	~ beschreibt die Verteilung der Anteile der Verkehrsmittel am Gesamtverkehrsaufkommen, z.B. bezogen auf die Anzahl durchgeführter Ortsveränderungen oder zurückgelegter Personenkilometer
NPVM	Nationales Personenverkehrsmodell der Schweiz, vgl. ARE (2020)
ÖV	Öffentlicher Verkehr
Parameter (Modellparameter)	~ sind die Stellschrauben des Modells. Beispiele für Parameter sind die Parameter der Nutzenfunktion für die Verkehrszielwahl und die Verkehrsmoduswahl, die Parameter der Widerstandsfunktion bei der Routenwahl oder die Parameter der CR-Funktion. Ebenso können Eigenschaften des Netzmodells (z.B. Zellen-grösse, Zahl und Lage von Anbindungen oder Streckenkapazitäten) und Eigenschaften des Nachfragemodells (z.B. die Zahl von Personengruppen und Wege-zwecken) als Parameter betrachtet werden.
Planungsraum (Planungsperimeter, Bearbeitungsperimeter)	~ umfasst den räumlichen Bereich, in dem die planungsauslösenden Defizite liegen und mögliche Massnahmen ihre Wirkungen ausüben.
PW	Personenkraftwagen
Randsumme	Summe der Zeile oder Spalte einer Matrix
Reiseweite (Wegeweite)	~ beschreibt die zurückgelegte Entfernung eines Weges einer Einzelperson.
Reisezeit (Wegezeit, Wegedauer)	~ beschreibt die benötigte Zeit einer Einzelperson zum Zurücklegen eines Weges.
STATPOP	~ steht für «Statistik der Bevölkerung und der Haushalte» und ist ein hektarrasterfeiner Datensatz des Bundesamtes für Statistik, der Informationen zum Bestand und zur Struktur der Wohnbevölkerung beinhaltet.
STATENT	~ steht für «Statistik der Unternehmensstruktur» und ist ein hektarrasterfeiner Datensatz des Bundesamtes für Statistik, der Informationen zur Struktur der Schweizer Wirtschaft (z. B. Anzahl Unternehmen, Anzahl Arbeitsstätten, Anzahl Beschäftigte usw.) beinhaltet.
Strukturgrösse	~ beschreibt in der Verkehrsplanung Grössen, die relevant für die Entstehung von Verkehrsnachfrage sind (z.B. Anzahl Einwohner, Arbeitsplätze, Verkaufsflächen).
Untersuchungsraum (Untersuchungsperimeter, Betrachtungsperimeter, Untersuchungsgebiet, erweitertes Umland)	~ umfasst den Planungsraum und dessen (verkehrlichen) Einflussbereich.
Variablen (Modellvariablen)	~ beschreiben zeitlich veränderbare Grössen (z.B. die Bevölkerungsstruktur oder die Energiepreise) oder Grössen, die durch planerische Entscheidungen bestimmt werden (z.B. die Zahl der Arbeitsplätze pro Verkehrszelle, die Anzahl von Fahrstreifen auf einer Strecke, die Lage von Haltepunkten oder die Preise für Parken oder Fahrkarten).
Verkehrszelle (Zelle, Zone, Bezirk)	~ beschreibt eine Raumeinheit, die den Raum gliedert.

Literaturverzeichnis

-
- [1] Abraham H., Shaw N. and L. Willumsen (1992) **A Micro-Based Incremental Four Stage Transportation Model for London**, Proceedings 20th PTRC Summer Annual Meeting, UMIST, Manchester.
 - [2] Amt für Verkehr, Volkswirtschaftsdirektion Kanton Zürich (2017) **Airport City Massnahme 1: Aufbereitung GVM-ZH**, Zürich.
 - [3] Amt für Verkehr, Volkswirtschaftsdirektion Kanton Zürich (2020) **Eignung von STRAVA-Daten für Fragestellungen des Veloverkehrs**, Zürich.
 - [4] ARE (2012a) **„SP-Befragung 2010 zum Verkehrsverhalten im Personenverkehr“**, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.
 - [5] ARE (2012b) **Übersicht zu Stated Preference-Studien in der Schweiz und Abschätzung von Gesamtelastizitäten**, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.
 - [6] ARE (2016) **SP-Befragung zum Verkehrsverhalten**, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern, Online verfügbar: https://www.are.admin.ch/dam/are/de/dokumente/verkehr/publikationen/sp-befragung-2015-zum-verkehrsverhalten.pdf.download.pdf/SP-Befragung_2015.pdf, Zugriff im Februar 2021.
 - [7] ARE (2017) **„Analyse der SP-Befragung 2015 zur Verkehrsmodus- und Routenwahl“**, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.
 - [8] ARE (2019) **Synthetische Population 2017 - Modellierung mit dem Flächennutzungsmodell FaLC**, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.
 - [9] ARE (2020) **Modelletablierung Nationales Personenverkehrsmodell**, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.
 - [10] ASTRA (2011) **Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?**, SVI Forschungsprojekt 1365.
 - [11] ASTRA (2014) **Kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell**, SVI Forschungsprojekt 1492.
 - [12] ASTRA (2015) **Forschungsbündel Erhebung verkehrsplanerischer Grundlagedaten: Synthesebericht**, VSS Forschungsprojekt 1533.
 - [13] ASTRA (2018) **Schweizerische automatische Strassenverkehrszählung (SASVZ)**, Bundesamt für Strassen, Bern, Online verfügbar: <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/dokumentation/verkehrsdaten/daten-publikationen/automatische-strassenverkehrsaehlung/monats-jahresergebnisse.html>, Zugriff im November 2020.
 - [14] ASTRA (2019) **Fussverkehrspotenzial in Agglomerationen**, SVI Forschungsprojekt 1651.
 - [15] Bamberger, D.B., Beige, S., Schneider, M.C. und M. Schubert (2017) **Anwendungsfelder anonymisierter Mobilfunkdaten im ÖPNV**, Der Nahverkehr, 11/2017, 12-17.
 - [16] Barceló, J., L. Montero, L. Marqués, C. Carmona (2010) **Travel Time Forecasting and Dynamic Origin-Destination Estimation for Freeways Based on Bluetooth Monitoring**, Journal of the Transportation Research Board, Nr. 2175, S. 19-27.
 - [17] Bates J., Ashley D. and G. Hyman (1987) **The Nested Incremental Logit Model: Theory and Application to Modal Choice**, 15th PTRC Summer Annual Meeting, University of Bath, Bath.
 - [18] Bauer, M. (2011) **Vermessung und Ortung mit Satelliten – Globales Navigationssatellitensystem (GNSS) und andere satellitengestützte Navigationssysteme**, Wichmann, Berlin.
 - [19] BAV (2017) STEP Ausbauschritt 2030/35 - Bewertung der Module, Bundesamt für Verkehr, Bern.
 - [20] BFS (2020) **Pendlermobilität (PEND)**, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, Online verfügbar: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/personenverkehr/pendlermobilitaet.html>, Zugriff im November 2020.
 - [21] BFS und ARE (2017) **Verkehrsverhalten der Bevölkerung: Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015**, Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung, Neuchâtel und Bern.
 - [22] Buck, O. and M. Fischer (2011) **Einsatz kombinierter RFID/GPS Technologien im Tourismus: Software – Daten – Firmen**, Bernhard Harzer Verlag GmbH, Karlsruhe.
 - [23] Castillo, E., Menendez, J.M., Jimenez, P., (2008), **Trip matrix and path flow reconstruction and estimation based on plate scanning and link observations**, Transportation Research B, Vol. 42.
 - [24] Çolak, S. et al (2014) **Analyzing Cell Phone Location Data For Urban Travel: Current Methods, Limitations and Opportunities**, TRB 2015 Annual Meeting.
 - [25] Cottril, C et al. (2013) **The Future Mobility Survey: Experiences in developing a smartphone-based travel survey in Singapore**, Transportation Research Record, 2354, 59-67.
 - [26] Danalet, A., Tinguely, L., Lapparent, M.d. and M. Bierlaire (2016) **Location choice with longitudinal WiFi data**, Journal of Choice Modelling, 18(2016), 1-17.
-

-
- [27] De Cea J., Ortúzar J.d.D and L. Willumsen (1986) **Evaluating marginal improvements to a transport network: an application to the Santiago underground**, Transportation 13, 211-233.
-
- [28] de Jong G. and H. Gunn (2001) **Recent evidence on car cost and time elasticities of travel demand in Europe**, Journal of Transport Economics and Policy, 35 (2), 137–160.
-
- [29] Department for Transport (2014) **Principles of Modelling and Forecasting, Transport Analysis Guidance (TAG) Unit M1 – Modelling Principles**, London.
-
- [30] Department for Transport (2019) **Variable Demand Modelling, Transport Analysis Guidance (TAG) Unit M2 – Modelling Principles**, London.
-
- [31] Dubernet, I. (2019) **Understanding the value of travel time: Advanced modelling techniques applied to the national German value of travel time and travel time reliability study**, Dissertation ETH Zurich, Zurich.
-
- [32] Frantzke A. (1999) **Grundlagen der Volkswirtschaftslehre. Mikroökonomische Theorie und Aufgaben des Staates in der Marktwirtschaft**. Schäffer-Poeschel, Stuttgart.
-
- [33] Friedrich, M. und C. Schiller (2019) **Einflussgrößen auf die Qualität von makroskopischen Nachfragemodellen im Personenverkehr**, Abschlussbericht zum DFG-Projekt, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Universität Stuttgart.
-
- [34] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrstechnik (FGSV) (in Erarbeitung) **Empfehlungen zum Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen im Personenverkehr (EVNM)**, Synthesebericht des Arbeitskreises 1.2.6. „Konzeption und Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen des Personenverkehrs“.
-
- [35] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrstechnik (FGSV) (2019) **Data Mining im Verkehrsmanagement und in der Verkehrsplanung: Anwendungen und Verfahren**, FGSV Verlag, Köln.
-
- [36] Francke, A., Lissner, S. und T. Becker (2018) **Big Data im Radverkehr – Ergebnisbericht zum Projekt „Mit Smartphones generierte Verhaltensdaten im Radverkehr“**, Technische Universität Dresden, Dresden.
-
- [37] Freiwald, W.A. and D.Y. Tsao (2010) **Functional compartmentalization and viewpoint generalization within the macaque face-processing system**, Science 330.
-
- [38] Friedrich, M., Jehlicka, P., Schlaich, J., (2009b), **Erfassung von Verkehrsdaten mit automatischen Kennzeichenerfassungssystemen**, Strassenverkehrstechnik, Heft 12/2009.
-
- [39] Friedrich, M. (2010) **Nutzung von Mobilfunkdaten für die Analyse der Routenwahl und für die Verkehrsumlegung**, Institut für Strassen- und Verkehrswesen, Universität Stuttgart.
-
- [40] Friedrich, M. et al. (2010) **Generating Origin-Destination Matrices from Mobile Phone Trajectories**, Journal of the Transportation Research Board, Nr. 2196, S. 93-101.
-
- [41] Friedrich, M., Koska, T., Rabenstein, B., Jansen, U. und S. Pawlik (2015) **Evaluation der Modellprojekte „Öffentliche Fahrradverleihsysteme – innovative Mobilität in Städten“**, Endbericht, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal. Online verfügbar: <https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/232482/1/DS1450.pdf>, Zugriff im November 2020.
-
- [42] Goodwin P. (1992) **A review of new demand elasticities with special reference to short and long run effects of price changes**, Journal of Transport Economics and Policy, 26(2), 155–169.
-
- [43] Howe, L., (2009), **Calculation of Origin-Destination data**, Traffic Engineering & Control, Vol. 50, No. 5.
-
- [44] Höpfl, W., Schreiner, W., Meisel, G., Weinzerl, J., (2007), **Anwendung des Verkehrsdatenerfassungssystems MTOS im integrierten Verkehrsmanagement Graz**, Strassenverkehrstechnik, Heft 9/2007.
-
- [45] Kaeslin L., Lieberherr J. and W. Scherr (2014) **Demand data for dynamic passenger assignment within the swiss national rail model**, Paper for the Swiss Transport Research Conference (STRC), Ascona, May 2014.
-
- [46] Kanton Neuchâtel (2016a) **Développement du modèle de transport: version de référence**, Neuchâtel.
-
- [47] Kanton Neuchâtel (2016b) **Regionalwirtschaftliche Auswirkungen einer neuen direkten Bahnlinie Neuchâtel – La Chaux-de-Fonds**, Neuchâtel.
-
- [48] Kay, A. und P. Jackson (2012) **An Appraisal of Emerging Bluetooth Traffic Survey Technology**, SIAS Ltd/Sky High Traffic Survey.
-
- [49] Kohla, B. und M. Meschik (2013) **Comparing Trip Diaries with GPS Tracking: Results of a Comprehensive Austrian Study**. In: Zmud, J. et al. (2013) Transport Survey Methods, Emerald.
-
- [50] Kopp, P.J. (2015) **GPS-gestützte Evaluation des Mobilitätsverhaltens von free-floating CarSharing Nutzern**, Dissertation ETH Zürich, Zürich.
-
- [51] Kumar A. (1980) **Use of incremental form of logit models in demand analysis**, Transportation Research Record, 775, 21-27.
-
- [52] Leerkamp, B. (2019) **Bundesweite Verkehrsverflechtung 2015 im Motorisierten Individualverkehr (MIV) und Schwerverkehr (SV) - Analysen auf Basis satellitengestützter Daten**, Vortrag zur Veranstaltungsreihe Verkehr in Zahlen des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), November 2019, Berlin.
-

-
- [53] Leitzke, C., (2011) **Reisezeitermittlung im motorisierten Individualverkehr mit Hilfe drahtloser Kommunikationstechnologien**, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, kassel university press, Universität Kassel.
-
- [54] Leonhäuser, D. (2017) **Analyse der Nutzungsdaten aus E-Ticketing-Systemen**, In: Institut für Verkehrswesen der Universität Kassel (Hrsg.) Nahverkehrs-Tage 2017 – Digital und Disruptiv: Neue Daten und Methoden für einen kundengerechten ÖPNV, Schriftenreihe Verkehr, 28, S. 65-88.
-
- [55] Li, A., Zhao, P., He, H. and K.W. Axhausen (2020) **Understanding the variations of micro-mobility behavior before and during COVID-19 pandemic period**, Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung 1547, IVT, ETH Zürich, Zürich.
-
- [56] Linder, D. (2015) **Stadtmodellbausteine für die BVWP 2015 - Typisierung und Datenstruktur - Kurzbericht für das Methodenhandbuch zur BVWP 2015**, Bergisch Gladbach.
-
- [57] Mahmoudi, S., Winand, U., Frenken, T., Huber, F., Meiners, H. und K. Brosch (2001) **Weiterentwicklung der Stadtmodellbausteine als Grundlage für Abschätzungs- und Bewertungsaufgaben in der Verkehrsplanung**, FE 70.554/1998, Aachen/Herzogenrath 2001.
-
- [58] Mannsfeld, W. (2009) **Satellitenortung und Navigation. Grundlagen, Wirkungsweise und Anwendung globaler Satellitennavigationssysteme**, Vieweg+Teuber, Wiesbaden.
-
- [59] Merkle, A., Terzis, A., (2002), **Digitale Funkkommunikation mit Bluetooth**, Franzis Verlag, Haar.
-
- [60] Min W. and L. Wynter (2011) **Real-time road traffic prediction with spatio-temporal correlations**, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 19(4), 606-616.
-
- [61] Molloy, J., Tchervenkov, C., Schatzmann, T., Schoeman, B., Hintermann, B. and K.W. Axhausen (2020) **MOBIS-COVID19/28: Results as of 16/11/2020 (second Wave)**, Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung 1576, IVT, ETH Zürich, Zürich.
-
- [62] Montini, L., N. Rieser-Schüssler, A. Horni und K.W. Axhausen (2014) **Trip-Purpose Identification from GPS Tracks**, TRB 2014 Annual Meeting.
-
- [63] Montini (2016) **Extraction of transportation information from combined position and accelerometer tracks**, Dissertation ETH Zürich, Zürich.
-
- [64] Munro R. (2013) **Evaluation of Automatic Cyclist Counters**, ARRB/TMR.
-
- [65] National cooperative highway research program (NCHRP) (2014a) **Applying GPS data to understand travel behaviour – Volume I: Background, methods, and tests**, Research Report 775, The National Academic Press, Washington.
-
- [66] National cooperative highway research program (NCHRP) (2014b) **Applying GPS data to understand travel behaviour – Volume II: Guidelines**, Research Report 775, The National Academic Press, Washington.
-
- [67] National cooperative highway research program (NCHRP) (2018) **Cell phone location data for travel behaviour analysis**, Research Report 868, The National Academic Press, Washington.
-
- [68] Nationales Forschungsprogramm (NFP) 75 (im Erscheinen) **Big Data – Teilprojekt Datenspuren nutzen für die Verbesserung der Verkehrssysteme**, Informationen Online: <http://www.nfp75.ch/de/projekte/modul-3-anwendungen/projekt-axhausen>, Zugriff im Dezember 2020.
-
- [69] Oliveira, M.S., Vovsha, P., Wolf, J., Birotker, Y., Givon, D. and J. Paasche (2011) **Global Positioning System-Assisted Prompted Recall Household Travel Survey to Support Development of Advanced Travel Model in Jerusalem**, Transportation Research Records, Nr. 2246, S.16-23
-
- [70] Otterstätter, T. (2013) **Methoden zur Erfassung von Verkehrsströmen und Fahrzeiten mit stationären fahrzeu gwiedererkennenden Detektoren**, Dissertation Universität Stuttgart, Stuttgart.
-
- [71] Ortúzar J.D. and L.G. Willumsen (2001) **Modelling Transport**, Wiley, Chichester.
-
- [72] Pfannenschmidt, M., Ehmke, J.F. und F. Schreier (2017) **Analyse von Transaktionsdaten im Online-Ticketing mit Data-Mining-Methoden**, In: Institut für Verkehrswesen der Universität Kassel (Hrsg.) Nahverkehrs-Tage 2017 – Digital und Disruptiv: Neue Daten und Methoden für einen kundengerechten ÖPNV, Schriftenreihe Verkehr, 28, S. 45-64.
-
- [73] PTV (2020) **Abschlussbericht: Nutzungsmöglichkeiten von Mobilfunkdaten im Landesverkehrsmo- dell Bayern**, Bericht zu Händen der Landesbaudirektion Bayern, Zentrale Landesaufgaben Strasse, Verkehr und IT-Systeme, München.
-
- [74] PTV Planung Transport Verkehr AG, PTV Transport Consult GmbH, TCI Röhling – Transport Consulting International und Hans-Ulrich Mann (2016) **Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030**, Karlsruhe. Online verfügbar: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/BVWP/bvwp-methodenhandbuch.pdf?__blob=publicationFile, Zugriff im November 2020.
-
- [75] Rabenstein, B. (2015) **Öffentliche Fahrradvermietsysteme – Wirkungen und Potenziale**, Dissertation Universität Stuttgart, Stuttgart.
-
- [76] Ruesch, M., Widmer, P. und K.W. Axhausen (2018) **Anforderungen an zukünftige Mobilitätserhebungen**, SVI Merkblatt 2018/01, St. Gallen.
-

-
- [77] Sauter, D. (2009) **Automatische Zählsysteme zur Erfassung des Fussverkehrs – Übersicht und Bewertung.**
-
- [78] Scherr, W. and P. Bützberger (2016) **Calibration of the Swiss Rail Model Using Longitudinal Demand Observation**, Conference paper for the 16th Swiss Transport Research Conference (STRC), Ascona, May 18-20, 2016.
-
- [79] Schmidt, A. und T. Männel (2017) **Potenzialanalyse zur Mobilfunkdatennutzung in der Verkehrsplanung**, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart.
-
- [80] Schmietendorf, G. (2011) **Verkehrsdatenerfassung mit Bluetooth-Detektion: Möglichkeiten und Grenzen**, Institut für Verkehrstelematik, Technische Universität Dresden.
-
- [81] Tiefbauamt Kanton St. Gallen (2015) **Aktualisierung Verkehrsmodell Region Obersee 2015**, St. Gallen.
-
- [82] Tiefbauamt Stadt Zürich (2019) **Potenzial und Einsatzmöglichkeiten eines Veloverkehrsmodells**, Zürich.
-
- [83] VDV (2018) **Automatische Fahrgastzählsysteme – Handlungsempfehlungen zur Anwendung von AFZS im öffentlichen Personenverkehr**, VDV-Schrift 467, Version 2.1, 4/2018.
-
- [84] Vrtic, M. und K.W. Axhausen (2003) **Überprüfung von Prognoseansätzen im Personenverkehr - Ergebnisse einer Vorher-/Nachher Untersuchung**, Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung 153, IVT, ETH Zürich, Zürich.
-
- [85] Willumsen L.G. (1978) **Estimation of an O-D matrix from traffic counts: a review**, Institute for Transport Studies, University of Leeds, Leeds.
-
- [86] Willumsen L.G. (2014) **Better Traffic and Revenue Forecasting**, Maida Vale Press, London.
-
- [87] Winkler, C. (2017) **Ermittlung modaler Verkehrsverlagerungen in Deutschland mittels eines inkrementellen Verkehrsmittelwahlmodells**, Beitrag zur Heureka 2017, Stuttgart.
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 16.09.2021

Grunddaten

Projekt-Nr.: SVI 2018/008
Projekttitel: Generische Ansätze der Verkehrsmodellierung
Enddatum: 30.11.2021

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Eine wichtige Aufgabe der Verkehrsplanung ist es, die Wirkungen zukünftiger Entwicklungen wie Veränderung der Bevölkerungs- oder Raumstruktur oder geplanter verkehrlicher Massnahmen abzuschätzen. In der Praxis erfolgt dies häufig mit synthetischen Verkehrsnachfragemodellen. Es steht jedoch nicht immer ein synthetisches Verkehrsnachfragemodell in ausreichender Auflösung zur Verfügung, in manchen Fällen ist die Anwendung eines Verkehrsmodells zu aufwändig oder das Verkehrsmodell ist nicht auf die Beantwortung der vorliegenden Fragestellung ausgelegt. Zudem können manchmal nicht alle Aspekte wie z.B. intermodaler Verkehr, mit einem klassischen synthetischen Verkehrsnachfragemodell adäquat abgebildet werden.

Gleichzeitig ändert sich aufgrund der fortschreitenden Digitalisierung die Art und Menge der zu Verfügung stehenden Daten zum Verkehrsverhalten. Neue Datenquellen können das Verkehrsverhalten im Analysezustand potenziell genauer und umfassender beschreiben als synthetische Modelle. Damit entsteht zunehmend ein Bedarf für eine pragmatische Ergänzung bestehender Modellansätze, um die Nachteile der momentan verwendeten synthetischen Modelle zu umgehen und die Möglichkeit zu schaffen, bisher weniger im Vordergrund stehende Problemstellungen mit der Hilfe neuer Datenquellen bearbeiten zu können.

Eine Möglichkeit, diese neuen Daten für die Verkehrsplanung zu nutzen, sind generische Modelle. Generische Modelle ermöglichen es Planenden, Antworten auf spezifische Fragestellungen mit weniger Aufwand zu erhalten, als es die Anwendung, Erweiterung oder gar Neuerstellung eines klassischen Verkehrsmodells erfordert. Sie gehen jedoch in der Regel mit einer stärkeren Vereinfachung bzw. Abstraktion der Fragestellung einher. Dabei muss darauf geachtet werden, dass diese Vereinfachungen nicht zu weit reichen und wesentliche Wechselwirkungen nicht ausreichend berücksichtigt werden können.

Bisher gibt es jedoch kaum Literatur oder gesammeltes Anwenderwissen zu diesem Thema. Das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit war es daher, Wissen zu generischen Verkehrsmodellen oder generischen Modellteilen zugänglicher zu machen, indem konkrete Methoden sowie mögliche Datengrundlagen und ihre Einsatzmöglichkeiten vorgestellt werden. Dabei wurden die folgenden Forschungsfragen beantwortet:

- Was versteht man unter einem generischen Verkehrsmodell?
- Wie wird ein generisches Modell erstellt?
- Was sind geeignete Datengrundlagen?
- Inwiefern sind generische Modelle prognosefähig?
- Was ist bei der praktischen Anwendung von generischen Modellen zu beachten?
- Was ist bei der Kombination aus synthetischen und generischen Verkehrsmodellen zu beachten?
- Was sind praktische Grenzen von generischen Modellen?
- Welche Ergebnissgüte erreichen generische Modelle im Vergleich zu synthetischen Modellen?
- Wo liegen zeitliche und finanzielle Einsparungspotenziale?
- Wann sind generische Ansätze synthetischen Verkehrsmodellen vorzuziehen?



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Die zu Beginn gesteckten Projektziele konnten erreicht werden. Es wurde eine sachlogische und einheitliche Definition des Begriffs «Generisches Modell in der Verkehrsplanung» erarbeitet, sechs generische Ansätze zusammengetragen und erläutert, wie diese für die Bearbeitung konkreter Anwendungsfälle eingesetzt werden können. Zudem wurde untersucht, welche Datenquellen für die Nutzung generischer Verkehrsmodelle geeignet sind. Den Anwender*innen wird mit dieser Forschungsarbeit eine Anleitung an die Hand gegeben, mit der unter Berücksichtigung der Fragestellung, der angestrebten Analysetiefe und den verfügbaren Datengrundlagen ein geeignetes generisches Modell ausgewählt und angewandt werden kann. Gleichzeitig wird aber auch aufgezeigt, wo die Grenzen generischer Modelle liegen und wann die Anwendung klassischer synthetischer Verkehrsmodelle zu bevorzugen ist.

Folgerungen und Empfehlungen:

Mit dieser Forschungsarbeit wurde eine Grundlage dafür geschaffen, dass generische Ansätze künftig in der Praxis eine breitere Anwendung finden. Da generische Ansätze sehr spezifisch auf eine Problemstellung zugeschnitten sind, wäre es hilfreich, in den nächsten Jahren Praxiserfahrungen mit generischen Verkehrsmodellen an zentraler Stelle zu sammeln. Diese Sammlung könnte einerseits als Nachschlagewerk bzw. Beispielsammlung für neue Anwender*innen dienen und andererseits genutzt werden, um weitergehende Empfehlungen zu erarbeiten.

Im Hinblick auf die Verfügbarkeit passender Datenquellen, lässt sich feststellen, dass das Potenzial neuer Datenquellen in der Schweiz heute noch viel zu wenig für die Verkehrsplanung genutzt wird und zu wenig über den Umgang mit diesen Daten bekannt ist. Hier sind weitere Forschungsarbeiten mit dem Fokus auf ausgewählte Datenquellen und ihr möglicher Einsatz in der Praxis notwendig. Ein erster Schritt dazu ist die 2021 begonnene Forschungsarbeit «VPT_20_11A Möglichkeiten zur Nutzung neuer Daten». Die Erkenntnisse dieser Arbeit können anschliessend genutzt werden, um die Einsatzmöglichkeiten in generischen Modellen weiter auszuleuchten.

Publikationen:

Rieser, N., B. Tasnády, M. Rothenfluh, R. Straumann und M. Kowald (2021): Generische Ansätze der Verkehrsmodellierung, Schlussbericht Forschungsprojekt SVI 2018/008.

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Rieser

Vorname: Nadine

Amt, Firma, Institut: EBP Schweiz AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss zu SVI 2018/008

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Ziel der Arbeit laut Forschungseinladung war es, allgemein gültige resp. verallgemeinerbare Modellansätze (= generische Modelle) zur Abbildung des Verkehrsgeschehens zu entwickeln, zu prüfen und zur Anwendung in der praktischen Verkehrsplanung vorzubereiten. Dies ist der Forschungsstelle sehr gut gelungen, indem sie in einer Auslegeordnung unterschiedliche Modellansätze zusammengetragen, potenzielle Anwendungsgebiete zugeordnet und in vier ausgewählten Praxisbeispielen umgesetzt hat. Der (im Forschungsauftrag geforderte) Einbezug von sogenannten «neuen Datenquellen» war dabei nicht durchgängig möglich. Dennoch hat die Forschungsstelle eine Auslegeordnung solcher Datenquellen erstellt und den (theoretischen) Bezug zu den generischen Modellansätzen hergestellt. Bei der Bearbeitung hat sich gezeigt, dass das Thema der generischen Verkehrsmodelle nicht nur in der Schweiz wenig beleuchtet ist. Daher ist der Versuch einer Begriffsdefinition auf Basis des zusammengetragenen Forschungsstandes eine wertvolle Ergänzung zur Arbeit.

Umsetzung:

Der Forschungsbericht bringt Systematik in das Thema der generischen Verkehrsmodelle. Es hat sich gezeigt, dass in der planerischen Praxis bereits vielfach (und zuweilen «unbewusst») generische Ansätze angewendet werden. Mit dem Bericht können diese Ansätze nun eingeordnet und deren Anwendungen optimiert werden. Die im Bericht dokumentierten Praxisbeispiele vermitteln einen sehr anwendungsorientierten Einblick. Die Synthese gibt der praktischen Verkehrsplanung anschauliche Hinweise zu Auswahl und Anwendung von Modellansätzen sowie zur Berücksichtigung geeigneter Datensätze.

weitergehender Forschungsbedarf:

Der im Bericht zusammengestellte weitere Forschungsbedarf ist mit der BK erörtert worden. Die BK teilt diese Einschätzungen. Wichtig scheint jetzt die praktische Anwendung der Modellansätze zu sein, die bspw. in drei bis fünf Jahren mit einer nächsten Forschungsarbeit aufgenommen und analysiert werden können. In einer solchen Arbeit besteht dann auch Abstimmungsbedarf auf die bis dahin gewonnenen Erkenntnisse zu den «neuen Datenquellen».

Einfluss auf Normenwerk:

Keine Auswirkungen auf das bestehende Normenwerk.
Allenfalls: Das SVI-Merkblatt zur Qualitätssicherung von Verkehrsmodellen (SVI 2015/001) könnte um entsprechende Hinweise auf die generischen Ansätze ergänzt werden.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Ickert

Vorname: Lutz

Amt, Firma, Institut: INFRAS AG

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission: