



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

Verlagerungspotenziale nach Erreichbarkeit und Raumtyp

Potentiels de transfert en fonction de l'accessibilité et du type d'espace

Potentials of modal shift according to accessibility and territorial typologies

Ecoplan AG
Matthias Amacher
Martin Wagenbach
Matthias Setz

Transoptima GmbH
Milenko Vrtic
Claude Weis

Forschungsprojekt VPT_20_04E_06 auf Antrag der Arbeitsgruppe Verkehrsplanung und -technik

März 2025

1787

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabchluss", 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

Verlagerungspotenziale nach Erreichbarkeit und Raumtyp

Potentiels de transfert en fonction de l'accessibilité et du type d'espace

Potentials of modal shift according to accessibility and territorial typologies

Ecoplan AG
Matthias Amacher
Martin Wagenbach
Matthias Setz

Transoptima GmbH
Milenco Vrtic
Claude Weis

**Forschungsprojekt VPT_20_04E_06 auf Antrag der/des Arbeitsgruppe
Verkehrsplanung und -technik**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Matthias Amacher (Ecoplan)

Mitglieder

Milenko Vrtic (Transoptima, Stv. Projektleitung)

Claude Weis (Transoptima)

Matthias Setz (Ecoplan)

Martin Wagenbach (Ecoplan)

Begleitkommission

Präsident

Basil Schmid (ARE, ab 01.04.2023)

Matthias Balmer (ARE, bis 01.04.2023)

Mitglieder

Aschi Schmid (Viaplan AG)

Camille Girod (Transitec AG)

Maik Hönke (ASTRA, Forschungsverantwortlicher)

Paul Widmer (dipl. Ing. ETH)

Roman Frick (INFRAS AG)

Sebastien Pearron (BAV, Abteilung Infrastruktur)

Stefan Dasen (Kanton Zürich. Amt für Mobilität)

Stephan Felber (Gemeinde Köniz, Leiter Planungsabteilung)

Antragsteller

Arbeitsgruppe Verkehrsplanung und -technik (VPT)

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	13
Summary	19
1 Einleitung	25
1.1 Ausgangslage.....	25
1.2 Forschungsfragen	26
1.3 Vorgehen und Methodik	27
1.3.1 Methodischer Ansatz.....	27
1.3.2 Ablauf des Projekts	29
1.3.3 Struktur und Aufbau des Berichts	30
2 Methodische Grundlagen zum Zusammenhang Raum & Verkehr	32
2.1 Bedeutung von Raum und Verkehrsangebot für die Verkehrsnachfrage	32
2.1.1 Raum und Verkehrsangebot	33
2.1.2 Raum und Verkehrsnachfrage / Verkehrsmittelwahl.....	35
2.1.3 Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage	39
2.1.4 Verkehrsangebot und Raum: Wechselwirkung	42
2.1.5 Verlagerungspotenziale und planerische Ansätze.....	43
2.1.6 Zusammenfassung / Würdigung	44
2.2 Vereinfachtes Wirkungsmodell.....	46
2.2.1 Herausforderungen bei der Analyse der Zusammenhänge	46
2.2.2 Vereinfachtes Wirkungsmodell.....	46
2.2.3 Verständnis der Komponenten Angebot, Nachfrage und Raum.....	48
3 Angebot: Erreichbarkeit für vier Verkehrsmittel.....	51
3.1 Ziel und Methodik	51
3.2 Ergebnisse	52
3.3 Interpretation und Einordnung.....	55
4 Nachfrage: Modal-Split für vier Verkehrsmittel.....	56
4.1 Ziel und Methodik	56
4.2 Ergebnisse	57
4.3 Interpretation und Einordnung.....	60
5 Raum: Raumtypen und räumliche Charakteristiken	61
5.1 Ziele und Grundsätze	61
5.2 Definition der Raumtypen.....	61
5.2.1 Indikator «Raumstruktur»	62
5.2.2 Indikator «Siedlungsstruktur».....	65
5.3 Zuordnung der Gemeinden zu den Raumtypen.....	67
5.4 Charakterisierung der Raumtypen	70
5.4.1 Räumliche Charakteristiken	70
5.4.2 Dichte, Diversität und Zersiedelung	71
5.4.3 Topografie und Klima	72
5.4.4 Verkehr	72
5.4.5 Modal-Split und Erreichbarkeit	73
5.5 Weitere deskriptive Auswertungen	74
5.5.1 Anteil des lokal vorhandenen Potenzials an der Erreichbarkeit.....	74
5.5.2 Verhältnis zwischen Modal-Split-Anteil und Erreichbarkeitsanteil	76
5.6 Zusammenfassung.....	80

6	Schätzung von Erreichbarkeits-Modalsplit-Elastizitäten.....	82
6.1	Ziele	82
6.2	Vorgehen.....	82
6.2.1	Modellansatz und Einflussvariablen	82
6.2.2	Linearisierung der Modal-Split-Anteile.....	83
6.2.3	Ermittlung der Elastizitäten	84
6.2.4	Korrelationen.....	84
6.3	Ergebnisse der Modellschätzungen.....	85
6.3.1	Ergebnisse für Verkehrsmittel Fuss	85
6.3.2	Ergebnisse für Verkehrsmittel Velo	86
6.3.3	Ergebnisse für den MIV	86
6.3.4	Ergebnisse für Verkehrsmittel ÖV	87
6.3.5	Zusammenfassung und Interpretation	87
6.4	Ableitung der Elastizitäten	89
6.4.1	Überblick	89
6.4.2	Verteilungen.....	90
6.5	Einordnung der Ergebnisse	93
7	Validierung und Modellanwendungen	94
7.1	Auswahl der Gemeinden für Fallbeispiele	95
7.2	Verbesserung der ÖV-Erreichbarkeit.....	96
7.2.1	Szenario	96
7.2.2	Ergebnisse	96
7.3	Verbesserung der MIV-Erreichbarkeit	97
7.3.1	Szenario	97
7.3.2	Ergebnisse	97
7.4	Fazit der Modellanwendungen.....	98
8	Verlagerungspotenziale und künftige Angebotsentwicklung	99
8.1	Generelle Einordnung der Ergebnisse.....	99
8.1.1	Öffentlicher Verkehr	101
8.1.2	Motorisierter Individualverkehr.....	103
8.2	Umsetzung von Erreichbarkeitsveränderungen	104
8.2.1	Reduktion des Raumwiderstands und Auswirkungen auf die Erreichbarkeit	104
8.2.2	Herleitung der relativen Veränderung des Modal-Split-Anteils	105
8.2.3	Absolute Größenordnung der verlagerten Wege	107
8.3	Einordnung und Fazit zu Verlagerungspotenzialen	109
8.3.1	Erkenntnisse zum Verlagerungspotenzial	109
8.3.2	Übergeordnete Erkenntnisse	110
8.3.3	Nutzung der Erkenntnisse zur Herleitung planerischer Ansätze	111
9	Würdigung	113
9.1	Beantwortung der Forschungsfragen	113
9.2	Offene Fragen und weiterer Forschungsbedarf.....	116
Anhang: Verwendete Datengrundlagen		118
Glossar.....		121
Literaturverzeichnis		123
Projektabchluss		125

Zusammenfassung

In der Verkehrsplanung und Verkehrspolitik stellt sich oft die Frage, in welchen Räumen welches Niveau des Angebots der verschiedenen Verkehrsmittel angeboten werden soll. Bereits heute wird in der Schweiz auf strategischer Ebene eine räumlich differenzierte Verkehrs- und Raumentwicklung angestrebt, was sich beispielsweise auch im Sachplan Verkehr, Teil Programm «Mobilität und Raum 2050» zeigt. Mit «Raumtypen» wird dabei versucht, Räume mit ähnlichen Eigenschaften zusammenzufassen und auf diese Raumtypen zugeschnittene Strategien für die Verkehrsangebots- und Raumentwicklung abzuleiten.

Um solche räumlichen Differenzierungen weiter zu schärfen, sind Erfahrungswerte und Kenngrössen zur Abschätzung der Nachfragereaktion auf die Veränderung des Verkehrsangebots der verschiedenen Verkehrsmittel in einem Raum zentral. Dies gibt Hinweise darauf, in welchen Räumen sich eine Verlagerung der Nachfrage hin zu einem bestimmten Verkehrsmittel bewerkstelligen lässt. Das vorliegende Forschungsprojekt «Verlagerungspotenziale nach Erreichbarkeit und Raumtyp» leistet einen Beitrag dazu, die quantitativen Zusammenhänge zwischen Verkehrsangebot und -nachfrage nach Verkehrsmittel unter Berücksichtigung räumlicher Charakteristiken zu verstehen.

In der vorliegenden Forschungsarbeit stand die Frage im Vordergrund, welchen Einfluss die Erreichbarkeit und räumliche Charakteristiken auf die Modal-Split-Anteile von Fuss- und Veloverkehr, öffentlichem Verkehr und motorisiertem Individualverkehr haben. Um dieser Frage nachzugehen, wurde der Zusammenhang zwischen Erreichbarkeit und Modal-Split anhand einer statistischen Analyse auf Gemeindeebene untersucht, wobei räumliche Charakteristiken aus dem Zusammenhang eliminiert wurden. Eine eigens für die Untersuchung entwickelte Raumtypologie diente der Gruppierung der Gemeinden mit ähnlichen räumlichen Charakteristiken. So konnten die Aussagen für diese charakteristischen Raumtypen verallgemeinert werden.

Raumtypen, Erreichbarkeit und Modal-Split

Die verwendete Raumtypologie bildet dabei räumliche Charakteristiken mit Einfluss auf die Verkehrs nachfrage und Verkehrsplanung möglichst breit und mit hoher Informationsdichte ab. Die zwei typenbildenden Indikatoren «Raumstruktur» und «Siedlungsstruktur» wurden aus einer umfassenden Literaturanalyse abgeleitet und anschliessend operationalisiert:

- Die **Raumstruktur** (Ausprägungen: Gross, Mittel, Klein) bildet pro Gemeinde die vorhandenen und zu überwindenden räumlichen Hindernisse ab. Diese schränken die Siedlungsausdehnung ein, beeinflussen die Verkehrsplanung, Kosten für Bau und Betrieb von Verkehrsinfrastruktur sowie auch die Eignung der Verkehrsmittel zur Überwindung des Raums. Als Hindernisse wirken dabei die Topografie, die Hydrologie sowie künstliche Bauten (z.B. übergeordnete Verkehrsinfrastruktur) oder unzugängliche Teile des Siedlungsgebiets. Operationalisiert wurde der Indikator als Fläche der in 240 Minuten zu Fuss über Fusswege erreichbaren Gebiete pro Gemeinde (nachfolgend als «Isochronenfläche» bezeichnet). Der Fussverkehr steht dabei als Grundmobilität allen und überall zur Verfügung. Er tastet die durch obige Hindernisse entstehende Umwege ab. Der Indikator ist zudem weitgehend unabhängig vom ÖV- und Strassenangebot und korreliert nicht mit der Bevölkerung oder der Bevölkerungsdichte einer Gemeinde. Gemeinden unterschiedlicher Flächenausdehnung werden so zudem vergleichbar.
- Die **Siedlungsstruktur** (Ausprägungen: Dicht, Mitteldicht, Geringbesiedelt) bildet pro Gemeinde zusammenhängende Cluster unterschiedlich hoher Bevölkerungsdichte ab. Die Dichte ist eine wichtige Variable sowohl für die Verkehrsplanung, die Wirtschaftlichkeit des Angebots und für die Nachfrage. Eine hohe Dichte geht dabei meist auch mit einer hohen Diversität einher. Operationalisiert wurde der Indikator über die bestehende DEGURBA-Raumtypologie.

Die folgende Abbildung zeigt die Einteilung der Gemeinden in die neun Raumtypen.

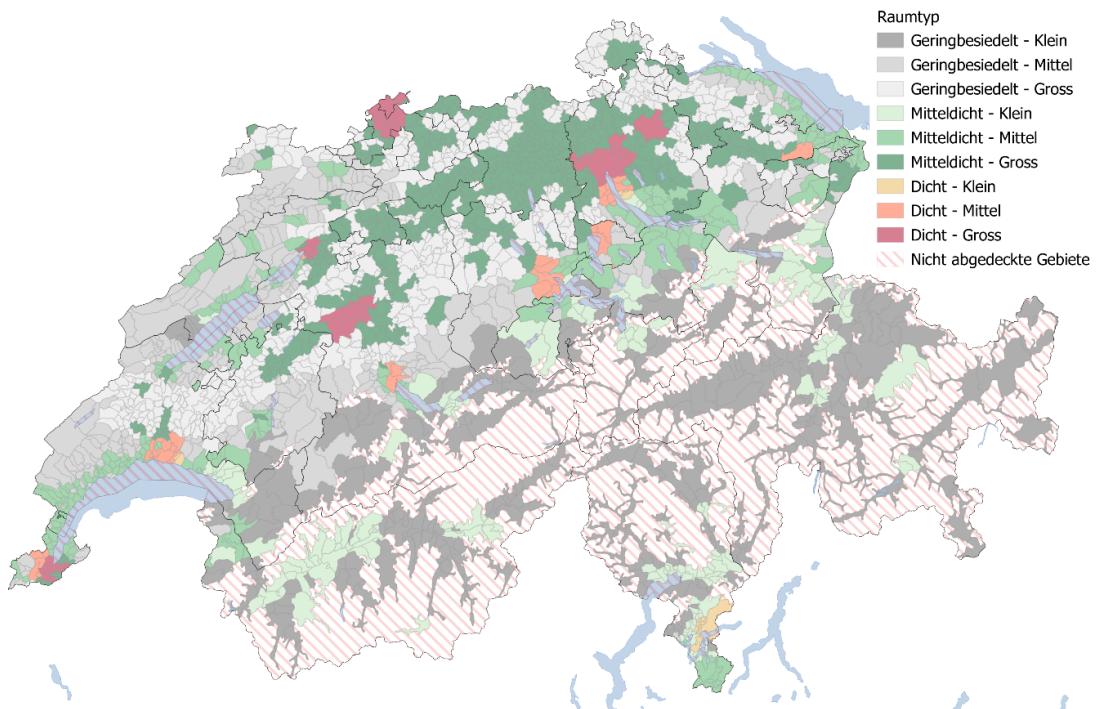


Abb. 0-1 Einteilung der Gemeinden in die neun Raumtypen

Parallel zur Differenzierung der Raumtypen wurden pro Gemeinde die Nachfrage- und Angebotsverhältnisse aufbereitet. Die Modal-Split-Anteile bilden die Nachfrageverhältnisse ab. Sie wurden aus einer Linearkombination aus Daten des Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) 2015 und Daten des Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) für die vier Verkehrsmittel Fuss, Velo, ÖV und MIV ermittelt. Verwendet wurden die Modal-Split-Anteile am Total der Wege nach Hauptverkehrsmittel.

Auf der Angebotsseite wurden Erreichbarkeitswerte ermittelt. Die verkehrsmittelbezogene Erreichbarkeit pro Gemeinde stammt aus dem NPVM, wobei Bevölkerung und Beschäftigte der Verkehrszenen die Potenziale bilden und die generalisierten Kosten den Raumwiderstand definieren. Zur Bestimmung der generalisierten Kosten wurden für den MIV, den Fuss- und den Veloverkehr die Geh- bzw. Fahrzeit verwendet. Für den ÖV wurden die Fahrzeit, der Takt, die Zu- und Abgangszeiten, die Umsteigevorgänge und die Umsteigewartezeiten herangezogen.

Positiver Einfluss der Erreichbarkeit auf den Marktanteil der Verkehrsmittel

Unter Berücksichtigung weiterer räumlicher Variablen wurde der statistische Zusammenhang zwischen den Angebots- und Nachfrageverhältnisse für die einzelnen Verkehrsmittel geschätzt und Effektgrößen abgeleitet. Für die Verwendung in den linearen Regressionsmodellen wurden die Modal-Split-Anteile linearisiert und die Erreichbarkeitswerte logarithmiert. Die folgende Abbildung zeigt für die auf dem 5%-Niveau signifikanten Faktoren die Richtung und Stärke des Einflusses nach Verkehrsmittel. Die Isochronenfläche, die die «Raumstruktur» abbildet, wurde als Interaktionsvariable zur Erreichbarkeit nach Siedlungsstruktur berücksichtigt. Das Bestimmtheitsmass (R^2 ; Werte zwischen 0 und 1) der einzelnen Modelle widerspiegelt die Erklärungskraft des Modells. Die Werte liegen bei 0.6 beim MIV und Fussverkehr, bei 0.5 im ÖV und bei 0.3 im Veloverkehr.

Für alle Verkehrsmittel wirkt sich eine höhere Erreichbarkeit positiv auf den Modal-Split aus. Eine höhere Erreichbarkeit der Konkurrenz-Verkehrsmittel wirkt sich hingegen negativ aus, wobei diese Variable bei den Verkehrsmitteln ÖV, Velo und Fuss vom MIV dominiert wird und beim MIV vom ÖV dominiert wird. Eine grosse Raumstruktur (Isochronenfläche) erhöht den Einfluss der Erreichbarkeit im ÖV und MIV, verringert diese aber im Fuss- und

Veloverkehr. Ein hohes Einkommen und eine hohe Dispersion (grosse Distanzen zwischen Siedlungseinheiten) erhöhen den MIV-Anteil. Die Dispersion erhöht auch den ÖV-Anteil. Je mehr Einwohner pro Beschäftigten vorhanden sind (relative Dichte), desto tiefer ist der MIV-Anteil.

Tab. 0-1 Regressionsmodelle: signifikante Einflussfaktoren (5%-Niveau)

Variable	Positiv	Negativ	Nicht signifikant
Erreichbarkeit	ÖV > MIV > Fuss > Velo		
Interaktion Isochronenfläche	ÖV > MIV	Velo > Fuss	
Erreichbarkeit Konkurrenz		ÖV > MIV > Fuss > Velo	
Mittleres Einkommen	MIV	Fuss > ÖV	Velo
Relative Dichte	Velo	MIV > Fuss	ÖV
Dispersion	MIV > ÖV	Fuss > Velo	
Urbane Permeation	Velo	Fuss > ÖV > MIV	
Knotendichte		Velo	

Ausgehend von den vier statistischen Modellen wurden anschliessend nur für die Verkehrsmittel ÖV und MIV robuste Elastizitäten geschätzt. Für das Velo und den Fussverkehr wurde auf eine weitergehende Analyse verzichtet: Die Fuss- und der Veloverkehrsanteile der Gemeinden variieren zwar mit deren Erreichbarkeitswerten, beim Fussverkehr in unterschiedlicher Stärke je nach Raumtyp. Die verwendete Erreichbarkeit als Einflussvariable und der Anteil der zurückgelegten Wege nach Hauptverkehrsmittel scheinen jedoch die Angebots- und Nachfrageverhältnisse für beide Verkehrsmittel zu wenig adäquat abzubilden. Beim Velo fehlen für alternative Modelle heute schweizweit vergleichbare Daten zur Qualität oder Sicherheit des Wegnetzes. Sowohl im Velo- als auch im Fussverkehr sind die Wegedaten des MZMV auf Gemeindeebene aufgrund der teilweisen sehr kleinen Stichproben nur sehr beschränkt aussagekräftig und im NPVM liegt für beide Modi kein kalibriertes Nachfragmodell vor.

Die folgende Abbildung zeigt die pro Raumtyp ermittelten Elastizitäten für den MIV und ÖV. Diese wurden basierend auf den geschätzten statistischen Parametern hergeleitet und drücken die prozentuale Veränderung des Modal-Split-Anteils bei einer einprozentigen Veränderung der Erreichbarkeit aus. Je höher der Wert, desto stärker reagiert der durchschnittliche Modal-Split-Anteil eines Raumtyps auf marginale Veränderungen in der Erreichbarkeit. Pro Raumtyp wird ein Elastizitätswert ermittelt, der den Durchschnittseffekt der Gemeinden im Raumtyp widerspiegelt.

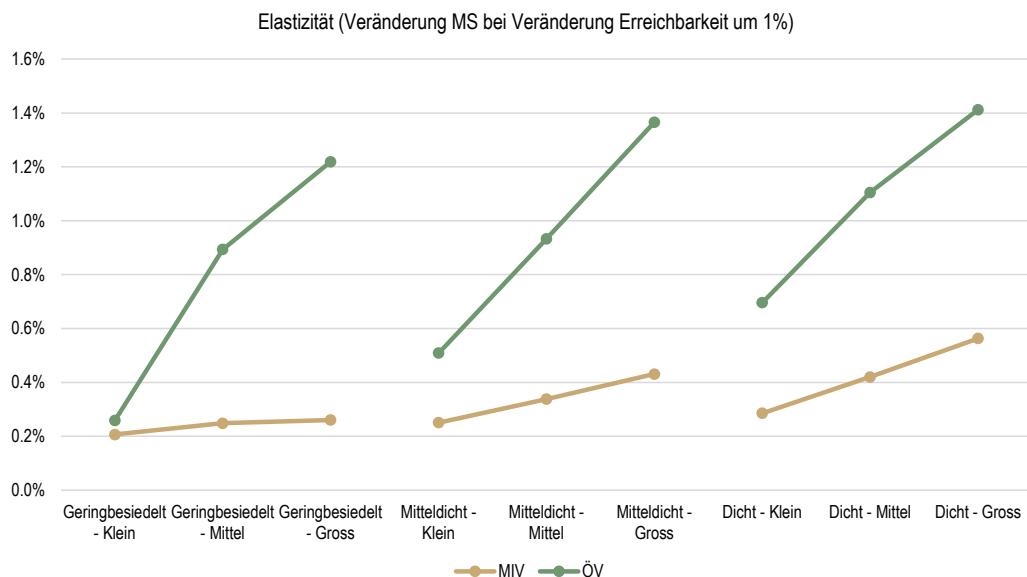


Abb. 0-2 Elastizitäten ÖV und MIV (Erhöhung Modal-Split-Anteil bei Erhöhung der Erreichbarkeit um 1%)

Untersuchung von Erreichbarkeitsverbesserungen und Widerstandsreduktionen

In der Raumstruktur «Gross» sind die Elastizitäten innerhalb der jeweiligen Siedlungsstruktur durchwegs am höchsten. Hier hat die angebotsseitige Veränderung der Erreichbarkeit den grössten relativen Effekt. Die Elastizitäten im ÖV sind zudem über alle Raumtypen und Raumstrukturen höher als im MIV.

Die Herleitung von Verlagerungspotenzialen einzig auf Basis dieser Elastizitäten wäre jedoch eine zu starke Verkürzung der Realität, da der Ansatz u.a. die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Angebotsveränderungen nicht explizit einbezieht. Im Rahmen der Forschungsarbeit wurde deshalb zusätzlich untersucht, wie stark die Erreichbarkeit je nach Raumtyp und Verkehrsmittel auf eine marginale Reduktion der generalisierten Kosten (Widerstand) reagiert und wie gross die absoluten Nachfragepotenziale nach Raumtyp sind. Dazu wurde die Sensitivität der Erreichbarkeit auf eine Reduktion der generalisierten Kosten auf allen Quell-Ziel-Beziehungen im NPVM ermittelt. Die Hypothese, dass es in Räumen mit einem bereits stark ausgebauten Angebot schwieriger bzw. aufwändiger ist, weitere relative Erreichbarkeitsverbesserungen zu realisieren, wird durch diese modellbasierte Analyse bestätigt. Wird die Elastizität mit dieser Sensitivität und dem aktuellen Niveau des Modal-Split-Anteils kombiniert, lässt sich die durch eine marginale Widerstandsreduktion entstehende Veränderung des Modal-Split (in %-Punkten) abschätzen. Dieser Wert wiederum kann mit der Anzahl der Quell-Ziel-Wege pro Gemeinde multipliziert werden, um eine absolute Größenordnung des Effekts grob abschätzen zu können.

Die geschätzten Effektgrössen zeigen, dass generell in grossen Räumen und im Besonderen auch im Raumtyp «Dicht – Mittel» eine prozentuale Erreichbarkeitsverbesserung im MIV aufwändiger ist als im jeweiligen Raumtyp «Klein». Die höhere Elastizität in den Raumtypen «Gross» übersteuert allerdings diesen Effekt. Vor allem wenn absolute Größenordnungen von potenziell verlagerten Wegen berücksichtigt werden, sticht der dichtbesiedelte mittelgrosse und grosse Raumtyp deutlich hervor.

Im ÖV ist die Reihung der Raumtypen bezüglich Veränderung des Modal-Splits durch marginale Widerstandsreduktion ähnlich, die grundsätzlich höheren Elastizitäten werden aber durch die im Vergleich zum MIV relativ tiefen aktuellen Modal-Split-Anteile kompensiert. Spätestens bei Betrachtung der absoluten Größenordnungen sind die Potenziale im ÖV kleiner als im MIV (bezogen auf die Raumtypen und auf eine marginale Reduktion der Widerstände).

Mögliche planerische Ansätze

Im Hinblick auf die Verlagerung des Verkehrs auf ein zu förderndes Verkehrsmittel (hier am Beispiel des ÖV illustriert) ist je nach analysiertem Raumtyp bzw. Gemeinde innerhalb eines Raumtyps einer der folgenden Ansätze zu untersuchen:

- **I Erhöhung der Erreichbarkeit im öffentlichen Verkehr durch angebotsseitige Massnahmen:** Die Modellresultate deuten darauf hin, dass mit einer Erhöhung der ÖV-Erreichbarkeit auch der Modal-Split-Anteil des ÖV erhöht werden kann. Es ist deshalb bei angebotsseitigen ÖV-Massnahmen, welche die Erreichbarkeit erhöhen (Reduktion der im Modell berücksichtigten Komponenten der generalisierten Kosten), eine Verlagerungswirkung hin zum ÖV zu erwarten. In Raumtypen mit mittlerer bis hoher ÖV-Elastizität und bei einer tiefen bzw. mittleren ÖV-Erreichbarkeit im Vergleich zu anderen Gemeinden innerhalb desselben Raumtyps sollte dieser erste Ansatz vertieft untersucht werden.
- **II Relative Erhöhung der Erreichbarkeit des öffentlichen Verkehrs:** Die Elastizitäten sind per Definition in einem abgesteckten Bereich in beide Richtungen anwendbar. Zudem zeigen die statistischen Modelle, dass die Erhöhung der Erreichbarkeit des ÖV einen negativen Einfluss auf den Modal-Split-Anteil des MIV hat (über den Konkurrenzterm). Daraus lässt sich folgern, dass eine relative Erhöhung der Erreichbarkeit im ÖV im Vergleich zum MIV eine Verlagerung weg vom MIV hin zum ÖV zur Folge hat. Eine relative Reduktion der ÖV-Erreichbarkeit, durch Anstieg der MIV-Erreichbarkeit, hätte hingegen eine Verlagerung hin zum MIV zur Folge, besonders in Räumen mit hoher ÖV-Elastizität. Bei bereits gut ausgebautem ÖV-Angebot, hoher ÖV-Erreichbarkeit und einem relativ hohen ÖV-Anteil im Vergleich innerhalb des Raumtyps sollte dieser zweite Ansatz analysiert werden.
- **III Erhaltung des aktuellen Verhältnisses zwischen ÖV- und MIV-Erreichbarkeit:** Dieser dritte Ansatz steht im Vordergrund, wenn entweder Abhängigkeiten von einer relativ hohen MIV-Erreichbarkeit sichtbar sind (sehr tiefe ÖV-Erreichbarkeit) oder wenn bereits ein sehr hoher ÖV-Anteil besteht, allenfalls in touristisch geprägten Räumen.

Der **erste Ansatz** sollte vertieft für die Raumtypen «Mitteldicht – Gross» und «Dicht – Mittel» analysiert werden, da dort relativ hohe ÖV-Elastizitäten ermittelt wurden und es in diesen Raumtypen zudem Gemeinden mit unterdurchschnittlichem ÖV-Angebot gibt. Aufgrund der hohen Dichte bzw. der Offenheit des Raums bei mittlerer Dichte ermöglicht die Bündelung der Nachfrage in Korridoren das Abschöpfen von absoluten Verlagerungspotenzialen. Der **zweite Ansatz** sollte besonders für den Raumtyp «Dicht – Gross» analysiert werden, weil die ÖV-Elastizitäten hoch sind und bereits gut ausgebauten ÖV-Angebote und relativ hohe ÖV-Anteile vorhanden sind. Relevante ÖV-Erreichbarkeitsverbesserungen sind im dichten gebauten Umfeld meist aufwändig zu realisieren. Es besteht auch das Risiko, dass ÖV-Nachfrage verloren geht, wenn die (relative) ÖV-Erreichbarkeit sinkt. Der **dritte Ansatz** der Erhaltung der Erreichbarkeitsverhältnisse sollte für den Raumtyp «Geringbesiedelt – Klein» analysiert werden. Dabei stehen Gemeinden dieses Raumtyps mit starker Abhängigkeit vom MIV oder mit bereits guter Auslastung des (guten) ÖV-Angebots, beispielsweise im touristisch geprägten Umfeld im Vordergrund. Die übrigen Raumtypen weisen mittlere Elastizitäten auf und reagieren im Mittel nur schwach auf marginale Widerstandsreduktionen im ÖV – etwas stärker auf marginale Veränderungen im MIV. Für diese Raumtypen lassen sich deshalb keine eindeutigen Ansätze für die Analyse herleiten.

Die Untersuchung zeigte somit, dass eine höhere Erreichbarkeit eines Verkehrsmittels in der Tendenz auch zu einem höheren Marktanteil führt, wobei räumliche Charakteristiken einen Einfluss auf die Stärke des Zusammenhangs haben. Auf Grundlage der quantitativen Analysen wurde für drei planerische Ansätze aufgezeigt, in welchen Räumen sich diese eignen. Diese Ansätze sind in praxisnahen Untersuchungen zu geeigneten Massnahmen weiterzuentwickeln, wobei die räumlichen Charakteristiken und ihr Einfluss auf die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Massnahmen explizit zu berücksichtigen sind. Auch für konkretere Aussagen zum Verlagerungspotenzial im Fuss- und Veloverkehr dürften sich praxisnahe Fallbeispiele unter Einbezug von Topografie, Qualität und Sicherheit der Wegnetze eignen.

Résumé

Dans la planification et la politique des transports, la question se pose souvent de savoir quel niveau d'offre doit être proposé dans quels espaces pour les différents moyens de transport. Aujourd'hui déjà, la Suisse vise, au niveau stratégique, un développement des transports et du territoire différencié selon les espaces, comme le montre par exemple le Plan sectoriel des transports, partie Programme sur la mobilité. Les "types d'espaces" permettent de regrouper les espaces présentant des caractéristiques similaires et de définir des stratégies de développement de l'espace et de l'offre de transport adaptées à ces types d'espaces.

Afin d'affiner et de concrétiser cette différenciation spatiale, il est essentiel de disposer de valeurs empiriques et de paramètres permettant d'estimer la réaction de la demande à la modification de l'offre de transport des différents moyens de transport dans un espace donné. Cela donne des indications sur les espaces dans lesquels un transfert de la demande vers un moyen de transport donné peut être réalisé. Le présent projet de recherche "Potentiels de transfert modal en fonction de l'accessibilité et du type d'espace" contribue à la compréhension des relations quantitatives entre l'offre et la demande de transport par moyen de transport en tenant compte des caractéristiques spatiales.

Dans le cadre de ce travail de recherche, la question centrale était de savoir quelle est l'influence de l'accessibilité et des caractéristiques spatiales sur les parts de répartition modale de la mobilité piétonne, du trafic cycliste, des transports publics (TP) et du transport individuel motorisé (TIM). Pour répondre à cette question, la relation statistique entre l'accessibilité et la répartition modale a été étudiée à l'aide d'une analyse statistique au niveau communal, les caractéristiques spatiales ayant été éliminées de la relation. Une typologie spatiale spécialement développée pour l'étude a servi à regrouper les communes et à généraliser les conclusions pour ces types d'espaces.

Types d'espaces, accessibilité et répartition modale

La typologie spatiale utilisée reflète les caractéristiques spatiales ayant une influence sur la demande et la planification des transports de la manière la plus large possible et avec une grande densité d'informations. Une analyse bibliographique approfondie a permis de déterminer les deux indicateurs de typologie "structure spatiale" et "structure de l'urbanisation" :

- La **structure spatiale** (grande, moyenne, petite) représente, par commune, les obstacles spatiaux existants à surmonter. Ces obstacles limitent l'extension de l'urbanisation, influencent la planification des transports, les coûts de construction et d'exploitation des infrastructures de transport ainsi que l'aptitude des moyens de transport à franchir l'espace. La topographie, l'hydrologie ainsi que les constructions artificielles (p. ex. l'infrastructure de transport) ou les parties inaccessibles des zones d'habitation forment les obstacles. L'indicateur de la structure spatiale a été opérationnalisé en définissant par commune une surface des zones accessibles à pied (via les chemins accessibles aux piétons) en 240 minutes (ci-après "surface isochrone"). En tant que mobilité de base, La mobilité piétonne forme une « mobilité de base » : elle est accessible partout à toutes et tous. Elle permet ainsi de détecter les détours occasionnés par les obstacles spatiaux susmentionnés. L'indicateur est en outre en grande partie indépendant de l'offre au niveau des routes et des transports publics et n'est pas corrélé avec la population ou la densité de population d'une commune. Des communes de superficies différentes sont ainsi comparables.
- La **structure de l'urbanisation** (densité élevée, densité moyenne, densité faible) représente des clusters de communes de différentes densités de population. La densité est une variable importante pour la planification des transports, la rentabilité de l'offre et la demande. Une densité élevée va généralement de pair avec une diversité élevée. L'indicateur a été opérationnalisé à l'aide de la typologie spatiale DEGURBA existante.

La figure suivante montre la répartition des communes dans les neuf types d'espaces.

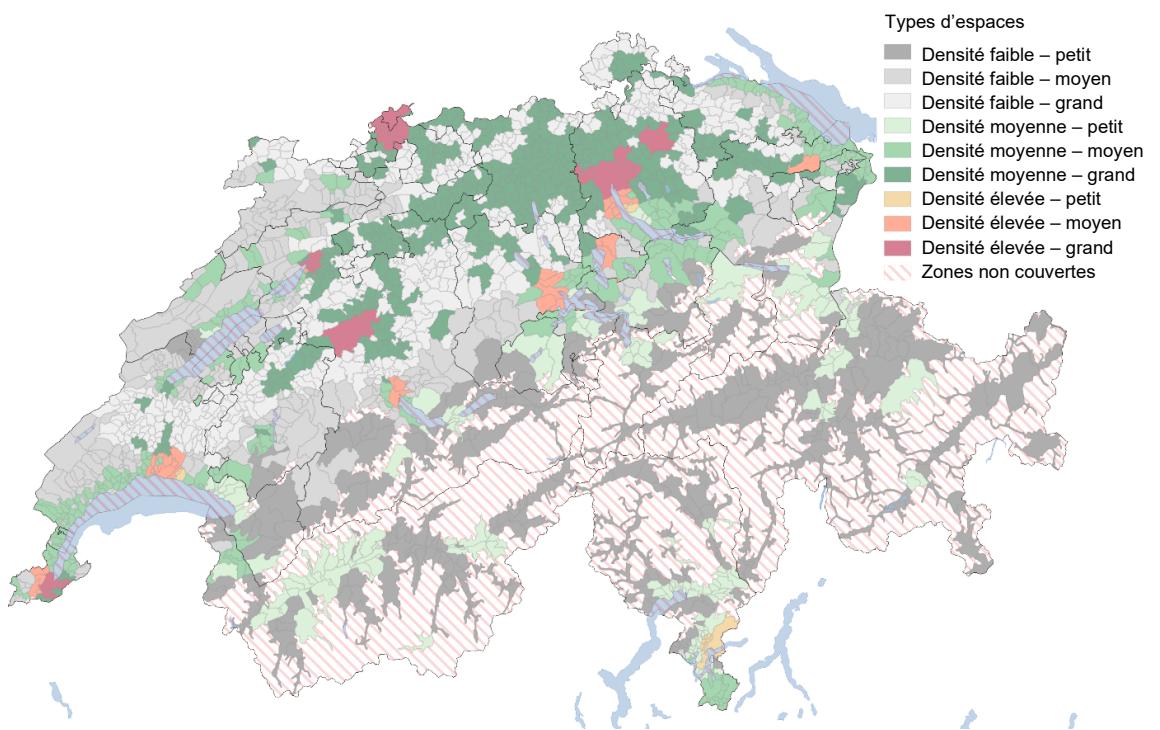


Figure 0-1 Répartition des communes dans les neuf types d'espaces

Parallèlement à la différenciation des types d'espaces, l'état de l'offre et de la demande a été déterminé pour chaque commune. Les parts de répartition modale reflètent la demande. Elles ont été définies à partir d'une combinaison linéaire de données du Microrecensement mobilité et transports (MRMT) 2015 et de données du Modèle national du trafic voyageurs (MNTP) pour les quatre modes de transport suivants : mobilité piétonne, trafic cycliste, TP et TIM. Le total des trajets par moyen de transport principal a été utilisé pour déterminer les parts de répartition modale.

Des valeurs d'accessibilité ont été déterminées du côté de l'offre. L'accessibilité par commune et moyen de transport provient du Modèle national du trafic voyageurs (MNTP). La population et les employés des zones de transport constituent les potentiels et les coûts généralisés définissent la résistance spatiale. Les coûts généralisés sont définis sur base du temps de marche (pour la mobilité piétonne) ou de déplacement (pour le TIM, et le trafic cycliste). Pour les TP, le temps de trajet, la cadence, les temps d'accès vers ou depuis l'arrêt TP, les correspondances et les temps d'attente pour les correspondances ont été utilisés.

Impact positif de l'accessibilité sur la part du marché

En tenant compte d'autres variables spatiales, la relation statistique entre les rapports de l'offre et de la demande a été estimée pour les différents modes de transport. De cette relation, les effets ont pu être quantifiés. Pour l'utilisation dans les modèles de régression linéaire, les parts de répartition modale ont été linéarisées. Pour l'accessibilité, le logarithme des valeurs a été utilisé. La figure suivante montre, pour les facteurs significatifs à 5%, la direction et l'intensité de l'influence selon le mode de transport. La surface isochrone, qui représente la "structure spatiale", a été prise en compte comme variable d'interaction pour l'accessibilité par structure de l'urbanisation. Le coefficient de détermination (R^2) des différents modèles reflète la qualité avec laquelle le modèle permet d'expliquer la relation. Les valeurs sont de 0.6 pour le TIM et la mobilité piétonne, de 0.5 pour les TP et de 0.3 pour le trafic cycliste.

Les modèles montrent que pour tous les modes de transport, une accessibilité plus élevée a un effet positif sur la part modale. En revanche, une accessibilité plus élevée des moyens de transport concurrents a un effet négatif. Cette variable est dominée par le TIM et les TP. Une grande structure spatiale (surface isochrone) augmente l'influence de l'accessibilité pour les TP et le TIM, mais la diminue pour la mobilité piétonne et le trafic cycliste. Un revenu élevé et une forte dispersion (longues distances entre les unités d'habitation) augmentent la part modale du TIM. La dispersion augmente par ailleurs la part modale des TP. Plus il y a d'habitants par employé (densité relative), plus la part de TIM est faible.

Tab. 0-1 Modèles de régression : facteurs d'influence significatifs (à 5%)

Variable	Positif	Négatif	Pas significatif
Accessibilité	TP > TIM > piéton > vélo		
Interaction surface isochrone	TP > TIM	vélo > piéton	
Accessibilité - concurrence		TP > TIM > piéton > vélo	
Revenu moyen	TIM	piéton > TP	vélo
Densité relative	vélo	TIM > piéton	TP
Dispersion	TIM > TP	piéton > vélo	
Perméation urbaine	vélo	piéton > TP > TIM	
Densité des noeuds		vélo	

Sur la base de quatre modèles statistiques, des élasticités robustes ont ensuite été estimées pour les TP et le TIM. Pour le trafic cycliste et la mobilité piétonne, nous avons renoncé à une analyse plus approfondie pour les raisons suivantes : Les parts modales communales de la mobilité piétonne et du trafic cycliste varient certes avec l'accessibilité, mais pour la mobilité piétonne, elles varient plus ou moins fortement selon le type d'espace. Pour les deux moyens de transport, l'accessibilité, utilisée comme variable dépendante, et la part des trajets parcourus (comme moyen de transport principal) ne semblent pas refléter de manière adéquate l'offre et la demande. Pour le trafic cycliste, des données comparables sur la qualité ou la sécurité du réseau au niveau national font aujourd'hui défaut. Tant pour le trafic cycliste que pour la mobilité piétonne, les données du MRMT sur les itinéraires au niveau communal n'ont qu'une pertinence très limitée en raison des chiffres parfois très faibles. Le MNP ne dispose quant à lui pas de modèle de demande calibré pour ces deux modes de transport.

L'illustration suivante montre les élasticités calculées par type d'espace pour le TIM et les TP. Celles-ci ont été déduites sur la base des paramètres statistiques estimés et expriment la variation en pourcentage de la part de répartition modale suite à une modification d'un pour cent de l'accessibilité. Plus la valeur est élevée, plus la part moyenne de répartition modale réagit fortement à des modifications marginales de l'accessibilité (pour un type d'espace donné et de manière relative). Pour chaque type d'espace, une valeur d'élasticité est déterminée. Elle reflète l'effet moyen dans les communes attachées au type d'espace.

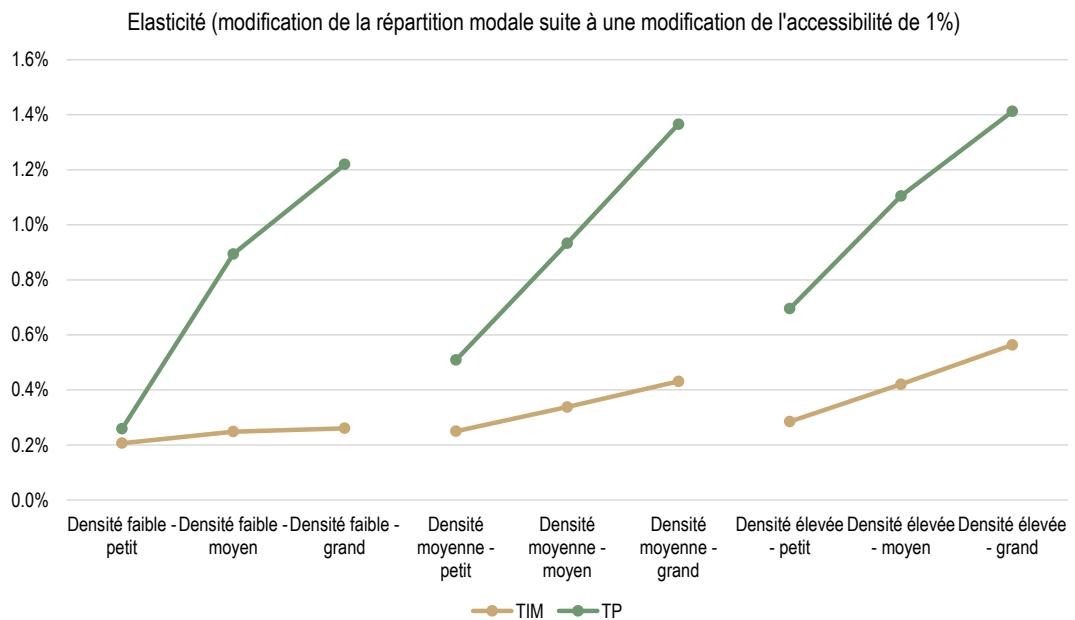


Figure 0-2 : Élasticités TP et TIM (augmentation de la part modale suite à une amélioration de l'accessibilité de 1%)

Étude des améliorations de l'accessibilité et des réductions de la résistance

Pour une structure d'urbanisation donnée, la « grande » structure spatiale présente les élasticités les plus élevées. C'est pour cette structure qu'une modification de l'accessibilité du côté de l'offre a le plus grand effet. En outre, les élasticités des TP sont plus élevées que celles du TIM, pour tous les types d'espaces et toutes les structures spatiales.

La déduction de potentiels de transfert sur la seule base de ce modèle statistique et de ces résultats d'élasticité serait toutefois une trop grande simplification. L'approche ne tient en effet pas explicitement compte de la faisabilité et de la rentabilité des modifications de l'offre. La modification de l'offre, représentée par une modification de 1% de l'accessibilité, est considérée comme donnée. Dans le cadre du travail de recherche, nous avons également examiné dans quelle mesure l'accessibilité elle-même réagit, selon le type d'espace et le moyen de transport, à une réduction marginale des coûts généralisés (résistance) et quel est le potentiel absolu de transfert de la demande selon le type d'espace. Pour ce faire, nous avons estimé la sensibilité de l'accessibilité à une réduction uniforme des coûts généralisés dans le MNTP. L'hypothèse sous-jacente était qu'il est plus difficile ou plus coûteux de réaliser d'autres améliorations relatives de l'accessibilité dans les espaces où l'offre est déjà fortement développée. Cette analyse confirme cette hypothèse. Si l'élasticité est combinée avec cette sensibilité et le niveau actuel de la part de répartition modale, il est possible d'estimer la modification de la répartition modale (en points de pourcentage) résultant d'une réduction marginale de la résistance. Cette valeur peut à son tour être multipliée par le nombre de trajets origine-destination par commune afin d'obtenir un ordre de grandeur de l'effet absolu.

L'amplitude estimée de l'effet montre qu'une amélioration proportionnelle de l'accessibilité du TIM est plus coûteuse dans les grandes structures (et dans les types d'espaces grands et moyens lorsque la densité est élevée ou moyenne) que dans les petits espaces. L'élasticité plus élevée des grands types d'espace compense toutefois cet effet. C'est surtout lorsque l'on considère les ordres de grandeur absolus des transferts potentiels que les espaces densément peuplés et de taille grande ou moyenne se distinguent nettement.

Dans les TP, le classement des types d'espaces est similaire en ce qui concerne la modification de la répartition modale par une réduction marginale des résistances, mais les élasticités fondamentalement plus élevées sont compensées par les parts actuelles relativement faibles par rapport au TIM. Au plus tard en considérant les ordres de grandeur

absolus, il apparaît que les potentiels de transfert des TP sont plus faibles que ceux du TIM (par rapport aux types d'espaces et à une réduction marginale des résistances).

Approches possibles pour la planification

Dans l'optique d'un transfert modal vers un mode de transport donné (illustré ici par l'exemple des transports publics) et en fonction du type d'espace, l'une des approches suivantes doit être étudiée :

- **I Augmentation de l'accessibilité en transports publics par des mesures au niveau de l'offre :** Les résultats du modèle indiquent qu'une augmentation de l'accessibilité des TP permet également d'augmenter la part modale de ce mode de transport. On peut donc s'attendre à un effet de transfert modal en faveur des TP suite à des mesures au niveau de l'offre qui augmentent l'accessibilité (réduction des composantes des coûts généralisés prises en compte dans le modèle). Cette approche devrait être étudiée de manière approfondie pour les types d'espaces présentant une élasticité pour les TP moyenne ou élevée et une accessibilité des TP faible ou moyenne par rapport à d'autres communes du même type d'espace.
- **II Augmentation relative de l'accessibilité des transports publics :** par définition, les élasticités sont applicables dans les deux sens dans une zone délimitée. De plus, les modèles statistiques montrent que l'augmentation de l'accessibilité des TP a une influence négative sur la part de répartition modale du TIM (concurrence). On peut en déduire qu'une augmentation relative de l'accessibilité en TP par rapport au TIM entraîne un transfert modal du TIM vers les TP. En revanche, une réduction relative de l'accessibilité TP, par une augmentation de l'accessibilité TIM, aurait pour conséquence un transfert vers le TIM, en particulier dans les espaces où les TP présentent une élasticité importante. Cette deuxième approche devrait être analysée si l'offre de TP est déjà bien développée, que l'accessibilité en TP est élevée et que la part des TP est relativement importante au sein du type d'espace.
- **III Maintien de l'accessibilité relative actuelle entre TP et TIM :** cette troisième approche est prioritaire soit lorsque des dépendances relativement fortes à l'accessibilité du TIM sont visibles (accessibilité en TP très faible), soit lorsque la part des TP est déjà très élevée, le cas échéant dans des espaces à vocation touristique.

La première approche devrait être analysée de manière approfondie pour les types d'espaces "grand – densité moyenne" et "moyen - densité élevée", car des élasticités relativement élevées y ont été déterminées pour les TP et qu'il existe en outre dans ces types d'espaces des communes dont l'offre de TP est inférieure à la moyenne. En raison de la densité élevée ou de l'ouverture de l'espace en cas de densité moyenne, le regroupement de la demande dans des corridors permet d'exploiter les potentiels absous de transfert modal. La deuxième approche devrait être analysée en particulier pour le type d'espace "grand – densité élevée", étant donné que les élasticités des TP sont élevées et qu'il existe déjà des offres de TP bien développées et des parts modales relativement élevées. Des améliorations pertinentes de l'accessibilité des TP sont généralement difficiles à mettre en œuvre dans un environnement bâti dense. Il existe également un risque de perte de la demande pour les TP si l'accessibilité (relative) diminue. La troisième approche de maintien des conditions d'accessibilité devrait par conséquent être analysée pour le type d'espace "petit – densité faible". Dans ce contexte et ce type d'espace, les communes dans un environnement à vocation touristique qui dépendent fortement du TIM ou qui ont déjà un bon taux d'utilisation de l'offre en TP sont prioritaires. Les autres types d'espaces présentent des élasticités moyennes et ne réagissent en moyenne que faiblement à des réductions marginales de la résistance des TP - un peu plus fortement à des modifications marginales du TIM. Pour ces types d'espaces, il n'est donc pas possible de déduire des approches claires pour l'analyse.

L'étude a montré qu'une plus grande accessibilité d'un moyen de transport tend à entraîner une plus grande part de marché et que les caractéristiques spatiales influencent l'amplitude de l'effet. Sur la base des analyses quantitatives, nous avons montré pour trois approches de planification dans quels espaces des augmentations de l'accessibilité sont appropriées. Dans le cadre d'études pratiques, des mesures appropriées devront être déduites de ces

approches, en tenant compte explicitement des caractéristiques spatiales, de leur influence sur la rentabilité et de l'effet des mesures. Des études de cas appliquées tenant compte de la topographie, de la qualité et de la sécurité des réseaux devraient également permettre de faire des déclarations plus concrètes sur le potentiel de transfert modal dans le domaine de la mobilité piétonne et du trafic cycliste.

Summary

In transport planning and policy, the question often arises as to how the transport supply should be designed in different areas and for the different means of transport. Already today, Switzerland is strategically aiming for spatially differentiated transport and land use development, as illustrated by the Sectoral Plan for Transport (Mobility Program section). "Spatial types" make it possible to group together areas with similar characteristics, and to define spatial development and transport supply strategies tailored to these types of area.

To refine this spatial differentiation, it is essential to have empirical values and parameters for estimating the response of demand to changes in the transport supply of different means of transport in each space. This gives an indication of the areas in which a shift in demand towards a given means of transport can be achieved. The present research project "Potentials of modal shift according to accessibility and territorial typologies" contributes to understanding the quantitative relationships between transport supply and demand by means of transport, taking spatial characteristics into account.

The central question in this research was how accessibility and spatial characteristics influence the modal split shares of pedestrian and cycling traffic, public transport (PT) and motorised individual transport (MIT). To answer this question, the statistical relationship between accessibility and modal share was investigated using statistical analysis at the municipal level, with spatial characteristics eliminated from the relationship. A spatial typology specially developed for the study was used to group municipalities and generalize the conclusions for these types.

Spatial types, accessibility and modal split

The spatial typology used reflects the spatial characteristics influencing transport demand and planning in the broadest possible way and with a high density of information. The two typology indicators "spatial structure" and "urbanisation structure" were determined by an in-depth literature review and then operationalized:

- The **spatial structure** (large, medium, small) represents, for each municipality, the existing spatial obstacles to be overcome. These obstacles limit the extent of urbanisation, influence transport planning, the costs of building and operating transport infrastructure, and the ability of means of transport to overcome space. Obstacles include topography, hydrology, man-made structures (e.g. transport infrastructure) or inaccessible parts of residential areas. The spatial structure indicator was operationalized by defining a surface area per municipality that could be reached on foot (via footpaths) within 240 minutes (hereinafter "isochrone surface"). Pedestrian traffic can be described as a "baseline mobility": it is accessible to everyone, everywhere. As such, it allows us to detect the detours caused by the above-mentioned spatial obstacles. The indicator is also largely independent of road and public transport supply and is not correlated with a municipality's population or population density. This makes municipalities of different sizes comparable.
- The **structure of urbanisation** (high density, medium density, low density) represents clusters of municipalities with different population densities. Density is an important variable for transport planning, and the cost-effectiveness of supply and demand. High density generally goes hand in hand with high diversity. The indicator was operationalized using the existing DEGURBA spatial typology.

The following figure shows the distribution of municipalities within the nine spatial types.

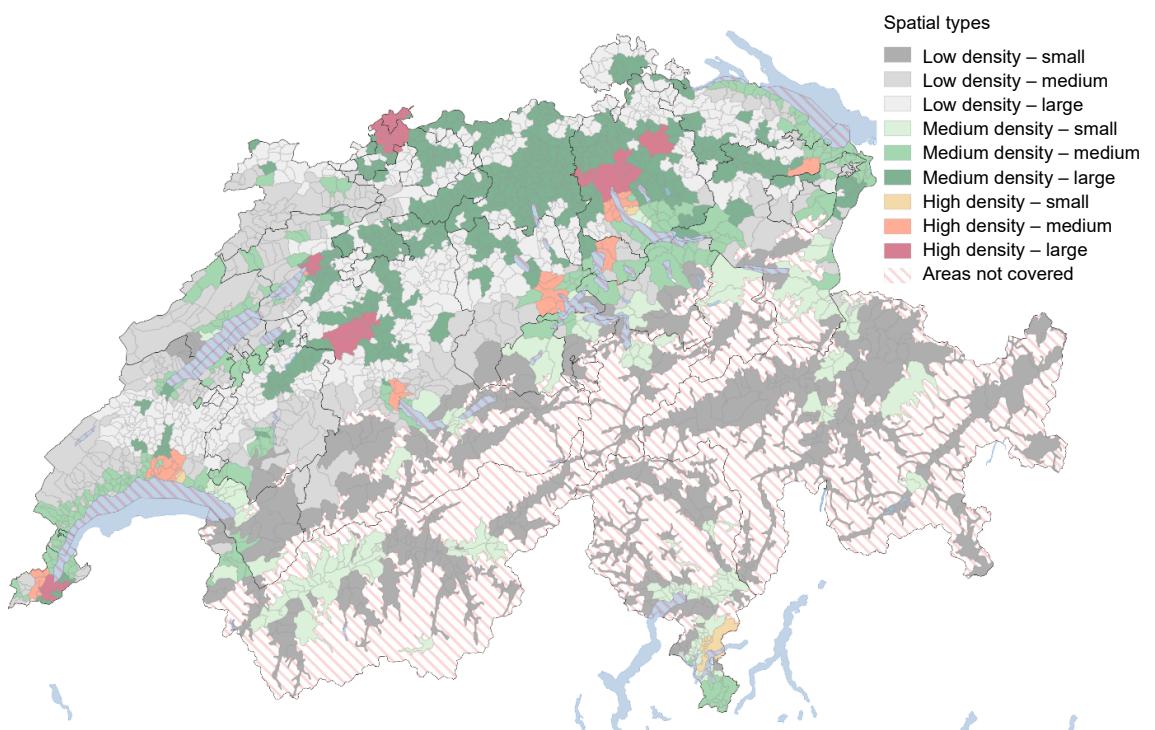


Figure 0-1 Distribution of municipalities across the nine spatial types

Alongside the differentiation of spatial types, the state of supply and demand was determined for each municipality. Modal shares reflect demand. They were defined based on a linear combination of data from the 2015 Mobility and Transport Microcensus (MTMC) and data from the National Passenger Traffic Model (NPTM) for the following four transport modes: pedestrian and cycling traffic, public transport and motorised individual transport. Total trips by main means of transport were used to determine modal split shares.

Transport supply data is based on accessibility values. Accessibility by municipality and means of transport was determined from the National Passenger Traffic Model (NPTM). The population and employees of the transport zones constitute the potentials, and the generalized costs define the spatial resistance. Generalized costs are defined based on walking time (for pedestrian traffic) or travel time (for MIT and cycling traffic). For public transport, journey times, frequency, access times to and from public transport stops, number of connections and waiting times for connections were used.

Positive impact of accessibility on market share

Considering other spatial variables, the statistical relationship between supply and demand ratios was estimated for the four modes of transport. From this relationship, the effects were estimated. For use in the linear regression models, the modal shares were linearized and the accessibility values logarithmised. The following figure shows the direction and intensity of the effect for each transport mode, significant at the 5% level. The isochrone area, representing the "spatial structure", was considered as an interaction variable for accessibility by urbanisation structure. The coefficient of determination (R^2) of these models reflects how well it explains the relationship. The values are 0.6 for MIT and pedestrian traffic, 0.5 for PT and 0.3 for cycle traffic.

The models show that for all modes of transport, higher accessibility has a positive effect on modal share. On the other hand, higher accessibility of competing means of transport has a negative effect. This variable is dominated by either MIT or PT (in the MIT model). A large spatial structure (isochrone area) increases the influence of accessibility for PT and MIT but decreases it for pedestrian and cycling traffic. High income and dispersion (long distances between housing units) increase the modal share of MIT. Dispersion also increases the modal share of public transport.

Tab. 0-1 Regression models: significant effects (at 5% level)

Variable	Positive	Negative	Not significant
Accessibility	PT > MIT > pedestrian > cycling		
Isochrone surface interaction	PT > MIT	cycling > pedestrian	
Accessibility - competition		PT > MIT > pedestrian > cycling	
Average income	MIT	pedestrian > PT	cycling
Relative density	cycling	MIT > pedestrian	PT
Dispersion	MIT > PT	pedestrian > cycling	
Urban permeation	cycling	pedestrian > PT > MIT	
Node density			cycling

Based on four statistical models, robust elasticities were then estimated for PT and MIT. For pedestrian and cycling traffic, we have decided not to use a more in-depth analysis for the following reasons: Municipal modal shares for pedestrian and cycling traffic do vary with accessibility, and for pedestrian traffic, they vary also by spatial type. But for both means of transport, accessibility, used as a dependent variable, and the share of journeys made (as the main means of transport) do not seem to adequately reflect supply and demand. For alternative models for cycling traffic, comparable data on network quality or safety at community level are currently lacking. For both cycling and pedestrian traffic, the MTMC's data at municipal level is of very limited relevance, due to the sometimes very small samples involved. The NPTM, for its part, has no demand model calibrated for these two modes of transport.

For MIT and PT elasticities have been deduced based on the estimated statistical parameters. These elasticities express the median percentage change in modal share following a one-percent change in accessibility (for a given spatial type and in relative terms, see the following illustration). The higher the value, the more strongly the modal share is expected to react to marginal changes in accessibility.

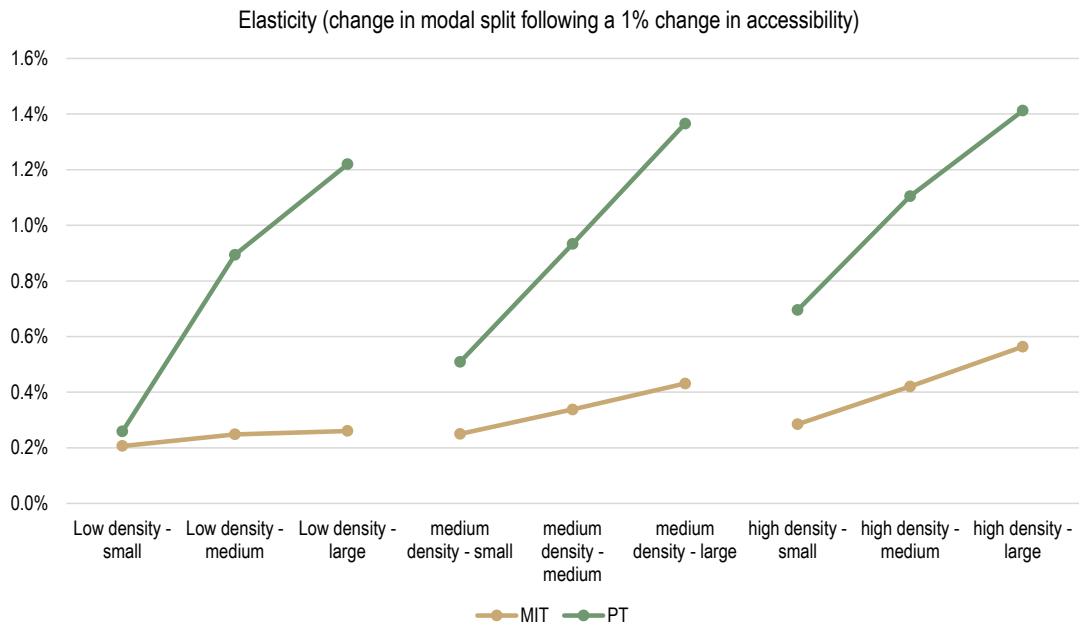


Figure 0-2: PT and MIT elasticities (increase in modal share following a 1% improvement in accessibility)

Study of accessibility improvements and resistance reductions

For a given urbanisation structure, the "large" spatial type has the highest elasticities. It is for this type that a change in supply-side accessibility has the greatest effect. In addition, PT elasticities are higher than those of TIM, for all spatial types and all spatial structures.

However, it would be an oversimplification to infer mode shift potentials solely based on these elasticity results. The approach does not explicitly consider the feasibility and economic viability of changes in supply. As part of the research work, we also examined the extent to which accessibility itself reacts, depending on the spatial type and means of transport, to a marginal reduction in generalized costs (resistance), and what the absolute potential is for shifted demand depending on the spatial type. To do this, we estimated the sensitivity of accessibility to a relative reduction in generalized costs on all relations in the NPTM. The underlying assumption was that it is more difficult or costly to achieve further relative improvements in accessibility in areas where supply is already highly developed. This analysis confirms this hypothesis. If the elasticity is combined with this sensitivity and the current level of modal share, it is possible to estimate a technical change in modal split (in percentage points) resulting from a marginal reduction of generalized costs. This value can in turn be multiplied by the number of origin-destination trips per municipality to obtain an order of magnitude of the absolute effect.

The estimated magnitude of the effect shows that relative improvements in MIT accessibility is more costly in large structures (and in large and medium spatial types when density is high or medium) than in small spaces. However, the higher elasticity of large spaces offsets this effect. Densely populated areas and large and medium-sized regions stand out particularly in terms of the absolute size of shift potential.

For PT, the ranking of spatial types is similar in terms of changing the modal share through a marginal reduction in generalized cost, but the fundamentally higher elasticities are offset by the relatively low current shares compared to MIT. At the latest when considering absolute orders of magnitude, it appears that the shift potentials of PT are lower than those of MIT (in relation to spatial types and a marginal reduction in generalized cost).

Possible approaches to planning

Depending on the type of area, one of the following approaches should be explored to achieve a modal shift to a particular mode of transport (here illustrated by the example of public transport):

- **I Increase public transport accessibility through supply-side measures:** The model results indicate that increasing public transport accessibility also has the potential to increase the modal share of this mode of transport. We can therefore expect a modal shift in favor of public transport following supply-side measures that increase accessibility (reduction in the generalized cost components in the model). This approach should be studied for areas with medium or high PT elasticity and low to medium PT accessibility, compared with other municipalities in the same area.
- **II Relative increase in public transport accessibility:** By definition, elasticities are applicable in both directions within a small section. Furthermore, statistical models show that an increase in public transport accessibility has a negative influence on the modal share of MIT (due to competition). We can deduce that a relative increase in PT accessibility compared to MIT leads to a modal shift from MIT to PT. On the other hand, a relative reduction in PT accessibility, through an increase in MIT accessibility, would result in a shift towards MIT, particularly in areas where PT is highly elastic. This second approach should be analyzed if the PT offer is already well-developed, PT accessibility is high, and the PT share is relatively high within the spatial type.
- **III Maintaining the current relative accessibility between PT and MIT:** This third approach is a priority either when relatively strong dependencies on MIT accessibility are visible (very low PT accessibility), or when the share of PT is already very high, possibly in tourist-oriented areas with possibly low MIT accessibility.

The first approach should be analyzed in depth for the "large - medium density" and "medium - high density" spatial types, as relatively high elasticities have been determined for PT in these areas, and there are communities with below-average PT provision. Because of the high density, or the openness of the area in the case of medium density, grouping demand into corridors makes it possible to exploit absolute modal shift potentials. The second approach should be analyzed for the "large - high density" spatial type, as PT elasticities are high and there are already well-developed PT offerings and relatively high modal shares. Relevant improvements in PT accessibility are generally difficult to implement in a dense built-up environment. There is also a risk of losing demand for PT if (relative) accessibility declines. The third approach to maintaining accessibility conditions should therefore be analyzed for the "small - low density" spatial type. In this context and for this type of area, priority should be given to communities in a tourist-oriented environment that are highly dependent on MIT or that already have a good level of use of the public transport offer. The other types of area have average elasticities, and on average react only weakly to marginal reductions in PT generalized cost - and slightly more strongly to marginal changes in MIT. It is therefore not possible to deduce clear approaches to analysis for these spatial types.

The study showed that greater accessibility of a means of transport tends to lead to greater market share, and that spatial characteristics influence the magnitude of the effect. Based on quantitative analyses, we have shown for three general planning approaches in which areas increases in accessibility are appropriate. In practical studies, appropriate measures will have to be derived from these approaches, taking explicit account of spatial characteristics, their influence on cost-effectiveness and the effect of the measures. Applied case studies that take account of topography, quality and safety should also enable more concrete statements to be made about modal shift potential in the field of pedestrian mobility and cycle traffic.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

In der Verkehrsplanung und Verkehrspolitik stellt sich oft die Frage, in welchen Räumen welches Niveau des Angebots der verschiedenen Verkehrsmittel angeboten werden soll. Bereits heute wird in der Schweiz auf strategischer Ebene eine räumlich differenzierte Verkehrs- und Raumentwicklung angestrebt, was sich beispielsweise auch im Sachplan Verkehr, Teil Programm zur Mobilität zeigt. Mit «Raumtypen» wird dabei versucht, Räume mit ähnlichen Eigenschaften zusammenzufassen und auf diese Raumtypen zugeschnittene Strategien für die Raum- und Verkehrsangebotsentwicklung abzuleiten.

In der Regel steht dabei die Förderung des für einen Raum am besten geeigneten Verkehrsmittels im Vordergrund. Bei diesem Bestreben soll das Ziel der Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse, unter Berücksichtigung einer möglichst hohen Flächen-, Transport-, Energie- und Umwelteffizienz sowie Wirtschaftlichkeit des Angebots möglichst optimal erfüllt werden.

Um diese räumliche Differenzierung weiter zu schärfen und zu konkretisieren, sind Erfahrungswerte und Kenngrössen zur Abschätzung der Nachfragereaktion auf die Veränderung des Verkehrsangebots der verschiedenen Verkehrsmittel in einem Raum zentral. Dies gibt Hinweise darauf, in welchen Räumen sich eine Verlagerung der Nachfrage hin zu einem bestimmten – möglichst effizienten und wirtschaftlichen – Verkehrsmittel bewerkstelligen lässt.

Sowohl die Verkehrs nachfrage für einzelne Verkehrsmittel wie auch das Verkehrsangebot werden durch eine grosse Vielfalt an Faktoren beeinflusst. Eine wesentliche Kategorie dieser Einflussfaktoren umfasst die Eigenschaften des Raums. Diese können geografisch-topografischer Natur sein, aber auch mit der Anzahl und der Verteilung der Aktivitätenpotenziale im Raum sowie mit deren sozio-ökonomischen Eigenschaften in Verbindung stehen.

Quantitativ wurde in der Schweiz der Einfluss von räumlichen Faktoren auf den Zusammenhang zwischen Verkehrsangebot und Verkehrs nachfrage für verschiedene zueinander im Wettbewerb stehende Verkehrsmittel bisher noch wenig untersucht.

Das vorliegende Forschungsprojekt «Verlagerungspotenziale nach Erreichbarkeit und Raumtyp» leistet einen Beitrag dazu, die quantitativen Zusammenhänge zwischen Verkehrsangebot und -nachfrage nach Verkehrsmittel unter Berücksichtigung räumlicher Einflussfaktoren zu verstehen.

1.2 Forschungsfragen

Der quantitative Zusammenhang zwischen Verkehrsnachfrage, Verkehrsangebot unter Berücksichtigung räumlicher Charakteristiken wurde in der Schweiz bisher nur partiell untersucht. Mit der vorliegenden Forschungsarbeit sollen die Abhängigkeiten und Wirkungszusammenhänge zwischen Raum, Verkehrsnachfrage und Angebotsqualität einzelner Verkehrsmittel flächendeckend für die gesamte Schweiz untersucht werden.

Konkret sollen mit einer Raumtypisierung, und einer Analyse der Nachfrage- und Angebotsverhältnisse, die für die einzelnen Raumtypen vorhandenen Verlagerungspotenziale für vier Verkehrsmittel ermittelt werden. Auf Basis dieser Potenziale sollen Schlussfolgerungen für die Angebotsplanung und eine mögliche Nachfragebeeinflussung abgeleitet werden können.

Folgende Forschungsfragen stehen dabei im Vordergrund:

- Welche Raumtypologie eignet sich, um die für die Schweiz relevanten räumlichen Voraussetzungen mit Einfluss auf das Verkehrsangebot und die Verkehrsnachfrage zu beschreiben?
- Welchen Einfluss hat das Verkehrsangebot auf die Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in unterschiedlichen Raumtypen?
- Wie gross sind die Raumtyp-spezifischen Nachfragepotenziale nach Verkehrsmittel? Welche räumlichen Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit sich ein Ausbau des Angebots eines bestimmten Verkehrsmittels in einer entsprechend verlagerten bzw. induzierten Nachfrage niederschlägt?
- Welche Räume resp. Raumtypen eignen sich besonders für weitere Investitionen in den öffentlichen Verkehr sowie den Fuss- und Veloverkehr? Auf welche Raumtypen soll sich die Angebotsentwicklung der einzelnen Verkehrsmittel konzentrieren? Und bei welchen Raumtypen sind keine Verlagerungspotenziale mehr vorhanden? Welche wirtschaftlichen Aspekte sind in Zusammenhang mit dieser Gestaltung des Verkehrsangebots zu berücksichtigen?

1.3 Vorgehen und Methodik

1.3.1 Methodischer Ansatz

Das Forschungsprojekt möchte für die künftige Verkehrsplanung Empfehlungen hinsichtlich der Verlagerung der Verkehrsnachfrage zwischen den Verkehrsmitteln aufgrund von Angebotsveränderungen und unter Berücksichtigung räumlicher Charakteristiken abgeben.

Ein Zwischenziel ist die Aufarbeitung der verschiedenen Zusammenhänge sowie eine Quantifizierung von Angebots-Nachfrage-Elastizitäten. Solche Elastizitäten ermöglichen Aussagen dazu, welche Veränderung in der Nachfrage eines Verkehrsmittels sich durch die Veränderung des Angebots erreichen lässt.

Viele Studien befassten sich bereits mit der empirischen Schätzung von Nachfrageelastizitäten für die Schweiz. Dabei stützten sie sich in der Regel direkt auf verschiedene Angebotscharakteristika eines Verkehrsmittels (z.B. Reisezeit, Anzahl Umsteigevorgänge etc.). Zudem leiten Sie die resultierende Nachfrage aus Entscheiden auf individueller Ebene ab. (Vrtic et al. 2000 [1]) stellten dabei fest, dass für den effektiven Einsatz von Elastizitäten für die strategische Verkehrsplanung das Anwendungsgebiet ähnliche räumliche Eigenschaften aufweisen sollte wie das Untersuchungsgebiet bei Herleitung der Elastizitäten.

Das vorliegende Forschungsprojekt untersucht den Einfluss der räumlichen Charakteristiken auf Angebots-Nachfrage-Wechselwirkungen mit einem neuen, bisher unerprobten Ansatz:

- Der Zusammenhang zwischen Angebot und Nachfrage wird auf einer räumlich **aggregierten Ebene** – für die rund 2'200 Gemeinden der Schweiz – quantifiziert.¹ Die zugehörige Annahme ist, dass sich Unterschiede im Verkehrsangebot, unterstützt durch räumlich differenzierte, dynamische und komplexe Prozesse der Raum- und Verkehrsplanung im Wechselspiel mit der Nachfrageentwicklung, in Unterschieden bei der verkehrsmittelspezifischen Nachfrage manifestieren.
- Die Quantifizierung von Angebots-Nachfrage-Elastizitäten erfolgt über einen **Vergleich von Unterschieden in den Angebots- und Nachfrageniveaus** der politischen Gemeinden in der Schweiz. Da die Daten eine Momentaufnahme abbilden, handelt es sich um eine statische Analyse. Das Ziel ist dabei nicht, einzelne Effekte in der Vergangenheit zu identifizieren oder zu differenzieren, sondern die sich daraus tatsächlich ergebenden Unterschiede auf aggregierter Ebene sichtbar zu machen.
- Unter Berücksichtigung von Nachfrageverhältnissen und **räumlichen Charakteristiken**, soll der Einfluss des Angebots räumlich differenziert ermittelt werden. Räumliche Einheiten mit ähnlichen räumlichen Eigenschaften werden dabei zu einem **Raumtyp** zusammengefasst. Ein Raumtyp wird über eine für ihn typische räumliche Charakteristik definiert.
- Zur Beschreibung des Angebots werden **Erreichbarkeitsmasse** (als Kombination aus Potenzial- und Distanzmassen) verwendet, welche für vier unterschiedliche Verkehrsmittel (motorisierter Individualverkehr, ÖV, Fuss- und Veloverkehr) berechnet werden.
- Zur Erfassung von Unterschieden in der Verkehrsmittelnutzung wird auf die Nachfrage abgestellt, gemessen an den **Modal-Split-Anteilen** der Verkehrsmittel.

¹ Modal-Split-Veränderungen werden somit nicht auf Basis von Mikrodaten oder aus individuellen Entscheidungen (also nicht aus einzelnen Beobachtungen des Mikrozensus oder SP-Befragungsdaten) hergeleitet, sondern durch einen Vergleich auf der Makroebene. Mit einem Vergleich verschiedener räumlicher Einheiten innerhalb eines Raumtyps lässt sich so auf den Zusammenhang zwischen Angebot und Nachfrage schliessen – unter Berücksichtigung der räumlichen Charakteristiken.

Mit diesem Ansatz wird auf verschiedene Herausforderungen reagiert:

- Die Herausforderungen und Datenanforderungen bei Verwendung von Modellen auf individueller Ebene wären angesichts der komplexen Zusammenhänge auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Ebenen im Vergleich deutlich höher.
- Der statische Vergleich nimmt einerseits in Kauf, dass sich die Gemeinden in unterschiedlichen Stadien des Entwicklungsprozesses befinden und nutzt andererseits die unterschiedlichen Ausprägungen des Verkehrsangebots als Grundlage für Aussagen zum Verlagerungspotenzial.
- Durch Verwendung von Erreichbarkeitsmassen wird in Kauf genommen, dass diese sowohl räumliche Charakteristiken eines Raums aufnehmen als auch das bereitgestellte Verkehrsangebot beschreiben. Sie haben umgekehrt den Vorteil, dass sie die Angebotsverhältnisse verschiedener Verkehrsmittel in vergleichbarer Weise darstellen.
- Durch Berücksichtigung von geeigneten räumlichen Eigenschaften der Gemeinden werden diese so weit wie möglich aus dem Zusammenhang zwischen Angebot und Nachfrage eliminiert. Durch die Gruppierung von ähnlichen Gemeinden in Raumtypen lassen sich zudem die Aussagen eher verallgemeinern.

Der Zusammenhang zwischen Verkehrsangebot und Nachfrage wird somit anhand einer statistischen Analyse auf Ebene der politischen Gemeinden – zusammengefasst zu Raumtypen – untersucht. Die Differenzierung nach Raumtyp ermöglicht es, die Zusammenhänge unter Berücksichtigung der räumlichen Eigenschaften einzuordnen.

Die folgende Abbildung zeigt das methodische Konzept des Forschungsprojektes in vereinfachter Form.

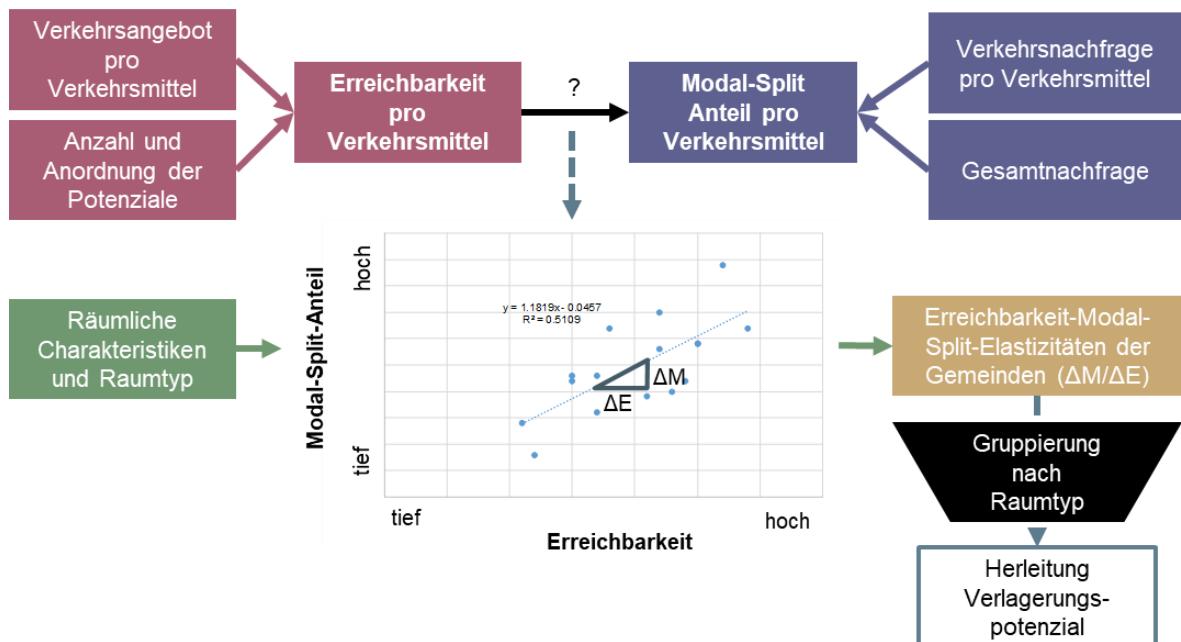


Abb. 1 Konzept zur Herleitung der Verlagerungspotenziale nach Raumtyp

Zur Illustration des Ansatzes enthält die Abbildung eine stark vereinfachte Darstellung mit *fiktiven* Werten der Erreichbarkeit und des Modal-Split eines ausgewählten Verkehrsmittels. Jeder Punkt steht für eine Gemeinde der Schweiz. Auf der Y-Achse ist der Modal-Split-Anteil aufgetragen – der zu erklärende Teil. Auf der X-Achse ist die Erreichbarkeit abgetragen – der erklärende Teil. Weil es sich dabei um eine Betrachtung von Gemeinden handelt, zeigt die Analyse auch, wie erfolgreich eine Gemeinde bei der Umsetzung von Angebotsvorteilen in Modal-Split-Anteile ist. Die «Steigung» der resultierenden «Regressionsgerade» lässt sich dabei als die gesuchte Elastizität interpretieren. Es kann sich dabei auch um eine Kurve handeln, die je nach Niveau der Erreichbarkeit oder des Modal-Splits eine

andere Steigung aufweist. Aufgrund der Definition der Elastizität als Steigung gilt diese in einem beschränkten Bereich der Kurve auf beide Seiten, also sowohl bei einer Erhöhung als auch bei der Abnahme der Erreichbarkeit.

Im fiktiven Beispielgraphen lassen sich Unterschiede beim Modal-Split nicht allein durch Unterschiede bei der Erreichbarkeit erklären. So weichen einige Punkte (deutlich) von der hergeleiteten Kurve ab. Durch Berücksichtigung räumlicher Aspekte und weiterer auf Gemeindeebene aggregierter Variablen im Schätzmodell soll der Einfluss der Erreichbarkeit auf den Modal-Split isoliert werden. Zentral für das Gelingen dieses Ansatzes ist deshalb auch die Herleitung geeigneter räumlicher Charakteristiken sowie weiterer mitwirkender räumlicher und sozio-ökonomischer Variablen der betrachteten Gemeinden.

1.3.2 Ablauf des Projekts

Die folgende Abbildung zeigt den Ablauf des Forschungsprojekts in Arbeitspaketen (AP), mit den Meilensteinen und Sitzungen der Begleitkommission (BK).

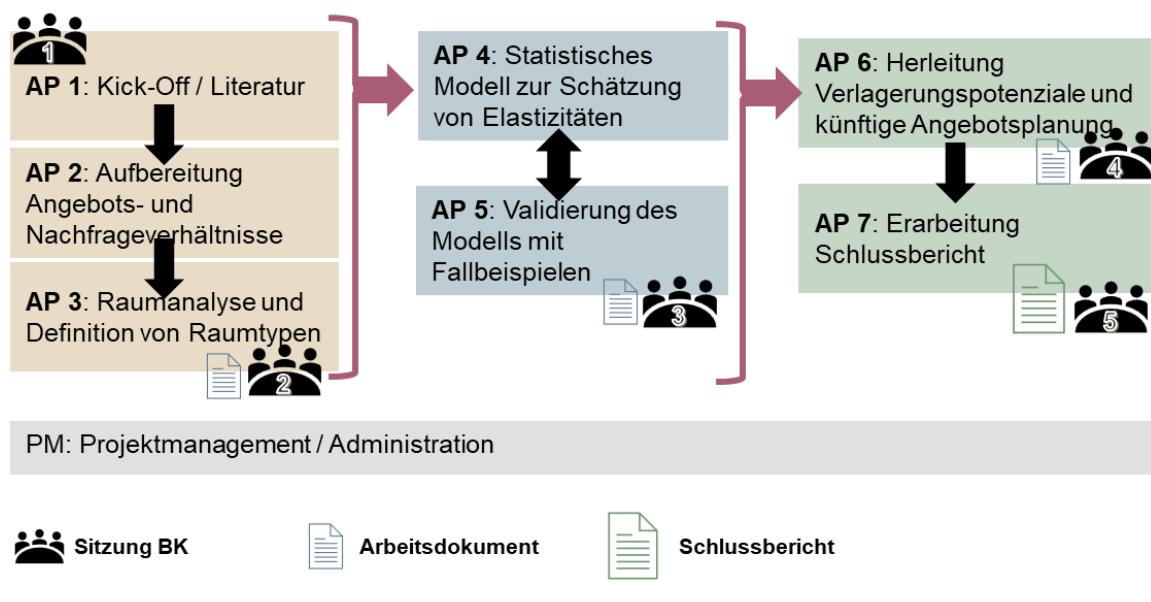


Abb. 2 Gliederung des Vorgehens in Arbeitspakete

Phase 1: Aufarbeitung der Hauptkomponenten (AP 1-3)

In einer ersten Phase werden die drei Hauptkomponenten – Verkehrsangebot, Verkehrsnachfrage und Raumtyp – analysiert. Methodisch basiert diese Analyse auf Literaturrecherchen und der Erstellung eines Wirkungsmodells (AP 1). In dieser Phase ist das Ziel, für die drei Hauptkomponenten einen Gesamtüberblick der Einflussfaktoren zu gewinnen. Das Wirkungsmodell fasst die relevanten Einflussfaktoren und Zusammenhänge zusammen.

Es folgt die Aufbereitung der Angebots- und Nachfrageverhältnisse (AP 2). Die relevanten Daten werden gesammelt und in einer Datenbank strukturiert. Das Angebotsverhältnis wird anhand eines Erreichbarkeitsindiz für vier Verkehrsmittel (Fussverkehr, Veloverkehr, Personenwagen und öffentlicher Verkehr) pro Gemeinde berechnet. Als Grundlage für die Berechnung der Indizes dient das Nationale Personenverkehrsmodell NPVM. In die Erreichbarkeit fließen Bevölkerungs- und Beschäftigtenzahlen sowie eine Widerstandskomponente ein. Die Nachfrageverhältnisse werden für jede Gemeinde anhand der Modal-Split-Anteile pro Verkehrsmittel berechnet. Als Grundlage für die Anteile dient neben dem NPVM auch der Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV).

Parallel zur Aufbereitung der Angebots- und Nachfrageverhältnisse erfolgt die Raumanalyse (AP 3). Auf Basis der Literaturrecherchen und des Wirkungsmodells werden die räumlichen Charakteristiken und verschiedenen Indikatoren dargelegt, die zur Definition der Raumtypen führen. Als Datenquellen zur Beschreibung der räumlichen Charakteristiken dienen insbesondere die Geodaten des Bundes sowie weitere öffentlich zugängliche Daten (z.B. OpenStreetMap).

Phase 2: Schätzung der Elastizitäten und Validierung (AP 4-5)

Auf Basis der in Phase 1 aufbereiteten Hauptkomponenten können in einem zweiten Schritt die Nachfrageelastizitäten hergeleitet werden (AP 4). Dabei werden die auf Gemeindeebene erhobenen Daten mit Regressionsanalysen ausgewertet und pro Verkehrsmittel der statistische Zusammenhang zwischen Angebots- und Nachfrageverhältnis in Form von Elastizitäten ermittelt. Mit dem Einbezug des Raumtyps als Variable können die gewonnenen Elastizitäten nach Raumtyp differenziert werden.

Mit Verkehrsmittel-spezifischen Fallbeispielen werden verschiedene Veränderungen der Angebotsverhältnisse untersucht (AP 5). Dabei wurden verschiedene Szenarien der Veränderung des Verkehrsangebots für ausgewählte Gemeinden definiert, deren Wirkung auf die Modal-Split-Anteile über zwei Ansätze ermittelt. Einerseits mittels NPVM-Modellauf und andererseits über die modellierten Elastizitäten

Phase 3: Herleitung von Verlagerungspotenzialen und Berichterstattung (AP 6-7)

In der letzten Phase werden für die einzelnen Raumtypen Aussagen zu den Verlagerungspotenzialen hergeleitet. Dazu soll mittels der berechneten Elastizitäten die Beeinflussbarkeit der Modal-Splits der vier Verkehrsmittel pro Raumtyp beurteilt werden. Zusätzlich wird untersucht, wie stark sich die Erreichbarkeit durch Veränderung der Widerstandskomponenten überhaupt verändert lässt. Schliesslich werden ausgehend von generalisierten Modal-Split-Veränderungen grobe Abschätzungen zum absoluten Nachfragepotenzial beigezogen.

1.3.3 Struktur und Aufbau des Berichts

Die Struktur dieses Berichts orientiert sich stark an den oben im Ablauf dargestellten Arbeitspaketen:

- In **Kapitel 2** werden die Grundlagen zum Zusammenhang zwischen Raum, Verkehrsangebot und Verkehrsverfrage erarbeitet. Mithilfe der Erkenntnisse aus der Literaturanalyse werden die relevanten Einflussfaktoren in einem Wirkungsmodell dargestellt.
- In **Kapitel 3** wird die Herleitung der für die Gemeinden aufbereiteten Angebotsverhältnisse für die vier untersuchten Verkehrsmittel beschrieben. Die Angebotsverhältnisse werden anhand von Karten visualisiert. Die Aufarbeitung erfolgt auf Grundlage des nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM) für den Fussverkehr, das Velo, den Personenwagen und den öffentlichen Verkehr.
- **Kapitel 4** zeigt die Nachfrageverhältnisse der vier Verkehrsmittel in den Gemeinden der Schweiz sowie ihre Herleitung. Die Verkehrsverfrage wird anhand von Modal-Split-Anteile dargestellt, pro Gemeinde und für die untersuchten Verkehrsmittel. Als Datengrundlage für die Modal-Split-Anteile werden der Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) und das nationale Personenverkehrsmodell (NPVM).
- Das **Kapitel 5** beschreibt die zur Gruppierung und Analyse der Gemeinden verwendete Raumtypologie. Im Rahmen der Raumanalyse wurden die relevanten räumlichen Eigenschaften identifiziert und in einer Datenbank auf Gemeindeebene zusammengestellt. Die verschiedenen Faktoren mit Einfluss auf den Raum, die Verkehrsverfrage und das Verkehrsangebot wurden bei der Erstellung des Wirkungsmodells gesammelt und im Modell zusammengefasst. Aufbauend auf der Raumanalyse wurden Raumtypen definiert und Gemeinden mit ähnlichen räumlichen Eigenschaften den verschiedenen Raumtypen zugeordnet.

- In **Kapitel 6** zeigt das gewählte Vorgehen und die Ergebnisse des statistischen Modells zur Schätzung von Angebots-Nachfrage-Elastizitäten (Erreichbarkeits-Modal-Split-Elastizitäten).
- In **Kapitel 7** werden Fallbeispiele zur Validierung der Elastizitäten durchgespielt.
- In **Kapitel 8** werden die aufgearbeiteten Grundlagen interpretiert und Aussagen zu den Verlagerungspotenzialen und zur künftigen Angebotsentwicklung gemacht.
- In **Kapitel 9** sind die Antworten auf die Forschungsfragen sowie der weitere Forschungsbedarf bzw. die offenen Fragen zusammengefasst.

2 Methodische Grundlagen zum Zusammenhang Raum & Verkehr

In diesem Kapitel steht die Identifizierung der in der Literatur beschriebenen Zusammenhänge zwischen Verkehrsangebot, Raum und Verkehrs nachfrage im Zentrum.

Dazu wird zunächst das Ergebnis der durchgeföhrten Literaturanalyse dargestellt (Abschnitt 2.1), welches der Identifizierung der relevanten räumlichen Einflussfaktoren dient. Danach werden die Einflussfaktoren in einem vereinfachten Modell zur Verwendung in der quantitativen Analyse dargestellt (Abschnitt 0).

2.1 Bedeutung von Raum und Verkehrsangebot für die Verkehrs nachfrage

Es existieren zahlreiche Modelle zur Darstellung und Erfassung der verschiedenen Zusammenhänge zwischen Raum, Verkehrsangebot und Verkehrs nachfrage (z.B. [2], [3], [4], [5], [6]). Die drei Komponenten werden meist in einem komplexen und dynamischen Zusammenhang mit vielen gegenseitigen Abhängigkeiten dargestellt.

Die meisten Modelle stellen das Verkehrsangebot als zu steuerndes Element an den Beginn eines Wirkungskreislaufs. Der Raum spielt dabei je nach Modelltyp eine unterschiedliche Rolle: als vom Verkehrsangebot mitgestalteter «Nachfragelieferant» (vgl. Typ A), als von der Verkehrs nachfrage mitgeprägtes Element (Typ B) oder als allgegenwärtige Komponente die sowohl Verkehrs nachfrage als auch das Verkehrsangebot prägt (Typ C).

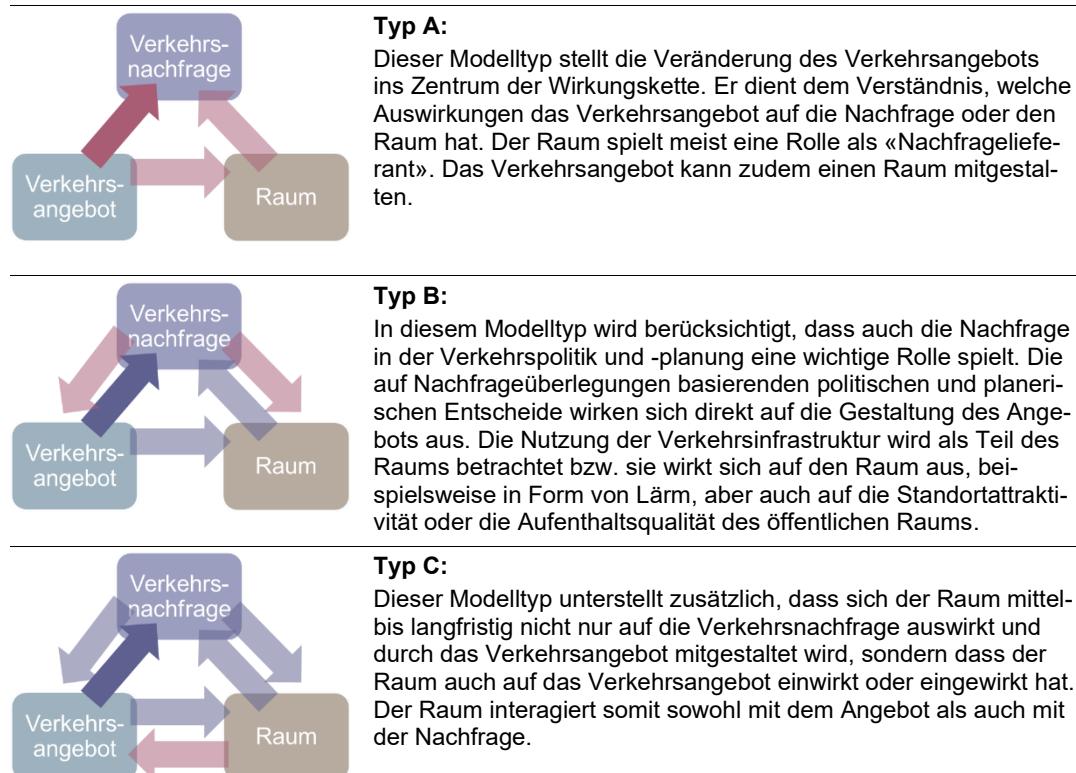


Abb. 3 Modelle zur Beschreibung der Abhängigkeiten zwischen Raum, Verkehrsangebot und Verkehrs nachfrage

Für alle Modelltypen lassen sich weitere Spezifizierungen vornehmen. So können die Modelle auf technische Faktoren des Verkehrsangebots fokussieren, oder sie können kulturelle, sozio-ökonomische und verhaltenspsychologische Aspekte der Verkehrsmittelwahl und der Wahl der Mobilitätswerzeuge miteinbeziehen.

Bezogen auf die Verkehrsplanung kann dabei je nach Modell auch von einer anderen **Planungsphilosophie** gesprochen werden. Dabei dominieren je nach Raum und Epoche unterschiedliche Philosophien der Raum- und Verkehrsplanung. Die zentralen Philosophien sind dabei die angebotsgesteuerte Nachfragelenkung (Push/Pull, Modell Typ A), die nachfrageinduzierte Angebotsgestaltung (Modell Typ B) sowie die integrierte Raum- und Verkehrsplanung (Modell Typ C).

Bei ersterer wird argumentiert, dass das Angebot die Nachfrage bestimmt, neue Angebote also zusätzliche Nachfrage schaffen und die Einschränkung des Angebots die Nachfrage senkt. Bei der zweiten wird postuliert, dass sich das Verkehrsangebot an der (erwarteten) Nachfrage ausrichten sollte, es muss bei sehr hoher Auslastung oder Überlastung des Systems ein zusätzliches Angebot bereitgestellt werden und bei zu geringer Nachfrage das Angebot – insbesondere aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen – reduziert werden. Letztere Philosophie versucht, Raum- und Verkehrsentwicklung gleichzeitig zu betrachten und ein Optimum aus Angebot und Nachfrage der verschiedenen Verkehrsmittel herzustellen, wobei sie sich dabei an Qualitäts-, Sicherheits-, Umwelt- und Effizienzz Zielen orientiert. Darüber hinaus gilt für alle Modelltypen, dass die Verkehrspolitik vielerorts auch von der Regionalpolitik, von der Tourismuspolitik, der technologischen Entwicklung und von internationalen Rahmenbedingungen überlagert wird.

Für die vorliegende Analyse wird das Modell von Typ C unterstellt. Der Raum beeinflusst damit nicht nur die Nachfrage, sondern ist auch ein bestimmender Faktor in der Gestaltung des Verkehrsangebots. Der Raum wird explizit oder implizit in der Verkehrspolitik und -planung mitberücksichtigt und er beeinflusst die aus Planer- und Nutzersicht wahrgenommene Eignung eines Verkehrsmittels zur Erschliessung und Überwindung dieses Raums.

Um anschliessend in einem statistischen Modell die Zusammenhänge zwischen Raum, Angebot und Nachfrage modellieren zu können, insbesondere den Einfluss des Angebots auf die Nachfrage und die Interaktion mit dem Raum, werden nachfolgend die wichtigsten Zusammenhänge aus der Literatur erläutert. Im Fokus steht dabei auch die Identifizierung möglicher Variablen zur Beschreibung räumlicher Eigenschaften auf aggregierter Ebene, welche im statistischen Modell verwendet werden sollen, um deren Einfluss auf die Verkehrsnachfrage pro Verkehrsmittel von der Wirkung des Verkehrsangebots zu trennen.

Die nachfolgenden Abschnitte beleuchten dabei auf Basis bestehender Literatur einzelne Wirkungsbeziehungen:

- Wirkung des Raums auf das Verkehrsangebot
- Wirkung des Raums auf die Verkehrsnachfrage und die Verkehrsmittelwahl
- Wirkung von Verkehrsangebot auf die Verkehrsnachfrage und die Verkehrsmittelwahl
- Wirkung der Verkehrsnachfrage auf das Verkehrsangebot (Verkehrsplanung)
- Wechselwirkung zwischen Verkehrsangebot und Raum
- Studien mit Hinweisen zum Verlagerungspotenzial

2.1.1 Raum und Verkehrsangebot

Gemäss LITRA-Studie [7] bilden Raum und Topografie die physische Grundlage des Transportangebots. Dabei werden gewisse Verkehrsmittel durch die räumlichen Strukturen begünstigt, während andere weniger geeignet sind. Ähnlich erläutern Rodrigue et al. [8], dass physische bzw. natürliche Attribute des Raums die Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur lenken. Viele Transportnetzwerke folgen dem am einfachsten zu überwindenden

Pfad, meist entlang von Tälern und über Ebenen. Als wichtigste physische Hindernisse² nennt er die Topografie, die Hydrologie sowie das Klima:

- Die **Topografie** fungiert als absolute oder relative Barriere für die Mobilität. Absolute Hindernisse müssen mit geeigneten Infrastrukturen (z.B. Brücken), durch Umfahrung (erhöht die Reisezeit) oder durch einen Wechsel des Verkehrsmodus (z.B. vom Auto zur Fähre) überwunden werden. Relative Barrieren können einfacher überbrückt werden, benötigen dafür aber zusätzliche Energie oder Zeit (z.B. steile und kurvige Strecken).
- Die **Hydrologie** – also Fliessgewässer, Gletscher und Seen – stellt oft eine absolute Barriere für den Landtransport dar, der nur mittels spezialisierter Infrastruktur (z.B. Brücken, Tunnels) oder Umwege überwunden werden kann.
- Das **Klima** – Wind, Temperatur, Niederschlag – beeinflusst die Mobilität auf verschiedene Arten. So steigen die Bau- und Unterhaltskosten in schwierigen Bedingungen an. Zudem stellen auch Überschwemmungen, Murgänge oder starke Temperaturschwankungen ein Risiko für die Infrastruktur dar.

Für die Schweiz hat die Studie *Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen* (Weidmann et al. 2011 [9]) untersucht, welche Siedlungsstruktur für welche Verkehrsmittel am geeignetsten ist. Die Studie identifiziert dabei verschiedene Strukturtypen (geschlossen, sternförmig, achsenförmig, verzweigt, dispers). Insbesondere bei verzweigten und achsenförmigen Strukturtypen sei die Siedlungsausdehnung meist durch die Topografie vorgegeben. Auch die Verkehrsachsen und Verkehrsströme folgen in der Regel diesen vorgegebenen oder gewachsenen Strukturen:

- **Sternförmige, verzweigte und achsenförmige** Strukturen ergeben sich meist aus topografischen Zwängen (Täler, hügeliges Gelände). Topographisch schwierige Lagen gehen gemäss den Autoren oft mit einer geringeren Siedlungsdichte einher.
- **Disperse oder geschlossene** Strukturen liegen dort vor, wo die Siedlung durch die Topografie nicht begrenzt ist oder wenn die Siedlung nicht bis an topographische Grenzen heran reicht. Disperse und geschlossene Strukturtypen unterscheiden sich vor allem in ihrer Siedlungsdichte.

Die Autoren verknüpfen diese Strukturtypen auch mit dafür jeweils typischen Siedlungsdichten, Verkehrssystemen und Intensitäten der Verkehrsnachfrage. Das Angebot des öffentlichen Verkehrs beschränkt sich an topografisch schwierigen Lagen oft auf Regionalbahnen und den Bus. Das Hauptverkehrsmittel ist dort der MIV. In solchen Lagen und der auch daraus resultierenden geringen Siedlungsgrössen habe der Fussverkehr einen Vorteil gegenüber dem öffentlichen Verkehr.

Nicht zuletzt sind auch die Infrastrukturstarken von ausgewählten Aspekten des Raums abhängig. Eine Studie zu Infrastrukturstarken nach Siedlungstyp zeigt auf, dass die Kosten der Erschliessung je nach Bauweise und Ortstyp unterschiedlich sind (Ecoplan/B+S/Hunziker 2017 [10]). Die Durchschnittskosten zur Erschliessung von Siedlungen mit Gemeindestrassen sowie die Folgekosten des Verkehrs (externe Kosten, ungedeckte Kosten im ÖV) sinken mit der Dichte der erschlossenen Siedlung.

Im Fuss- und Veloverkehr wird der Topografie sowie dem Klima und lokal dem Wetter (und damit auch der Höhenlage) ein Einfluss auf dessen Eignung zugeschrieben. Bei häufigen Extremereignissen hat das Wetter auch auf das Fortkommen im motorisierten Individualverkehr und im öffentlichen Verkehr einen Einfluss. Einen signifikanten Einfluss der Topografie und der Witterungsverhältnisse auf die Zahl der Veloetappen pro Person in Agglo-

² Daneben existieren auch «arbiträre» oder künstliche Hindernisse der Mobilität. Dazu zählen u.a. Landesgrenzen und unterschiedliche regionale Gesetzgebungen (oder auch Sprachgrenzen).

merationen finden beispielsweise Büro für Mobilität et al. 2015 [11]. Diese externen Bedingungen lassen sich gemäss den Autoren durch die Verkehrsplanung kaum beeinflussen, weshalb dadurch immer Unterschiede in der Velenutzung existieren werden.

Die Raumstruktur prägt die Entstehung von Verkehrsinfrastrukturen. Zusätzlich beeinflusst sie aus Planer- und Nutzersicht die «Eignung» der verschiedenen Verkehrsmittel zur Überwindung eines Raums.

Neben Bau und Unterhalt ist die Raumstruktur auch im Betrieb relevant: Die Überwindung starker Steigungen führt zu einem erhöhten Energieverbrauch und reduziert die Geschwindigkeit. Die Steigung muss durch geeignete Streckenführung oder über Umwege überwunden werden. Der Bau und Unterhalt dieser Infrastrukturen ist ressourcenintensiv, insbesondere bei schwierigen geologischen, topografischen und klimatischen Bedingungen.

Ganz grundsätzlich beeinflussen Topografie und lokales Klima damit die Eignung eines Verkehrsmittels zur Überwindung eines Raums. Sie beeinflussen die Effizienz im Betrieb der verschiedenen Verkehrsmittel (Geschwindigkeit, Kapazität, Betriebskosten, Energieverbrauch etc.) sowie die Möglichkeiten und Kosten in Bau und Unterhalt der Verkehrsinfrastrukturen (Bau- und Unterhaltskosten, Schutz etc.). Diese Aspekte werden einerseits durch die Verkehrspolitik und -planung antizipiert, spielen aber auch bei der Verkehrsmittelwahl eine Rolle.

Mögliche aggregierte räumliche Charakteristiken: Topografische, hydrologische und künstliche Hindernisse, Klima/Witterungsbedingungen, Raumstruktur, Bebauungstyp, Siedlungsdichte

2.1.2 Raum und Verkehrs nachfrage / Verkehrsmittelwahl

Der Raum ist über die Raumstruktur und das Klima nicht nur ein bestimmender Faktor bezüglich der Realisierung und Aufrechterhaltung der Verkehrsinfrastruktur sowie der von Planung und Nutzern wahrgenommenen Eignung der Verkehrsmittel zu dessen Überwindung (vgl. vorangehende Abschnitte), sondern spielt auch eine massgebende Rolle bei der Verkehrserzeugung.

Das grundsätzliche Mobilitätsbedürfnis wird durch Bedürfnis nach Aktivität (Arbeiten, Einkaufen, Freizeit etc.) begründet. Die potenziellen Aktivitäten sind dabei im Raum verteilt. Um an der Aktivität teilnehmen zu können, muss der Raumwiderstand zwischen Quelle und Ziel überwunden werden.

In Verkehrsmodellen wird meist in einer ersten Stufe die **Verkehrserzeugung** eines Raums über demografische und sozio-ökonomische Faktoren bestimmt, z.B. auch im Nationalen Personenverkehrsmodell (ARE 2020 [12]). Wichtige räumliche Einflussgrössen sind dabei Lage, Art und Anzahl der Bevölkerung, aber auch die räumliche Konzentration von bestimmten sozio-demografischen und -ökonomischen Faktoren oder der davon beeinflusste Besitz von Mobilitätswerkzeugen spielen eine Rolle. Räumliche Faktoren bestimmen somit massgeblich das Bedürfnis nach Ortsveränderung mit.

In einem zweiten Modellierungsschritt wird meist ermittelt, wohin diese Wege führen (Zielwahl) und mit welchem Verkehrsmittel (Verkehrsmittelwahl) diese zurückgelegt werden. Die erzeugten Wege werden dabei unter Berücksichtigung von Lage, Art und Anzahl von potenziellen Zielen (Arbeitsplätze, Schulen, Freizeiteinrichtungen) im Raum verteilt. In der aktuellen Version 2017 des nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM) der Schweiz werden Ziel- und Verkehrsmittelwahl in einem einzigen Verfahrensschritt ermittelt. Dies zeugt vom Verständnis, dass es sich dabei um einen komplexen, iterativen Entscheidungsprozess handelt. Spätestens im letzten Modellierungsschritt (Routenwahl) müssen neben Entscheiden auf individueller Ebene auch Aspekte auf aggregierter Ebene (z.B. erwartete Auslastung der Verkehrsinfrastruktur / Belastung der Verkehrsmittel) einbezogen werden. Dabei wird in einem iterativen Prozess die Verkehrsmittel- und Routenwahl optimiert, bis im System ein Gleichgewicht zwischen Verkehrsangebot und Nachfrage entsteht.

Das für Ortsveränderungen verfügbare Zeitbudget pro Person wird dazu bei Erwachsenen als nahezu konstant angenommen (ARE 2018 [13]). Auch die **Anzahl Ausgänge und Wege pro Tag und Person** sind weitgehend konstant. Je nach Angebot an Zielen sowie dem Raumwiderstand werden diese Wege oder die Zeit in kürzere oder längere Distanzen investiert. Die zurückgelegte Distanz variiert dabei mit der Dichte des Wohnumfelds: Menschen in dichten Gebieten legen für alle Verkehrszwecke im Inland (auch für die Freizeit) **kürzere Distanzen** zurück.

Als Erklärungsansatz im Vordergrund steht dabei die **Siedlungsstruktur** bzw. die **räumliche Verteilung** der potenziellen Aktivitäten. Je mehr, und je mehr verschiedene potenzielle Aktivitäten im Umfeld präsent sind, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, die gewünschte Aktivität in weiterer Entfernung suchen zu müssen. Entsprechend geringer ist der für die verschiedenen Aktivitäten zu überwindende Raumwiderstand. Bezogen auf das Umfeld eines Ausgangspunkts kann dabei von der **Dichte** (mehr) sowie der **Diversität** (verschiedene) der Aktivitätenpotenziale gesprochen werden. Als Mass für die Distanz zwischen Aktivitätenpotenzialen hat sich dabei auch die räumliche **Dispersion** etabliert (Schwick et al 2011 [14]). Die Dispersion misst, wie weit verschiedene Siedlungseinheiten oder Aktivitätenpotenziale auseinanderliegen. Je weiter diese auseinanderliegen, desto grössere Distanzen müssen zurückgelegt werden und desto eher werden bei beschränktem Zeitbudget schnelle Verkehrsmittel bevorzugt.

Die Meta-Analyse von Aston et al. 2021 [15] untersucht den **Einfluss der Siedlungsstruktur auf die Nachfrage im öffentlichen Verkehr**. Als signifikant haben sich insbesondere der Landnutzungsmix sowie das Verhältnis zwischen Einwohnern und Arbeitsplätzen (relative Dichte) erwiesen, welche beide auch für die Diversität stehen. Auch Dichteindikatoren zeigen signifikante Korrelationen mit der Nutzung des öffentlichen Verkehrs. Für die Nutzung des ÖV ist zudem auch die Fussgängeranbindung der Zugangspunkte wichtig. Auch wenn die untersuchten Studien in ihrer Methodik stark variieren (Auswahl der Faktoren, Messgrössen zur Nutzung des öffentlichen Verkehrs, Untersuchungsraum) sind die Resultate mit den für die Schweiz vorliegenden Schlussfolgerungen konsistent (siehe unten).

Nachfolgend wird auf den Einfluss der Faktoren Dichte, Diversität und Sozio-Ökonomie auf die Verkehrsmittelwahl eingegangen.

a) Dichte

Die verschiedenen Verkehrsmittel erreichen je nach Beschaffenheit des zu überwindenden Raums unterschiedliche Geschwindigkeiten. Im Fussverkehr können innert einer Stunde rund 3-8 km, mit dem Velo rund 7-20 km, mit dem ÖV 20-180 km und mit dem MIV etwa 30-130 km zurückgelegt werden. Auf lose bebauten, geraden und flachen Strecken lassen sich dabei höhere Geschwindigkeiten erzielen als in dicht bebautem, hügeligem oder verzweigtem Terrain.

Nicht überraschend ist deshalb, dass die Dichte des Wohnorts – und damit die Wahrscheinlichkeit in unmittelbarer Nähe geeignete Aktivitäten zu finden – gemäss Studie ARE 2018 [13] einen signifikanten Einfluss auf die Nachfrage nach den verschiedenen Verkehrsmitteln und auf den Modal-Split hat:

- Gebiete **mit geringer Bevölkerungs- und Beschäftigtendichte** im Wohnumfeld weisen hohe Anteile im motorisierten Individualverkehr und tiefe Anteile im öffentlichen Verkehr auf. Sie müssen in der verfügbaren Zeit eine grosse Distanz zurücklegen, um ihre Wunschkaktivitäten wahrnehmen zu können. Dafür eignen sich schnelle Verkehrsmittel besonders. Die Parkplatzverfügbarkeit ist in dünn bebauten Gebieten oft hoch.
- Mit **höherer Bevölkerungs- und Beschäftigtendichte** im Wohnumfeld verschieben sich die Anteile vom motorisierten Individualverkehr zum öffentlichen Verkehr und zum Fussverkehr. Die Notwendigkeit, grosse Distanzen zurückzulegen, um an verschiedenen Aktivitäten teilzunehmen, sinkt mit zunehmendem Angebot an Aktivitäten im unmittelbaren Umfeld. Zudem steigen die Kosten des motorisierten Individualverkehrs in dicht bebauten lagen an (weniger Parkplätze, tiefere Geschwindigkeit). Dabei gibt es

auch Schwellenwerte der Dichte, ab welchen im ÖV keine zusätzlichen Verkehrsanteile hinzugewonnen werden können oder bei dem der motorisierte Individualverkehr nicht mehr weiter abnimmt.³

Ähnliche Schlüsse zieht die Studie zum *Modal Split des Personenverkehrs in der Schweiz* (vgl. LITRA 2019 [7]). Sie besagt, dass der Modal Split stark mit dem Gemeindetyp variiert. Der verwendete Gemeindetyp bildet dabei Größen- und Dichtekriterien ab.⁴

Die ARE-Studie [13] interpretiert die Ergebnisse so:

- In **dichten Gebieten** ist das Dienstleistungsangebot nah, die Distanzen kurz und die benötigte Geschwindigkeit klein, was bei konstantem Zeitbudget die Nutzung relativ langsamer Verkehrsmittel fördert. Dabei gibt es Schwellenwerte der Dichte, ab welchen bei einem Angebotsausbau keine zusätzlichen Verkehrsanteile hinzugewonnen werden können.
- In Gebieten **tiefer Dichte** ist das Dienstleistungsangebot weiter weg, die Distanzen lang und die benötigte Geschwindigkeit bei konstantem Zeitbudget zur Distanzüberwindung hoch, was die Nutzung schneller Verkehrsmittel fördert.
- Die verschiedenen untersuchten Dichte-Indikatoren zeigen alle ein ähnliches Bild. Der Grund ist, dass eine hohe Korrelation bzw. **Abhängigkeit zwischen den verschiedenen Dichteindikatoren** besteht.

Aufschlussreich ist ein in der Studie erstellter Vergleich zwischen lokaler ÖV-Erschliessungsgüte und Modalsplit. Er zeigt, dass Gebiete mit schlechter ÖV-Erschliessung auch den niedrigsten ÖV-Anteil aufweisen. Gebiete mit sehr guter ÖV-Erschliessung weisen hingegen den höchsten ÖV-Anteil auf. Die ÖV-Erschliessung korreliert damit sowohl mit der Bevölkerungs- und Beschäftigungsdichte als auch mit dem Modalsplit-Anteil des öffentlichen Verkehrs. Unklar bleibt dabei die Kausalität bzw. die Wirkungsrichtung: Hat in der Vergangenheit eine gute ÖV-Erschliessung zur Verdichtung beigetragen, oder hat die Verkehrsplanung gezielt an dichten Lagen eine gute ÖV-Erschliessung hervorgebracht (vgl. hierzu Abschnitt zu den Wechselwirkungen Verkehrsangebot – Raum in Abschnitt 2.1.4 oder zur historischen Entwicklung des Verkehrsangebot in Abschnitt 2.1.1).

Zur Erklärung beitragen könnte, worauf die Literatur aus den Abschnitten 2.2.1 und 2.2.2 hinweist, die Berücksichtigung weiterer räumlicher Eigenschaften, insbesondere von absoluten Größen, Diversitäts- und Dispersionsmassen oder von Indikatoren zu räumlichen Einschränkungen bei der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung. Diese könnten sowohl einen Einfluss auf die Siedlungsentwicklung und das Nachfragepotenzial haben als auch auf Aspekte der Wirtschaftlichkeit und Effizienz der verschiedenen Verkehrsmittel.

b) Diversität

Die Bedeutung der **Diversität** für die Verkehrs nachfrage ist intuitiv nachvollziehbar, denn bei zu starker Spezialisierung eines Gebiets (z.B. nur Wohnen, nur Arbeiten, nur Einkauf) muss zur Befriedigung der verschiedenen Bedürfnisse wie Arbeiten, Einkaufen, Bildung oder Freizeit eine grössere Distanz zurückgelegt werden:

- Ewing und Cervero 2010 [16] zeigen in ihrer Meta-Studie, dass die Diversität des Raums einen Zusammenhang mit der Nutzung der Verkehrsmittel aufweist. So ist der Einfluss des Landnutzungsmix auf die Nutzung des Fussverkehrs und des öffentlichen

³ Die verschiedenen untersuchten Dichte-Indikatoren zeigen dabei alle ein ähnliches Bild. Der Grund ist, dass eine hohe Korrelation bzw. Abhängigkeit zwischen den verschiedenen Dichteindikatoren besteht.

⁴ Die verwendete Gemeindetypologie des BFS (Stadt/Land-Typologie 2012) teilt die Gemeinden nach Dichtekennzahlen, Größenindikatoren, Pendlerbeziehungen, Wirtschaftsstruktur, Logiermächten und Erreichbarkeit einem Gemeindetyp zu.

Verkehrs signifikant. Für die Nutzung des motorisierten Individualverkehrs spielt die Diversität hingegen eine untergeordnete Rolle. Es haben vor allem die Erreichbarkeit (Reisezeit/Potenziale) und die Gestaltung des Strassennetzes einen grossen Einfluss auf die individuelle Nutzung des MIV. Interessant ist die Erkenntnis der Studie, dass Dichtekennzahlen zu Bevölkerung und Arbeitsplätzen nach Berücksichtigung der vorgenannten Faktoren nur noch von schwachem Einfluss sind.

- Zu vergleichbaren Aussagen bezüglich des Zusammenhangs von Diversität und Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs kommen auch Aston et al. [15] in einer internationalen Meta-Studie. Die Diversität wird dabei z.B. anhand des Landnutzungsmix oder am Verhältnis von Arbeitsplätzen und Einwohnern (relative Dichte) gemessen.⁵

c) Sozio-Demografie und Sozio-Ökonomie

In klassischen Modellen der Verkehrsmittelwahl spielt auch der Besitz von Mobilitätswerkzeugen eine Rolle. Diese ist wiederum mit dem Einkommen und mit dem für Abstellflächen verfügbaren Platz (und der baulichen Dichte) verknüpft. Als Mobilitätswerkzeuge im Vordergrund stehen dabei der ÖV-Abo-Besitz sowie der Besitz von Führerschein und PKW. Diese Variablen könnten auch auf aggregierter Ebene einen Einfluss auf die Nutzung der verschiedenen Verkehrsmittel haben.

Ingvardson und Nielsen 2018 [17] bestätigen für europäische Städte den Einfluss von aggregierten **soziodemografischen Faktoren**, welche die Reaktion der Verkehrsnachfrage auf die Ausweitung von Bahnangeboten beeinflussen. Mit einer geringeren Bahnbenutzung in Verbindung gesetzt werden so eine ausgeprägte wirtschaftliche Ungleichheit gemessen am **GINI-Index**, eine höhere Arbeitslosigkeit oder ein tieferes **Bruttoinlandprodukt (BIP) pro Kopf**.

Gemäss LITRA 2019 [7] deuten verschiedene Hinweise auf die Existenz **qualitativer räumlicher Merkmale** hin, welche die unterschiedliche Verkehrsmittelnachfrage in der Schweiz erklären. Die Anteile des ÖV (in % der Wege) in der Deutschschweiz ist so durchgängig und deutlich höher als in der Romandie und der italienischsprachigen Schweiz. Im NPVM werden daher Beziehungen innerhalb des gleichen Sprachraums mit einer höheren Wahrscheinlichkeit gewichtet als Beziehungen zwischen den Sprachräumen [12].

Verschiedene räumliche Charakteristiken wie Dichte, Diversität, Dispersion sowie Sozio-Ökonomie (insbesondere über den Besitz von Mobilitätswerkzeugen) haben einen Einfluss auf die Verkehrsnachfrage und die Verkehrsmittelwahl.

In dichten und diversen Räumen sind die Bedürfnisse innert kürzerer Distanz zu erreichen. In dispersen und stark spezialisierten Räumen müssen für ein breites Aktivitätenangebot längere Distanzen überwunden werden. Aufgrund des konstanten Zeitbudgets für Mobilität müssen längere Distanzen mit Verkehrsmitteln höherer Geschwindigkeit überwunden werden. Kürzere Distanzen können jedoch mit langsameren Verkehrsmitteln zurückgelegt werden.

Mögliche aggregierte räumliche Charakteristiken: Dichte, Diversität, Einkommen/BIP pro Kopf, Besitz von Mobilitätswerkzeugen, relative Dichte

⁵ Auch die Qualität der «Fussgängeranbindung» hat gemäss der Meta-Studie einen signifikanten Einfluss auf die Benutzung des öffentlichen Nahverkehrs.

2.1.3 Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage

Verschiedene Studien untersuchen den Effekt des Verkehrsangebots auf die Verkehrsnachfrage. Damit ist insbesondere die Veränderung der Verkehrsmittelwahl bei Veränderung des Angebots gemeint. *Zur Beschreibung des Verkehrsangebots* für die Schweiz zeigen Infras / EBP 2015 [18] verkehrsmittelübergreifende Indikatoren (z.B. Erreichbarkeit, Kapazitätsindex etc.). Häufig werden auch komplexere und stärker nach Verkehrsmittel differenzierte Erreichbarkeits-Indikatoren verwendet (z.B. büro widmer et al 2020 [19]).

Zunächst hat die unmittelbare **Verfügbarkeit eines Verkehrsmittels** einen direkten Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl. Um ein Verkehrsmittel nutzen zu können, braucht es die dafür notwendigen Infrastrukturen (z.B. Straßen, Wege, Gleise, Haltestellen), ein darauf basierendes Angebot (z.B. Fahrplan) sowie die zur Nutzung benötigten Mobilitätswerkzeuge (z.B. Fahrzeug, Abonnement, Führerschein). Ist ein Verkehrsmittel verfügbar, so haben gemäss Bericht über den Modalsplit des Personenverkehrs in der Schweiz (vgl. LITRA 2019 [7]) drei Faktoren des Angebots einen Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl: Reisezeit, Kosten und Komfort.⁶

Etwas detaillierter lassen sich die Einflussfaktoren auf Basis des Grundlagenberichts *Analyse der SP-Befragung 2015 zur Verkehrsmodus- und Routenwahl* [20] beschreiben. Demnach haben die Faktoren in Tab. 1 signifikanten Einfluss auf die Wahl des Verkehrsmittels:

⁶ Wobei Stated-Preference Erhebungen darauf hindeuten, dass die Nachfrage stärker durch eine Veränderung der Reisedauer beeinflusst wird als durch die Veränderung der Kosten.

Tab. 1 Einflussfaktoren individuelle Verkehrsmittelwahl

Einflussfaktor	Details
Verkehrsangebot	<ul style="list-style-type: none"> – Unterwegszeit [Reise-/Fahr-/Gehzeit] – Wechselvorgänge [Umsteigezeit, Wartezeit, Parkplatzsuchzeit, Zugangs- und Abgangszeit] – Kosten/Preis der Fahrt – Qualität und Komfort [z.B. Fahrzeugeigenschaften, Umsteigevorgänge, Verspätungswahrscheinlichkeit, Auslastung]
Besitz von Mobilitätswerkzeugen	<ul style="list-style-type: none"> – Auto-Besitz und -verfügbarkeit – Besitz von ÖV-Abonnementen
Sozio-ökonomische Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> – Geschlecht – Alter – Haushaltsgrösse – Einkommen – Bildung
Fahrtzweck	<ul style="list-style-type: none"> – Arbeit – Ausbildung – Einkauf – Nutzfahrt – Freizeit
Räumliche Charakteristiken	<ul style="list-style-type: none"> – Region – Gemeindetyp (BFS)

Die in gängigen Entscheidungsmodellen unterstellten Interaktionen zwischen den Einflussgrössen sind komplex: Beispielsweise hängt der Besitz der verschiedenen Mobilitätswerkzeuge vom Einkommen ab, aber auch vom Alter und der Haushaltsgrösse.

Meli (2022) [21] untersuchte, welche sozioökonomischen Gruppen welche Verkehrsmittel bevorzugen, anhand verschiedener Schweizer revealed (RP) und stated preference (SP)-Studien. Insgesamt führt die Berücksichtigung von sozioökonomischen Variablen nicht zu besseren Vorhersagen («goodness of fit») und bei Weglassen von Variablen des Verkehrsangebots («level of service») sinkt die Modellgüte deutlich. Zudem hat auch die Art der Erhebungsmethode (SP vs. RP) einen grossen Einfluss auf die marginalen Wahrscheinlichkeiten: bei RP-Daten ist die Wahrscheinlichkeit der MIV-Wahl deutlich höher als in SP-Daten, umgekehrt beim Velo. Dennoch zeigt die Betrachtung der sozioökonomischen Variablen interessante Einblicke in die individuelle Verkehrsmittelwahl. Die höchsten positiven marginalen Wahrscheinlichkeitseffekte zeigen beim MIV die Variablen Einkaufsfahrt, Business Trip und sprachenspezifische Attribute (Französisch, Italienisch). Auch der Wohnort in «suburban» und «rural» areas hat einen positiven Effekt. Negative Effekte auf die MIV-Nutzung haben Bildungsvariablen sowie Teilzeitarbeit. Beim ÖV haben die jeweiligen Effekte meist die umgekehrte Richtung, den grössten positiven Effekt hat der Bildungszweck des Wegs. Beim Velo haben Bildungsvariablen den stärksten positiven Einfluss, ein hohes Alter, spezifische Fahrtzwecke (Einkauf, Arbeit, Freizeit) einen negativen Einfluss. Beim Fussverkehr hat der Einkaufs-, Freizeit- und Bildungszweck des Wegs und ein hohes Alter einen positiven Einfluss, der Besitz eines Eigenheims einen negativen Einfluss.

Die ebenfalls durch Meli (2022) ermittelten Eigen- und Kreuz-Elastizitäten zeigen, dass ein Anstieg der Reisezeit im öffentlichen Verkehr um 1% zu einer stärkeren Nachfragereaktion im ÖV (-0.35) führt als ein Anstieg der Reisezeit im MIV um 1% zur Abnahme im MIV (-0.11). Andererseits führt ein Anstieg der Kosten im MIV um 1% beim ÖV zu einer stärkeren Zunahme (+0.08) als ein Anstieg der Kosten im ÖV beim MIV (+0.04). Es besteht also eine Konkurrenz zwischen diesen Verkehrsmitteln, die jedoch bezogen auf die wichtigsten Angebotsvariablen nicht gleichgerichtet ist.

Veränderungen beim Verkehrsangebot haben somit in der verkehrsökonomischen Theorie einen grossen Einfluss auf die individuelle Verkehrsmittelwahl. Verschiedene Untersuchungen des Einflusses von verhaltenspsychologischen Variablen zeigen aber auch, dass individuelle Einstellungen, Werte und Normen sowie Gewohnheiten die Verkehrsmittelwahl beeinflussen können (vgl. [19], [22], [23]). Der Modal-Split ist somit oft nicht allein durch technische Faktoren wie Reisezeit, Kosten und Komfort erklärbar und reagiert deshalb in der Realität oft weniger stark auf Veränderungen im Verkehrsangebot als erwartet.

Der in Modelltyp C unterstellte Kreislauf von Siedlungsentwicklung, Verkehrsnachfrage und Verkehrsangebot unterstellt, dass sich die Verkehrsnachfrage auch auf das Verkehrsangebot auswirkt:

- Direkt, indem eine zu hohe Nachfrage bei beschränkter Kapazität den Komfort senkt oder die Reise- oder Fahrzeit erhöht.
- Indirekt, indem ein vorhandener oder in Zukunft erwarteter Kapazitätsengpass mittels zusätzlicher Angebote behoben wird oder eine tatsächliche oder erwartete Unterauslastung im Zusammenhang mit Wirtschaftlichkeitsüberlegungen zur Reduktion des Angebots oder zum Verzicht auf einen Angebotsausbau führt.

Die Verkehrsnachfrage pro Verkehrsmittel – bzw. das resultierende Verkehrsaufkommen und der Modal-Split – hängt wesentlich vom Verkehrsangebot ab. Die Verfügbarkeit eines Verkehrsmittels und seine Effizienz zur Erschliessung der Aktivitätenpotenziale beeinflussen die individuelle Verkehrsmittelwahl.

Wie stark die Verkehrsnachfrage in einem Raum auf die Veränderung beim Verkehrsangebot reagiert, hängt einerseits von seiner sozio-ökonomischen Zusammensetzung ab, andererseits aber auch von der räumlichen Charakteristik. Einen Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl und auf die Stärke der Reaktion auf Veränderungen beim Verkehrsangebot können auch verhaltenspsychologische Aspekte haben.

Umgekehrt beeinflusst die Verkehrsnachfrage auch das Verkehrsangebot, sowohl kurzfristig als auch in einer Betrachtung über die Zeit.

Mögliche aggregierte räumliche Charakteristiken: Einkommen / BIP pro Kopf, Besitz von Mobilitätswerkzeugen, Haushaltsgrösse

2.1.4 Verkehrsangebot und Raum: Wechselwirkung

Eine Analyse der wichtigsten **historischen** Verkehrsangebotsentwicklungen in der Schweiz zeigt, dass der Ausbau der Bahninfrastruktur, des Nationalstrassennetzes, aber auch des öffentlichen Regionalverkehrs räumliche Auswirkungen hatte (ARE 2015 [4]).

Obwohl keine eindeutige Quantifizierung vorliegt, kommt der Bericht zum Schluss, dass ohne die Verbesserung der **Erreichbarkeit** der Raum heute dichter und weniger dispers besiedelt wäre. Tschopp 2007 [24] kommt zum Schluss, dass der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur durchaus zu einer **Suburbanisierung** geführt hat. Axhausen et al. 2003 [25] fanden einen starken Zusammenhang zwischen Erreichbarkeit und Bevölkerungsentwicklung. Dieser Zusammenhang falle aber **räumlich stark differenziert** aus. Internationale Studien, die die Entwicklung der Siedlung analysierten kommen zum Schluss, dass zusätzliche Autobahn- oder Eisenbahnanschlüsse einen Zersiedelungseffekt mit sich bringen (vgl. z.B. Baum-Snow 2007 [26]).

Herausforderungen bei der Ermittlung von räumlichen Auswirkungen des Verkehrsangebots sind vielfältig:

- die kurzen betrachteten **Zeiträume** und die vielen möglichen **Einflussfaktoren**. Studien betrachten oft einen zu kurzen Zeitraum (ARE 2015 [4]). Zusätzlich sei es schwierig, die Auswirkungen von anderen Effekten zu isolieren (z.B. der konjunkturellen oder regionalwirtschaftlichen Entwicklung). Auch Wechselwirkungen zwischen Verkehrsangebot und Raum erschweren die Isolation von kausalen Einflussfaktoren. Ein Bericht des Bundesamtes für Strassen hat diese **Wechselwirkungen** Verkehr-Raum genauer analysiert und kommt zum Schluss, dass die Kausalität nicht eindeutig ermittelt werden kann, sich Raum und Verkehr vielmehr gegenseitig beeinflussen (ASTRA 2020 [3]).
- Eine weitere Eigenschaft der Beziehung zwischen Verkehr und Raum, welche die Ermittlung empirischer Kausalitäten erschwert, ist die in Tschopp 2007 [24] festgestellte, im Zeitverlauf **abnehmende Wirkung** von neuen Verkehrsinfrastrukturen auf die Raumstrukturen. In Gebieten, die bereits gut erschlossen sind, verliert eine zusätzliche Verbesserung des Verkehrsangebots an Bedeutung, relativ zu anderen Faktoren (Portnov 2011 [27], zitiert in ASTRA 2020 [3]). Auch dieses Phänomen tritt räumlich differenziert zu Tage, denn gemäss Tschopp 2007 [24], seien «Effekte zusätzlicher Verkehrsinfrastruktur auf die Raumstrukturen [...] gerade in peripheren und alpinen Regionen nach wie vor sehr gross».

Der abnehmende Effekt muss allerdings nicht bedeuten, dass die Entwicklung des Verkehrsangebots generell an Bedeutung verliert. Der Bericht ARE 2015 [4] hält fest, dass sich die Erreichbarkeit bei gleichem Verkehrsangebot auch verschlechtern kann, beispielsweise bei **Kapazitätsengpässen**.

Rodrigue [8] hält fest, dass eine verbesserte Verkehrserschliessung – insbesondere im Strassenverkehr – auch eine wirtschaftliche **Spezialisierung** mit sich bringen kann. Dies weil aufgrund der besseren Verkehrserschliessung der Handel mit Produkten, die nicht regional produziert werden, vereinfacht wird. Zudem weist er darauf hin, dass bei der Verbesserung der Verkehrserschliessung zwei Kräfte am Werk sind: Konzentration und Dispersion. Teilweise hat die Verkehrserschliessung auch die Clusterbildung gefördert, insbesondere im Wirtschaftsbereich. Die Kehrseite der Spezialisierung ist dabei die Diversität (siehe weiter oben).

Ein Konzentrations- oder Spezialisierungsprozess lässt sich auch auf sozio-ökonomischer Ebene feststellen. So weisen Cao et al. 2009 [28], aber auch Aston et al. 2020 [15] auf die Bedeutung von individuellen Mobilitätsbedürfnissen bei der Wohnortwahl (**residentielle Selbstselektion**) hin. Dies bedeutet, dass ein gutes Verkehrsangebot pro Verkehrsmittel im Zeitverlauf auch eine bestimmte Bevölkerungsgruppe anzieht, die wiederum die Nachfrage nach diesem Verkehrsmittel verstärkt.

Zu ähnlichen Schlüssen bezogen auf die Selbstselektion und den Einfluss des Angebots auf die Verkehrsmittelwahl gelangt büro widmer et al 2020 [19], die den Einfluss nicht-

verkehrlicher Variablen auf die Wahl der Mobilitätswerzeuge, die Verkehrsmittelwahl und die Wahl des Wohnorts untersuchten. Sie zeigen, dass je besser ein Wohnort erreichbar ist, desto wahrscheinlicher der ÖV-Abo-Besitz und desto eher wird der ÖV genutzt. Die Autoren äussern die Vermutung, dass mit den bisherigen (eindimensionalen) Verkehrsmittelwahl-Modellen die Effekte von Angebotsvariablen auf die jeweiligen Veränderungen der Marktanteile einzelner Verkehrsmittel überschätzt werden.

Wie im Bericht *Bessere Koordination zwischen Raum- und Verkehrsplanung* (ARE 2018 [2], in Erfüllung Po. 15.4127) festgehalten ist, werden die Wohnortwahl oder Standortentscheidungen von Unternehmen durch räumliche Eigenschaften beeinflusst. Erwähnt sind im Bericht zum Beispiel die bestehende **räumliche Verteilung** von Wohn-, Arbeits- oder Freizeitsorten.

Gemäss ASTRA haben auch Alter und Bildung einen Einfluss auf die Standort- und Wohnortwahl (ASTRA 2020 [3]).

Verkehrsangebot und Raum beeinflussen sich in einem dynamischen Prozess gegenseitig. Die Verbesserung des grossräumigen Verkehrsangebots mit schnellen Verkehrsmitteln führte zu einer veränderten Standort- und Wohnortwahl. Dies führte zu einer Veränderung der sozio-ökonomischen Eigenschaften einzelner Räume (z.B. Spezialisierung, Abnahme der Diversität), und der räumlichen Verteilung von Aktivitätenpotenzialen (z.B. Dispersion, Zersiedelungstendenzen). Diese beiden Faktoren beeinflussen wie gezeigt die Verkehrsnachfrage, die Verkehrsmittelwahl und den Modalsplit. Aufgabe der Verkehrsplanung ist es dabei, auf diese Veränderungen zu reagieren, unter Berücksichtigung von Aspekten der Wirtschaftlichkeit und Effizienz. Dadurch entsteht der beschriebene dynamische und in Zyklen ablaufende Prozess zwischen Verkehrsangebot und Raum. Mögliche aggregierte räumliche Charakteristiken: Diversität, Dispersion, Zersiedelung, Altersverteilung, Anteil der Bevölkerung nach Bildungsniveau

2.1.5 Verlagerungspotenziale und planerische Ansätze

Bezogen auf planerische Ansätze zur Aktivierung der Verlagerungspotenziale gibt es in bestehenden Studien für die Schweiz folgende Hinweise:

- Metron 2021 [29] geht im Grundsatz davon aus, dass Gebiete mit einer hohen Raumnutzerdichte und tiefer Erreichbarkeit mit dem ÖV ein Unterangebot aufweisen. Entsprechend könnte mit einem Ausbau des Angebots das «latente Potenzial» aktiviert werden. Mit einem Ausbau des Angebots im ÖV im Sinne von Erreichbarkeitsverbesserungen sei dabei sorgsam umzugehen, da dies zu unerwünschten Entwicklungen in ländlichen Räumen führen kann (Mehrverkehr, Zersiedelung). Hierbei schreiben die Autoren der Raumplanung vorwiegend eine beschränkende bzw. korrigierende Aufgabe zu. So solle der Zersiedelung im Zuge des Ausbaus des S-Bahn-Angebots mit raumplanerischen Massnahmen begegnet werden, so dass kein insgesamt höheres Verkehrsaufkommen entsteht.
- Das Bundesamt für Raumentwicklung ARE 2018 [13] relativiert in der Studie «Dichte und Mobilitätsverhalten» das zusätzliche Nachfragepotenzial des ÖV in dichten Gebieten aufgrund der bereits starken Sättigung. Ein weiterer Ausbau des ÖV in Gebieten mit bereits sehr gutem Angebot hätte aber möglicherweise eine (negative) Auswirkung auf den Fuss- und Veloverkehr. Die Studie weist auch darauf hin, dass in Städten möglicherweise auch im MIV bereits eine untere Grenze erreicht ist und deshalb eine weitere Einschränkung des MIV nur noch wenig Wirkung zeigt.
- Die SBB 2021 [30] haben für verschiedene Szenarien und Massnahmen Modal-Split-Shifts für den Schienenverkehr berechnet, sowie auch den Anteil des induzierten und des vom MIV verlagerten Verkehrs abgeschätzt. Fahrzeitreduktionen führen dabei gemäss den Modellergebnissen zum grössten Verlagerungseffekt, verursachen aber auch einen bedeutenden induzierten Verkehr. Es seien deshalb Begleitmassnahmen notwendig, insbesondere eine räumliche Verdichtung in den Zentren rund um die

Bahnhöfe, eine Erhöhung der Aufenthaltsqualität für den Fuss- und Veloverkehr sowie die Fokussierung von Angebotsausbauten auf das je nach Raum am besten geeignete Verkehrsmittel (kein «paralleler Ausbau» von ÖV und MIV).

- Die Verkehrsperspektiven 2050 des ARE 2022 [31] ermitteln den Einfluss verschiedener gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Trends auf die Verkehrsnachfrage und den Modal-Split. Das BASIS-Szenario geht von einer gesteigerten Bauzonen-Ausnutzung sowie einem höheren Geschossflächenverbrauch und von einer geringeren Bereitschaft für lange Arbeitswege aus (Homeoffice). Ab 2035 wird mit einer verstärkten Internalisierung der externen Kosten des Strassenverkehrs gerechnet. Die Bedeutung der Erreichbarkeit nimmt aufgrund der Einführung automatisierter Fahrzeuge erst nach 2040 ab. Das Szenario rechnet mit einem geringeren Anteil erwerbstätiger Personen, einem Bevölkerungswachstum vorwiegend im städtischen Gebiet während im ländlichen Raum ein Rückgang erwartet wird, mit einer Reduktion des PW-Besitzes sowie einer Zunahme des ÖV-Abobesitzes. Alle diese Trends und Massnahmen führen zu einer Abnahme des Modal-Split-Anteils des MIV am Wegeaufkommen um 5.3%-Punkte bis 2050 (innert 33 Jahren), zu einem Anstieg des Fussverkehrsanteils um 0.8%-Punkte und zu einem Wachstum um 4.2%-Punkte im Veloverkehr (beinahe Verdoppelung der Verkehrsleistung). Im ÖV beträgt der erwartete Anstieg 0.3%-Punkte. Die verschiedenen Szenarien unterscheiden sich dabei in den resultierenden Modal-Split-Anteilen nur geringfügig, was zeigt, wie schwer grössere Modal-Split-Verschiebungen auf nationaler Ebene grundsätzlich zu erreichen sind.
- Büro für Mobilität et al. 2015 [11] schätzen das Velopotenzial in Schweizer Agglomerationen für dessen Anteil an den Etappen. Je nach Agglomeration schätzen sie das Potenzial auf zwischen 0% und 5%-Punkte, wobei der relative Zuwachs auch über 200% betragen kann. Die Herleitung stützt sich dabei auf die von den als «Klassenbeste» beurteilten Schweizer Agglomerationen. Bei einem Ausbau des Veloangebots auf das Niveau eines europäischen Benchmarks wären dabei zusätzliche Steigerungen zu erwarten. Als planerische Ansätze schlagen die Autoren eine Umsetzung der in der Schweiz bekannten und bereits erprobten Fördermassnahmen vor. Dabei sollen Fördermassnahmen weiterhin agglomerationsspezifisch erarbeitet und umgesetzt werden, um die spezifischen externen Faktoren (z.B. Topografie, Witterungsbedingungen, Bevölkerungsstruktur) sowie den aktuellen Stand der Veloförderung (Institutionalisierung, Finanzierung, Planung, Umsetzung) berücksichtigen zu können. Weiter sollten sich auch die «Klassenbesten» und Agglomerationen mit guten externen Voraussetzungen an den Besseren orientieren, insbesondere an den einschlägigen europäischen Benchmarks.

2.1.6 Zusammenfassung / Würdigung

Die Literatur bestätigt einen Zusammenhang zwischen Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage, sowohl bezüglich Gesamtnachfrage als auch bezüglich der verkehrsmittelspezifischen Marktanteile (Modal-Split).

Nachfrageelastizitäten, die den Zusammenhang zwischen Veränderung des Verkehrsangebots und Verkehrsnachfragereaktion empirisch beschreiben, wurden meist auf Basis von SP-Befragungen oder lokalen Beispielregionen geschätzt. Verschiedene Studien kommen zum Schluss, dass solche Elastizitäten oft nicht geeignet sind, um sie in anders gestalteten Räumen einzusetzen. Dieses Argument wird dadurch gestützt, dass der Raum selbst einen Einfluss auf das Angebot sowie die Nachfrage hat. Eine Vernachlässigung der räumlichen Charakteristiken bei der Bestimmung von Nachfrageelastizitäten könnte somit zu Fehlschlüssen führen. Nachfrageelastizitäten für die Schweiz, die solche räumlichen Aspekte berücksichtigen, existieren bisher nur vereinzelt.

Eine wichtige Untersuchung des ARE [13] zeigt zwar, dass die Dichte einen Einfluss auf die Verkehrsmittelnachfrage hat. Bei hohen Dichten hat beispielsweise der öffentliche Verkehr einen hohen Anteil am Gesamtverkehr. Gleichzeitig zeigt die Studie auch auf, dass sich dicht besiedelte und gut mit dem ÖV erschlossene Räume überlagern. Ob sich der erhöhte Marktanteil des ÖV aus der hohen Siedlungsdichte (Raum) oder dem sehr guten Angebot ergibt, bleibt dabei unklar.

Wie dargestellt hat auch die von Topografie und Hydrologie geprägte Raumstruktur (in Abgrenzung zur Siedlungsstruktur bzw. zur Dichte) einen Einfluss auf die Gestaltung des Angebots und auf die Nachfrage. Diese bisher in vielen Modellen nicht berücksichtigte Komponente könnte zusätzlich zur Erklärung von Angebots- und Modal-Split-Unterschieden beitragen.

Angesichts der komplexen Wechselwirkungen zwischen Raum, Angebot und Nachfrage stellt sich die Frage wie der Einfluss des Raums aus der Reaktionsgleichung zu eliminieren wäre. Gute Anhaltspunkte liefern dabei die verschiedenen Rollen, die der Raum in der Angebotsgestaltung und der Nachfragereaktion spielt:

- Die **räumliche Verteilung der Aktivitätenpotenziale** begründet das Bedürfnis nach Mobilität. Diese räumliche Verteilung lässt sich beispielsweise in Form von Dichte und Diversität eines Raums ausdrücken. Müssen weite Distanzen zurückgelegt werden, werden schnelle Verkehrsmittel bevorzugt, für kurze Distanzen eher langsamere Verkehrsmittel. Je dichter und diverser ein Raum, desto kürzer sind die im Alltag zurückzulegenden Distanzen. Verschiedene Dichtemassen, die Qualität des Verkehrsangebots und die Nutzung dieses Angebots korrelieren dabei im öffentlichen Verkehr stark miteinander. Dies zeigt auch, dass die Dichte nicht nur zur Erklärung der Verkehrs-nachfrage nach Verkehrsmittel beiträgt, sondern auch ein Zusammenhang zwischen Dichte und Verkehrsangebot besteht. Unterschiede bei der Nutzung des öffentlichen Verkehrs bei ähnlichen Dichte- und Angebotsverhältnissen sind zudem möglicherweise über andere räumliche Einflussfaktoren zu erklären. Weitere aggregierte räumliche Charakteristiken zur Beschreibung der räumlichen Verteilung der Potenziale sind die Dispersion, die Zersiedelung oder die Spezialisierung.
- Eine **schwierige Topografie und Hydrologie** sowie **künstliche Bauten** stellen Hindernisse für die Mobilität, aber auch für die Siedlungsentwicklung dar. Um diese Hindernisse der Mobilität zu überwinden, sind entweder Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur notwendig, oder es müssen längere Distanzen (Umwege) in Kauf genommen werden. Neben der Dichte und Diversität beeinflussen auch diese Hindernisse, welche Distanzen im Alltag zurückgelegt werden müssen. Die verschiedenen Verkehrsmittel eignen sich zudem unterschiedlich zur Überwindung von Distanzen, Umwegen oder Steigungen (Zeit, Effizienz, Energie). Klima und Wetter beeinträchtigen die Eignung von «ungeschützten» Verkehrsmitteln wie das Velo oder das Gehen zu Fuss, aber auch den Bedarf nach Schutz der Verkehrsinfrastruktur und der Verkehrs-teilnehmenden. Der Raum hat dadurch Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit, und somit auch auf die Verkehrsplanung, welche solche Aspekte über Kosten-Nutzen-Abwägungen antizipiert.
- Die **Verkehrsinfrastruktur** wird zu einem Teil des Raums und kann je nach einge-nommener Perspektive sowohl Möglichkeit als auch Hindernis für die Mobilität darstellen. Sie kann über aggregierte Kennzahlen beschrieben werden, wie beispielsweise die Knoten- oder Weg- bzw. Strassennetzdichte.
- Die aggregierten **sozio-ökonomischen und sozio-demografischen Eigenschaften** eines Raums beeinflussen den Besitz von Mobilitätswerkzeugen und die Verkehrsmittelwahl – insbesondere das Einkommen oder die Altersstruktur. Die mittel- bis langfristi-ge Entwicklung dieser Eigenschaften kann dabei durch das Gesamtverkehrsangebot (Erreichbarkeit, Attraktivität), das verkehrsmittelspezifische Verkehrsangebot (Selbst-selektion, Spezialisierung) oder auch raumplanerische Massnahmen indirekt beein-flusst werden.

2.2 Vereinfachtes Wirkungsmodell

2.2.1 Herausforderungen bei der Analyse der Zusammenhänge

Die Wechselwirkungen zwischen Verkehrsangebot und Verkehrsmittelnutzung sind komplex, insbesondere dann, wenn zusätzlich räumliche Faktoren einbezogen werden. Dies zeigt sich auch aus der obigen Literaturanalyse zu den Zusammenhängen:

- Es bestehen Zyklen auf verschiedenen Zeithorizonten (Raum als Verstärker oder Dämpfer): Die Raumnutzung, die Verkehrsinfrastruktur und die Mobilität werden kurz- & mittelfristig ein Bestandteil des «Raums».
- Es bestehen Pfadabhängigkeiten in der Raum- und Verkehrsentwicklung (Infrastruktur) sowie bei der Verkehrsmittelwahl (Fahrzeugbesitz, «Gewohnheit», Sozialisierung)
- Die Verkehrsmittel sind nur schwer untereinander vergleichbar, weil sie unterschiedliche Voraussetzungen in der Verfügbarkeit aufweisen: Personenwagen und der öffentliche Verkehr benötigen eine geeignete Infrastruktur (inkl. deren Finanzierung) sowie entsprechende Mobilitätswerkzeuge. Der Fussverkehr steht hingegen als Basismobilität fast allen Personen zur Verfügung. Die technischen und ökonomischen Hindernisse zur Nutzung des Velos sind bei bestehendem Strassennetz eher klein.
- Der Modal-Split entsteht aus einer Aggregation von komplexen Entscheidungen auf Haushalts-, Unternehmens- und individueller Ebene und ist Ergebnis von Prozessen der Standort-, Mobilitätswerkzeug-, Ziel-, Routen- und Verkehrsmittelwahl.
- Zwischen verschiedenen räumlichen Variablen und zwischen räumlichen und verkehrlichen Variablen bestehen vielfältige Korrelationen und Endogenitäten. Dabei besteht oft Unklarheit über die Richtung der Kausalität, wobei vieles darauf hindeutet, dass sich die Kausalität auf unterschiedlichen Zeithorizonten anders verhält.
- Bei Verkehrsnetzen spielen räumliche Autokorrelationen eine wichtige Rolle. So hängt das Verkehrsangebot einer Gemeinde auch vom Angebot in seinen Nachbargemeinden ab. Beispielsweise können vom Autobahnanschluss oder vom Ausbau einer regionalen Verkehrsdrehscheibe in einer Gemeinde oft auch die Nachbargemeinden profitieren.
- Auch positive und negative Netzwerkeffekte kommen zum Tragen (je mehr Nutzerinnen und Nutzer vorhanden sind, desto nützlicher wird dieses Netzwerk von den einzelnen Nutzern bewertet). Beispielsweise kann eine zu geringe Gesamtnachfrage und Nutzerfinanzierung zur Einstellung des ÖV-Angebots führen. Ein negativer Netzwerkeffekt ist die Überlastung von Strassenabschnitten. Diese Effekte können auch eine dynamische Wirkung in der Verkehrsplanung entfalten: Je höher die Nachfrage nach Verkehrsinfrastruktur für ein Verkehrsmittel ex ante eingeschätzt wird, desto eher wird dieser Infrastruktur ein gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis beigemessen (positive Feedback-Effekte).
- Die Zusammenhänge sind auf grossräumiger Ebene anders als auf lokaler Ebene. Der Vergleich von Räumen innerhalb von sehr unterschiedlichen, arbiträren institutionellen Grenzen wie Gemeindegrenzen, führt unter Umständen zu Fehlschlüssen.

2.2.2 Vereinfachtes Wirkungsmodell

Für eine nachvollziehbare quantitative Analyse der Zusammenhänge braucht es aufgrund dieser hohen Komplexität und der vielen möglichen Einflussfaktoren eine deutliche Vereinfachung.

Dazu notwendig ist eine Abgrenzung zwischen räumlichen Faktoren/Charakteristiken, Eigenschaften des Angebots und der Nachfrage. Diese Zuordnung nimmt die nachfolgende Abbildung vor.

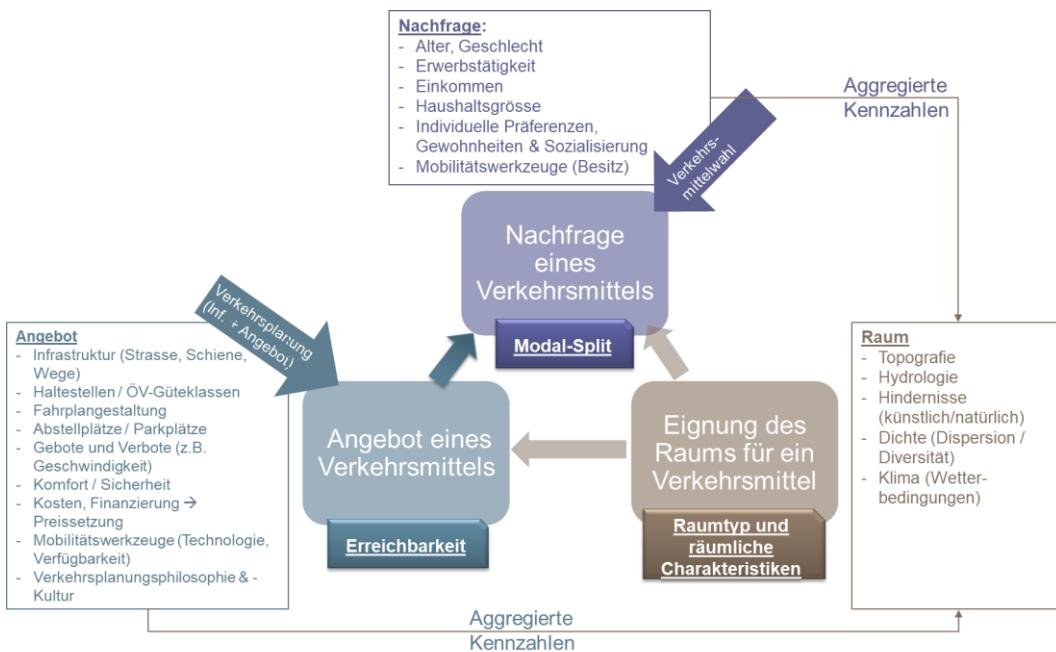


Abb. 4 Vereinfachtes Modell zum Zusammenhang zwischen Raum, Angebot und Nutzung eines Verkehrsmittels

Beim **Raum** im engeren Sinne gehen wir dabei im vorliegenden Kontext davon aus, dass er einen Einfluss auf die von Planern und Nutzern wahrgenommenen Eignung der verschiedenen Verkehrsmittel hat. Diese grundsätzliche «Eignung» hat dabei in der Vergangenheit die Entstehung von Verkehrsinfrastrukturen, Verkehrswegen und die Verkehrsplanung massgeblich mitbestimmt.

Der Raum – wie er hier zu verstehen ist – ist dabei im Kern durch eine hohe zeitliche Stabilität geprägt. Denn die Topografie, Hydrologie, die Wetterbedingungen und die als Resultat der historischen Siedlungs- und Raumentwicklung entstandenen Siedlungsstandorte und ihre grossräumig auf Gemeindeebene definierte Dichte lassen sich nur mittel- bis langfristig oder nur mit hohem gezieltem Ressourceneinsatz verändern.

Kurz- bis mittelfristig werden jedoch auch die Verkehrsinfrastruktur und die Verkehrs nachfrage zu einem Teil des Raums im weiteren Sinne. Ausgewählte aggregierte Kennzahlen zur Verkehrsinfrastruktur und zu den Faktoren der Verkehrsmittelwahl ergänzen damit die langfristig stabilen räumlichen Faktoren. Dies ist im vereinfachten Modell über die äusseren Pfeile von Angebot und Nachfrage hin zum Raum symbolisiert (mit «aggregierte Kennzahlen» beschriftet).

Auf der Grundlage der räumlichen Gegebenheiten hat sich im Zeitverlauf auch das aktuelle **Verkehrsangebot** entwickelt. Das Verkehrsangebot ist somit das Ergebnis eines Prozesses der Planung und Entwicklung von Verkehrsangebot und Siedlung sowie verschiedenen Planungsphilosophien. Das Verkehrsangebot kann dabei nicht unabhängig von räumlichen Gegebenheiten beschrieben werden: Verkehrsinfrastrukturen wie Strassen und Gleise sind räumlich verortet und haben sich historisch dort entwickelt, wo sich ein ausreichendes Bedürfnis zur Raumüberwindung oder Vernetzung manifestierte, und folgt oft dem einfachsten (räumlichen) Pfad. Diese Bedürfnisse sind dabei nicht aus rein verkehrsökonomischen Kosten-Nutzen-Überlegungen, sondern auch aus der Tourismus-, Regional- und Raumordnungspolitik sowie aus der Rolle der Schweiz als internationale Transitachse entstanden. Aus diesen erweiterten Bedürfnissen lassen sich insbesondere auch die Abweichungen von der rein topografisch geprägten Verkehrsplanung erklären, vor allem bei den Alpen- und Juraquerungen. Die Gotthard-Tunnelbauten, der Lötschberg-Tunnel, der Vereina-Tunnel oder der Weissenstein-Tunnel verkürzen die Fahrzeit im jeweiligen Verkehrsmittel deutlich, im Vergleich zu dem, was eine Umfahrung oder eine Passfahrt bedeuten

würde (was sich in deutlich höherer Erreichbarkeit äussert im Vergleich zu dem, was allein auf Basis der Topografie möglich gewesen wäre).

Welches der verfügbaren **Verkehrsmittel** für einen Weg genutzt wird (klassische Fragen der integrierten Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl), ist für sich genommen eine komplexe Fragestellung. Im vereinfachten aggregierten Wirkungsmodell bestimmt das Angebot in Interaktion mit dem Raum den Modal-Split der Verkehrsmittel. Die aktuell beobachtete Marktstellung der Verkehrsmittel auf aggregierter Ebene ist dabei das Ergebnis des komplexen Prozesses der individuellen Standort-, Aktivitäten-, Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl. Bei der Ausbildung des Modal-Splits spielen dabei auf aggregierter Ebene nebst den klassischen Angebotsvariablen wie Reisezeit oder Kosten auch die residentielle Selbstselektion, sozioökonomische Variablen und verhaltenspsychologische Aspekte eine Rolle:

- Die residentielle Selbstselektion beschreibt das Phänomen, dass die Wahl von Wohnstandorten auch auf der Qualität des vorhandenen Verkehrsangebots und den persönlichen Vorlieben einer Person basiert. Eine Person, die den öffentlichen Verkehr als Verkehrsmittel präferiert, wählt als Wohnort eher einen Standort, der gut mit dem öffentlichen Verkehr erschlossen ist.
- Soziodemografische und -ökonomische Variablen wie der Bildungsstand oder das Alter beeinflussen die Mobilität auf individueller Ebene. Die Zusammensetzung der Bevölkerung auf aggregierter Ebene verändert sich im Zeitverlauf ständig (bzw. jährlich).
- Verhaltenspsychologische Modelle der Verkehrsmittelwahl besagen, dass die Verkehrsmittelwahl stark auch von Routinen im Alltag geprägt ist. Aufgrund gelernter Automatismen rücken Veränderungen beim Verkehrsangebot in den Hintergrund, was die Reaktion der Verkehrsmittelwahl auf technische Angebotsveränderungen (generalisierte Kosten, Preise) reduziert.

Im Modell manifestieren sich auf aggregierter Ebene sowohl die klassischen Einflüsse des Verkehrsangebots, die Einflüsse der Selbstselektion, von soziodemografischen und -ökonomischen Variablen sowie verhaltenspsychologische Aspekte im Modal-Split. Unterschiede im Angebotsniveau wirken sich daher zwar auf das Nachfragerniveau aus, aber voraussichtlich weniger stark als in klassischen Untersuchungsdesigns, ohne Berücksichtigung der aggregierten räumlichen Ebene.

2.2.3 Verständnis der Komponenten Angebot, Nachfrage und Raum

Die Abbildung zum vereinfachten Modell zeigt (unterstrichene Begriffe), wie die drei Komponenten Angebot, Nachfrage und Raum für die quantitative Analyse operationalisiert werden.

a) Angebot: Erreichbarkeit

Erreichbarkeitsmasse sind nach ARE 2010 [32] eine Möglichkeit zur quantitativen Beschreibung der sich durch das Verkehrsangebot (oder dessen Ausbau) ergebenden Beziehungssysteme.

Im Kontext der Raum- und Verkehrsplanung wird die Erreichbarkeit – auch abhängig vom Verwendungszweck – unterschiedlich konkretisiert (vgl. büro widmer ag 2017 [33]). Allen Definitionen gemeinsam ist, dass die Erreichbarkeit von zwei Komponenten abhängig ist, a) dem Raumwiderstand und b) der räumlichen Verteilung der über dieses Angebot erschossenen Potenziale.

Der Raumwiderstand wird vom Verkehrsangebot zwischen einem Ausgangspunkt und den betrachteten Potenzialen definiert. Welche Potenziale, und welche Kennzahlen zur Erfassung des Widerstands, und somit zur Bestimmung der Erreichbarkeit verwendet werden, hängt von der Fragestellung ab.

Im vorliegenden Kontext verwenden wir

- die Bevölkerung und Beschäftigten zur Abbildung der Potenziale
 - die generalisierten Kosten der Mobilität zur Abbildung des Raumwiderstands
- Unterschiede in der Erreichbarkeit von zwei Gemeinden können somit nicht nur durch Unterschiede im Verkehrsangebot bei vergleichbarer räumlicher Verteilung der Potenziale erklärt werden, sondern auch durch unterschiedliche räumliche Verteilung der Potenziale bei vergleichbarem Verkehrsangebot.

Bei dynamischer Betrachtung der Erreichbarkeit bzw. dessen Veränderung spielen beide Komponenten zusammen. So kann eine höhere Erreichbarkeit sowohl durch ein grösseres Potenzial oder durch ein besseres Angebot erreicht werden. Beide Effekte lassen sich nur bei kurzfristiger Betrachtung klar trennen. Denn wie gezeigt wurde, sind Verkehrsangebot und Raum aneinander gekoppelt. Das Verkehrsangebot hat mittel- und langfristig auch eine Wirkung auf den Raum bzw. auf die räumliche Verteilung der Potenziale.

Eine veränderte räumliche Verteilung bietet allenfalls wieder Anlass, im Rahmen der vorhandenen Verkehrsplanungsinstrumente das Verkehrsangebot zu überdenken. Im Zeitverlauf beeinflussen sich damit Verkehrs- und Raumentwicklung gegenseitig.

Alternative Grössen zur verkehrsmittelübergreifenden Beschreibung des Angebots wären beispielsweise sogenannte «Güteklassen»-Kategorien, welche zusätzlich zur Erreichbarkeit weitere quantitative Kriterien zum Verkehrsangebot – lokale ÖV-Güteklassen oder Wegnetzdichten – berücksichtigen (vgl. Infras und EBP 2015 [18]). Diese können mit qualitativen Aspekten des Verkehrsangebots kombiniert werden. Zu den qualitativen Aspekten werden beispielsweise Netzqualitäten, Komfort oder Sicherheit gezählt. Deren flächendeckende Erhebung für die Schweiz beurteilen die Autoren jedoch aufgrund fehlender aufbereiteter Daten als sehr aufwändig und kaum machbar, auf deren Einbezug wird deshalb verzichtet.

b) Nachfrage: Modal-Split

Gemäss Studie des LITRA 2019 [7] «Der Modalsplit des Personenverkehrs in der Schweiz» ist der **Modalsplit** ein Mass für den «Marktanteil der verschiedenen Verkehrsmittel» an der Gesamtmobilität. Dieser Marktanteil kann über die Anzahl Fahrten/Wege, über die zurückgelegte Distanz oder die Unterwegszeit pro Verkehrsmittel gemessen werden.

Der Modal-Split ergibt sich dabei aus der Verteilung der Gesamtnachfrage auf die berücksichtigten Verkehrsmittel. Die Anteile summieren sich immer auf 100%. Eine Veränderung des Anteils eines Verkehrsmittels geht deshalb immer mit der Veränderung mindestens eines anderen Verkehrsmittels in die entgegengesetzte Richtung einher.

Im vorliegenden Kontext verwenden wir die **Anzahl der Wege nach Hauptverkehrsmittel** (vgl. Glossar) als Mass des Modal-Split-Anteils. Dabei unterscheiden wir vier Verkehrsmittel:

- **Fuss:** Fussverkehr
- **Velo:** Veloverkehr (inkl. E-Bikes)
- **MIV:** Motorisierter Individualverkehr (Personenwagen, Motorräder)
- **ÖV:** Öffentlicher Verkehr (Strasse, Schiene, Schiff, Seilbahnen etc.)

Die Wege nach Hauptverkehrsmittel drücken dabei akzentuiert die individuellen Kosten-Nutzen-Abwägungen, persönlichen Präferenzen/Lebensstile sowie die im Alltag häufig zurückzulegenden Distanzen der Verkehrsteilnehmenden aus. Die Anteile reagieren somit auch weniger stark auf kleine Veränderungen im Verkehrsangebot als beispielsweise die Etappen, die Unterwegszeit oder die zurückgelegte Distanz. Dies dürfte insbesondere den Fuss- und Veloverkehr betreffen, die im Rahmen von Wegeketten mit dem öffentlichen Verkehr als Hauptverkehrsmittel oft für die erste und letzte Etappe und damit im Vergleich zum Hauptverkehrsmittel nur für einen kleinen Teil der gesamten Wegdistanz eingesetzt werden (vgl. hierzu auch Brög 2017 [34]).

Die Autoren vermuten ausserdem, dass insbesondere bei bestimmten Lebensmomenten (z.B. Wohnort- und/oder Arbeitsortwechsel) das Hauptverkehrsmittel für alltägliche Wege geändert wird. Alltägliche räumliche Distanzen zu den Aktivitätenpotenzialen sowie eine in der Vergangenheit stattgefundene residentielle Selbstselektion drücken sich dadurch im gewählten Hauptverkehrsmittel besonders gut aus.

c) Raum: Raumtyp und räumliche Charakteristiken

Raumtypen sind nach ausgewählten Kriterien abgegrenzte Gebiete, in denen vergleichbare Strukturen bestehen und in denen gleichartige Ziele verfolgt werden.

Für die Schweiz existieren verschiedene Raumtypologien (vgl. beispielsweise Webseite des BFS [35] sowie [36]). Ihre Definition stützt sich bei der Abgrenzung meist auf Grössen- und Dichtekriterien für Bevölkerung, Beschäftigte und Logiernächte, auf die Wirtschaftsstruktur sowie auf Pendlerverflechtungen, Erreichbarkeitsindikatoren oder die Nähe zu einem bestimmten anderen Raumtyp.

Im vorliegenden Kontext sind unter den «gleichartigen Zielen» die Ziele der Verkehrsverlagerung (zwischen den Verkehrsmitteln) zu verstehen. Einzelne Raumtypen eignen sich dabei mehr oder weniger, die vorhandene Gesamtnachfrage auf ein ausgewähltes Verkehrsmittel zu lenken. Dies kann beispielsweise aufgrund von Einschränkungen für die Verkehrsangebotsplanung (Wirtschaftlichkeit), für die Siedlungsentwicklung oder für die Verkehrsmittelwahl der Fall sein.

Die verwendeten Kriterien zur Abgrenzung der Typen sollen dabei räumliche Strukturen der Gemeinden abbilden, welche die Stärke des Einflusses der Erreichbarkeit auf den Modal-Split-Anteil der vier Verkehrsmittel mitbestimmen. Bestimmte Räume sind für einen Angebotsausbau eines Verkehrsmittels geeigneter oder reagieren beim verkehrsmittelspezifischen Modal-Split mehr oder weniger stark auf Veränderungen in der Erreichbarkeit.

Aus der Literaturanalyse ergeben sich auf **aggregierter Ebene der Gemeinden** insbesondere folgende räumlichen Charakteristiken, die für eine Berücksichtigung in der quantitativen Analyse zu prüfen sind:

- Dichte (Bevölkerungs- und Beschäftigtendichte) und Dispersion
- Diversität (Vielfalt der Aktivitätenpotenziale), Landnutzungsmix, relative Dichte
- Topografie
- Räumliche Hindernisse für die Siedlungs- und Verkehrsentwicklung (natürliche und künstliche)
- Klima / Wetterbedingungen
- Mittleres Einkommensniveau oder BIP pro Kopf
- Auto-Besitz pro Einwohner
- ÖV-Abobesitz pro Einwohner
- Knotendichte im Strassennetz
- Wegnetzdichte
- Zersiedelung (Dispersion, Permeation)
- Altersverteilung
- Anteil der Bevölkerung nach Bildungsniveau
- Mittlere Haushaltsgrösse

3 Angebot: Erreichbarkeit für vier Verkehrsmittel

3.1 Ziel und Methodik

Um die Angebotsverhältnisse (als Indikator bzw. primäre Einflussvariable für die später im statistischen Modell zu ermittelnden Verlagerungspotenziale) zu ermitteln, ist die Verwendung von Erreichbarkeitsindizes ein geeignetes Mittel [32]. Die Erreichbarkeit einer räumlichen Einheit ist ein Indikator dafür, wieviel Strukturpotenzial in einer bestimmten Zeit mit einem bestimmten Verkehrsmittel erreicht werden kann.

Im vorliegenden Fall wird als räumliche Einheit die Ebene der Schweizer Gemeinden gewählt, da auch die Nachfrage- bzw. Modal-Split-Verhältnisse aus dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) für diese berechnet werden können (vgl. Kapitel 3).

Unter Zuhilfenahme des Nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM; Strukturdaten und Verkehrsangebot auf Stand 2017) kann die Erreichbarkeit jeder Verkehrsmodellzone pro Verkehrsmittel (Fuss, Velo, ÖV und MIV) anhand folgender Formel berechnet werden:

$$E_i = \ln \left(1 + \sum_j e^{\beta \cdot GK_{ij}} \cdot SE_j \right)$$

Hierbei bezeichnet E_i die Erreichbarkeit einer Zone, welche mittels einer Gewichtungsfunktion der erreichbaren Struktureinheiten (SE_j – hier die Summe aus Einwohnern und Arbeitsplätzen) aller Zonen und den generalisierten Kosten des entsprechenden Wegs (GK_{ij}) berechnet wird. Der Logarithmus wird verwendet, um einen übersichtlichen Wertebereich (zwischen ca. 5 und 15) sicherzustellen. Für den Gewichtungsparameter β wird ein Wert von -0.02 angesetzt. Dieser entspricht dem in der Analyse der SP-Befragung 2015 (Weis et al., 2017) geschätzten Parameter für die Fahrtzeit mit dem MIV.

Folgende Komponenten fließen in die Ermittlung der generalisierten Kosten ein:

- MIV: Hier wird die Fahrzeit zur Ermittlung der generalisierten Kosten verwendet.
- Fuss- und Veloverkehr: Beim Fuss- und Veloverkehr bestehen die generalisierten Kosten aus der Geh- und Fahrzeit bzw. dem Widerstand, welche mit einem ebenfalls aus der SP-Analyse stammenden Faktor multipliziert wird. Dieser widerspiegelt die relative Bewertung zwischen MIV-Fahrtzeit und den übrigen Widerständen und beträgt für den Fussverkehr 1.98 und fürs Velo 1.78.
- ÖV: Beim ÖV fließen neben der Beförderungszeit (multipliziert mit dem Faktor 0.7) noch weitere Widerstandskomponenten in die generalisierten Kosten ein: die Zu- und Abgangszeit (multipliziert mit dem Faktor 1.34), die Anzahl an Umsteigevorgängen (multipliziert mit dem Faktor 6.75), die Umsteigewartezeit (multipliziert mit dem Faktor 0.89) sowie der Takt, also das mittlere Zeitintervall zwischen zwei Abfahrten (multipliziert mit dem Faktor 0.33). Sämtliche genannten Faktoren wurden ebenfalls aus den Ergebnissen der SP-Analyse hergeleitet.

Das NPVM liegt in der Software Visum der PTV AG vor, in welcher sämtliche weiteren Berechnungsschritte durchgeführt werden. Hier werden die generalisierten Kosten pro Verkehrsmittel mittels der Eingabe entsprechender Formeln auf Matrixebene (aus den jeweils in diese einfließenden Kenngrößenmatrizen) berechnet und daraus die entsprechenden Erreichbarkeiten je Modellzone abgeleitet. Die Gewichtungsfunktion mit $\beta = -0.02$ ergibt dabei den in Abb. 5 dargestellten Verlauf. Im Anschluss werden die gemeindefeinen Erreichbarkeiten als bevölkerungsgewichteter Mittelwert der einzelnen Modellzonen berechnet.

Das NPVM beinhaltet das gesamte Schweizer Strassennetz sowie den kompletten ÖV-Fahrplan im Fern- und Nahverkehr. Die Veloinfrastruktur ist zum aktuellen Stand nicht flächendeckend detailliert abgebildet, und die Fuss-Kenngrössen werden ebenfalls näherungsweise abgeleitet und nicht direkt aus einem Umlegungsmodell berechnet. Das NPVM ist jedoch das einzige schweizweit auf die Kennwerte des MZMV und die vorliegenden Zähldaten kalibrierte Modell, mit dem die hier benötigten Erreichbarkeiten mit einem genügend grossen Detaillierungsgrad schweizweit ermittelt werden können.

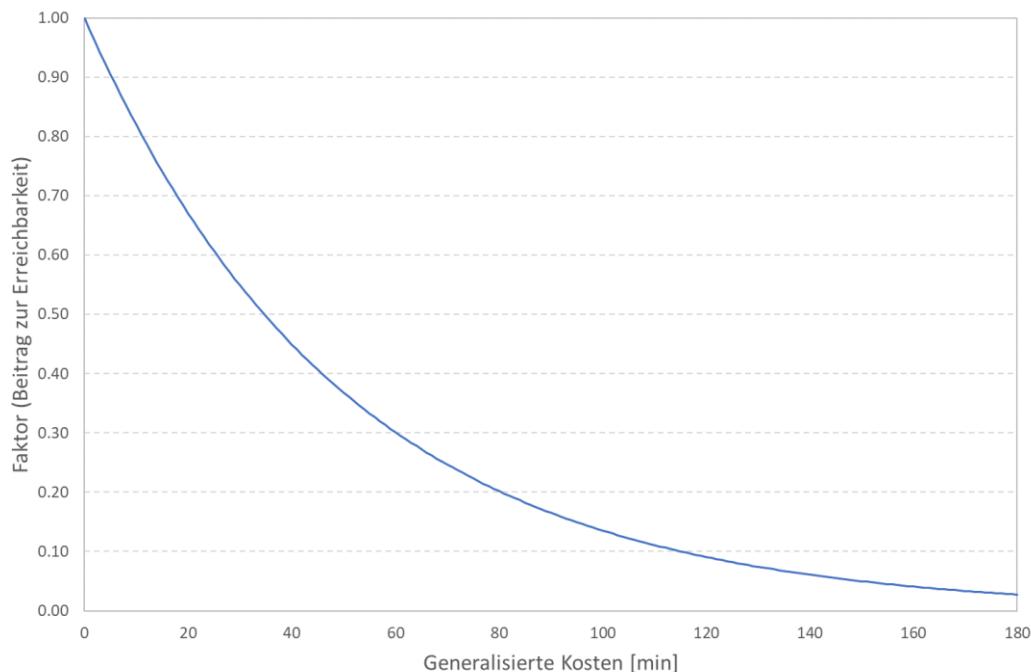


Abb. 5 Gewichtungsfunktion der Erreichbarkeit.

3.2 Ergebnisse

Nachfolgende Abbildungen zeigen die aus den beschriebenen Berechnungsschritten resultierenden logarithmierten Erreichbarkeiten der Schweizer Gemeinden im Überblick als Landkarten:

- *Abb. 6* für Fusswege;
- *Abb. 7* für das Velo;
- *Abb. 8* für den MIV;
- *Abb. 9* für den ÖV.

Es ist ersichtlich, dass die Erreichbarkeiten mit zunehmender Zentralität bzw. Urbanität tendenziell zunehmen. In grösseren und dichten Städten sind in der Regel mehr Struktureinheiten in kürzerer Zeit erreichbar, und dies gilt zunächst für alle Verkehrsmittel. Ebenfalls ersichtlich ist, dass die Erreichbarkeiten im Schnitt beim MIV am höchsten sind, da dieser relativ schnelle Fahrten auch zu weiter entfernten Zielen zulässt. Dies gilt in noch höherem Masse als im ÖV, dessen Erreichbarkeiten neben der reinen Fahrtzeit stark durch die Erschliessungsqualität einzelner Regionen beeinflusst sind. Im MIV ist die Erreichbarkeit besonders hoch entlang der Autobahnkorridore, z.B. Luzern – Zürich – Basel – Bern. Im ÖV führt das dichte Angebot in Städten, sowie die gute Erschliessung von neuralgischen ÖV-(Umsteige-)Knoten (z.B. Olten) zu hohen Erreichbarkeitswerten.

Aus *Abb. 10* ist zudem ersichtlich, dass die Erreichbarkeiten der einzelnen Verkehrsmittel zwar erwartungsgemäss (da die Reihung der erreichbaren Strukturpotenziale tendenziell gleichbleibt) korreliert, jedoch kein exakter linearer Zusammenhang zwischen den Werten

besteht. Es gibt also lokale Unterschiede bezüglich der Anteile der einzelnen Verkehrsmittel an der Gesamt-Erreichbarkeit einer Gemeinde bzw. Region.

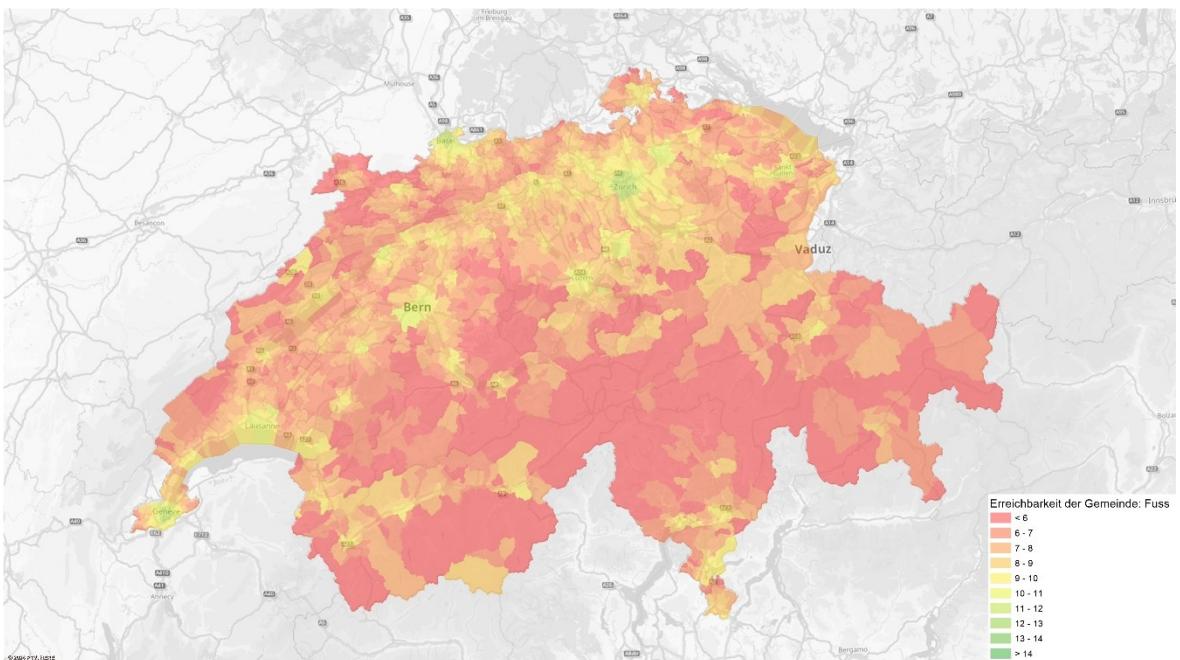


Abb. 6 Fuss-Erreichbarkeiten der Schweizer Gemeinden.

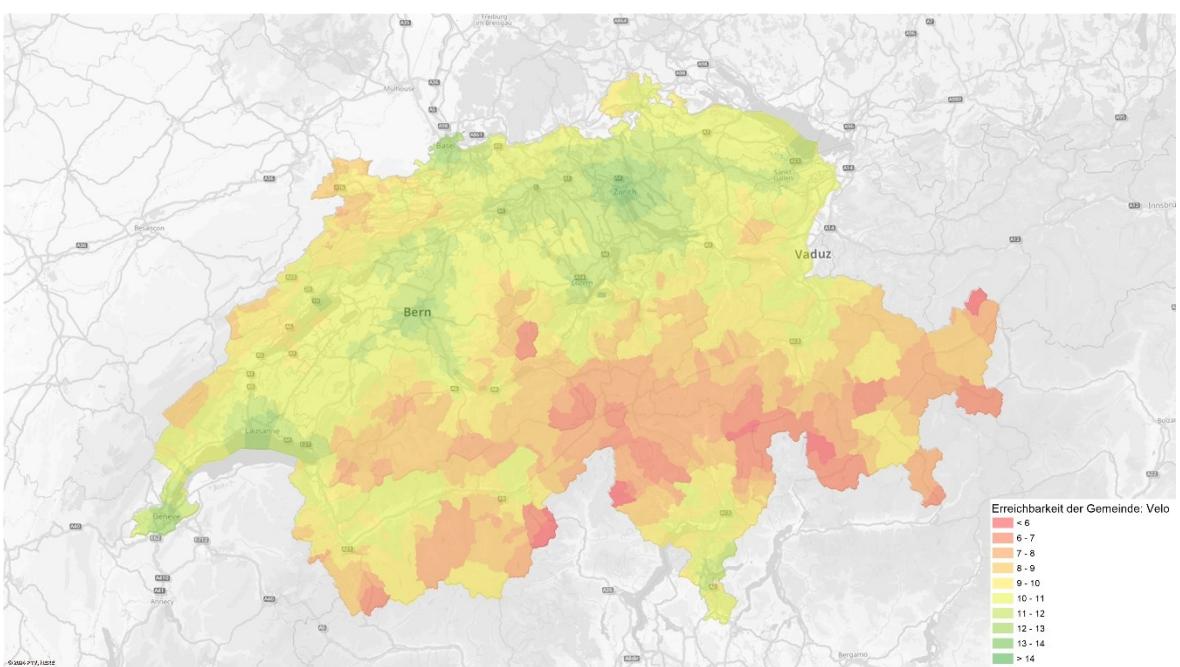


Abb. 7 Velo-Erreichbarkeiten der Schweizer Gemeinden.

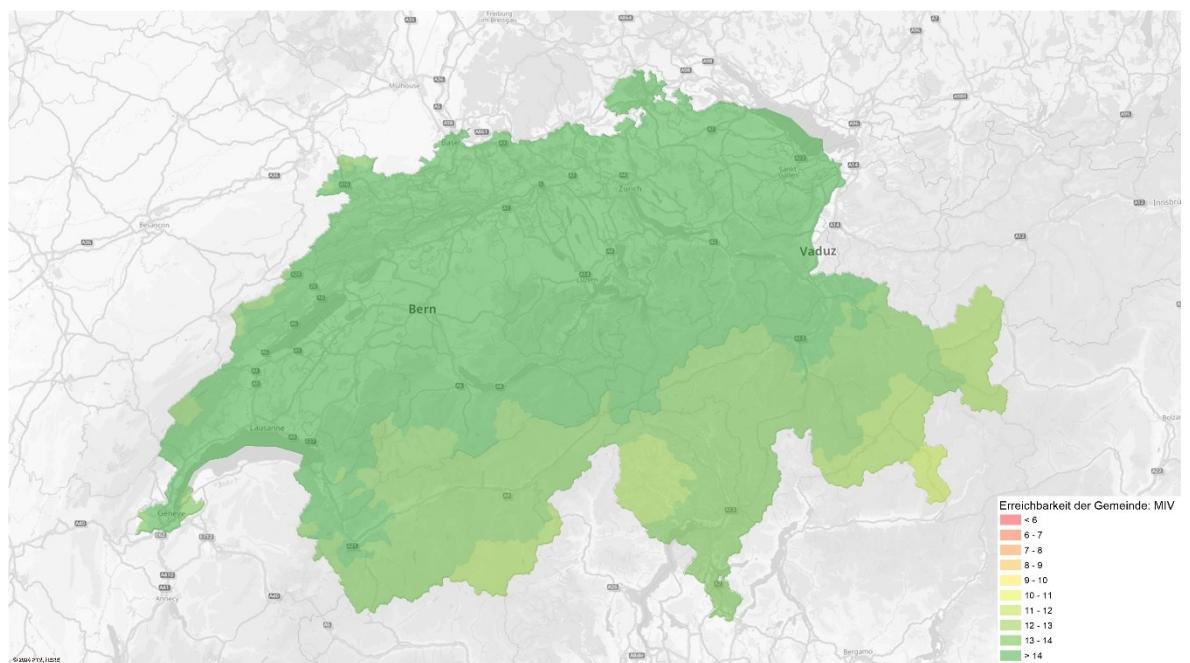


Abb. 8 MIV-Erreichbarkeiten der Schweizer Gemeinden.

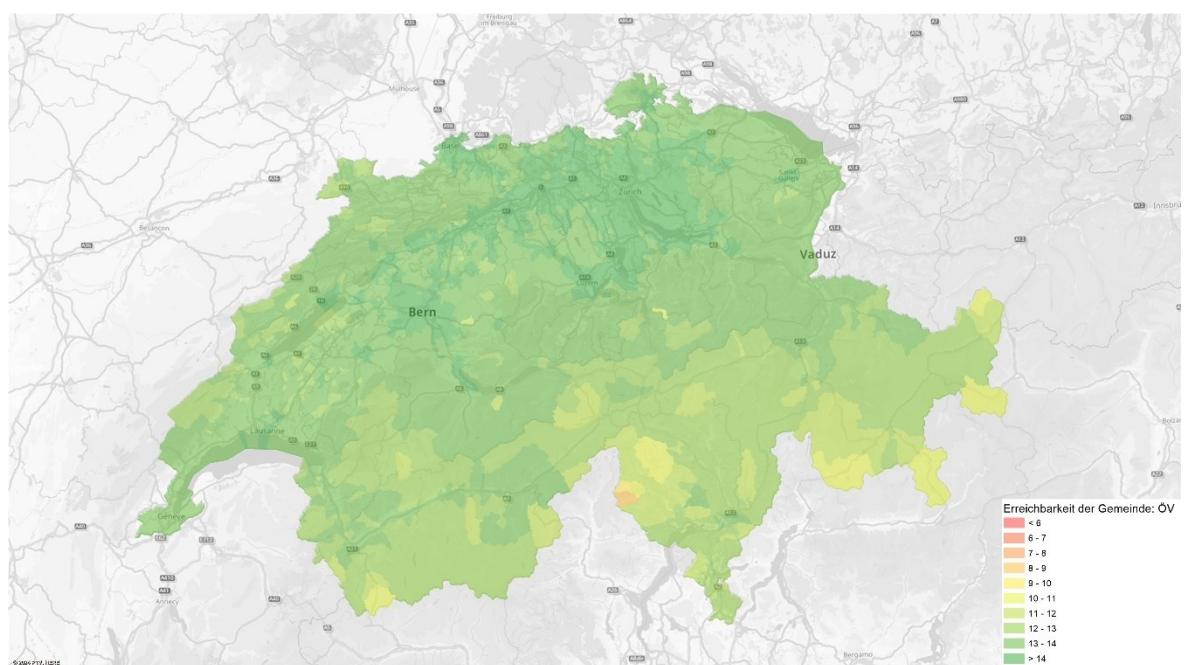


Abb. 9 ÖV-Erreichbarkeiten der Schweizer Gemeinden.

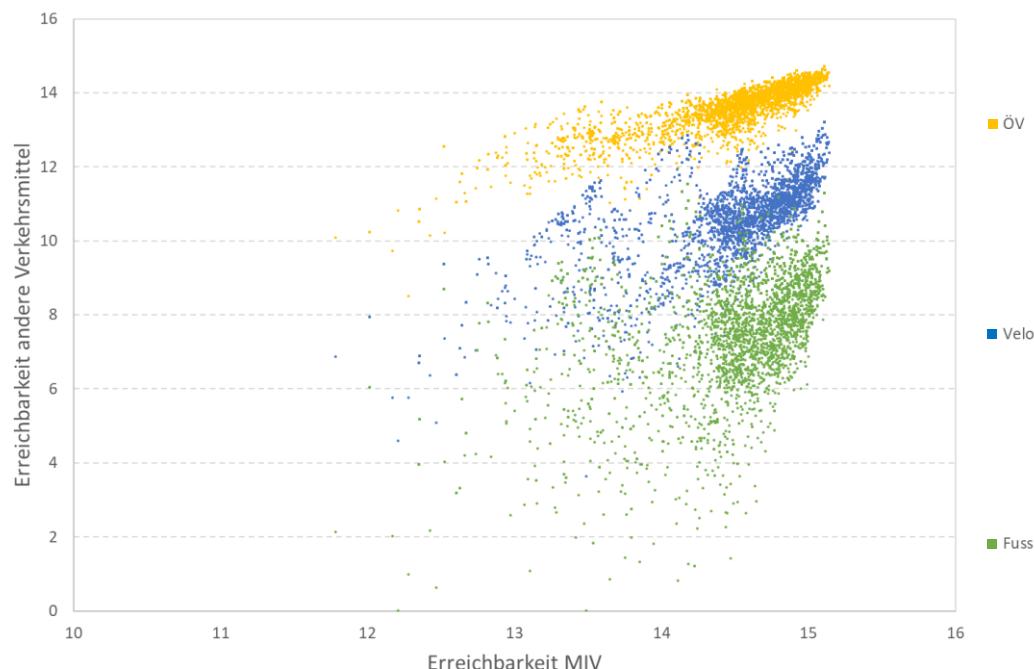


Abb. 10 Vergleich der Verkehrsmittel-Erreichbarkeiten der Schweizer Gemeinden.

3.3 Interpretation und Einordnung

Die berechneten Erreichbarkeitsindizes sind ein guter Indikator für die Erschliessung der Gemeinden mit den verschiedenen Verkehrsmitteln bzw. deren Verknüpfung mit den Aktivitätenpotenzialen in deren Umgebung. Die Berechnung mit dem NPVM stellt hier eine einheitliche Datengrundlage sicher, mit welcher alle vier Verkehrsmittel konsistent und mit den besten verfügbaren Grundlagendaten ermittelt werden konnten.

Die Erreichbarkeiten sind rein angebotsbezogene Kenngrössen, welche individuelle Präferenzen der einzelnen Verkehrsteilnehmer nicht berücksichtigen. Mit der so ermittelten Erreichbarkeit nicht erfasst und abbildungbar sind die Infrastrukturqualitäten im Fuss- und Velo-Verkehr, da diese in der makroskopischen Struktur des NPVM nicht vorliegen.⁷

Die Erreichbarkeiten stellen eine mit konsistenter Methodik flächendeckend und verkehrsmittelübergreifend berechenbare Kenngröße dar, und können in den zu schätzenden statistischen Modellen eingesetzt werden. Die im vorigen Abschnitt gemachten Überlegungen sollten bei der Interpretation der Ergebnisse dieser Modelle jedoch nicht ausser Acht gelassen werden.

⁷ Bei diesen beiden Verkehrsmitteln könnte die verwendete rein geh- bzw. fahrtzeitgetriebene Ermittlung der Erreichbarkeiten unzureichend sein, da hier andere Faktoren die Attraktivität in höherem Masse beeinflussen.

4 Nachfrage: Modal-Split für vier Verkehrsmittel

4.1 Ziel und Methodik

Neben den Angebotsverhältnissen (vgl. Kapitel 3) sind die Nachfrageverhältnisse die zweite zentrale Eingangsgröße für die statistischen Modelle, und dienen in diesen als abhängige Variablen.

Als Indikator für die Nachfrageverhältnisse stehen die Modal-Split-Anteile der vier betrachteten Verkehrsmittel (Fuss, Velo, MIV und ÖV) im Vordergrund, die auf Basis der Anzahl Wege zwischen Start- und Zielgemeinde ermittelt werden.⁸ Für deren gemeindefeine Be rechnung liegen zwei unterschiedliche Datengrundlagen vor:

- der Wege-Datensatz des Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) 2015 (vgl. Kapitel 2.2.3);
- das im Ist-Zustand 2019 auf den MZMV (Nachfragemodell) sowie die vorliegenden Zähldaten (Umlegungsmodelle) kalibrierte Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM).

Beide Grundlagen haben bei der Ermittlung von räumlich differenzierten Modal-Split-Anteilen ihre Vor- und Nachteile, ergänzen sich jedoch auch gegenseitig. So ist der MZMV eine Erhebung tatsächlicher Angaben von befragten Personen, welche jedoch aufgrund der in vielen Räumen unzureichenden Stichprobengrößen nicht flächendeckend als repräsentativ für die Modal-Split-Anteile auf Gemeindeebene angesehen werden kann. Das NPVM ist ebenfalls nicht gemeindeschärf, jedoch bezogen auf die einzelnen Raumtypen (städtisch, intermediär, ländlich), auf die Modal-Split-Anteile des MZMV kalibriert, verfügt hier also über die gleiche Tiefe. Zusätzlich sind die Umlegungsmodelle (MIV und ÖV) des NPVM auf (im Bereich der Nationalstrassen flächendeckend vorliegende und im nachgelagerten Netz ebenfalls breit abgestützte) Zähldaten kalibriert, was im kleinräumigen Bereich, also auf Ebene der Gemeinden, unter Umständen zu verlässlicheren Zahlen führt als der MZMV.

Aus den genannten Gründen wurden als Grundlage für die statistischen Modelle die beiden Datensätze verknüpft und hybride Modal-Split-Werte berechnet, welchen eine Gewichtung der MZMV- und NPVM-Werte zugrunde liegt. Die Logik ist hierbei, dass für Gemeinden mit grosser Stichprobe im MZMV dessen Werten der Vorrang (d.h. die deutlich höhere Gewichtung) zugeschrieben wird, bei Gemeinde mit sehr wenigen (oder keinen) Wegen im MZMV hingegen der Fokus stärker auf die Werte aus dem NPVM gelegt wird.

Die Festlegung der Gewichte beider Datensätze erfolgt anhand der in Abb. 11 dargestellten Kurve. Der MZMV wird demnach erst verwendet, wenn mindestens 15 Wege für eine Gemeinde vorliegen (darunter wird ausschliesslich auf die Werte des NPVM abgestellt). Dessen Gewichtung steigt anschliessend linear an, bis bei 300 vorliegenden Wegen die Stichprobengröße genügend ist, um repräsentative Werte aus dem MZMV ableiten zu können. Dessen Gewicht wird also für Werte ab 300 Wegen gleich 1 gesetzt.

⁸ Die Anzahl Wege sind in den verwendeten Daten besser abgebildet als die Tagesdistanz, die in anderen Studien ebenfalls häufig zur Ermittlung von Modal-Split-Anteilen verwendet wird.

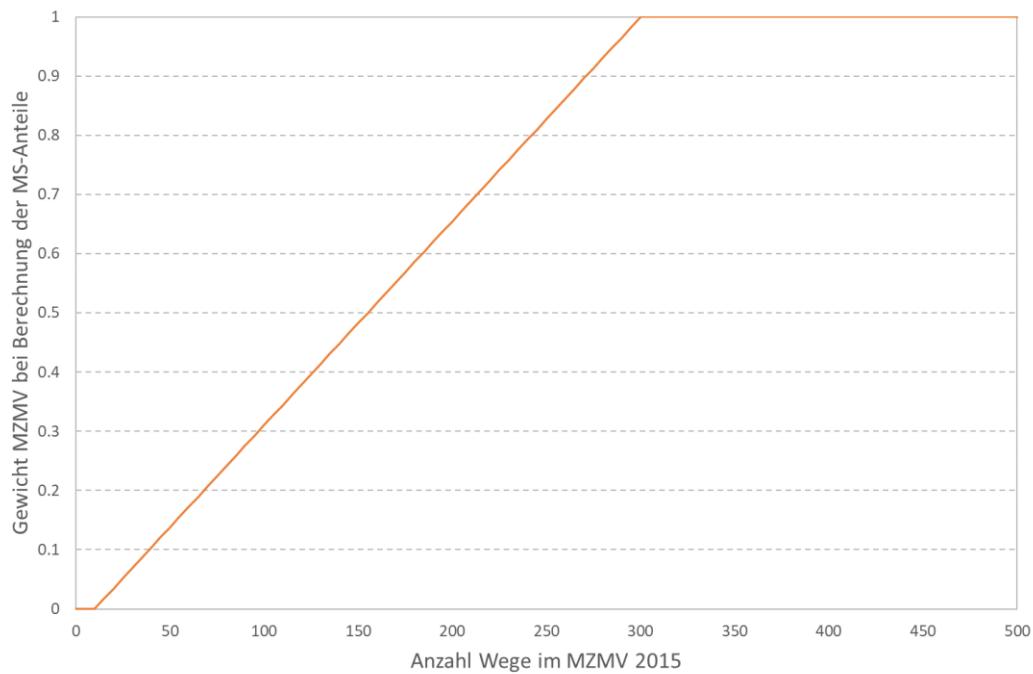


Abb. 11 Verwendete Gewichte bei der Berechnung der Modal-Split-Anteile.

4.2 Ergebnisse

Nachfolgende Abbildungen zeigen die so berechneten und gewichteten Modal-Split-Anteile der einzelnen Verkehrsmittel für die Wege (nach Hauptverkehrsmittel) der Einwohner aller Schweizer Gemeinden im Überblick als Karten:

- *Abb. 12* für Fusswege;
- *Abb. 13* für das Velo;
- *Abb. 14* für den MIV;
- *Abb. 15* für den ÖV.

Bei der hier gewählten Verwendung der gleichen Skalierung bzw. farblichen Abstufung der Anteile für alle vier Abbildungen ist ersichtlich, dass der MIV flächendeckend das dominante Verkehrsmittel ist. Das Velo ist hauptsächlich in urbanen Räumen präsent, während der Fussverkehr breit gestreut bis in die Agglomerationen ähnliche, aber ebenfalls weitestgehend eher tiefe, Anteile aufweist. Beim ÖV sind hohe Anteile einerseits in den Städten und entlang der grossen Korridore, andererseits aber auch teilweise in touristischen Gebieten, festzustellen.

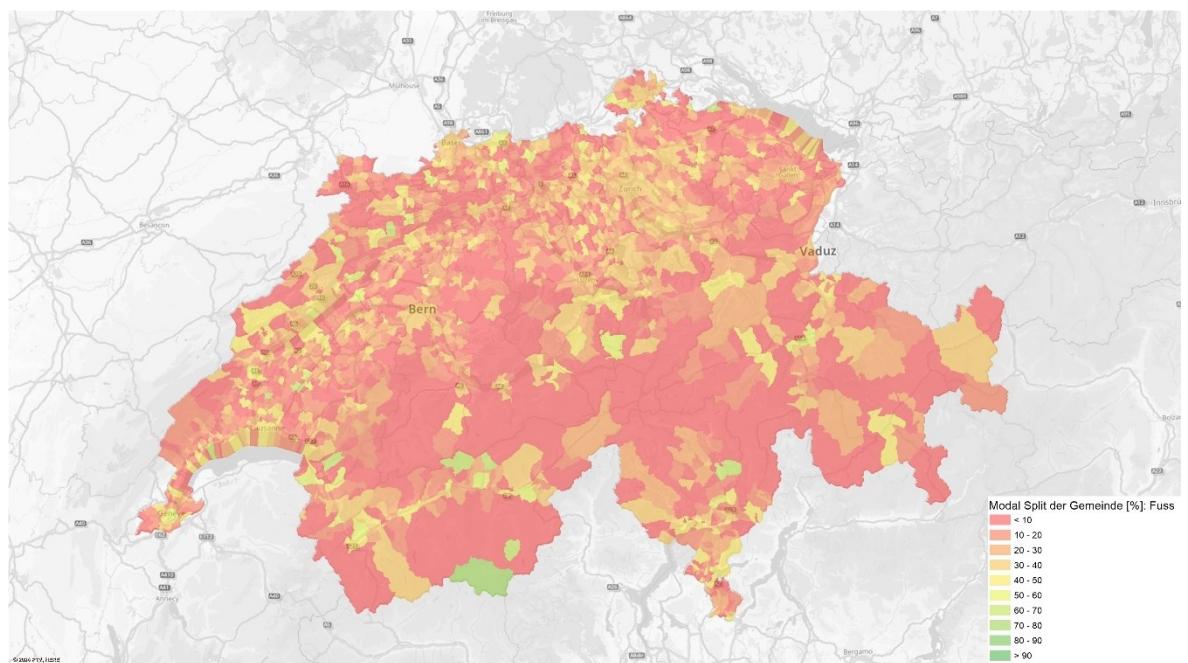


Abb. 12 Fuss-Modal-Split-Anteile [%] der Schweizer Gemeinden.

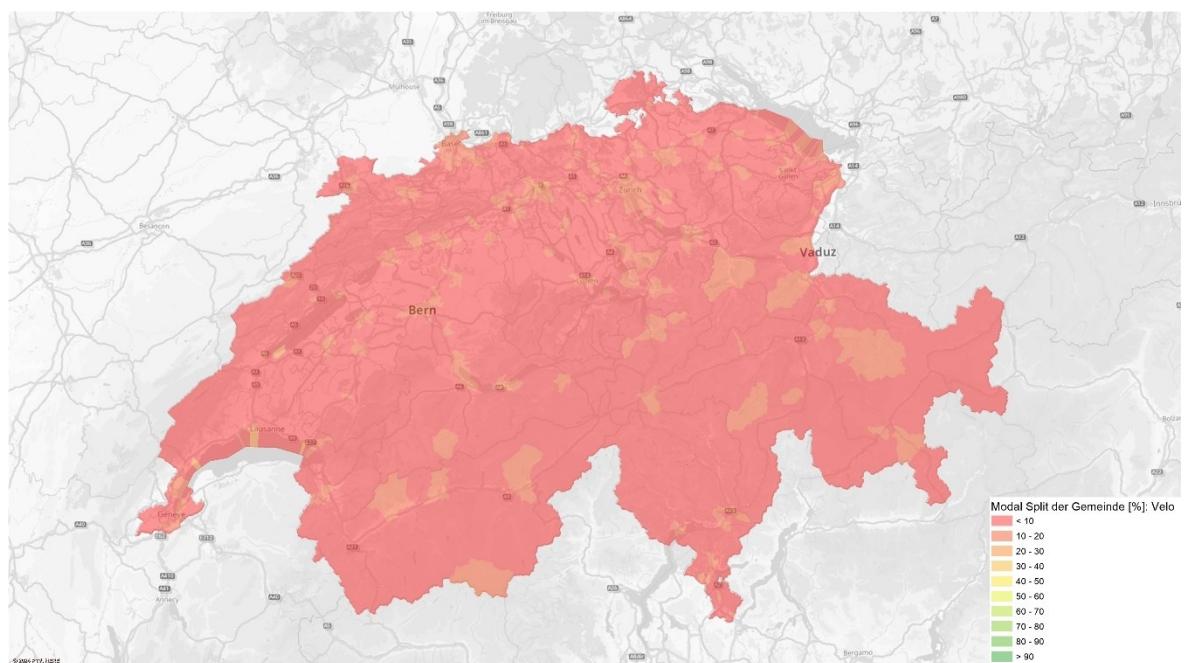


Abb. 13 Velo-Modal-Split-Anteile [%] der Schweizer Gemeinden.

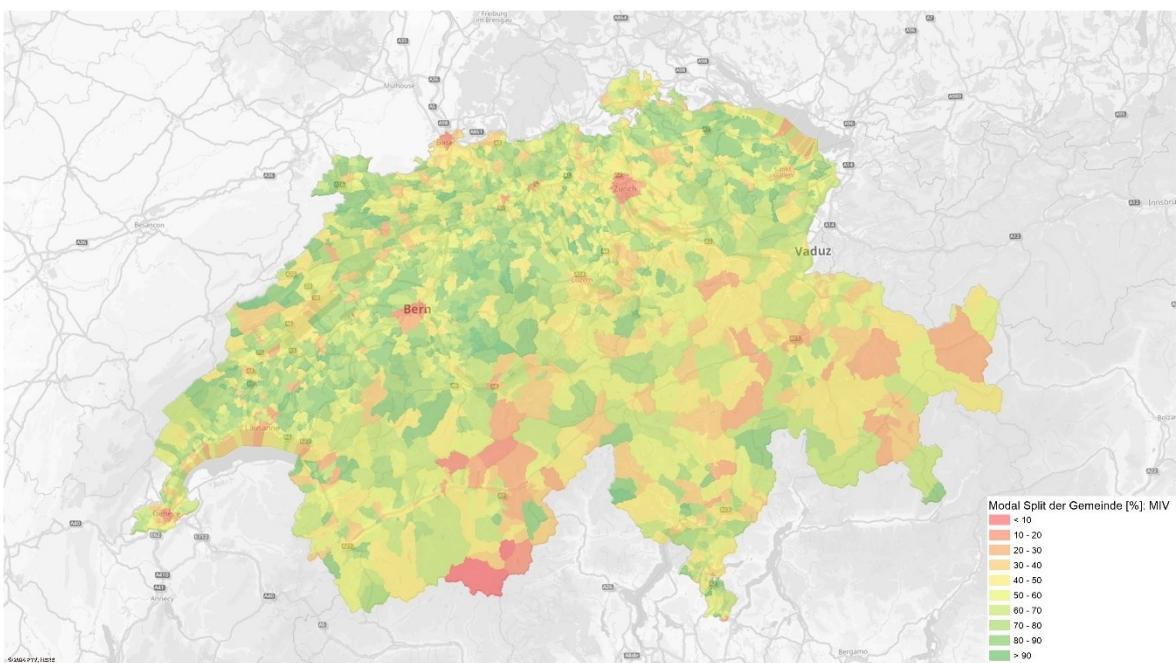


Abb. 14 MIV-Modal-Split-Anteile [%] der Schweizer Gemeinden.

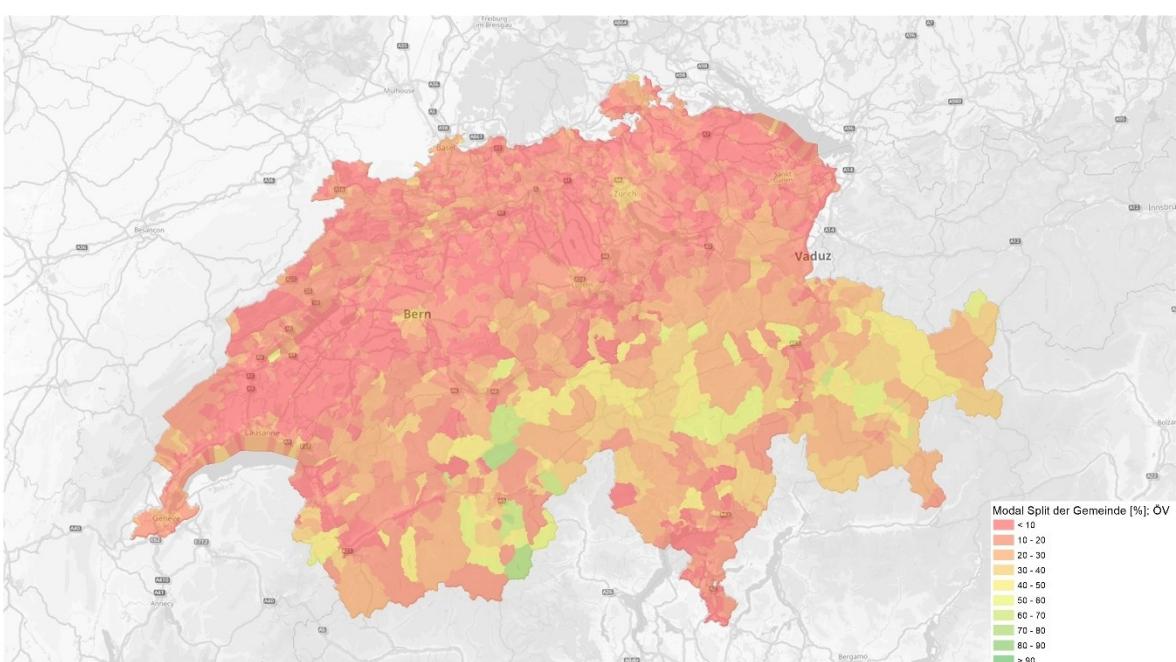


Abb. 15 ÖV-Modal-Split-Anteile [%] der Schweizer Gemeinden.

4.3 Interpretation und Einordnung

Mit der hybriden Verwendung der MZMV- und NPVM-Daten wurde die Datenqualität der Modal-Split-Werte optimiert, um die beiden flächendeckend vorliegenden Datenquellen bestmöglich zu nutzen. Es sollte jedoch nicht vernachlässigt werden, dass die so berechneten Modal-Split-Anteile immer noch mit Unsicherheiten behaftet sein dürften, insbesondere in Gemeinden mit wenigen Einwohnern und somit geringer Stichprobe in beiden Datensätzen.

Um diesem Umstand auch bei der Schätzung der statistischen Modelle Rechnung zu tragen, wurden die zu verwendenden Daten nochmals gewichtet, um Gemeinden mit kleiner Stichprobengröße, und damit mehr Unsicherheit, weniger Gewicht zu verleihen und eine robuste Schätzung der Parameter sicherzustellen. Als Gewicht wurde hierbei die gängige Quadratwurzel der Anzahl Beobachtungen verwendet.:

$$\text{Gewicht}_{\text{Gemeinde}} = \sqrt{(\text{Gewicht}_{\text{MZMV}} * n_{\text{MZMV}} + \text{Gewicht}_{\text{NPVM}} * \frac{n_{\text{NPVM}}}{200})}$$

Der Faktor 200 dient hier der Angleichung der Gesamtstichproben der beiden Datensätze.

5 Raum: Raumtypen und räumliche Charakteristiken

Ausgehend vom vereinfachten Wirkungsmodell in Kapitel 2 werden in diesem Kapitel die Raumtypen definiert. Sie dienen in der nachfolgenden deskriptiven Analyse als Hauptgruppierungsmerkmal sowie als Input für die angestrebte Schätzung von Erreichbarkeits-Modal-Split-Elastizitäten.

5.1 Ziele und Grundsätze

Die Raumtypen gruppieren Gemeinden gemäss ihren räumlichen Charakteristiken, welche Einfluss auf die Verkehrsplanung und die Verkehrsnachfrage, sowie auf deren «Eignung» für verschiedene Verkehrsmittel haben.

Dabei sollen folgende Ziele erreicht werden:

- Die Gruppen sollen sich ausreichend voneinander unterscheiden, damit strukturelle Unterschiede bei Verkehrsangebot und -nachfrage erkennbar sind.
- Zusätzlich sollte es innerhalb der Gruppen eine ausreichende Varianz bezüglich Erreichbarkeit (Angebot) und Modal-Split (Nachfrage) der verschiedenen Verkehrsmittel geben, so dass die innerhalb und zwischen den Gruppen bestehenden Unterschiede mit ausreichender statistischer Aussagekraft ermittelt werden können.
- Um den Raumtyp klarer von der Erreichbarkeit abzugrenzen und hohe Korrelationen mit den Variablen des Verkehrsangebots zu vermeiden, sollen die raumtypbestimmenden räumlichen Charakteristiken möglichst mittel- bis langfristig stabil bleiben. Kurzfristige Änderungen am Verkehrsangebot oder Nachfrageschocks sollten den Raumtyp nicht wesentlich beeinflussen.
- Für eine aussagekräftige Analyse müssen zudem in jedem Raumtyp genügend Beobachtungen vorhanden sein (nicht weniger als ca. 20 Gemeinden, nicht mehr als 600 Gemeinden). Bei Einteilung der etwas mehr als 2'200 Gemeinden (Gemeindestand 2017) in 3 Gruppen beträgt die mittlere Gruppengrösse etwa 730 Gemeinden. Bei 5 Gruppen liegt sie bei 440 Gemeinden und bei 9 Gruppen bei rund 240 Gemeinden.
- Die Zahl der raumtypbestimmenden Indikatoren sollte möglichst klein sein, die Informationsdichte und der Erklärungsgehalt dieser Indikatoren möglichst hoch. Beispiel: Bei drei Indikatoren mit je 3 Ausprägungen ergeben sich bereits 27 Raumtypen ($=3^3$), wobei die durchschnittliche Zahl der Gemeinden pro Gruppe bei etwa 80 läge.

5.2 Definition der Raumtypen

Ausgehend von der Literaturanalyse und vom vereinfachten Wirkungsmodell wurden zur Bildung der Raumtypen zwei Indikatoren ausgewählt:

- **Raumstruktur:** Abbildung der räumlichen Einschränkungen und Hindernisse für die Angebotsentwicklung, die Siedlungsentwicklung und die Nutzung der Verkehrsmittel in einer Gemeinde
- **Siedlungsstruktur:** Abbildung der Siedlungsdichte, Grösse und Diversität einer Gemeinde

Beide Indikatoren weisen eine hohe Informationsdichte auf und sind zudem in der Definition weitgehend unabhängig von der Erreichbarkeit und vom Modal-Split.

5.2.1 Indikator «Raumstruktur»

Dieser Indikator folgt folgender Intuition:

- Die Raumstruktur beschreibt räumliche Einschränkungen und Hindernisse für die Planung, Bereitstellung sowie Nutzung der Verkehrsmittel
- Die Raumstruktur hat Einfluss auf zurückzulegenden Distanzen (Umwege um Hindernisse), Kosten der Infrastruktur (Kunstbauten) und des Angebots sowie auf die räumliche Ausdehnung der Siedlung.

Insbesondere Topografie, Hydrologie und die Präsenz künstlicher und natürlicher Hindernisse beschränken die Möglichkeiten der Verkehrsplanung, der Siedlungsentwicklung und die Eignung der verschiedenen Verkehrsmittel (Umwege, Überwindung mit Kunstbauten):

- **Grossflächige Räume** sind offen, weisen nur wenige Hindernisse auf, sind meist flach. Ausdehnung der Siedlung, grossräumige Erschließung des Raums und Nachfrage-bündelung in alle vier Himmelsrichtungen möglich.
- **Kleinflächige Räume** sind eingengt, weisen schwierige Topografien auf (Talstrukturen), die Möglichkeiten der Siedlungsausdehnung und der grossräumigen Erschließung / Nachfragebündelung sind (ganzjährig) auf 1 oder 2 Himmelsrichtungen beschränkt.

Als Inspiration dient dabei die von Weidmann et al. (2011) vorgenommene Typisierung von «Strukturtypen». Wie in Kapitel 2.1.1 erläutert, dienen diese der Analyse der Einsatzbereiche und Eignung verschiedener Verkehrsmittel. Die Analyse erfolgte dabei auf konzeptieller Ebene und wurde nicht in einer quantitativen Untersuchung operationalisiert. Gemäß den Autoren lassen sich die Strukturtypen auch mit jeweils dafür typischen Siedlungsdichten, Verkehrssystemen und Intensitäten der Verkehrsnachfrage verknüpfen. Die folgende Abbildung zeigt die beschriebenen Strukturtypen mit den jeweils typischen Verkehrsströmen.

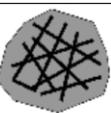
Strukturtyp	Verkehrsstromtyp	
	S1 Geschlossener Siedlungsraum	V1 Netzförmige Verkehrsröme. Hohe Nachfragedichte
	S2 Sternförmiger Siedlungsraum	V2 Radiale Nachfragestruktur
	S3 Achsenförmiger Siedlungsraum	V3 Linear-gebündelte Nachfragestruktur
	S4 Verzweigter Siedlungsraum	V4 Verzweigte Nachfragestruktur
	S5 Disperser Siedlungsraum	V5 Netzförmige Verkehrsströme, mittlere bis tiefe Nachfragedichte

Abb. 16 Strukturtypen und Verkehrsstromtypen nach Weidmann et. al 2011

Für die vorliegende quantitative Forschungsarbeit wurden diese Strukturtypen operationalisiert. Die Operationalisierung erfolgt dabei über die Fläche der Isochrone der in 240 Minuten (4 Stunden) entlang von Fusswegen zu Fuss erreichbaren Gebiete. Innert dieser Zeit können bei einer Gehgeschwindigkeit von ca. 5 km/h rund 20 km zurückgelegt werden, was ca. 50% der täglich zurückgelegten Distanz entspricht.

Weil die Gehgeschwindigkeit konstant ist, wird beim Routing die Länge des zu Fuss begehbaren Verkehrsnetzes «abgetastet» inkl. dadurch entstehender Umwege aufgrund von klein- und grossräumigen Hindernissen (Gebäude, Seen, Flüsse, Gebirge, Hügel). Seen, Flüsse, Felsen und Gletscher gelten dabei als «absolute» Hindernisse, wenn sie nicht durch Fussgängerbrücken oder Fusswege überwunden werden können.

Diese Methode bietet die folgenden Vorteile:

- Das **Fussverkehrs-Routing** berücksichtigt unmittelbar die Topografie, die Hydrologie und auch kleinräumige künstliche Hindernisse (Verkehrsinfrastruktur und Gebäude). Umgekehrt nutzt das Routing bestehende lokale Infrastrukturen wie Brücken, Unter- und Überführungen zur Überwindung der Hindernisse, was den Raum öffnet.
- Der **Fussverkehr als Basis-Mobilität** ist überall verfügbar (Städte und Alpenpässe) und es existiert für die Verkehrsteilnahme in der Regel keine Eintrittsschwelle.
- Die Fussverkehrsgeschwindigkeit ist **unabhängig vom Angebot der übrigen Verkehrsmittel** (ÖV-Angebot und Hochleistungs-Strassen), vielmehr werden Strassen und Schienen auch als kleinräumig wirksame Hindernisse angesehen.
- Die entstehenden Isochronen sind **unabhängig** von arbiträr festgelegten **Gemeindegrenzen**, d.h. die **Vergleichbarkeit** heterogener Gemeinden kann gewährleistet werden.
- Die Fläche der Isochronen ist in ihrer **Definition unabhängig** von **Dichte und Diversität**, also unabhängig von der Definition des zweiten Indikators «Siedlungsstruktur», und auch weitgehend unabhängig von der Definition der Erreichbarkeit. Umgekehrt würden andere Indikatoren wie die Bevölkerung oder Beschäftigten innerhalb der Isochrone voraussichtlich stärker mit der Dichte und auch mit der Erreichbarkeit korrelieren. Die Isochronenfläche korreliert eher schwach mit der Bevölkerungs- und Beschäftigungsdichte (0.10-0.32, je nach Flächenbezug zur Ermittlung der Dichte). Die relative Dichte (Anzahl Einwohner pro Beschäftigte) korreliert negativ mit der Isochronenfläche (-0.14 oder -0.57 je nach Flächenbezug). Die Fläche korreliert zudem auch nur sehr schwach mit der absoluten Zahl der Einwohner (0.08) und der Beschäftigten (0.06) innerhalb einer Gemeinde.
- Die Variable verfügt zudem wie angestrebt über eine **hohe Informationsdichte** und zeichnet ein Gesamtbild verschiedener Einflüsse. Die ermittelte Fläche der Isochrone einer Gemeinde korreliert beispielsweise mit dem Median (-0.70) und der Standardabweichung der Höhenlage (-0.85), mit der Sonnenscheindauer (-0.79) und der Median-Temperatur (0.60), bildet somit auch Einflüsse der Höhenlage und teilweise des Klimas ab. Eine eher hohe Korrelation besteht auch mit der gesamten Gebäudefläche (0.78).

Das Spektrum der Variable kann dabei durch seine zwei Extreme beschrieben werden:

- Eine **große Fläche** zeigt, dass eine Gemeinde flach ist, gerade und direkte Fusswege aufweist und in alle vier Himmelsrichtungen «offen» ist, d.h. keine unüberwindbaren räumlichen Hindernisse existieren. Ein Kreis von 20km Radius kann eine Fläche von rund 125'000 Hektaren aufspannen.
- Eine **kleine Fläche** spricht für eine sehr hügelige Gemeinde mit vielen künstlichen oder natürlichen Hindernissen sowie einem stark ausgedünnten Wegnetz. Solche Gemeinden liegen in einem engen Tal, das nur in eine Richtung geöffnet ist. Durch Beschränkung auf eine von vier Richtungen reduziert sich die Kreisfläche je nach Talstruktur und Breite auf 25'000 bis 40'000 Hektaren.

Die folgende Abbildung zeigt drei typische Beispiele solcher Isochronen:

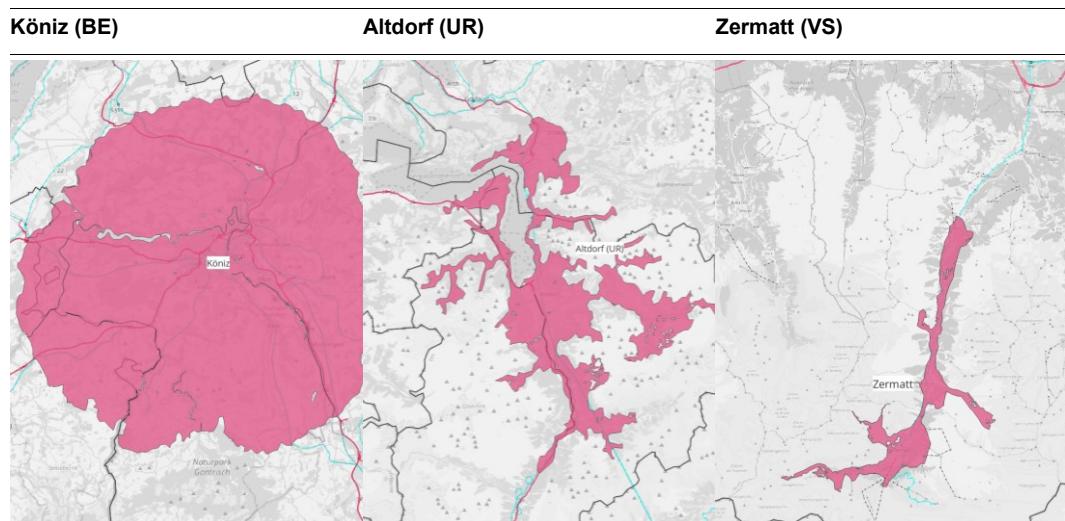


Abb. 17 Typische Beispiele von 240-Minuten-Fussweg-Isochronen (hindernisbereinigt)

Die folgende Karte visualisiert für alle Gemeinden die von der Isochrone beschriebene Fläche in Hektaren.

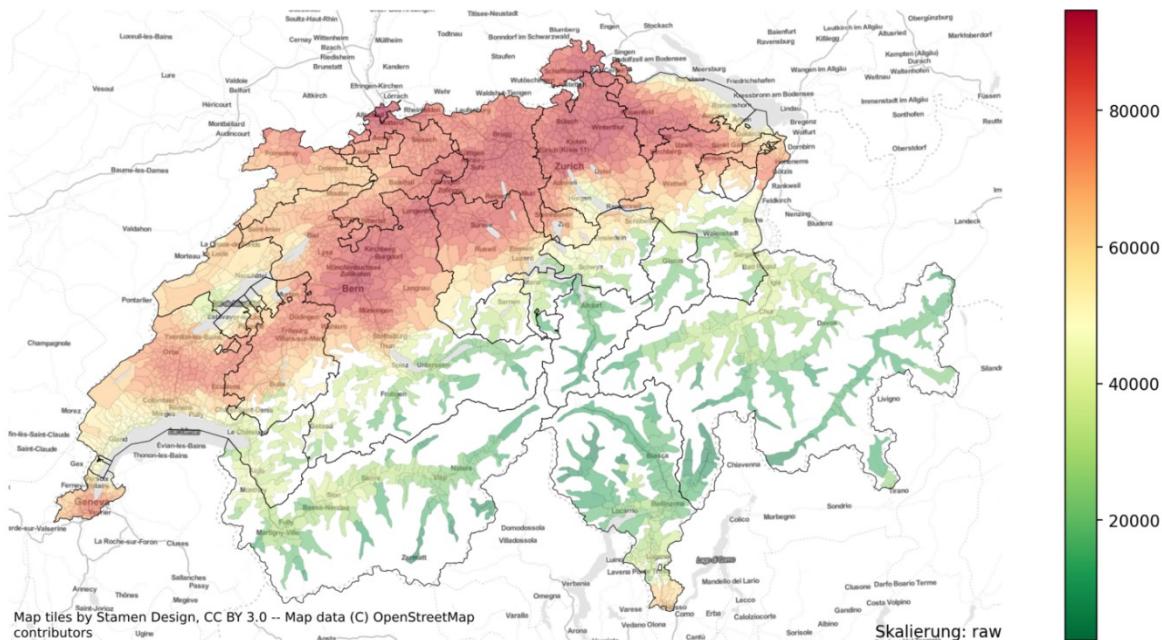


Abb. 18 Fläche der 240min-Fussweg-Isochronen (hindernisbereinigt)

Sehr grosse Flächen konzentrieren sich im Mittelland zwischen Bern, Brugg, Zürich und Winterthur sowie Basel. Auch in Genf und Chiasso öffnet sich der Raum. Die kleinsten Flächen entstehen in den Alpentälern sowie deren Seitentälern. Mittlere Flächen häufen sich in den Voralpen, am Jura sowie rund um die grösseren Seen. Dies zeigt die austauschbaren Einschränkungen, die von der Topografie und der Hydrologie ausgehen. Durch Gebirge und Seen wird gemäss Modell die Entwicklung von Siedlung, Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsangebot räumlich eingeschränkt.

Das Schema in Abb. 19 zeigt das Vorgehen und die verwendeten Datenquellen zur Ermittlung der Isochronen und ihrer Flächen für alle Gemeinden der Schweiz.

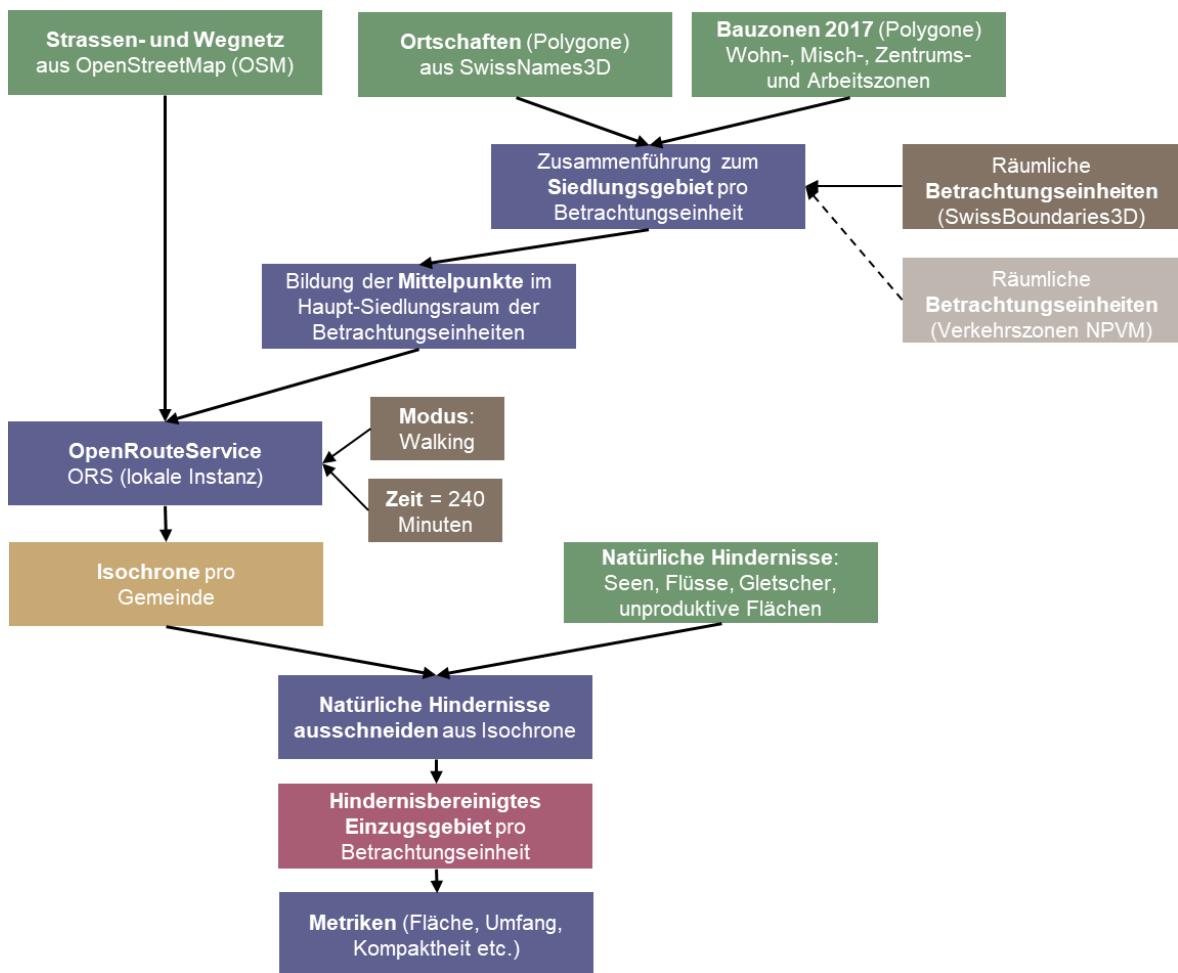


Abb. 19 Vorgehen zur Ermittlung der hindernisbereinigten Fussweg-Isochronen

5.2.2 Indikator «Siedlungsstruktur»

Der Indikator Siedlungsstruktur folgt folgender Intuition:

- Die Siedlungsstruktur bildet die Bevölkerungsdichte und Bevölkerungszahl in zusammenhängenden Siedlungsclustern ab.
- Die Siedlungsstruktur hat Einfluss auf die regionale Nachfragedichte, die mittleren zurückzulegenden Distanzen, die Wirtschaftlichkeit von ÖV-Angeboten, die Durchlässigkeit des Raums (künstliche Hindernisse) und definiert auch Anforderungen an die Flächeneffizienz der Verkehrsmittel (vorhandenen freie Flächen zur Entwicklung von Verkehrsinfrastruktur und Siedlung).

Die Siedlungsstruktur ist ein wichtiger Faktor zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Raum, Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage:

- **Dicht besiedelte** Räume sind gut für den Fussverkehr (kurze Distanzen) und den öffentlichen Verkehr (ausreichende Nachfragedichte, Bündelung der Verkehrsströme, Kosteneffizienz) geeignet, meist auch für den Veloverkehr, auch wenn künstliche Hindernisse und viele Kreuzungen die Geschwindigkeit beschränken können. Solche Räume schränken aber insbesondere den MIV ein (tiefe Geschwindigkeit, wenig Platz für Parkplätze). Eine hohe Dichte geht oft auch mit einer hohen Diversität und somit kurzen Distanzen zu verschiedenen Aktivitätenpotenzialen einher.

- **Geringbesiedelte** Räume sind gut für den MIV und den Veloverkehr geeignet (höhere erreichbare Geschwindigkeiten), aber weniger für den ÖV (wenig Möglichkeiten zur Bündelung der Nachfrage) und den Fussverkehr (weite Distanz zum nächsten Ort). Räume geringer Dichte weisen oft auch eine geringere Diversität und somit weitere Distanzen zu verschiedenen Aktivitätenpotenzialen auf.

Zur Operationalisierung des Indikators «Siedlungsstruktur» wird der DEGURBA-Gemeindetyp (Definition 2011) (vgl. eurostat 2018 [37]) verwendet. Diese Typologie analysiert Cluster von Gebieten mit unterschiedlicher Bevölkerungsdichte und berücksichtigt dabei auch die absolute Bevölkerungszahl zusammenhängender benachbarter Gebiete über Gemeindegrenzen hinweg.

Die Zuordnung zu den drei Gemeindetypen «dicht besiedelt» (cities), „mitteldicht besiedelt“ (towns and suburbs) und «geringbesiedelt» (rural area) erfolgt in zwei Schritten:

1. Zuerst werden 1 km² Rasterzellen klassifiziert. Dabei gelten folgende Regeln:
 - **«urban center»** = Rasterzellen mit mindestens 1'500 Einwohnern/-innen pro Zelle und mindestens 50'000 Einwohner/innen in zusammenhängenden benachbarten Zellen
 - **«urban cluster»** = Rasterzellen mit mindestens 300 Einwohner/-innen pro Zelle und mindestens 5'000 Einwohner/innen in den zusammenhängenden benachbarten Zellen
 - **«rural cell»** = übrige Rasterzellen (somit weniger als 300 Einwohner/Innen pro Zelle oder weniger als 5'000 Einwohner/innen in zusammenhängenden benachbarten Zellen)
2. Anschliessend werden diese Rasterzellen auf die Gemeinden aggregiert. Dabei gelten folgende Regeln:
 - **Dicht besiedelt / cities:** Mindestens 50% der Bevölkerung lebt in Zellen des Typs «urban center»
 - **Mitteldicht besiedelt / towns and suburbs:** Mindestens 50% der Bevölkerung lebt in Zellen des Typs «urban cluster»
 - **Geringbesiedelt / rural area:** Mindestens 50% der Bevölkerung lebt in Zellen des Typs «rural»

Die folgende Abbildung zeigt die Einteilung der Gemeinden in diese drei Typen (vgl. BFS 2020 [38]).

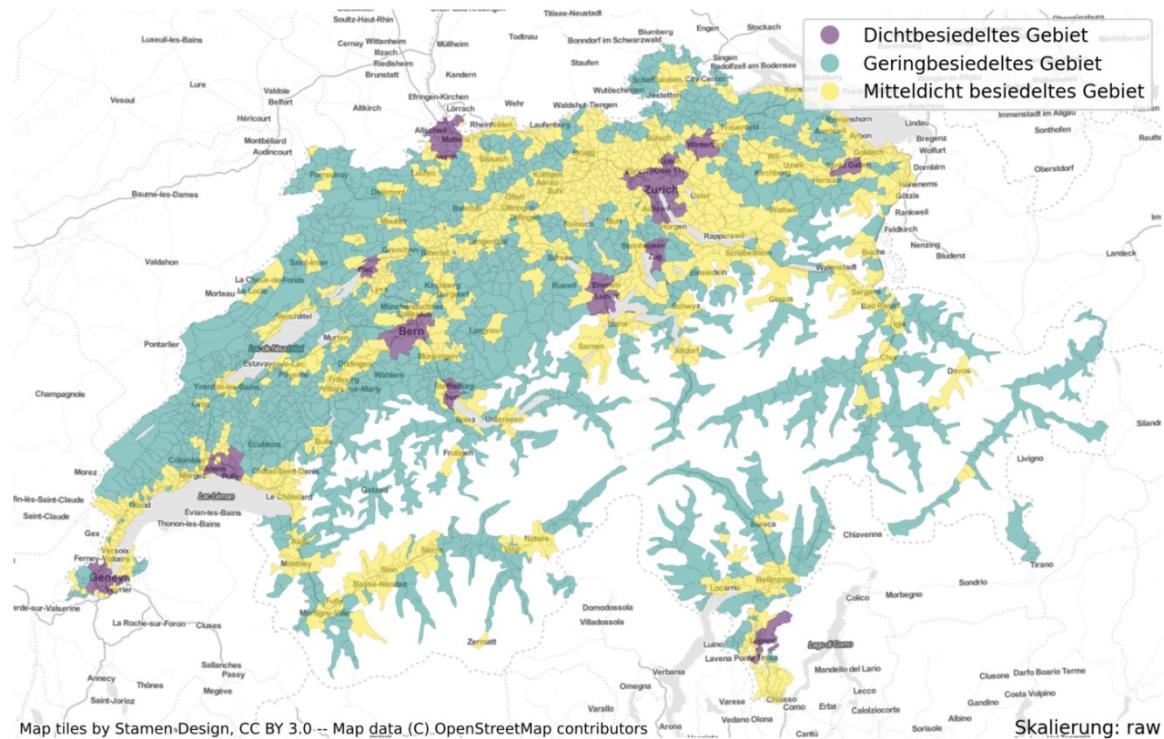


Abb. 20 DEGURBA-Gemeindetypologie (Definition 2011)

Dichtbesiedelte Räume sind rund um die grossen Agglomerationen Zürich, Bern, Basel, Lausanne und Genf sowie die Agglomerationen Lugano, Luzern, Thun, Winterthur, Zug, Biel und St. Gallen zu finden.

Mitteldicht besiedeltes Gebiet befindet sich entlang der Nationalstrassen im Mittelland sowie rund um die restlichen kleinen und mittleren Agglomerationen, aber auch entlang des Genfersees und des Zürichsees. Der geringbesiedelte Raum ist breit verstreut, sowohl im Mittelland, den Voralpen, im Jura und auch in den Alpentälern.

5.3 Zuordnung der Gemeinden zu den Raumtypen

Ausgehend von den beiden Indikatoren werden die Gemeinden zu insgesamt 9 Raumtypen zusammengefasst. Die Zuordnung erfolgt dabei zunächst über die Siedlungsstruktur und erst im zweiten Schritt über die Raumstruktur. Innerhalb der DEGURBA-Cluster wurde die Abgrenzung in «grosser», «mittlere» und «kleine» Räume so gewählt, dass sich die Mittelwerte der Gruppen möglichst stark unterscheiden, die Werte innerhalb der Gruppe aber möglichst nahe bei diesem Mittelwert liegen. Ein diesen Anforderungen genügendes Ergebnis liefert der «Jenks natural breaks»-Algorithmus.

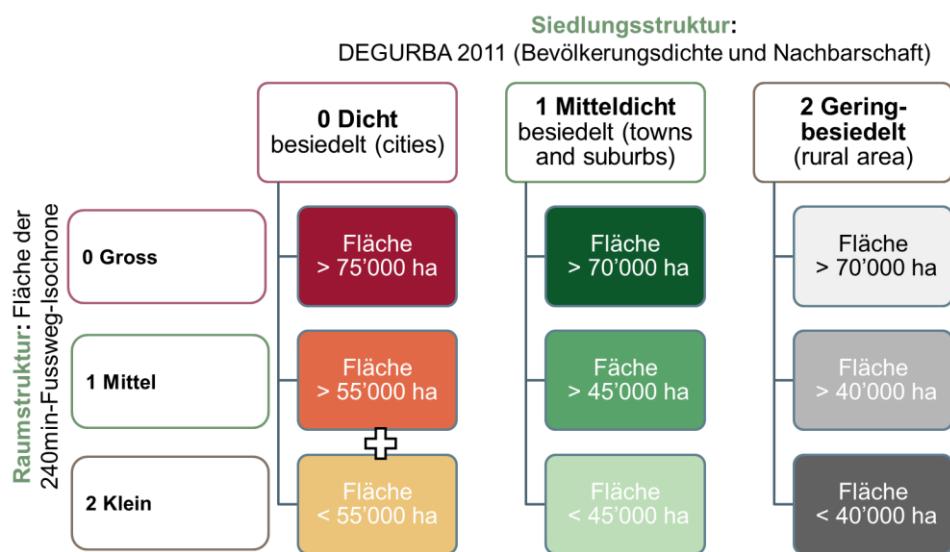


Abb. 21 Zuordnung der Gemeinden in Raumtypen auf Basis der zwei Indikatoren Raumstruktur und Siedlungsstruktur

Die folgende Abbildung zeigt die Einteilung der Gemeinden in die 9 Raumtypen. In grauer Farbe ist der DEGURBA-Raumtyp «geringbesiedelt» dargestellt, in grüner Farbe der Typ «Mitteldicht» besiedelt und in Rottönen der «Dicht» besiedelte Raumtyp. Innerhalb dieser Farbgebung sind die drei Typen der Raumstruktur («Klein», «Mittel», «Gross») durch unterschiedliche Farbnuancen differenziert. Als Geometrien werden in der Karte, die auf Gemeindegrenzen zugeschnittenen 240min-Fussweg-Isochronen verwendet. Nicht von den Isochronen abgedeckte Gebiete bzw. nicht erreichbare Gebiete wie Gebirge, Gletscher oder Seen werden rot schraffiert dargestellt.

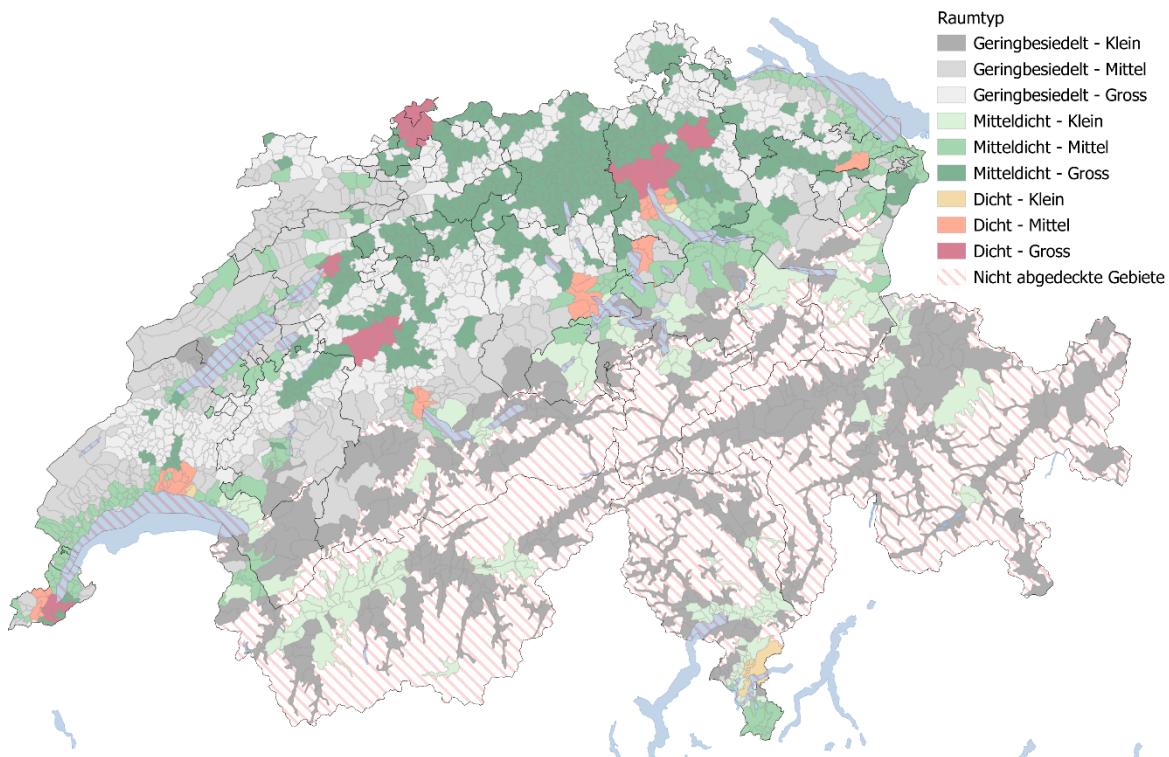


Abb. 22 Einteilung der Gemeinden zu den 9 Raumtypen

Die folgende Tabelle zeigt für die neun Raumtypen die Anzahl der zugeordneten Gemeinden sowie einige typische Beispiele. Insgesamt kann dabei die Anforderung, pro Raumtyp mindestens 20 Gemeinden zu erhalten nicht vollständig eingehalten werden. Der betroffene Raumtyp Dichtbesiedelt – Klein weist jedoch bezogen auf seine Charakteristiken (vgl. auch nachfolgendes Kapitel 5.4) teilweise deutlich andere Eigenschaften auf als der Raumtyp Dichtbesiedelt – Mittel. Auf eine Zusammenlegung dieser beiden Typen wurde deshalb verzichtet.

Siedlungsstruktur	Raumstruktur	Gemeinden (Anzahl)	Beispiele
Dicht besiedelt (cities)	Gross	47	<i>Grosse Agglomerationen/Mittelland (ohne Lausanne und Lugano): Zürich, Bern, Köniz, Basel, Genf, Winterthur, Biel</i>
	Mittel	35	Lausanne, Thun, Luzern, Thalwil, Küsnacht (ZH), Zug, St. Gallen, Meyrin, Lully
	Klein	16	Lugano, Erlenbach (ZH), Lutry
Mitteldicht besiedelt (towns and suburbs)	Gross	517	<i>Vorwiegend Seeland-Mittelland entlang der Nationalstrasse auf der Achse Hauterive (FR)-Bern-Zürich-St. Gallen: Yverdons-les-Bains, Fribourg, Murten, Münsingen, Lenzburg, Wettingen, Will (SG), Altstätten, Riaz</i>
	Mittel	254	Arbon, Amriswil, Appenzell, Stans, Chiasso, Mendrisio, Bulle, Aigle sowie Gemeinden entlang des Genfersees wie Gland, Nyon, Morges
	Klein	164	<i>Talböden der Alpentäler und Voralpen: Sion, Interlaken, Brig-Glis, Sarnen, Schwyz, Altdorf, Buochs, Glarus Nord, Chur, Meilen, Bellinzona, Locarno, Montreux sowie die Tourismuszentren Zermatt, St. Moritz, Davos</i>
Gering-besiedelt (rural area)	Gross	575	<i>Ländliches Mittelland</i>
	Mittel	324	<i>Jura und Voralpen</i>
	Klein	323	<i>Seiten- und Bergtäler des Alpenraums sowie Nordwestseite des Neuenburgersees</i>

Abb. 23 Gemeinden nach Raumtyp (Beispiele)

Der nachfolgende Box-Plot zeigt die Mittelwerte (-), Median (x) sowie die Streuung der Isochronenflächen nach Raumtyp.

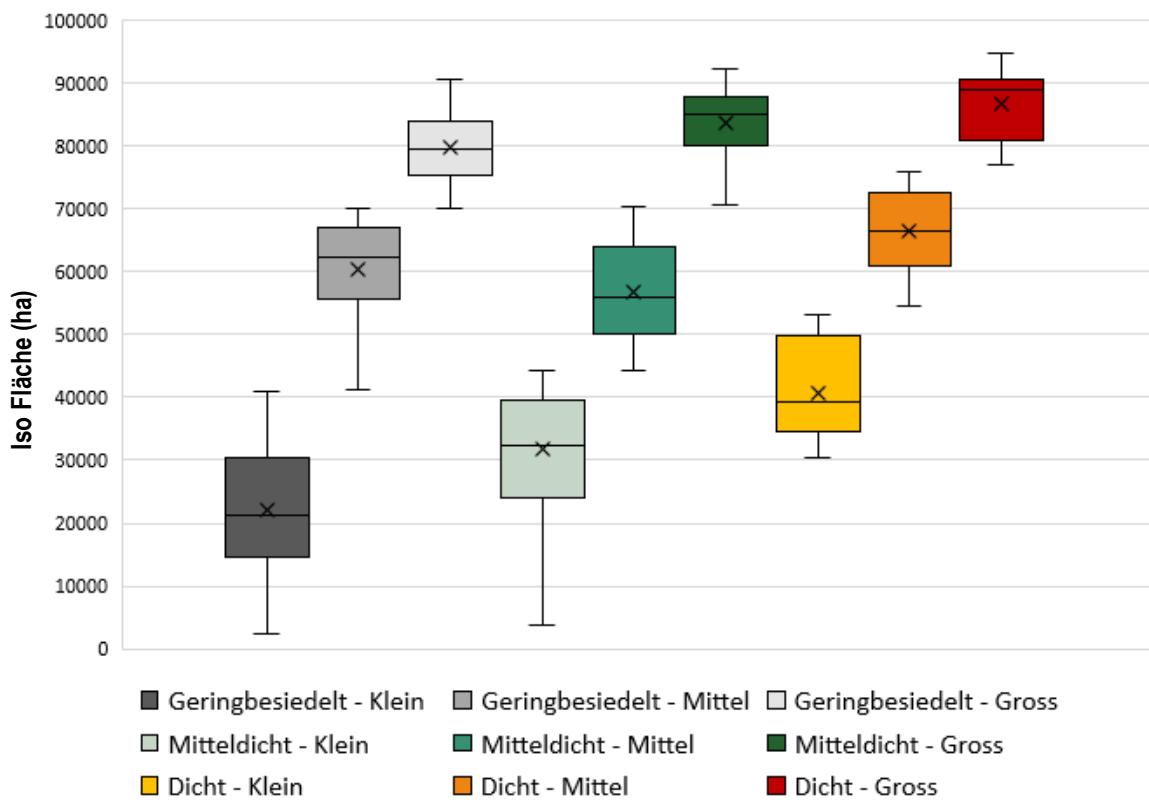


Abb. 24 Mittelwerte, Median und Streuung der Isochronenfläche nach Raumtyp

5.4 Charakterisierung der Raumtypen

5.4.1 Räumliche Charakteristiken

Als Grundlage zur Beschreibung der räumlichen Charakteristiken der neun Raumtypen wurde eine Datenbank aufgebaut. Dabei wurden insbesondere die in der Literaturanalyse (Kapitel 2) identifizierten Merkmale (soweit aus vorhandenen Daten möglich) aufbereitet. Die Merkmale wurden dabei für verschiedene Flächenbezüge (vgl. Tab. 2) aufbereitet.

Tab. 2 Definition der verwendeten Flächenbezüge

Flächenbezug	Ermittlung / Bedeutung
Gemeinde	Gemeindegrenzen (SwissBoundaries3D, Gemeindestand Mitte 2017)
Vegetationsfläche	Gemeindegebiet ohne unbewohnte, vegetationslose Flächen (BFS GEOSTAT)
Isochrone	Gebiet das innerhalb 240 Minuten zu Fuß (auf Fusswegen) erreichbar ist (hindernisbereinigt)
Einzugsgebiet	An der Gemeindegrenze abgeschnittene Isochrone
Siedlungsgebiet	Verbund aus Bauzonen (Arbeits-, Wohn-, Misch- und Zentrumszonen) und Ortschaften gemäß SwissNames3D innerhalb der Gemeindegrenzen

Die folgenden Tabellen zeigen für die neun Raumtypen ausgewählte Charakteristiken von verschiedenen Dichtekennzahlen über Angaben zur Verkehrserschließung bis hin zu klimatischen Kennzahlen und Wirtschaftsstruktur. Relativ tiefe Werte für ein Merkmal sind

jeweils mit einem Pfeil nach unten in roter Farbe (⬇️) markiert, relativ hohe Werte mit einen grünen Pfeil nach oben (⬆️). Mittlere Werte werden mit gelben Pfeilen dargestellt. Graue Pfeile nach rechts (➡️) signalisierten einen Wert rund um den Mittelwert.

Kurzerläuterung und Hinweise zu einzelnen Indikatoren:

- Der **ÖV-Güteklassenindex** wird als gewichtete Summe der Anteile der Bevölkerung (oder Beschäftigten) in Gütekasse A bis ohne Gütekasse pro Gemeinde ermittelt. Die Gewichtung erfolgte mit der folgenden Skala: Anteil A: 100, B: 50, C: 25, D: 12.5, Ohne GK: 1. Diese folgt der Überlegung, dass 1% in Gütekasse A gleichwertig ist zu 2% in Gütekasse B und 4% in Gütekasse C usw. Sind alle Einwohner in der Gütekasse A zu finden, beträgt der Indexwert 100, sind alle Einwohner in Gütekasse B liegt der Indexwert bei 50.
- Die **Kreuzungsdichte** wird aus der Anzahl mindestens 3-armige Kreuzungen (gemäss Strassennetz aus swisstopo SwissTLM3D) pro Quadratmeter Siedlungsgebiet (Verschnitt von Bauzonen [ARE] und Ortschaften ausserhalb der Bauzone [swisstopo SwissTLM3D, Siedlungsnamen]) ermittelt.
- Die **Strassendichte** wird über die Strassenfläche in m² (Herleitung über swisstopo SwissTLM3D sowie Annahme durchschnittlicher Strassenbreiten nach Strassenklasse) pro Hektar Siedlungsgebiet ermittelt.
- Der Median und die Standardabweichung der Sonnenstunden, Temperatur, Niederschlagsmenge und **Höhenlage** werden über alle Hektarrasterpunkte des digitalen Höhenmodells (swisstopo DHM25) bzw. der langfristigen **Klimadaten** (Klimanormwerte 1981-2020, MeteoSchweiz 2020) innerhalb der Isochrone einer Gemeinde bestimmt.
- Die «**Zersiedelung**» wird als Produkt der Urbanen Permeation, der skalierten Dispersion und der skalierten Siedlungsfläche pro Einwohner und Arbeitsplätze berechnet. Die Datengrundlagen zur Ermittlung des Indexwerts wurden durch das Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) mit Datenstand 2015 für die Verkehrszenen des NPVM berechnet, aufbereitet und zur Verfügung gestellt. Die **Dispersion** zeigt die durchschnittliche Distanz zwischen allen Gebäuden innerhalb einer Gemeinde. Die Aggregation auf die Gemeinden erfolgte über die bevölkerungsgewichtete Summe der Verkehrszenen. Die **Urbane Permeation** ist das Produkt aus Dispersion und dem Anteil der Siedlungsfläche an der Gesamtfläche einer Gemeinde. Die Zersiedelung steigt mit grösserer Distanz zwischen Siedlungseinheiten, grösserer Siedlungsfläche und kleinerer Gesamtfläche.
- Die Zahl der **Weg- und Zupendlern** pro Gemeinde zur Berechnung ihres Verhältnisses zueinander wurde der Gemeindematrix 2018 (vgl. BFS 2020 [39]) entnommen.

Eine Übersicht zu den verwendeten Datengrundlagen bietet Anhang II.

5.4.2 Dichte, Diversität und Zersiedelung

Bei der Dichte gibt es eine klare Reihung von links nach rechts bzw. von «Geringbesiedelt – Klein» bis «Dichtbesiedelt – Gross», was die DEGURBA-Raumtypen plausibel widerspiegelt. Die Zahl der Einwohner pro Beschäftigte ist im dichtbesiedelten Raum deutlich tiefer als im gering- und mitteldicht besiedelten Raum, der dichtbesiedelte Raum weist diesbezüglich eine höhere Diversität auf.

Das Verhältnis zwischen Weg- und Zupendlern steigt mit zunehmender Grösse der Raumstruktur. Der Anteil touristischer Branchen und tendenziell auch die Dichte an Hotelbetten ist in kleinen Raumstrukturen am grössten. In kleinen Räumen gibt es zudem tendenziell mehr Eipersonenhaushalte, anteilmässig weniger Kinder und Jugendliche sowie mehr Rentnerinnen.

Dichte & Diversität	Alle Gemeinden	Geringbesiedelt			Mitteldicht			Dicht		
		Klein	Mittel	Gross	Klein	Mittel	Gross	Klein	Mittel	Gross
Einw. und Besch. pro ha Siedlungsgebiet	↓ 22	↓ 15	↓ 16	↓ 19	↓ 28	↓ 28	↗ 32	→ 38	↑ 54	↑ 64
Einw. und Besch. pro ha Einzugsgebiet	↓ 5.3	↓ 3.0	↓ 3.9	↓ 5.4	↓ 5.6	↗ 6.0	↗ 7.2	→ 7.8	↑ 11.2	↑ 10.4
Einw. pro Besch. (relative Dichte) in Isochrone	↑ 1.75	↑ 1.78	↑ 1.82	↑ 1.76	↑ 1.72	↑ 1.66	↑ 1.73	↓ 1.34	↓ 1.49	↓ 1.37
Verhältnis Weg- / Zupender	↗ 1.8	↗ 1.4	↑ 2.1	↑ 2.3	↓ 1.4	↗ 1.6	↗ 1.7	↓ 1.2	↓ 1.1	↓ 1.0
Zersiedelung (ARE)										
Gewichtete Dispersion	↗ 0.67	↓ 0.57	↗ 0.69	↗ 0.65	↗ 0.69	↗ 0.68	↗ 0.67	↑ 0.77	↑ 0.76	↑ 0.77
Urbane Permeation	↓ 3.8	↓ 1.2	↓ 2.2	↓ 3.0	↓ 4.2	↓ 5.9	↓ 7.1	↑ 17.9	↑ 15.3	↑ 20.3
Zersiedelungsindex	↓ 6.0	↓ 3.9	↓ 4.1	↓ 4.6	↗ 11.3	↓ 8.9	↓ 9.4	↑ 21.9	↓ 8.0	↗ 10.4
Sozio-Ökonomie & Demografie										
Reines Einkommen pro Kopf (kCHF/Spfl)	↓ 77	↓ 65	↓ 74	↓ 77	↓ 76	↗ 87	↗ 80	↑ 108	→ 93	↗ 84
Ø Haushaltsgrösse	↑ 2.17	↓ 1.95	↗ 2.07	↗ 2.14	↑ 2.18	↑ 2.24	↑ 2.25	↑ 2.25	↑ 2.21	↑ 2.20
Anteil >65 Jahre %	↗ 20.4%	↑ 24.5%	↗ 20.0%	↓ 19.8%	↗ 21.6%	↓ 19.8%	↓ 19.6%	↑ 22.3%	↓ 19.9%	↗ 21.8%
Anteil 0-19 Jahre %	↓ 19.6%	↓ 15.9%	↓ 19.7%	↓ 19.7%	↓ 19.4%	↑ 20.9%	↗ 20.1%	↗ 19.9%	↑ 20.2%	↓ 19.5%
Einpersonenhaushalte %	↓ 36%	↑ 44%	↗ 37%	↓ 35%	↗ 38%	↓ 35%	↓ 34%	↑ 38%	→ 37%	↗ 37%
Wirtschaftsstruktur										
Anteil Detailhandel an VZÄ %	↓ 3.3%	↓ 3.6%	↓ 1.9%	↓ 2.2%	↗ 4.9%	↗ 4.2%	↗ 4.3%	↑ 5.0%	↑ 5.5%	↗ 4.9%
Anteil touristische Branchen an VZÄ %	→ 3.8%	↑ 9.5%	↗ 3.7%	↓ 2.9%	↑ 6.1%	↗ 4.0%	↓ 3.0%	↗ 5.8%	↓ 3.6%	↓ 3.4%
Hotelbetten pro 1'000 Einw. in Isochrone	↓ 0.02	↑ 1.12	↓ -	↓ -	↗ 0.49	↓ 0.07	↓ 0.01	↓ 0.05	↓ 0.16	↓ 0.11

Abb. 25 Indikatoren zu Dichte, Diversität und Wirtschaftsstruktur

5.4.3 Topografie und Klima

Die topografischen und klimatischen Merkmale wie Höhenlage (Median und Standardabweichung), Niederschlagsmenge, Sonnenscheindauer und Temperatur werden in ihrer Reihung durch die Raumstruktur (Grösse der Isochronen) plausibel wiedergegeben, was die folgenden Indikatoren zeigen.

Klima	Alle Gemeinden	Geringbesiedelt			Mitteldicht			Dicht		
		Klein	Mittel	Gross	Klein	Mittel	Gross	Klein	Mittel	Gross
Sonnenstunden Median in Isochrone	↓ 3.5	↑ 5.2	↓ 3.4	↓ 2.8	↑ 5.5	↓ 3.5	↓ 2.4	↑ 5.8	↓ 3.3	↓ 2.9
Temperatur Median in Isochrone	↗ 15.3	↓ 13.6	↗ 15.0	↑ 15.7	↗ 14.9	↑ 15.6	↑ 15.9	↑ 16.4	↑ 16.0	↑ 16.2
Niederschlagsmenge Median in Isochrone	↓ 5.0	↗ 5.4	→ 5.3	↓ 4.6	↗ 5.7	→ 5.4	↓ 4.6	↑ 6.9	↓ 4.9	↓ 4.3
Höhenlage										
Höhenlage Median (m) in Isochrone	↓ 689	↑ 1'130	↗ 741	↓ 578	↗ 826	↓ 630	↓ 521	↓ 577	↓ 573	↓ 473
Höhenlage Stdabw. (m) in Isochrone	↓ 218	↑ 408	→ 225	↓ 145	↑ 377	→ 233	↓ 131	→ 244	↓ 165	↓ 131

Abb. 26 Indikatoren zum Thema Topografie und Klima

5.4.4 Verkehr

Der nachfolgend ausgewiesene ÖV-Güteklassenindex zeigt, dass im dicht besiedelten Raum deutlich höhere Werte erreicht werden als in den anderen Raumtypen, für die Bevölkerung und für die Beschäftigten. Mittlere Werte zeigt der mitteldicht besiedelte Raum. Auch die Haltestellendichte nimmt mit zunehmender Siedlungsdichte zu.

Das Verhältnis der Strassenfläche zur Fläche des Siedlungsgebiets (Strassennetzdichte) nimmt tendenziell mit der Siedlungsdichte ab, die Kreuzungsdichte nimmt zu.

Beim Besitz von Personenwagen sowie von Halbtaxabonnementen lässt sich kein deutliches Muster erkennen, wobei im dicht besiedelten Raum in mittleren und grossen Raumstrukturen die höchste Halbtaxdichte herrscht.

ÖV-Angebot	Alle Gemeinden	Geringbesiedelt			Mitteldicht			Dicht		
		Klein	Mittel	Gross	Klein	Mittel	Gross	Klein	Mittel	Gross
ÖV-Güteklaasseindex - Bevölkerung	5.0	3.6	3.3	3.7	6.6	7.2	7.5	17.4	23.8	24.3
ÖV-Güteklaasseindex - Beschäftigte	4.8	3.5	3.2	3.4	6.5	7.4	7.4	20.1	25.8	29.0
Haltestellen pro km ² Einzugsgebiet	0.59	0.40	0.41	0.44	1.01	1.03	0.83	3.85	2.96	3.32
Strassendichte und Kreuzungen										
Strassenfläche / Fläche Siedlungsgebiet	1'012	1'004	1'175	1'188	785	862	973	756	843	918
Kreuzungen / Fläche Siedlungsgebiet (1/m ²)	0.6	0.3	0.5	0.6	0.5	0.6	0.8	0.8	0.8	0.9
Mobilitätswerkzeuge										
Personenwagen pro EW	0.60	0.57	0.62	0.62	0.58	0.60	0.59	0.60	0.50	0.49
Halbtax pro 100 EW	24	24	18	24	23	23	27	11	34	30

Abb. 27 Indikatoren zum Thema Verkehr

5.4.5 Modal-Split und Erreichbarkeit

Auf Grundlage der Daten in Kapitel 3 (Erreichbarkeit) und 4 (Modal-Split) sowie Daten der Strukturerhebung (Modal-Split im Arbeits- und Bildungsverkehr) wurden die Medianwerte pro Raumtyp bestimmt.

Zur Illustration der Verhältnisse der Erreichbarkeiten zwischen den Verkehrsmitteln wird neben der absoluten Erreichbarkeit (in Tausend) auch die relative Erreichbarkeit (Anteil des Verkehrsmittels an der Summe der vier Verkehrsmittel) ausgewiesen.

Modal-Split (verwendet)	Alle Gemeinden	Geringbesiedelt			Mitteldicht			Dicht		
		Klein	Mittel	Gross	Klein	Mittel	Gross	Klein	Mittel	Gross
MS Fuss % (gewichtet)	13%	6%	9%	9%	24%	22%	23%	28%	26%	31%
MS Velo % (gewichtet)	4%	2%	3%	3%	6%	6%	5%	6%	9%	11%
MS PW % (gewichtet)	64%	47%	75%	80%	49%	57%	58%	53%	49%	42%
MS ÖV % (gewichtet)	10%	35%	9%	7%	13%	10%	9%	11%	15%	14%
Modal-Split (Strukturerhebung)										
MS Fuss % (SE)	7%	5%	3%	8%	0%	3%	8%	0%	6%	8%
MS Velo % (SE)	3%	0%	1%	3%	4%	4%	6%	1%	6%	10%
MS PW % (SE)	55%	40%	55%	62%	31%	46%	59%	21%	36%	35%
MS ÖV % (SE)	26%	26%	27%	22%	50%	37%	25%	58%	47%	45%
Erreichbarkeit (in Tausend)										
Erreichbarkeit Fuss	2	0	1	1	4	4	5	13	22	25
Erreichbarkeit Velo	45	7	27	46	32	53	80	101	205	252
Erreichbarkeit PW	2'148	976	1'924	2'415	1'186	1'946	2'954	776	2'441	2'748
Erreichbarkeit ÖV	876	356	659	909	546	900	1'386	454	1'337	1'587
Erreichbarkeit (Anteil der Summe)										
Erreichbarkeit Fuss %	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.1%	0.1%	1.0%	0.5%	0.5%
Erreichbarkeit Velo %	1.5%	0.5%	1.0%	1.4%	2.0%	1.9%	1.9%	7.2%	5.1%	5.5%
Erreichbarkeit PW %	69%	75%	73%	71%	67%	66%	66%	60%	60%	60%
Erreichbarkeit ÖV %	29%	25%	26%	27%	30%	31%	32%	32%	35%	35%

Abb. 28 Indikatoren zum Modal-Split und zur Erreichbarkeit

Der Vergleich zwischen dem in Kapitel 4 hergeleiteten (gewichteten) Modal-Split und dem Modal-Split des Arbeits- und Bildungsverkehrs aus der Strukturerhebung zeigt, wie stark die Anteile je nach Quelle und betrachteten Verkehrszwecken variieren können. Die Differenz lässt dabei vermuten – auch in Kombination mit Indikatoren zum Tourismus (Hotelletten, Anteil Tourismus an Vollzeitäquivalenten) – dass der Freizeit-, Einkaufs- und Tourismusverkehr insbesondere im Raumtyp «Geringbesiedelt Klein» im öffentlichen Verkehr eine wesentliche Rolle spielen könnte. Der Fussverkehr spielt für den Arbeitsweg gemessen am Hauptverkehrsmittel nur in den grossen Raumstrukturen eine Rolle, ebenso wie

der Veloverkehr. Beim MIV ist die Reihung innerhalb der geringbesiedelten und mitteldicht besiedelten Räume analog zum verwendeten Modal-Split.

Eine weitere Erkenntnis aus den Daten ist, dass der ermittelte Modal-Split-Anteil des öffentlichen Verkehrs (gewichteter Wert aus NPVM und Mikrozensus) auf aggregierter Gemeindeebene kaum mit dem ÖV-Güteklassenindex korreliert. Nur im dichtbesiedelten Raum ist ein gewisser Zusammenhang erkennbar. Dieser Modal-Split-Anteil widerspiegelt dabei alle Verkehrszwecke. Wird nur der Verkehrszweck Arbeit (aus anderer Datenquelle) sowie Arbeit und Bildung betrachtet, wird ein klarerer (positiver) Zusammenhang sichtbar, jedoch vor allem in der Raumstruktur «Gross».

ÖV-Anteil (Quelle)	Alle Ge- meinden	Geringbesiedelt			Mitteldicht			Dicht		
		Klein	Mittel	Gross	Klein	Mittel	Gross	Klein	Mittel	Gross
Alle Wegzwecke (NPVM+MZMV)	0.02	0.14	0.11	0.21	-0.10	0.09	0.34	-0.36	0.35	0.40
Schule und Arbeit (Strukturerhebung)	0.11	-0.14	0.11	-0.02	-0.09	0.06	0.36	0.05	0.52	0.64
Arbeit (Strukturerhe- bung)	0.59	0.19	0.29	0.32	0.40	0.47	0.51	0.01	0.27	0.71
Median ÖV-Gütekla- ssenindex Bevölkerung	5.0	3.6	3.3	3.7	6.6	7.2	7.5	17.4	23.8	24.3
Median ÖV-Anteil alle Wegzwecke	10%	35%	9%	7%	13%	10%	9%	11%	15%	14%

Abb. 29 Korrelation des ÖV-Güteklassenindex der Bevölkerung mit dem Modal-Split-Anteil des öffentlichen Verkehrs (verschiedene Messgrößen)

Eine gute kleinräumige ÖV-Erschliessung (hoher Anteil der Bevölkerung in Güteklassen A oder B) auf aggregierter Ebene korreliert dabei insbesondere mit einem höheren ÖV-Anteil beim Arbeitsweg, aber weniger stark bei Bildungs- oder für Einkaufs- und Freizeitwege. In kleinen Räumen ist die Korrelation teilweise negativ. Dies kann darauf hindeuten, dass in kleinen Räumen die kleinräumige ÖV-Erschliessung aufgrund der langen Strecken und wegen des Freizeitverkehrs im Vergleich zur grossräumigen Erschliessung an Bedeutung verliert. Eine Rolle könnten auch die in kleinen Räumen zu überwindenden Distanzen, Höhenunterschiede sowie die klimatischen Bedingungen spielen, welche die kleinen Räume für den Fuss- und Veloverkehr unattraktiver machen im Vergleich zum öffentlichen Verkehr.

5.5 Weitere deskriptive Auswertungen

5.5.1 Anteil des lokal vorhandenen Potenzials an der Erreichbarkeit

Losgelöst von den Raumtypen ein spannender Vergleich ist auch, welcher Anteil der Erreichbarkeit nach Verkehrsmittel jeweils durch das lokal (innerhalb der Isochrone) vorhandene eigene Potenzial erklärt werden kann, und welcher Anteil durch das Potenzial ausserhalb der Isochrone.

Die folgende Abbildung zeigt dies beispielhaft für den MIV und anschliessend für das Velo. Blau eingefärbt sind Gemeinden, deren Erreichbarkeit zu grossen Teilen durch das Potenzial innerhalb der Isochrone erklärt werden kann. Rote Gemeinden sind vom Potenzial ausserhalb der Gemeinde geprägt.

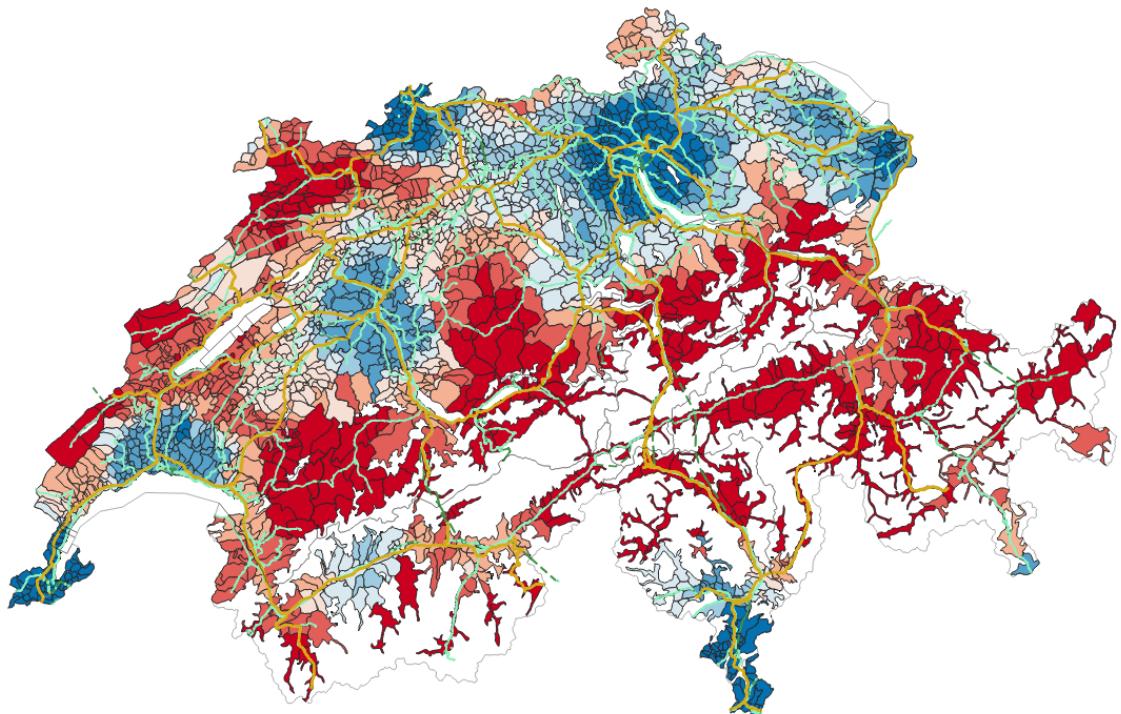


Abb. 30 Anteil der MIV-Erreichbarkeit der durch das Potenzial innerhalb der Isochrone erklärt werden kann (blau = Erreichbarkeit stark vom eigenen Potenzial geprägt)

Beim MIV konzentrieren sich die blauen Flächen stark um die grossen und mittleren Agglomerationen. Die Erreichbarkeit in den dunkelblauen Flächen ist bis zu 3.4-mal höher als das Potenzial in der Isochrone. In den dunkelroten Flächen ist die Erreichbarkeit mindestens 18-mal höher als das Potenzial in der Isochrone.

Die nachfolgende Abbildung zum Velo ist deutlich disperser und zeigt insbesondere bei den Agglomerationskernen ein umgekehrtes Bild. Bei den dunkelblauen Flächen beträgt die Velo-Erreichbarkeit bis zu 10% der Potenziale in der Isochrone. In den dunkelroten Flächen liegt der Anteil bei mindestens 25%.

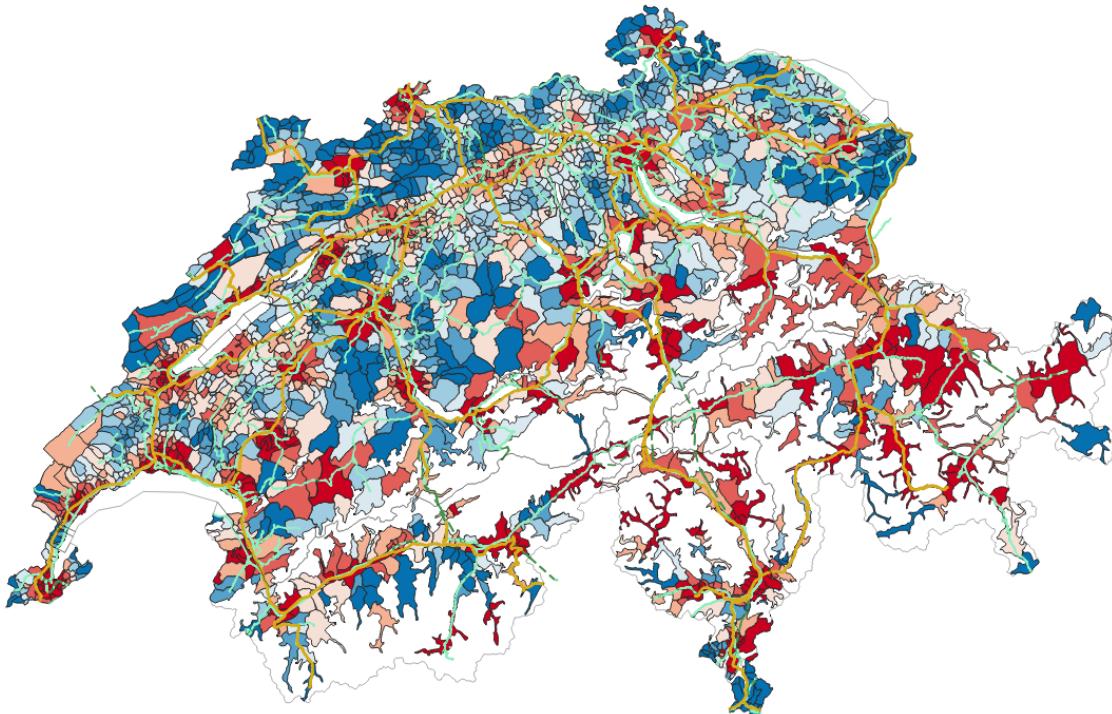


Abb. 31 Anteil der Velo-Erreichbarkeit der durch das Potenzial innerhalb der Isochrone erklärt werden kann (blau = Erreichbarkeit stark vom eigenen Potenzial geprägt)

Beim Velo ist dabei die Erreichbarkeit der Agglomerationskerne stark vom Potenzial in ihrem unmittelbaren Umland abhängig. Beim MIV hingegen weisen diese Gemeinden auch bereits durch das eigene Potenzial eine hohe Erreichbarkeit auf.

Der geringbesiedelte Raum hingegen benötigt für eine gute MIV-Erreichbarkeit auch ein sehr gutes und schnelles Angebot, damit die grossen Potenziale in den grossen und mittleren Agglomerationen in ihr Einflussgebiet rücken. Beim Veloverkehr nimmt im geringbesiedelten Raum die Bedeutung des Verkehrsangebots ab und die Rolle des eigenen Potenzials wird wichtiger. Im Fussverkehr ist das Bild ähnlich wie beim Veloverkehr. Beim öffentlichen Verkehr ergibt sich ein ähnliches Bild wie beim MIV.

5.5.2 Verhältnis zwischen Modal-Split-Anteil und Erreichbarkeitsanteil

Die folgenden Karten zum Velo, ÖV und MIV vergleichen den aktuell erreichten Modal-Split-Anteil (normiert auf Werte zwischen 0 und 1) mit dem relativen Anteil der Erreichbarkeit an der Summe aller Verkehrsmittel (normiert auf Werte zwischen 0 und 1). Die Kennzahl kann wie folgt interpretiert werden:

- Tiefe blaue Werte (< 0) zeigen, dass der Modal-Split-Anteil angesichts des Erreichbarkeitsanteils (zu) tief ist und das Verkehrsmittel eher unterrepräsentiert ist.
- Hohe rote Werte (> 0) bedeuten, dass der Modal-Split-Anteil angesichts der Erreichbarkeitsanteils (zu) hoch ist und das Verkehrsmittel eher überrepräsentiert ist.
- Weisse Werte (~ 0) zeigen, dass die beiden Werte im Einklang sind.

Das **Velo** (Abb. 32) ist in den Gemeinden rund um die grossen Städte als Hauptverkehrsmittel eher unterrepräsentiert (blau), vor allem rund um die grossen Agglomerationen. Stark überrepräsentiert ist das Velo beispielsweise zwischen Olten und Aarau, rund um Glarus Nord, um Brig, Interlaken oder rund um Schüpfheim.

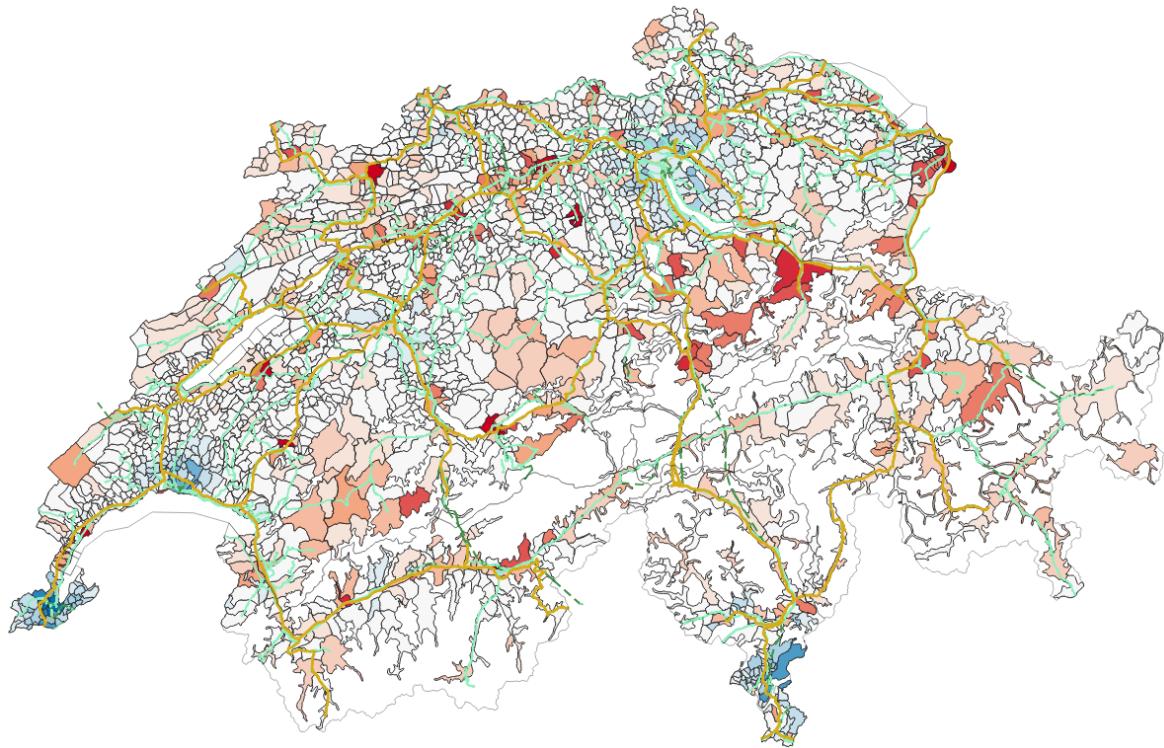


Abb. 32 Velo – Modal-Split im Verhältnis zum Erreichbarkeitsanteil

Der ÖV (nachfolgende Abb. 33) ist in sehr grossen Teilen der Schweiz unterrepräsentiert (blau). Angesichts des Erreichbarkeitsanteils müsste der ÖV damit höhere Modal-Split-Anteile aufweisen. Dies betrifft insbesondere auch das gesamte Mittelland, das Südtessin sowie das Wallis rund um Brig und Sion sowie Chur. Nur in den Voralpen, in den Walliser, Berner und Bündner Seitentälern ist der ÖV deutlich überrepräsentiert (rot).

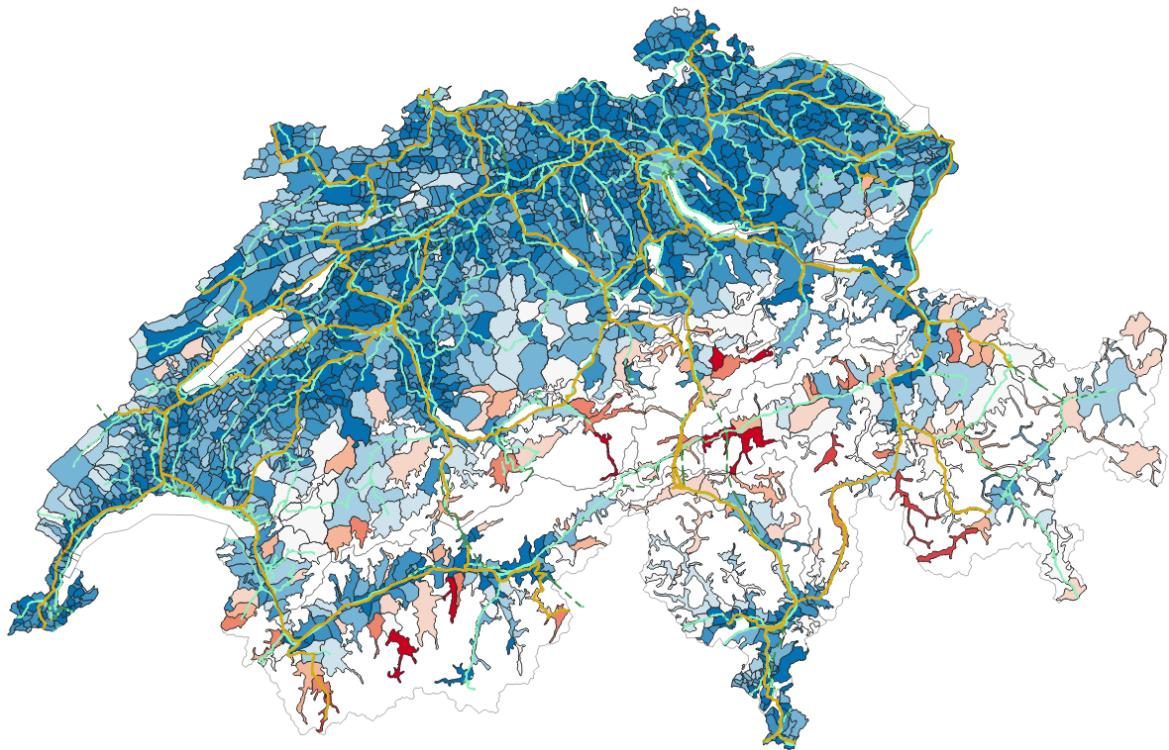


Abb. 33 ÖV – Modal-Split im Verhältnis zum Erreichbarkeitsanteil

Der **MIV** (Abb. 34) scheint als Hauptverkehrsmittel in den Alpentälern, in Teilen des Jura und in den Voralpen unterrepräsentiert. Auch in den grossen Städten wie Zürich, Winterthur, Bern, Genf, Lausanne, Basel usw. ist der MIV unterrepräsentiert. Im Mittelland, in vielen Thurgauer Gemeinden, im Jura, zwischen Lausanne und Fribourg sowie im Umland von Bern und Thun existieren viele Gemeinden, in denen der MIV deutlich überrepräsentiert ist.

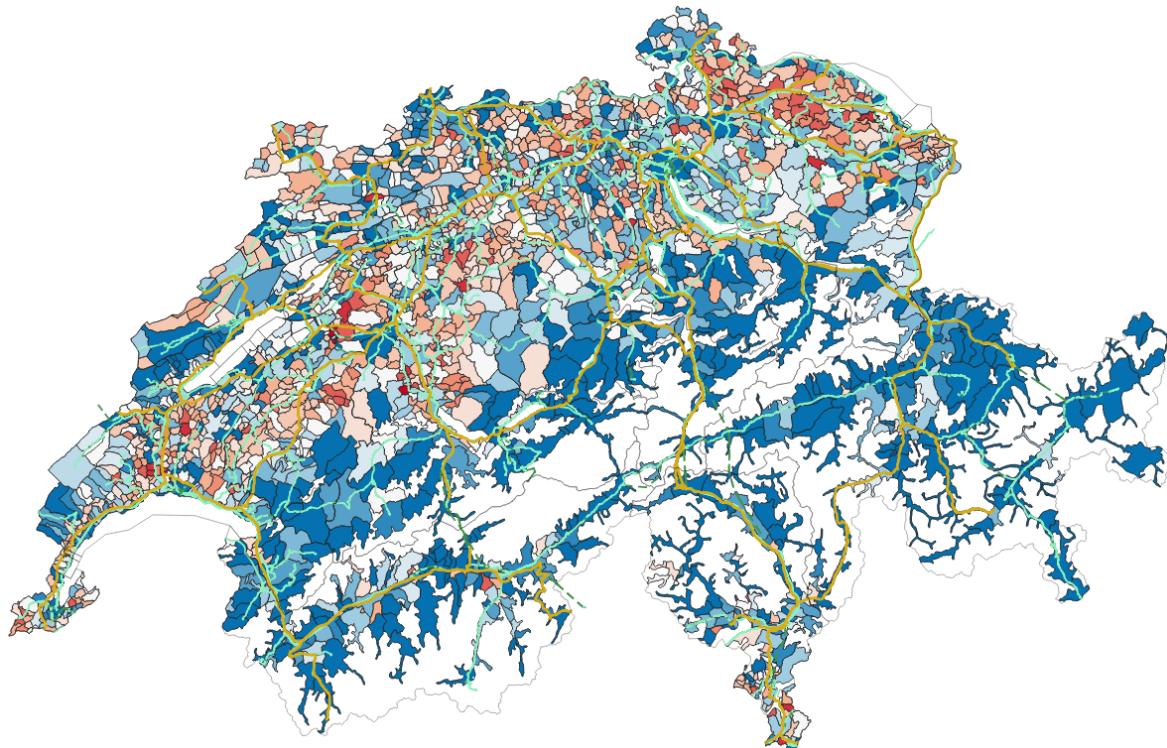


Abb. 34 MIV – Modal-Split im Verhältnis zum Erreichbarkeitsanteil

Die insgesamt in vielen Gemeinden des Mittellands resultierende ÖV-Unterrepräsentation und gleichzeitige MIV-Überrepräsentation beim Modal-Split zeigt, dass dort angesichts der Erreichbarkeitsniveaus durchaus noch Verlagerungspotenzial zwischen MIV und ÖV vorhanden sein könnte.

In den grossen Städten zeigt sich zudem eine deutliche (relative) Unterrepräsentation des MIV, was weitere Verschiebungen in Richtung ÖV und Fuss- und Veloverkehr voraussichtlich aufwändiger macht.

5.6 Zusammenfassung

Für die statistische Analyse des Zusammenhangs zwischen Erreichbarkeit und Modal-Split nach Verkehrsmittel werden die Gemeinden der Schweiz in neun Raumtypen eingeteilt. Für die Einteilung werden dabei zwei Indikatoren «Siedlungsstruktur» und «Raumstruktur» kombiniert, mit je drei möglichen Ausprägungen:

- Die **Siedlungsstruktur** wird über die drei DEGURBA-Raumtypen «geringbesiedelt», «mitteldicht besiedelt» und «dicht besiedelt» operationalisiert. In die Definition fliessen sowohl Dichtekriterien ein als auch die Grösse von zusammenhängenden Gebieten gleicher Dichte.
- Die **Raumstruktur** bildet topografische, hydrologische und siedlungsbedingte räumliche Einschränkungen der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung ab, wie sie von Verkehrsplanung und Nutzern wahrgenommen werden. Diese Hindernisse werden über ein Fussgänger-Routing für jede Gemeinde abgetastet. Die durch die so erzeugten 240-Minuten-Fussweg-Isochronen aufgespannte Fläche jeder Gemeinde definiert die Raumstruktur. Auf Basis dieser Fläche werden die Gemeinden in die drei Grössenklassen «Klein», «Mittel» und «Gross» eingeteilt.

Die Intuition ist dabei, mit diesen beiden Indikatoren möglichst viele der räumlichen Einflüsse aus dem Zusammenhang zwischen Erreichbarkeit und Modal-Split zu eliminieren.

Die aufbereiteten Charakteristiken der neun Raumtypen zeigen eine klare Reihung der Raumtypen (aufsteigend von «Geringbesiedelt – Klein» bis «Dicht – Gross») auf Gemeindeebene bei den folgenden Indikatoren:

- Dichte (Einwohner und Beschäftigte pro Fläche)
- ÖV-Güteklassenindizes
- Haltestellendichte
- Relative Erreichbarkeit ÖV in % (umgekehrte Reihenfolge beim MIV)

Das ÖV-System ist insgesamt im dichtbesiedelten Raum deutlich stärker ausgebaut. Die ÖV-Güteklassenindizes, die Haltestellendichte, und die Kreuzungsdichte sind deutlich höher als in den beiden anderen DEGURBA-Typen.

Eine Reihung nach Raumstruktur innerhalb der einzelnen Siedlungsstrukturtypen zeigt sich bei den folgenden Indikatoren:

- Anteil der touristischen Branchen an den Vollzeitäquivalenten (Klein = hoch, Gross = tief)
- Klimatische Bedingungen (Temperatur, Niederschlagsmenge, Sonnenscheindauer)
- Median und Standardabweichung der Höhenlage (Klein = hoch, Gross = tief)
- Erreichbarkeit (absolut, alle Verkehrsmittel) (Klein = tief, Gross = hoch)

Etwas überraschend ist die Reihung beim ermittelten ÖV-Anteil an den Wegen nach Hauptverkehrsmittel: In kleinen, gering und mitteldicht besiedelten Räumen ist der ÖV-Anteil höher als im jeweils mittelgrossen und grossen Raumtyp. Dies könnte mit den in kleinen Räumen zu überbrückenden grösseren Distanzen (entlang von topografisch einschränkenden Tälern) sowie mit dem Freizeit- und Tourismusverkehr zusammenhängen, welche den ÖV im Vergleich mit dem Fuss- und Veloverkehr als Hauptverkehrsmittel attraktiv machen. Auch klimatische Bedingungen oder zu überwindende Höhenunterschiede könnten eine Rolle spielen. Der Vergleich von ÖV-Güteklassenindex und verschiedenen ÖV-Modal-Split-Masszahlen zeigt, dass die kleinräumige Erschliessung auf aggregierter Ebene nur schwach mit dem ÖV-Anteil korreliert. Ausnahme bilden dichtbesiedelte, mittelgroße und grosse Räume. Dies könnte darauf hindeuten, dass in kleinen Räumen schnelle Verbindungen eine wichtigere Rolle spielen als die kleinräumige Abdeckung mit ÖV-Haltestellen.

Beim MIV und beim ÖV wird die Erreichbarkeit in den dichtbesiedelten Räumen stark vom eigenen Potenzial mitgeprägt. In gering und mitteldicht besiedelten Räumen hängt die MIV- und ÖV-Erreichbarkeit relativ stark vom Potenzial ausserhalb des eigenen Umfelds ab, also auch von der Erschliessung von in der Nähe befindlichen lokalen und regionalen Zentren. Im Velo- und Fussverkehr sind die Verhältnisse gerade umgekehrt. Bei den langsameren Verkehrsmitteln wird die Erreichbarkeit vom eigenen Potenzial dominiert.

Ein Vergleich zwischen Modal-Split- und Erreichbarkeitsanteilen gab erste deskriptive Hinweise auf mögliche Verlagerungspotenziale. Die Analyse deutet an, dass der öffentliche Verkehr in weiten Teilen der Schweiz noch unterrepräsentiert ist, angesichts des hohen Anteils an der Erreichbarkeitssumme aller Verkehrsmittel. Der MIV-Anteil ist vor allem in kleineren, gering- und mitteldichtbesiedelten Gemeinden im Mittelland, in der Nordwestschweiz, im Thurgau oder zwischen Bern, Fribourg und Lausanne zu hoch, angesichts dessen Erreichbarkeitsanteil.

Die durchgeföhrte statistische Analyse des Einflusses der Erreichbarkeit auf den Modal-Split wird im nächsten Kapitel erläutert.

6 Schätzung von Erreichbarkeits-Modalsplit-Elastizitäten

6.1 Ziele

Ziel der bereits in Kapitel 3 und 4 erwähnten, und im Kern die beiden dort beschriebenen Variablen (Erreichbarkeiten zur Beschreibung des Angebots und Modal-Split-Anteile zur Beschreibung der Nachfrage) verwendenden Schätzung der statistischen Modelle ist die Herleitung und Quantifizierung der Zusammenhänge zwischen Angebot und Nachfrage, unter Berücksichtigung aggregierter räumlicher Charakteristiken sowie deren Differenzierung nach Raumtypen.

Die Abhängigkeiten werden als Elastizitäten der Nachfrage bei einer Veränderung des Angebots dargestellt. Mit diesen kann dann eruiert werden, welche Modal-Split-Verlagerungen bei einer Veränderung des Angebots durch Beeinflussung der angebotsseitigen Erreichbarkeiten (*ceteris paribus*) erwartet werden kann. Diese Effekte sollen also im Modell von anderen raumbezogenen oder soziodemographischen Einflüssen so weit wie möglich getrennt bzw. komplementär dazu ausgewiesen werden.

Die berechneten Elastizitäten dienen einer ersten, groben Potenzialabschätzung und weist Tendenzen pro Raumtyp aus. Nicht Ziel der statistisch geschätzten Elastizitäten ist hingegen, konkrete und projektspezifische Untersuchungen zu ersetzen.⁹

Die Schätzung der nachfolgend beschriebenen Regressionsmodelle erfolgt mit der Methode der kleinsten Quadrate in der Statistik-Software SPSS 28.

6.2 Vorgehen

6.2.1 Modellansatz und Einflussvariablen

Für die Ermittlung der Elastizitäten sind Regressionsmodelle ein bewährtes Instrument. In diesen für die vier Verkehrsmittel separat zu schätzenden Modelle werden die jeweiligen Modal-Split-Anteile als abhängige, d.h. zu erklärende, Variable verwendet. Die unabhängigen, d.h. als Einflüsse verwendeten, Variablen, sind die Erreichbarkeiten (deren Effektstärken in Abhängigkeit von den in Kapitel 5 definierten Raumtypen geschätzt werden) sowie weitere Indikatoren betreffend Raum und Soziodemographie. Diese sind:

- das mittlere Einkommen in der Gemeinde (auf Basis der direkten Bundessteuer);
- die relative Dichte der Beschäftigten ggü. den Einwohnern;
- die Dispersion (Streuung der Siedlungsflächen, mittlere Distanz zwischen allen Gebäuden einer Gemeinde bzw. deren Verkehrszonen)
- die urbane Permeation (Dispersion gewichtet mit dem Anteil der Siedlungsfläche an der Gesamtfläche)
- die Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen (PWs und ÖV-Abonnemente);
- die Knotendichte des Strassennetzes (nur beim Velo als Einflussgröße verwendet).

⁹ Es muss also weiterhin eine fallspezifische Abwägung stattfinden, ob die überschlägigen Potenzialabschätzungen unter Anwendung der raumtypspezifischen Elastizitäten für die angestrebten Aussagen genügend Informationen liefern, oder ob mittels Anwendung von Verkehrsmodellen bzw. unter Berücksichtigung der raumbezogenen Spezifika eines Untersuchungsgebiets weitere und präzisere Auswertungen notwendig sind.

Die Regressionsmodelle sind für die hier angestrebte vereinfachte Berechnung von Parametern und Ableitung von Elastizitäten, bzw. für die Art der vorliegenden Daten, sehr gut geeignet.

Wichtig für die Interpretation ist, dass hier eine Querschnittsbetrachtung (keine Zeitreihendaten) auf aggregierter Ebene (bezogen auf Gemeinden) stattfindet. Einflüsse auf individueller Ebene (soziodemografische Eigenschaften oder heterogene Präferenzen), können mit diesem Ansatz nur so weit berücksichtigt werden, wie sie auch in der Vergangenheit zu je nach Gemeinde oder Raumtyp unterschiedlichen Modal-Split-Niveaus geführt haben.¹⁰

Um die Konkurrenz zwischen den Verkehrsmitteln näherungsweise abzubilden, wird neben der Erreichbarkeit des jeweiligen Verkehrsmittels selbst ein aggregierter Wert der drei anderen Verkehrsmittel als Einflussvariable in die Modelle einbezogen («Erreichbarkeitskonkurrenz»).

6.2.2 Linearisierung der Modal-Split-Anteile

Da die Modal-Split-Anteile naturgemäß einen zwischen 0% und 100% liegenden begrenzten Wertebereich aufweisen, müssen diese für die Verwendung in einem linearen Regressionsmodell (welches Werte auf einer offenen Skala erwartet) zunächst transformiert werden. Die dabei notwendigen Schritte der Datenaufbereitung werden in der Folge beschrieben.

Ausgegangen wird von einer logistischen Funktion bezüglich des Einflusses der unabhängigen Variablen auf die Modal-Split-Anteile:

$$MS_i = \frac{e^{U_i}}{1+e^{U_i}}$$

MS_i bezeichnet hierbei den Modal-Split-Anteil des betrachteten Verkehrsmittels in Zone / Gemeinde i . U_i ist eine (Linear-)Kombination der den Modal Split beeinflussenden Nutzen- und Widerstandskomponenten x_{ij} mit deren Bewertungsparametern β_j :

$$U_i = \sum \beta_j \cdot x_{ij} + c$$

Durch folgende Transformation wird eine neue Variable berechnet, welche in einem linearen Regressionsmodell verwendet werden kann:

$$MS_{i,transformiert} = \ln\left(\frac{MS_i}{1-MS_i}\right) = \sum \beta_j \cdot x_{ij} + c$$

Die Ableitung der durch das Modell vorhergesagten Modal-Split-Anteile erfolgt anschließend über eine erneute Rückrechnung der vorhergesagten transformierten Werte mittels der obenstehenden logistischen Formel.

Um die Erreichbarkeits-Parameter und -Elastizitäten raumtypspezifisch ableiten zu können, werden in den Regressionsmodellen sogenannte Interaktionsterme eingesetzt:

¹⁰ Für solche Untersuchungen sind nach wie vor Daten auf Personen- bzw. Haushaltebene, beispielsweise die jeweils parallel zum MZMV durchgeführten SP-Erhebungen des ARE (2010, 2015, 2021) die am besten geeignete Grundlage. Auf diesen Daten beruhende Schätzungen bilden auch die Grundlage für das NPVM, dessen Anwendung Aufschluss über die Unterschiede zwischen den mit beiden Modellansätzen berechneten Effektstärken geben wird.

$$U_{VM\ i} = c_i + \left(\sum \beta_{Erreichbarkeit, DEGURBA\ k} \cdot (DEGURBA = k) \right) \\ \cdot (Fläche Isochrone, skaliert)^{\lambda_{Fläche}} \cdot \ln(Erreichbarkeit_{VM\ i})$$

Die ermittelten Parameter für die Erreichbarkeiten sind also vom DEGURBA-Raumtyp k sowie von der Isochronen-Fläche abhängig, welche zusammen die neun im vorigen Kapitel definierten Raumtypen bilden. Die Isochronenflächen in den Interaktionstermen wurden für die Modellschätzung skaliert, indem sie durch den Median aller Gemeindewerte (70'000 Hektar) geteilt wurden.

6.2.3 Ermittlung der Elastizitäten

Die direkte Nachfrage-Elastizität ist definiert als relativer (prozentualer) Anstieg der Nachfrage (hier des Modal-Split-Anteils eines Verkehrsmittels) infolge einer Veränderung einer unabhängigen Einflussvariable (hier der Erreichbarkeit desselben Verkehrsmittels) um 1%.

Aus den geschätzten Parametern kann für jede Gemeinde abhängig von deren DEGURBA-Raumtyp und deren Isochronenfläche eine eigene Elastizität pro Verkehrsmittel berechnet werden. Eine Besonderheit ist hier noch die Verwendung der logarithmierten Erreichbarkeiten im Regressionsmodell (zur Reduktion der Wertebereiche), welche zu folgender Formel für die Elastizitäten führt:

$$E_i = \beta \cdot (1 - MS_i)$$

Hierbei ist E_i die auf die Erreichbarkeit bezogene Elastizität für das Verkehrsmittel und MS_i dessen Modal-Split-Anteil im Referenzfall. Die Elastizität ist somit auch direkt vom aktuellen Niveau des Modal-Split-Anteils abhängig.

6.2.4 Korrelationen

Zunächst wurden die Korrelationen zwischen den einzelnen Variablen berechnet, um zu starke lineare Zusammenhänge auszuschliessen, welche einen negativen Einfluss auf die Signifikanz der geschätzten Parameter haben könnten. Diese sind für die in den Modellschätzungen zu verwendenden Variablen (vgl. Auflistung in Abschnitt 6.2.1) in Tab. 3 dargestellt.

Tab. 3 Korrelationen zwischen den Einflussvariablen

Variable	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Erreichbarkeit Fuss (1)	1.00	0.84	0.35	0.60	0.26	0.33	0.33	0.71	-0.18	0.21	0.65
Erreichbarkeit Velo (2)	0.84	1.00	0.59	0.73	0.38	0.16	0.39	0.63	-0.11	0.23	0.55
Erreichbarkeit MIV (3)	0.35	0.59	1.00	0.86	0.15	0.07	0.11	0.16	-0.01	0.40	0.08
Erreichbarkeit ÖV (4)	0.60	0.73	0.86	1.00	0.20	0.19	0.15	0.38	-0.10	0.51	0.30
Mittleres Einkommen (5)	0.26	0.38	0.15	0.20	1.00	-0.07	0.11	0.12	0.05	0.18	0.11
Relative Dichte (6)	0.33	0.16	0.07	0.19	-0.07	1.00	0.10	0.32	0.00	0.21	0.29
Dispersion (7)	0.33	0.39	0.11	0.15	0.11	0.10	1.00	0.35	-0.06	0.06	0.25
Urbane Permeation (8)	0.71	0.63	0.16	0.38	0.12	0.32	0.35	1.00	-0.20	0.09	0.85
PW pro Einwohner (9)	-0.18	-0.11	-0.01	-0.10	0.05	0.00	-0.06	-0.20	1.00	-0.18	-0.21
ÖV-Abos pro Einwohner (10)	0.21	0.23	0.40	0.51	0.18	0.21	0.06	0.09	-0.18	1.00	0.00
Knotendichte (11)	0.65	0.55	0.08	0.30	0.11	0.29	0.25	0.85	-0.21	0.00	1.00

Die Korrelationen sind grösstenteils sehr tief, so dass keine bedeutenden Schwierigkeiten bei der Modellschätzung zu erwarten sind.

Eine höhere Korrelation (> 0.65) besteht zwischen Fuss- und Velo-Erreichbarkeit, zwischen Velo- und ÖV-Erreichbarkeit, zwischen ÖV- und MIV-Erreichbarkeit. Diese sind für die nach Verkehrsmittel differenzierten Modellschätzungen nicht besonders relevant und zeigen vor allem auf, dass die Erreichbarkeiten das Potenzial als gemeinsame Komponente haben, wobei Velo- und Fussverkehr vor allem in Nahdistanz und MIV und ÖV vor allem auf weitere Distanzen ein ähnliches Potenzial erschliessen. Weiter besteht zwischen Fuss-Erreichbarkeit, Urbaner Permeation und Knotendichte eine höhere Korrelation.

6.3 Ergebnisse der Modellschätzungen

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Regressionsmodelle für die einzelnen Verkehrsmittel vorgestellt. Kern der Ergebnisse ist jeweils die Tabelle mit den geschätzten Parametern (obenstehend in den Gleichungen mit β_j bezeichnet) und deren *t*-Statistiken. Letztere geben an, ob der geschätzte Parameterwert auf dem 5%-Niveau statistisch signifikant ist; dies ist der Fall bei *t*-Werten über 1.96. Für das 1%-Niveau gilt ein Parameterwert als statistisch signifikant, wenn der *t*-Wert über 2.58 liegt.

Weiter sind in den Tabellen die Mittelwerte der jeweiligen Variablen im Gemeindedatensatz aufgeführt. Daraus können (per Multiplikation des Modellparameters mit dem Mittelwert) die mittleren Effektgrößen abgeleitet werden; hier sind jeweils der absolute und der relative Wert im Verhältnis zum Referenzwert für die Erreichbarkeit aufgeführt.

6.3.1 Ergebnisse für Verkehrsmittel Fuss

Die Schätzergebnisse der Regressionsmodelle für den Fussverkehr sind in Tab. 4 dargestellt. Die Modellgüte beträgt hier $R^2 = 0.6$ und das Modell weist somit eine gute Vorhersagekraft auf. Die Parameter sind mit einer Ausnahme hoch signifikant.

Tab. 4 Ergebnisse der Modellschätzung für den Fussverkehr

Variable	Parameter	t	Mittelwert	Mittlerer Einfluss	
				Absolut	Relativ
Konstante	-1.760	-2.14			
Erreichbarkeit					
Geringbesiedelt	0.781*	34.07	7.17	5.59	1.00
Mitteldicht besiedelt	0.753*	38.28	8.96	6.75	1.21
Dicht besiedelt	0.721*	36.06	10.78	7.77	1.39
Interaktion mit Isochronenfläche					
	-0.063*	-4.20			
Erreichbarkeit Konkurrenz					
Mittleres Einkommen	-0.231*	-4.26	14.96	-3.46	-0.62
Relative Dichte	-0.007**	-8.13	82.08	-0.59	-0.11
Dispersion	-0.089	-1.27	0.46	-0.04	-0.01
Urbane Permeation	-2.546*	-21.18	0.63	-1.61	-0.29
	-0.016*	-3.64	7.91	-0.12	-0.02

* Signifikant auf dem 5%-Niveau

6.3.2 Ergebnisse für Verkehrsmittel Velo

Die Schätzergebnisse der Regressionsmodelle für das Velo sind in Tab. 5 dargestellt. Die Modellgüte beträgt hier $R^2 = 0.3$ und das Modell weist somit eine akzeptable, aber im Vergleich zu den übrigen Verkehrsmitteln tiefere, Vorhersagekraft auf. Die Parameter sind nur teilweise signifikant.

Tab. 5 Ergebnisse der Modellschätzung für das Velo

Variable	Parameter	t	Mittelwert	Mittlerer Einfluss	
				Absolut	Relativ
Konstante	-3.549	-25.43			
Erreichbarkeit					
Geringbesiedelt	0.006	0.24	10.49	0.07	1.00
Mitteldicht besiedelt	0.059*	2.37	11.37	0.67	10.26
Dicht besiedelt	0.050*	2.04	12.57	0.62	9.60
Interaktion mit Isochronenfläche	-0.376*	-4.62			
Erreichbarkeit Konkurrenz	-0.009	-0.69	14.96	-0.14	-2.16
Mittleres Einkommen	0.001	0.86	82.08	0.05	0.82
Relative Dichte	0.433*	7.67	0.46	0.20	3.04
Dispersion	-0.278*	-2.74	0.63	-0.18	-2.70
Urbane Permeation	0.033*	7.34	7.91	0.26	4.01
Knotendichte	-0.111	-0.99	0.21	-0.02	-0.35

* Signifikant auf dem 5%-Niveau

6.3.3 Ergebnisse für den MIV

Die Schätzergebnisse der Regressionsmodelle für den MIV sind in Tab. 6 dargestellt. Die Modellgüte beträgt hier $R^2 = 0.6$ und das Modell weist somit eine gute Vorhersagekraft auf. Die Parameter sind alle hoch signifikant. Im Gegensatz zu den übrigen Verkehrsmitteln konnten hier signifikant unterschiedliche Konstanten für die einzelnen Raumtypen ermittelt werden, welche zu einer leichten Verbesserung der Modellgüte beitragen.

Tab. 6 Ergebnisse der Modellschätzung für den MIV

Variable	Parameter	t	Mittelwert	Mittlerer Einfluss	
				Absolut	Relativ
Konstante					
Geringbesiedelt	-2.139*	-12.38			
Mitteldicht besiedelt	-1.914*	-15.33			
Dicht besiedelt	-1.143*	-5.02			
Erreichbarkeit					
Geringbesiedelt	0.980*	18.59	14.51	14.22	1.00
Mitteldicht besiedelt	0.930*	17.40	14.70	13.67	0.96
Dicht besiedelt	0.861*	15.22	14.78	12.73	0.90
Interaktion mit Isochronenfläche	0.743*	6.85			
Erreichbarkeit Konkurrenz	-0.922*	-16.44	13.85	-12.77	-0.90
Mittleres Einkommen	0.003*	5.87	82.08	0.28	0.02
Relative Dichte	-0.370*	-8.00	0.46	-0.17	-0.01
Dispersion	1.554*	19.48	0.63	0.98	0.07
Urbane Permeation	-0.011*	-4.25	7.91	-0.09	-0.01
PW pro Einwohner	0.621*	7.28	0.57	0.35	0.02

* Signifikant auf dem 5%-Niveau

6.3.4 Ergebnisse für Verkehrsmittel ÖV

Die Schätzergebnisse der Regressionsmodelle für den ÖV sind in Tab. 7 dargestellt. Die Modellgüte beträgt hier $R^2 = 0.5$ und das Modell weist somit eine relativ gute Vorhersagekraft auf. Die Parameter sind mit zwei Ausnahmen hoch signifikant.

Tab. 7 Ergebnisse der Modellschätzung für den ÖV

Variable	Parameter	t	Mittelwert	Mittlerer Einfluss	
				Absolut	Relativ
Konstante					
Geringbesiedelt	-0.454	-2.94			
Mitteldicht besiedelt	-2.043*	-19.59			
Dicht besiedelt	-2.296*	-11.49			
Erreichbarkeit					
Geringbesiedelt	1.173*	18.04	13.61	15.96	1.00
Mitteldicht besiedelt	1.279*	19.79	14.02	17.94	1.12
Dicht besiedelt	1.338*	20.14	14.30	19.11	1.20
Interaktion mit Isochronenfläche	0.955*	9.55			
Erreichbarkeit Konkurrenz	-1.244*	-20.24	14.60	-18.15	-1.14
Mittleres Einkommen	-0.001	-1.73	82.08	-0.09	-0.01
Relative Dichte	-0.001	-0.02	0.46	0.00	0.00
Dispersion	0.317*	3.62	0.63	0.20	0.01
Urbane Permeation	-0.015*	-5.37	7.91	-0.12	-0.01
ÖV-Abos pro Einwohner	0.010*	7.51	30.31	0.30	0.02

* Signifikant auf dem 5%-Niveau

6.3.5 Zusammenfassung und Interpretation

Die Ergebnisse der statistischen Modelle weisen, insbesondere hinsichtlich der Einflüsse der Erreichbarkeiten auf die Modal-Split-Anteile, die erwarteten und somit auch plausiblen Tendenzen auf. Die positiven Werte der Erreichbarkeits-Parameter bedeuten einen Anstieg des Marktanteils des betreffenden Verkehrsmittels als Hauptverkehrsmittel bei einer Erhöhung von dessen Erreichbarkeit.

Bei der Interpretation dieser Resultate sind die folgenden methodischen Rahmenbedingungen berücksichtigt:

- Die Modal-Splits zeigen den Marktanteil an den Wegen nach Hauptverkehrsmittel. Bei Betrachtung anderer Kenngrößen (z.B. Etappen, Weglänge, Unterwegszeit etc.) ist mit anderen Effekten zu rechnen. Insbesondere beim Fuss- und Veloverkehr, der oft als Zubringer zum ÖV benutzt wird.
- Angebots- und Nachfragemerkmale sind beim MIV und ÖV gut abgebildet. Der Fuss- und Veloverkehr wird in den verwendeten Datengrundlagen hingegen weniger gut abgebildet.
- Weiter konnten gewisse verkehrsmittelspezifische Einflussfaktoren aufgrund fehlender Datengrundlagen nicht berücksichtigt werden, beispielsweise das Parkierungsangebot im MIV und Veloverkehr [5]. Schweizweit einheitliche Datenquellen für die Qualität, Attraktivität und Sicherheit der Wegnetze im Fuss- und Veloverkehr liegen ebenfalls nicht vor.
- Die Analyse basiert auf Niveau-Unterschieden zwischen den Gemeinden, die das Ergebnis der in der Vergangenheit auftretenden dynamischen Wechselwirkungen zwischen Raumentwicklung, Verkehrsangebot und -nachfrage abbilden. Der Einfluss der

Erreichbarkeit auf den Modal-Split gilt deshalb nur für einen abgegrenzten Bereich um das aktuelle Erreichbarkeitsniveau.

Tab. 8 zeigt als Übersicht zur Einordnung und Interpretation der Regressionsergebnisse die stärksten Effekte der Einflussvariablen auf die Modal Splits.

Tab. 8 Regressionsmodelle: signifikante Einflussfaktoren (5%-Niveau)

Variable	Positiv	Negativ	Nicht signifikant
Erreichbarkeit	ÖV > MIV > Fuss > Velo		
Erreichbarkeit Konkurrenz	ÖV > MIV > Fuss > Velo		
Mittleres Einkommen	MIV	Fuss > ÖV	Velo
Relative Dichte	Velo	MIV > Fuss	ÖV
Dispersion	MIV > ÖV	Fuss > Velo	
Urbane Permeation	Velo	Fuss > ÖV > MIV	
Knotendichte		Velo	
Interaktion Isochronenfläche	ÖV > MIV	Velo > Fuss	

Die Tabelle zeigt, dass die Erreichbarkeit auf aggregierter Ebene im Vergleich zwischen den Gemeinden einen signifikant positiven Einfluss auf den Modal-Split hat. Eine hohe Erreichbarkeit der Konkurrenz hebt diesen Effekt teilweise auf.

Der Einfluss der Isochronenfläche auf die Parameter der Erreichbarkeiten ist signifikant positiv beim ÖV und MIV. Je grösser die Isochronenfläche (je weniger Hindernisse und räumliche Einschränkungen) desto grösser ist der Einfluss der Erreichbarkeitsveränderung auf den Modal-Split. Umgekehrtes gilt beim Fuss- und Veloverkehr. Hier nimmt der Einfluss der Erreichbarkeit auf den Modal-Split mit zunehmender Isochronenfläche ab. In grösseren Räumen mit weniger Hindernissen hat der Fuss- und Veloverkehr einen relativen Nachteil gegenüber MIV und ÖV. Eine verbesserte Erreichbarkeit hat deshalb in grösseren Räumen einen kleineren Effekt als in Räumen mit vielen Hindernissen (und kleiner Isochronenfläche). In «grossen» und in alle Richtungen offenen Räumen zeigt sich somit beim Fuss- und Veloverkehr eine angebotsseitige Massnahme im Modell als weniger effektiv als in kleinen Räumen.

Interessant sind die folgenden Erkenntnisse zu den übrigen einbezogenen Variablen:

- Ein hohes Einkommen begünstigt den MIV-Anteil und senkt den Fuss- und ÖV-Anteil, hat jedoch kaum Einfluss auf den Veloanteil.
- Eine höhere relative Dichte (Anzahl Einwohner pro Beschäftigte) begünstigt den Veloverkehr, reduziert den MIV- und Fussverkehr und hat keinen signifikanten Einfluss auf den ÖV.
- Eine hohe Dispersion erklärt höhere MIV- und ÖV-Anteile, und tiefere Fuss- und Veloanteile.
- Eine hohe urbane Permeation (steigt mit hoher Dispersion, grosser Siedlungsfläche und kleinerer Gesamtfläche) führt zu höheren Veloanteilen.
- Die nur im Velomodell berücksichtigte Knotendichte hat einen negativen Einfluss auf den Veloanteil.

Im **Fussverkehr** hat die Erreichbarkeit in allen DEGURBA-Raumtypen einen hohen Erklärungsgehalt und die Isochronenfläche spielt nur eine kleine Rolle. Dies lässt sich auch dadurch erklären, dass der Fussverkehr nur geringe Distanzen zurücklegt, keine grossen

Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Gemeinden aufweist und daher vor allem das Potenzial innerhalb der jeweiligen Gemeinde und ihres unmittelbaren Umfelds die Erreichbarkeit des Fussverkehrs bestimmen. Der negative Einfluss der Dispersion legt nahe, dass ein disperser Siedlungsraum die Attraktivität für den Fussverkehr senkt. Höhere Einkommen gehen mit einem tieferen Anteil des Fussverkehrs einher.

Im **Veloverkehr** spielt gemäss statistischem Modell die Erreichbarkeit eine verhältnismässig bescheidene Rolle. Der im Vergleich zum Fussverkehrsmodell tiefere Erklärungsgehalt und die deutlich tieferen t-Werte der Erreichbarkeitsvariablen deuten dabei auf verschiedene Probleme hin: Wir gehen davon aus, dass hier die beigezogenen Daten des Modal-Splits für das Hauptverkehrsmittel in den Gemeinden zu wenig Varianz aufweisen. Ähnlich wie im Fussverkehr fehlt im zur Ermittlung der Erreichbarkeit und (teilweise) des Modal-Split verwendeten NPVM ein detailliert kalibriertes Velomodell und im Mikrozensus ist der Veloverkehr in vielen Gemeinden nur marginal abgedeckt. Es existieren zudem im Datenstand 2017 nur wenige sehr gute Beispiele mit stark ausgebauter und schneller Veloinfrastruktur und hohem Veloanteil, die eine stärker ansteigende Regressionskurve definieren könnten. Dies zeigt auch ein Blick auf die Benotung der Velofreundlichkeit der Städte, welche 2017/18 durch Pro Velo durchgeführt wurde (Pro Velo 2018 [40]).

Beim **MIV** spielt die Erreichbarkeit in allen DEGURBA-Raumtypen eine starke Rolle, die stärkste im geringbesiedelten Typ. Auch die Isochronenfläche (und entsprechend die Raumstruktur) hat einen Einfluss auf den Zusammenhang zwischen Erreichbarkeit und Modal-Split Anteil. Eine hohe Dispersion sowie ein hoher PW-Besitz erhöhen den MIV-Anteil am Wegeaufkommen.

Im **öffentlichen Verkehr** reagiert der Modal-Split ähnlich auf Erreichbarkeitsunterschiede wie im MIV. Die Dispersion spielt ebenfalls eine signifikante Rolle, auch wenn der Einfluss kleiner ist als beim MIV. Weit auseinanderliegende Siedlungseinheiten scheinen grundsätzlich die schnelleren Verkehrsmittel zu begünstigen, wobei die urbane Permeation diesem Effekt entgegenwirkt. Je grösser der Anteil der Siedlungsfläche an der Gesamtfläche, desto kleiner ist tendenziell der Anteil des öffentlichen Verkehrs. Der Besitz von ÖV-Abonnementen hat wie erwartet einen positiven Einfluss. Der Einfluss der Isochronenfläche ist im ÖV besonders ausgeprägt. Je offener und weniger eingeschränkt der Raum, desto grösser ist der Einfluss der ÖV-Erreichbarkeit auf den ÖV-Anteil.

6.4 Ableitung der Elastizitäten

6.4.1 Überblick

Die Erreichbarkeits-Elastizitäten der einzelnen Verkehrsmittel wurden für jede Schweizer Gemeinde aus dem entsprechenden raumtypspezifischen Parameter (inkl. Interaktion mit der Isochronenfläche) sowie dem im Referenzzustand vorliegenden Modal-Split-Anteil berechnet. Aus der so aufgebauten Datenbank mit den gemeindefeinen Elastizitäten aller vier Verkehrsmittel können dann Mittelwerte für die Elastizitäten je Raumtyp abgeleitet werden. Diese sind als Übersicht in Tab. 9 dargestellt.

Die Elastizitäten im motorisierten Verkehr (MIV und ÖV) nehmen tendenziell mit der Siedlungsdichte und der Isochronenfläche zu. Je dichter besiedelt eine Gemeinde ist, und je grösser deren Einzugsgebiet, desto eher reagiert deren Modal Split demnach auf Veränderungen in den Erreichbarkeiten. Der ÖV ist bezüglich der Angebotsgestaltung aufgrund der zeitlichen und räumlichen Einschränkungen weniger flexibel.

Beim Fussverkehr sind die Elastizitäten im Vergleich zu den anderen Verkehrsmitteln durchgehend hoch, mit dem höchsten Wert im Raumtyp «geringbesiedelt» mit kleiner Isochronenfläche. Hier stellt sich jedoch die Frage, mit welchen angebotsseitigen Massnahmen die Fuss-Erreichbarkeit mit reinem Bezug zur Gehzeit überhaupt signifikant gesteigert werden könnte. Einen Einfluss könnten zum Beispiel direkte Wege, engmaschige Netze oder qualitative Verbesserungen haben.

Beim Velo sind die Elastizitäten durchgehend sehr tief, hier vermag also die rein fahrtzeitbezogene Erreichbarkeit die Unterschiede in den zwischen den Gemeinden nur wenig variierenden, und bei Betrachtung des Hauptverkehrsmittels durchgehend tiefen Modal-Split-Anteilen kaum zu erklären. Hier besteht weiterer Forschungs- und Datenbedarf, um auch andere Einflüsse, wie Qualität, Komfort, Sicherheit und Erschließungsqualität (auch bzgl. adäquaten Abstellplätzen etc.) einbeziehen zu können.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass die Elastizitäten in einem abgesteckten Bereich um den aktuellen Zustand in beide Richtungen gelten, d.h. sowohl Verbesserungen als auch Einschränkungen der Erreichbarkeit eine gleich grosse relative Wirkung würden.

Tab. 9 Mittlere Erreichbarkeits-Elastizitäten nach Raumtyp und Verkehrsmittel

Siedlungsstruktur / Raumstruktur (Grösse der Isochronenfläche)	Elastizität bezogen auf Modal-Split			
	Fuss	Velo	MIV	ÖV
Geringbesiedelt – klein	0.67	0.01	0.24	0.30
Geringbesiedelt – mittel	0.65	0.01	0.31	0.87
Geringbesiedelt – gross	0.63	0.01	0.32	1.22
Mitteldicht – klein	0.52	0.07	0.30	0.54
Mitteldicht – mittel	0.52	0.06	0.41	0.94
Mitteldicht – gross	0.53	0.05	0.51	1.36
Dicht besiedelt – klein	0.45	0.06	0.33	0.69
Dicht besiedelt – mittel	0.47	0.05	0.46	1.09
Dicht besiedelt – gross	0.44	0.04	0.67	1.37
Mittelwert	0.52	0.04	0.46	1.10

6.4.2 Verteilungen

Die Verteilung der Elastizitäten der einzelnen Gemeinden sind, aufgeschlüsselt nach DEGURBA-Raumtyp und Grösse der Isochronenfläche, ebenfalls nochmals in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Skalen auf der Y-Achse je nach Verkehrsmittel unterschiedlich gewählt wurden, um Unterschiede zwischen den Raumtypen sichtbar zu machen.

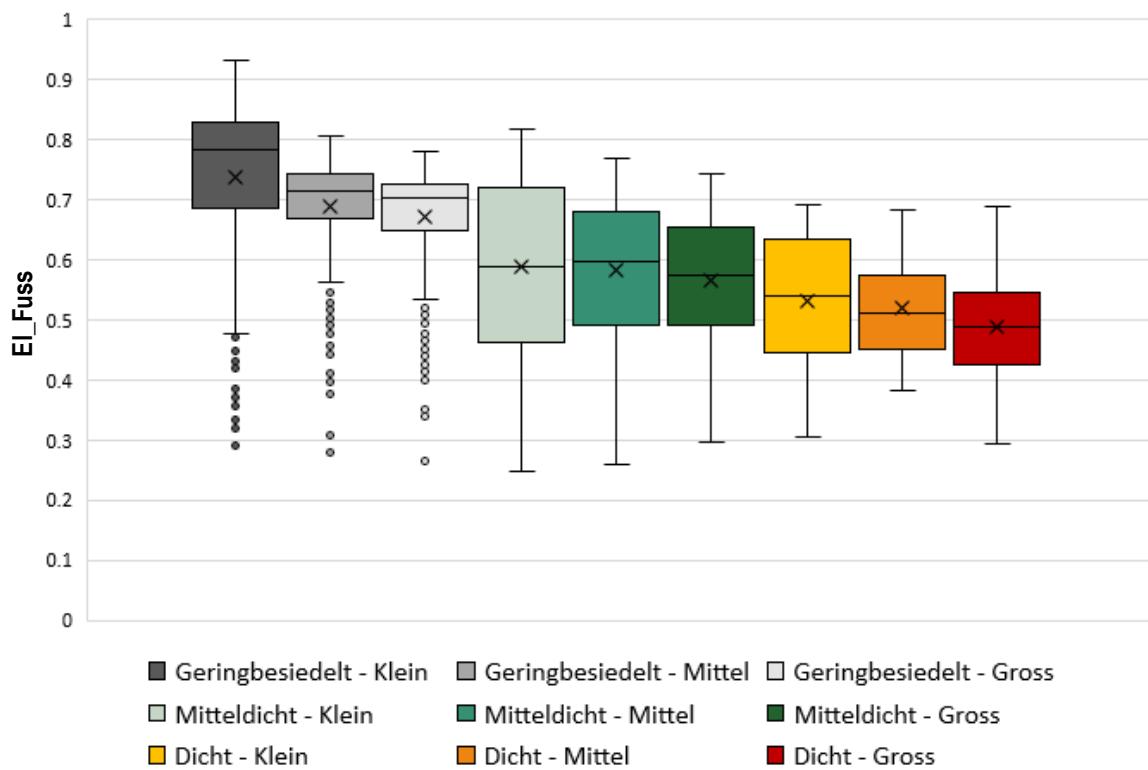


Abb. 35 Fussverkehr – Elastizität (Erhöhung Modal-Split-Anteil in % bei Erhöhung der Erreichbarkeit um 1%)

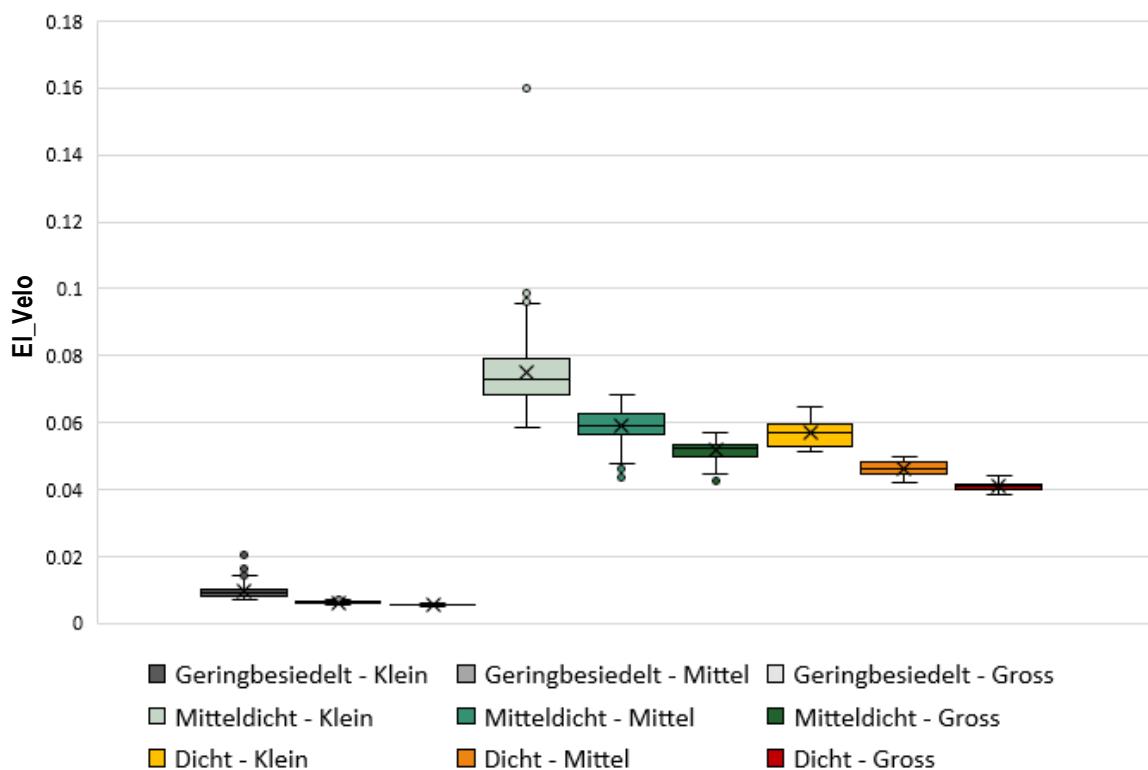


Abb. 36 Veloverkehr – Elastizität (Erhöhung Modal-Split-Anteil bei Erhöhung der Erreichbarkeit um 1%)

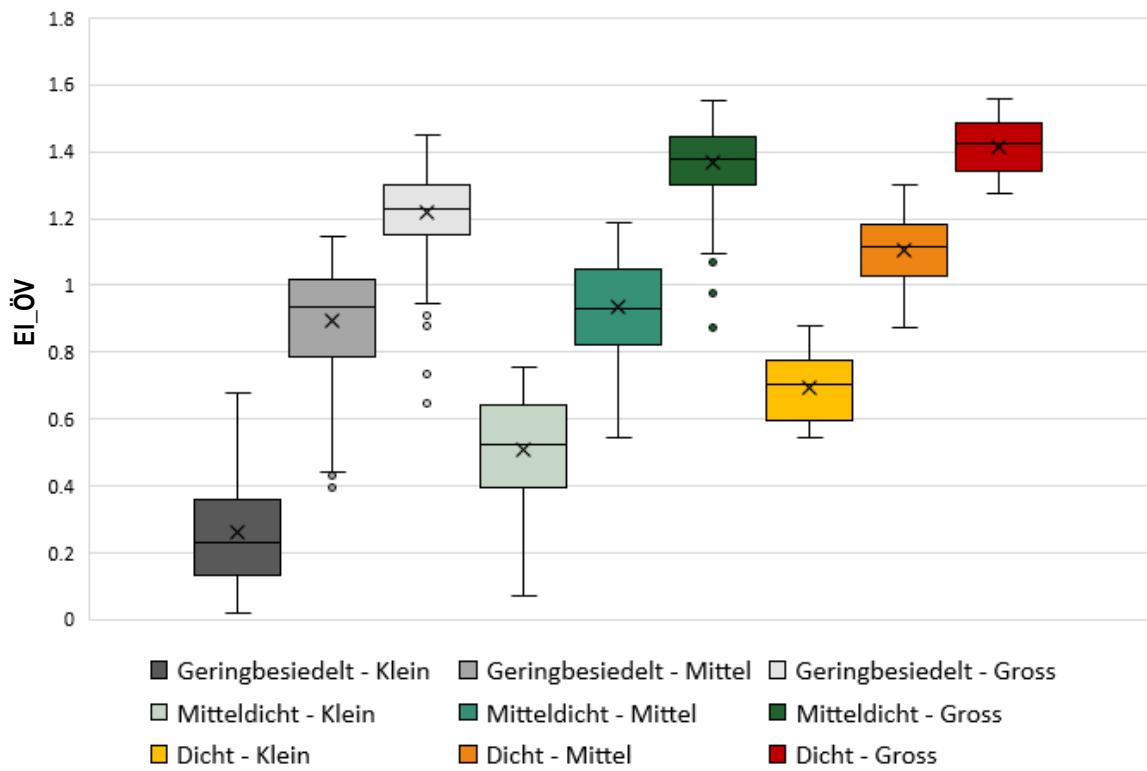


Abb. 37 Öffentlicher Verkehr – Elastizität (Erhöhung Modal-Split-Anteil bei Erhöhung der Erreichbarkeit um 1%)

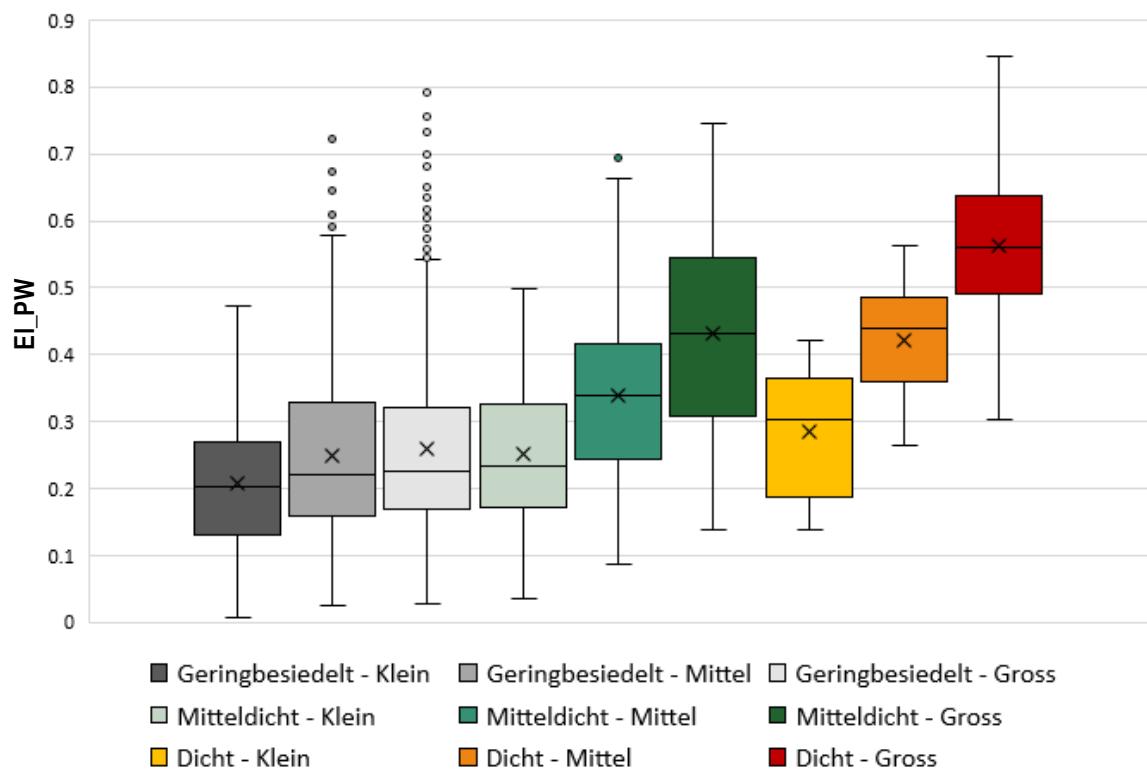


Abb. 38 Personenwagen / MIV – Elastizität (Veränderung Modal-Split-Anteil in % bei Erhöhung der Erreichbarkeit um 1%)

6.5 Einordnung der Ergebnisse

Wie gezeigt konnten im MIV und ÖV auf aggregierter Ebene der Gemeinden aussagekräftige statistische Modelle geschätzt werden. Das NPVM und der MZMV als Hauptdatenquellen bilden beide Verkehrsmittel gut ab. Die ermittelten Einflüsse der zusätzlich einbezogenen Variablen und die Elastizitäten sind plausibel.

Beim **Velo** ist der Einfluss der Erreichbarkeit auf die Modal-Split-Anteile beim Hauptverkehrsmittel zwar signifikant, aber durchgehend auf einem tiefen Niveau. Entsprechend weist das Modell für viele Gemeinden eine sehr tiefe Elastizität aus. Die verwendete Masszahl für den Modal-Split-Anteil reagiert, unabhängig vom Raumtyp, kaum auf eine Erreichbarkeitsveränderung.¹¹ Es ist deshalb sehr plausibel, dass eine Analyse auf Grundlage der Erreichbarkeit die effektiven Wirkungszusammenhänge beim Veloverkehr nicht adäquat abbildet. Auf die weiterführende Analyse des Veloverkehrs wird in den nachfolgenden Kapiteln deshalb – auch auf Empfehlung der Begleitkommission – verzichtet. Dies aus den folgenden Gründen:

- Beim Velo ist der über die Quellen MZMV und NPVM ermittelte Modal-Split-Anteil durchgängig sehr klein und weist eine geringe Varianz auf. Der Mittelwert über alle Gemeinden liegt bei etwa 5.0%, mit einer Standardabweichung von 4.1%. Beim Fussverkehr liegt der Mittelwert bei 18.4%, die Standardabweichung bei 14.6%. Eine ausreichende Varianz wäre notwendig, damit aus den Unterschieden beim Modal-Split eine signifikante Steigung resultiert.
- Dem Velo wird heute und noch mehr in der Zukunft eine besondere Rolle bei der ersten Etappe eines Wegs, im Rahmen von multimodalen Wegeketten zugeschrieben. Mit dem für die Modal-Split-Berechnung verwendeten Indikator der Wege nach Hauptverkehrsmittel kann diese Rolle offenbar nicht im gewünschten Ausmass abgebildet werden. Das Velo dürfte aber insbesondere auch für die Erschliessung von zentral gelegenen ÖV-Haltestellen und in ihrer Entwicklung zu Verkehrsdrehscheiben eine wichtige Rolle spielen.
- Vermutete Einflüsse wie Komfort, Sicherheit und lokale Erschliessungsqualität können mit den vorliegenden Datenquellen aktuell nicht für alle Gemeinden der Schweiz abgebildet werden.

Im **Fussverkehr** ist der Einfluss der Erreichbarkeit hoch, das statistische Modell zeigt signifikante und plausible Hinweise auf den Einfluss räumlicher Variablen auf den Modal-Split. Dennoch wird aus den folgenden Gründen – und ebenfalls auf Empfehlung der Begleitkommission – auch beim Fussverkehr auf eine weitergehende Betrachtung verzichtet:

- Die verwendeten Hauptdatenquellen NPVM und MZMV bilden den Fussverkehr nicht in einer mit dem MIV und ÖV vergleichbaren Qualität ab.
- Bei der verwendeten Kennzahl zur Abbildung des Modal-Splits (Wege nach Hauptverkehrsmittel) wird der Fussverkehr vom ÖV und MIV marginalisiert. Die Rolle des Fussverkehrs als Zubringer zum ÖV oder für die Überwindung der ersten und letzten Meile in multimodalen Wegeketten kann so nicht adäquat abgebildet werden.
- Die Erreichbarkeit im Fussverkehr wird oft stark vom vorhandenen Potenzial im näheren Umfeld dominiert, und weniger vom Fussverkehrsangebot. Es stellt sich die Frage, mit welchen angebotsseitigen Massnahmen die Erreichbarkeit im Fussverkehr signifikant erhöht werden könnte. Vielversprechender zur Veränderung der Erreichbarkeit als reine Angebotsmassnahmen scheinen hier Massnahmen an der Schnittstelle zwischen Raumplanung, Raumgestaltung und Fusswegnetzplanung.

¹¹ Die in einem Fallbeispiel untersuchten reduzierten Widerstände um 10% innerhalb der ausgewählten Gemeinden und um 15% bei Wegen zu direkten Nachbargemeinden hatten nur geringe Auswirkungen auf die Modal-Split-Anteile des Hauptverkehrsmittels Velo, auch im Vergleich zu dem, was das NPVM ermittelt.

7 Validierung und Modellanwendungen

Zur Validierung der ermittelten Elastizitäten im ÖV und MIV (zum Fuss- und Veloverkehr vgl. Kapitel 6.6) wurden zwei Anwendungsfälle gerechnet, deren konkrete Ausgestaltung in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben ist:

- Verbesserung der ÖV-Erreichbarkeit einzelner Gemeinden (Kapitel 7.2);
- Verbesserung der MIV-Erreichbarkeit einzelner Gemeinden (Kapitel 7.3).

In allen Anwendungsfällen wurde zunächst für die betroffenen Gemeinden, die durch die angepassten Kenngrößen veränderten Erreichbarkeiten neu berechnet, und anschließend mittels Verrechnung mit der gemeinde- und verkehrsmittelspezifischen Elastizität der Modal-Split-Anteil vom bestehenden auf den unter den neuen Bedingungen resultierenden Wert hochgerechnet.

Zum Vergleich wurde jeweils auch ein voller Lauf des Nachfragemodells im NPVM durchgeführt, und aus diesem ebenfalls die entsprechenden Kennwerte (Veränderung der Modal Splits) ermittelt. Diese doppelte Berechnung erlaubt den Vergleich der Reaktionen der beiden Modellansätze und eine Einordnung des hier entwickelten aggregierten Ansatzes gegenüber dem Verkehrsmodell.

Es ist zu erwarten, dass die beiden Ansätze unterschiedliche Ergebnisse liefern. Sie unterscheiden sich grundsätzlich in ihrem Aufbau, den getroffenen Annahmen und ihrem Einsatzzweck, was der Vergleich in *Tab. 10* verdeutlicht.

Tab. 10 Vergleich der beiden Ansätze zur Validierung

	Elastizitätenansatz auf aggregierter Ebene	NPVM-Modellauf
Definition Anwendungsfall	Veränderung verkehrsmittelspezifische Kenngrößen (Fahrzeit, Takt etc.) zur Ermittlung der generalisierten Kosten und der veränderten Erreichbarkeit	
Anwendung	Multiplikation Erreichbarkeitsveränderung mit gemeindespezifischer und raumtypspezifischer Elastizität (basierend auf aktuellem MS-Anteil)	Voller Modellauf im Nachfragemodell
Modellparameter	Punktelastizität widerspiegelt bisherige Entwicklung bzw. unterschiedliche Entwicklung der Gemeinden ¹²	Parameter gemäss SP-Befragung und MZMV, kalibriertes Nachfragemodell für ÖV und MIV
Berücksichtige Verkehrsmittel	Unimodal pro Verkehrsmittel	Multimodales Modell, simultane Ermittlung
Einsatzzweck	Aggregierte Effekte auf Gemeinde- oder Raumtypebene	Projektspezifische Effekte

¹² Beinhaltet bisherige Effekte der Zielwahl, der residentiellen Selbstselektion sowie Rigiditäten aufgrund nicht-technischer Aspekte (Routinen) usw. auf die Verkehrsmittelwahl und den Modal-Split.

7.1 Auswahl der Gemeinden für Fallbeispiele

In den nachfolgenden Anwendungen sollen punktuelle Eingriffe in ausgewählten Regionen vorgenommen werden, welche die Erreichbarkeiten einzelner Gemeinden beeinflussen und damit den Effekt dieser Veränderungen im kleinräumigen Bereich sichtbar machen.

Es werden jedoch bewusst keine konkreten Angebotsmassnahmen betrachtet, sondern immer noch auf Ebene der Kenngrößenmatrizen Reduktionen vorgenommen und diese in Erreichbarkeitsgewinne übersetzt. Dies erlaubt die Vergleichbarkeit zwischen den Anwendungen und Ansätzen, und greift der Bewertung konkreter Projekte nicht vor, welche auf weitaus detaillierterer Ebene durchgeführt werden sollte.

Für die Anwendungsfälle wurden drei Gemeinden unterschiedlicher Raumtypen und Isochronenflächen ausgewählt. Als Kriterien standen hierbei die Abgrenzbarkeit, d.h. eher kleine Gemeinden mit einem klar zuordenbaren Raumtyp, sowie die Repräsentativität, d.h. Gemeinden mit Werten nahe am Median der Dichte und Isochronenfläche des jeweiligen Raumtyps, im Vordergrund. Weiter wurde, aufgrund des Umstands, dass die Anwendung für die drei Gemeinden in einem Modellauf durchgerechnet werden sollte, auf eine genügende räumliche Distanz zwischen den Gemeinden geachtet, damit sich die ermittelten Effekte isolieren lassen und die einzelnen Erreichbarkeitsgewinne und Ergebnisse sich nicht überlappen. Es resultierte die folgende Auswahl (siehe Abb.39), wobei diese auf Basis einer Auswertung der Gemeindedatenbank zu folgenden Detailkriterien erfolgte:

- **Hasle (LU):** Raumtyp "Geringbesiedelt mit mittlerer Isochronenfläche": Bereich südöstlich von Bern, z.B. zwischen Thun und Luzern (Entlebuch, Emmental), oder Neuenburgersee Nähe Murten
- **Suhr (AG):** Raumtyp "Mitteldicht besiedelt mit grosser Isochronenfläche": Korridor Brugg – Aarau entlang der A1
- **Pully (VD):** Raumtyp "Dicht besiedelt mit mittlerer Isochronenfläche": entlang Genfersee- oder nördlichem Zürichseeufer

Bei der Berechnung der Modal-Split-Effekte werden jeweils die gemeindespezifischen Elastizitäten verwendet; zum Vergleich werden auch die Ergebnisse bei einer Verwendung des raumtypbezogenen Mittelwerts ausgewiesen.



Abb.39 Für Modellanwendungen ausgewählte Gemeinden.

7.2 Verbesserung der ÖV-Erreichbarkeit

7.2.1 Szenario

In dieser Anwendung findet eine Verbesserung des ÖV-Angebots durch Direktverbindungen in die nächstgelegenen Zentren sowie kürzere Zu- und Abgangszeiten statt. Die Widerstände im ÖV sinken wie folgt:

- Reduktion der Umsteigezahlen auf ausgewählten Beziehungen (ausgewählte Gemeinden <-> nächstgelegene Zentren) um 50%;
- Reduktion der Zu- und Abgangszeiten für Wege mit Quelle und/oder Ziel im Gebiet der ausgewählten Gemeinde um 20%.

7.2.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der ÖV-Anwendung sind aus Tab. 11 ersichtlich.

Tab. 11 Ergebnisse der Anwendung "Verbesserung der ÖV-Erreichbarkeit"

Gemeinde	Gemeindenummer	Erreichbarkeit ÖV			Elastizität			Modal Split ÖV [%]				
		Referenz (logarithmiert)	Anwendung (logarithmiert)	Differenz [%]	Wert der Gemeinde	Mittelwert des Raumtyps	Referenz	Anwendung (Elastizität Gemeinde)	Anwendung (Elastizität Raumtyp)	Anwendung (NPvM)	Differenz (Elastizität)	Differenz (NPvM)
Hasle (LU)	1005	13.60	13.65	4.92	0.46	0.87	34.28	35.06	35.75	35.62	0.78	1.34
Suhr (AG)	4012	14.47	14.51	4.21	1.43	1.36	14.81	15.70	15.66	16.14	0.89	1.33
Pully (VD)	5590	13.97	14.02	5.04	0.87	0.69	18.05	18.85	18.69	19.05	0.79	0.99

Für die betrachteten Gemeinden ergeben sich folgende Erkenntnisse:

Hasle (LU):

- hohe relative Steigerung der ÖV-Erreichbarkeit auf mittlerem Niveau (wenig eigenes Potenzial, aber gute Anbindung) und mittelhohe Elastizität führt zu einer spürbaren Auswirkung der Erreichbarkeitssteigerung;
- NPVM: ländliches Gebiet mit vorhandenem Potenzial bei weiter verbessertem Anschluss an Zentren und somit spürbarer Auswirkung der Angebotsverbesserung;

Suhr (AG):

- mittelhohe relative Steigerung der ÖV-Erreichbarkeit auf mittlerem Niveau (Potenzial vorhanden v.a. in Aarau und Buchs) sowie sehr hohe Elastizität und somit spürbare Auswirkung;
- NPVM: städtisches Gebiet mit vorhandener ÖV-Affinität sowie Potenzial bei weiterer Angebotsverbesserung und dadurch spürbare Auswirkung;

Pully (VD):

- hohe relative Steigerung der ÖV-Erreichbarkeit auf hohem Niveau (Lausanne nebenan) sowie hohe Elastizität und spürbare Auswirkung;
- NPVM: städtisches Gebiet mit vorhandener ÖV-Affinität sowie Potenzial bei weiterer Angebotsverbesserung und dadurch spürbare Auswirkung.

7.3 Verbesserung der MIV-Erreichbarkeit

7.3.1 Szenario

In dieser Anwendung findet eine Verbesserung des MIV-Angebots in Form eines verbesserten Verkehrsflusses auf den Autobahnen statt. Dies führt dazu, dass die Widerstände im MIV wie folgt sinken:

- Reduktion der Fahrzeiten zwischen der ausgewählten Gemeinde und den beiden nächstgelegenen Zentren um 10%;
- Im NPVM wird die Annahme getroffen, dass genügend Kapazität vorhanden ist, so dass die Reisezeitersparnisse voll realisiert werden können.

7.3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der MIV-Anwendung sind aus Tab. 12 ersichtlich.

Tab. 12 Ergebnisse der Anwendung "Verbesserung der MIV-Erreichbarkeit"

Gemeinde	Gemeindenummer	Erreichbarkeit MIV			Elastizität			Modal Split MIV [%]				
		Referenz (logarithmiert)	Anwendung (logarithmiert)	Differenz [%]	Wert der Gemeinde	Mittelwert des Raumtyps	Referenz	Anwendung (Elastizität Gemeinde)	Anwendung (Elastizität Raumtyp)	Anwendung (NPVM)	Differenz (Elastizität)	Differenz (NPVM)
Hasle (LU)	1005	14.50	14.51	0.48	0.61	0.31	52.88	53.03	52.95	53.09	0.15	0.21
Suhr (AG)	4012	15.01	15.01	0.34	0.55	0.51	54.13	54.23	54.22	54.91	0.10	0.78
Pully (VD)	5590	14.52	14.53	0.93	0.44	0.33	37.78	37.94	37.90	38.94	0.16	1.16

Bezüglich der einzelnen betrachteten Gemeinden ergeben sich folgende Erkenntnisse:

Hasle (LU):

- Mittlere relative Steigerung der MIV-Erreichbarkeit auf mittlerem Niveau (wenig eigenes Potenzial, aber gute Anbindung), sowie mittelhohe Elastizität führt zu einer relativ geringen Auswirkung der Erreichbarkeitssteigerung;
- NPVM: ländliches Gebiet mit hoher MIV-Affinität sowie eher geringem zusätzlichen Potenzial und somit relativ geringer Auswirkung der Angebotsverbesserung;

Suhr (AG):

- Eher geringe relative Steigerung der MIV-Erreichbarkeit auf sehr hohem Niveau (Potenzial vorhanden v.a. in Aarau und Buchs) sowie mittelhohe Elastizität und somit relativ geringe Auswirkung;
- NPVM: städtisches Gebiet mit hoher MIV-Affinität sowie hohem Potenzial bei weiterer Angebotsverbesserung und dadurch spürbare Auswirkung;

Pully (VD):

- Mittlere relative Steigerung der MIV-Erreichbarkeit auf hohem Niveau (Lausanne direkt nebenan) sowie mittelhohe Elastizität und relativ geringe Auswirkung;
- NPVM: städtisches Gebiet mit vorhandener MIV-Affinität sowie hohem Potenzial bei weiterer Angebotsverbesserung und dadurch spürbare Auswirkung.

7.4 Fazit der Modellanwendungen

Die Implementierung und Berechnung der Fallbeispiele hat gezeigt, dass auf Erreichbarkeiten beruhende Elastizitäten unter Berücksichtigung räumlicher Charakteristiken einen, je nach Verkehrsmittel (v.a. ÖV) bereits ziemlich robusten, ersten Aufschluss über das vorhandene Potenzial vermitteln können.

Bezogen auf die einzelnen Verkehrsmittel lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Im **ÖV** ist die Größenordnung und die Reihung der Effekte bei beiden Ansätzen vergleichbar. Die Reaktionen der Modal-Split-Anteile auf die angewandten Angebotsveränderungen können als plausibel und durch die unterschiedlichen Ansätze erklärbar angesehen werden (vgl. Erläuterungen zu den einzelnen Gemeinden in Kapitel 7.2.2). Die Erreichbarkeit (hier unter Berücksichtigung aller wichtigen Angebotskenngroßen berechnet, vgl. Kapitel 3.1) und deren Elastizität sind beim ÖV ein guter Indikator für das vorhandene Verschiebungspotenzial.
- Im **MIV** ergibt der Elastizitätenansatz durchgehend eher geringe Auswirkungen von Erreichbarkeitsveränderungen. Die Modal-Split-Veränderungen gemäss Elastizitätenansatz liegen bei allen Fallbeispielen in einer ähnlichen Größenordnung. Auch wenn die im NPVM ermittelten Auswirkungen teilweise deutlich grössere Veränderungen implizieren (unter Annahme einer vollen Realisierung der Zeitersparnisse), sind die Erreichbarkeit und deren Elastizität beim MIV ein guter Indikator für das vorhandene Verschiebungspotenzial.

Die Ergebnisse widerspiegeln wie erwartet die unterschiedlichen Ansätze. Eine Schwäche beider Ansätze ist die eher schwache Abbildung des Fuss- und Veloverkehrs (im NPVM liegt kein im Detail kalibriertes Nachfragermodell vor).

Im Verkehrsmodell (hier des NPVM) wurden konkrete Anwendungsfälle spezifiziert und die Nachfragereaktion berechnet. Dabei werden bei der Verkehrsmittelwahl die konkreten Angebotsverhältnisse, weitere soziodemografische Variablen sowie die Zielwahl berücksichtigt. Es werden ausserdem absolute Nachfragegrößen sowie Modal-Split-Anteile für alle Verkehrsmittel simultan ermittelt, was direkte Aussagen zu auf Basis der verwendeten Parameter erwartbaren Modal-Split-Verschiebungen und auch zum allfälligen induzierten Verkehr ermöglicht. Das NPVM ermittelt Nachfrageverschiebungen auf Basis von Parametern, die aus SP-Befragungen hergeleitet wurden.

Der Elastizitätenansatz stützt sich auf Unterschiede zwischen Gemeinden, die sich aus dem unterschiedlichen Niveau der Erreichbarkeit und unter Berücksichtigung der räumlichen Charakteristiken ergibt. Der aggregierte Ansatz kommt ohne komplexe und aufwändige Modellläufe und ohne weitere Annahmen zum Verkehrsverhalten aus. Dabei bildet er implizit auch Effekte wie die residentielle Selbstselektion und weitere komplexe Wechselwirkungen (verhaltenspsychologische Aspekte wie Routinen oder Zielwahleffekte) soweit ab, wie sie in der Vergangenheit stattgefunden und sich auf Unterschiede im Modal-Split-Niveau ausgewirkt haben.

8 Verlagerungspotenziale und künftige Angebotsentwicklung

Zum Schluss des Forschungsberichts werden aus den durchgeführten konzeptionellen, quantitativen und deskriptiven Analysen Potenziale für eine Verlagerung der Verkehrs-nachfrage identifiziert. Dabei wurde eine gesamtheitlich-interpretierende Methode angewendet und auf die Verkehrsmittel ÖV und MIV fokussiert. Die Herleitung ist wie folgt aufgebaut:

- **Kapitel 8.1:** Generelle Einordnung der erarbeiteten Ergebnisse und Tendenzen bezüglich Verlagerungspotenzial beim ÖV und MIV
- **Kapitel 8.2:** Einschätzungen zur Wirksamkeit von marginalen Widerstandsreduktionen auf die Erreichbarkeit und zur absoluten Größenordnung von Verlagerungspotenzialen
- **Kapitel 8.3:** Einordnung und Fazit zu Verlagerungspotenzialen

8.1 Generelle Einordnung der Ergebnisse

Im vereinfachten Wirkungsmodell war die Hypothese, dass der Raum sowohl das Verkehrsangebot als auch die Verkehrsnachfrage für die verschiedenen Verkehrsmittel beeinflusst. Das Verkehrsangebot wirkt in Interaktion mit dem Raum auf die Verkehrsnachfrage. Die Raumstruktur (Topografie, Hindernisse) sowie die Siedlungsstruktur (zusammenhängende Gebiete ähnlicher Dichte) wirken sich laut dem Wirkungsmodell stark auf den Einfluss der Erreichbarkeit auf den Modal-Split aus, bestimmen also mit, welches Modal-Split-Niveau in Abhängigkeit der Angebotsverhältnisse erreicht werden kann.

Anhand der in Kapitel 6 beschriebenen Analyse konnte unter Berücksichtigung der anhand der Raumstruktur (Isochronenfläche) und der Siedlungsstruktur (DEGURBA-Raumtyp) abgebildeten Raumtypen der statistische Zusammenhang zwischen der Erreichbarkeit und den Modal-Split-Anteilen ermittelt werden. Die abgeleiteten Elastizitäten stellen diesen statistischen Zusammenhang dar. Sie geben erste Hinweise über mögliche Verlagerungspotenziale bei Veränderung der Erreichbarkeit in Abhängigkeit des Raumtyps.

Eine Verschiebung der Modal-Split-Anteile bedeutet, dass eine Verlagerung auf das untersuchte Verkehrsmittel stattfindet. Die Elastizitäten stellen somit ein Mass des Verlagerungspotenzials dar.

Die folgende Abbildung fasst die Mediane der Elastizitäten für die zwei Verkehrsmittel ÖV und MIV und die neun Raumtypen zusammen.

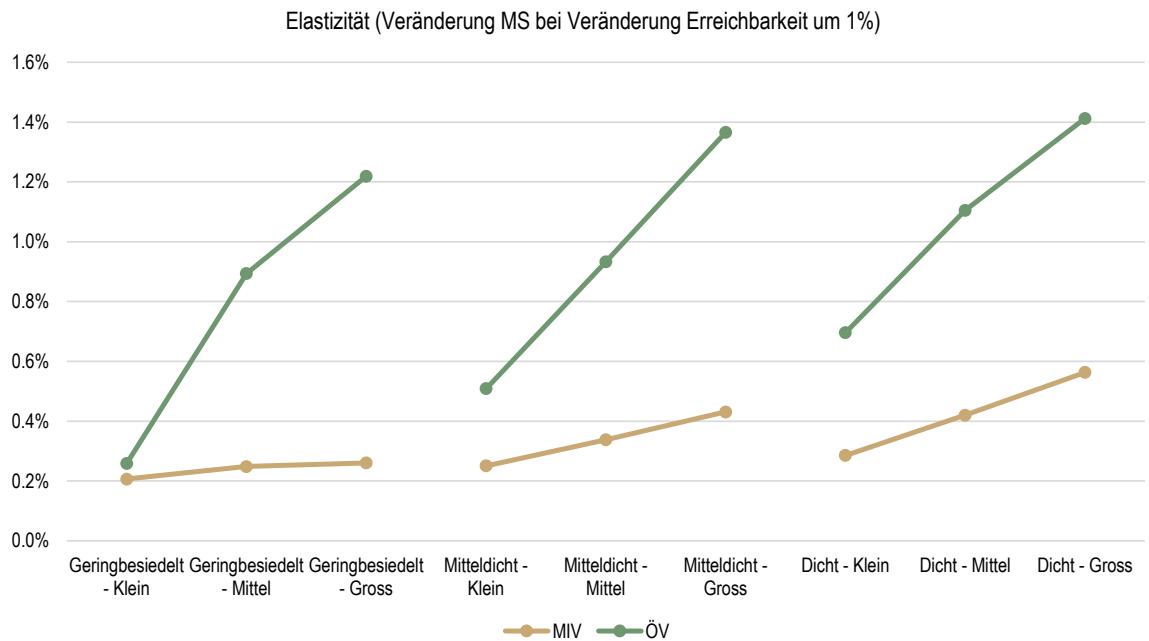


Abb. 40 Medianwerte der Elastizitäten pro Verkehrsmittel und Raumtyp

Die Elastizitäten zeigen, um wie viel Prozent sich die Modal-Split-Anteile im Modell entwickeln, wenn sich die Erreichbarkeit für ein Verkehrsmittel in einem bestimmten Raumtyp um 1 Prozent verändert. Erreichbarkeitsveränderungen wirken dabei auf beide Seiten. Hohe Elastizitäten zeigen somit, dass ein Verkehrsmittel über Angebotsmassnahmen sowohl aktiv gefördert als auch eingeschränkt werden kann. Andererseits zeigen sie aber auch die «Fragilität» des Marktanteils eines Verkehrsmittels auf, insbesondere bei einer Verschlechterung der Rahmenbedingungen. Eine Reduktion der Erreichbarkeit führt im Modell deshalb zu einer Reduktion des Modal-Split-Anteils.

Die Schätzung der Elastizitäten basiert auf den auf Gemeinden aggregierten Daten, die einem Raumtyp zugeordnet wurden. Pro Raumtyp wurde der Median der Elastizitätswerte der Gemeinden berechnet. Diese Werte variieren je nach Raumtyp. Die Gemeinden innerhalb eines Raumtyps sind jedoch nicht homogen. Im Gegenteil, die Varianz ist für die Ermittlung der Elastizitäten notwendig. Nur dank den Unterschieden zwischen den Gemeinden eines Raumtyps lässt sich abschätzen, welchen Einfluss die Erreichbarkeit auf den Modal-Split-Anteil hat. Die Konsequenz daraus ist, dass die geschätzten Elastizitäten nach Raumtyp nicht direkt Schlüsse zu einzelnen Gemeinden zulassen. Das ermittelte Verlagerungspotenzial ist folglich pro Raumtyp definiert.

Potenzial für eine Verlagerung (zum Beispiel hin zum ÖV) haben die Gemeinden, die relativ zu den anderen Gemeinden im Raumtyp eine relativ tiefe Erreichbarkeit und einen tiefen bis mittleren Modal-Split-Anteil (im Beispiel: ÖV-Anteil) haben. Gemeinden welche innerhalb ihres Raumtyps eine hohe Erreichbarkeit und einen hohen Modal-Split-Anteil aufweisen, müssten sich aufgrund der Definition der Elastizität in beide Richtungen eher mit dem Ansatz der Erhaltung bzw. einer relativen Erhöhung oder Reduktion der Erreichbarkeit eines Verkehrsmittels auseinandersetzen.

Da Elastizitäten die Effektgrößen von Erreichbarkeitsveränderungen nur in abstrakter Form beschreiben, wurde im vorherigen Kapitel mit Fallbeispielen veranschaulicht, wie sich die Resultate in konkreten Anwendungen auf die Modal-Split-Anteile auswirken. Sowohl die einzelnen Elastizitäten wie die beobachteten Effekte in den Fallbeispielen deuten auf die Existenz von Verlagerungspotenzialen bei Erreichbarkeitsveränderungen hin, wobei die Stärke der Effekte in ähnlicher Reihung auftritt wie im durchgeführten NPVM-Modellauf. Zudem zeigen die unterschiedlichen Elastizitäten je nach Raumtyp, dass die räumlichen Gegebenheiten, die auf Basis von Angebotsveränderungen erzielbaren Verlagerungspotenziale beeinflussen.

8.1.1 Öffentlicher Verkehr

Beim ÖV reagieren die Modal-Split-Anteile (vgl. folgende Abbildung) in einzelnen Raumtypen besonders stark auf eine Erreichbarkeitsveränderung. Die Elastizitäten zeigen, dass die durch die Erreichbarkeit erklärbaren Unterschiede im Modal-Split-Anteil umso grösser sind, je grösser, hindernisfreier und dichter der Raum besiedelt ist.

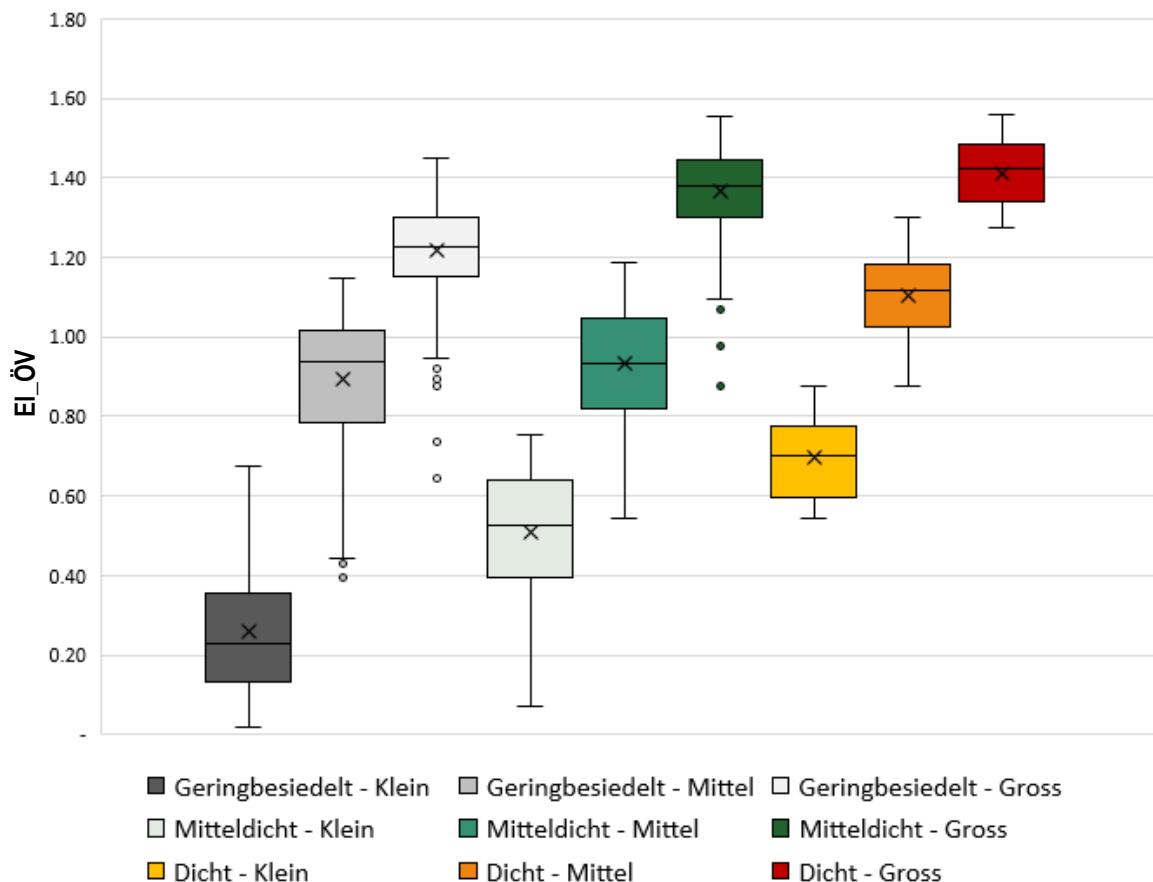


Abb. 41 Elastizität der Modal-Split-Anteile des öffentlichen Verkehrs bezogen auf eine 1%-Veränderung der Erreichbarkeit

Die **Raumstruktur**, bzw. die Grösse der Isochrone, widerspiegelt sowohl die Grösse des Einzugsgebiets als auch die topografischen Hindernisse im Raum, die ohne grössere Eingriffe in die Verkehrsinfrastruktur schwer überwindbar sind. Die Resultate zeigen, dass Gebiete mit grösseren Einzugsgebieten und weniger Hindernissen eine höhere Elastizität des ÖV-Modal-Split-Anteils aufweisen. Aus Sicht der Verlagerung zwischen Verkehrsmitteln führt dies zum Schluss, dass eine gleiche Verbesserung der ÖV-Erreichbarkeit in Regionen mit hindernisarmen, «grossen» Flächen, eine höhere Sensitivität auf Veränderungen beim Angebot, und somit auch ein höheres Verlagerungspotenzial aufweisen.

Dabei dürften sowohl nachfrage- wie angebotsseitige Effekte eine Rolle spielen:

- In kleineren Flächen mit grösseren Hindernissen kann das ÖV-Angebot weniger gut ausgebaut werden. Wenn dadurch ein gewisses Angebotsniveau nicht erreicht wird, kann dies die Attraktivität des ÖV einschränken. Grossen Flächen können hingegen besser ausgestattet und aus verschiedenen Richtungen, beispielsweise auch mittels Tangentialverbindungen erschlossen werden. Im Einzelfall zeigt sich allerdings, dass auch in kleinen Flächen mit entsprechenden Investitionen in die Infrastruktur ein attraktives ÖV-Angebot bereitgestellt werden kann. So sind beispielsweise zahlreiche

Bergtäler und touristische Berggemeinden wie Zermatt, Andermatt oder Davos auch mit der Bahn erschlossen, was zu einer hohen ÖV-Attraktivität beiträgt.

- Auf der Nachfrageseite spielt die Grösse der Isochronenfläche ebenfalls eine wichtige Rolle. Eine grössere Fläche bedeutet auch ein grösseres Einzugsgebiet, weniger Hindernisse für die Siedlungsentwicklung, eine höhere Gesamtnachfrage und eine grössere potenzielle ÖV-Nachfrage. Relativ betrachtet ist das Verlagerungspotenzial dort höher, wo auch das Nachfragepotenzial grösser ist.

Auch die Berücksichtigung der **Siedlungsstruktur** liefert Erkenntnisse zu potenziellen Verlagerungen. Zwar besteht auf Ebene der Gemeinden kein direkter Zusammenhang zwischen Siedlungsstruktur und ÖV-Anteil, doch reagieren die Anteile in dichtbesiedelten Gebieten stärker auf eine Erreichbarkeitsveränderung. Sprich: Eine höhere ÖV-Erreichbarkeit wirkt sich bei dicht und zusammenhängend besiedelten Gemeinden stärker auf den Modal-Split-Anteil des ÖV aus. Betrachtet man die analysierte Momentaufnahme, deutet dieses statistische Resultat zwar darauf hin, dass sich eine ÖV-Erreichbarkeitsverbesserung bei dicht besiedelten Gemeinden stärker auf den ÖV-Modal-Split-Anteil auswirkt. Bei der Abschätzung des Verlagerungspotenzials muss aber berücksichtigt werden, dass die Erreichbarkeit und der Modal-Split-Anteil im dicht besiedelten Gebiet tendenziell bereits hoch ist. Die von den Elastizitäten vermittelten Verlagerungseffekte bei zukünftigen Erreichbarkeitsverbesserungen können von diesem bestehenden Angebotsniveau beeinflusst werden. So ist z. B. zu erwarten, dass in dicht besiedelten und bereits gut ausgebauten Regionen das ermittelte Verlagerungspotenzial nur mit sehr grossem Aufwand ausgeschöpft werden kann.

Auf der Nachfrageebene könnte eine Erklärung dafür sein, dass der ÖV in dicht besiedelten Gebieten einen Vorteil gegenüber anderen Verkehrsmitteln hat. Konkurrenz dürfte hier insbesondere mit dem MIV bestehen, der sich in dicht besiedelten Regionen aufgrund der höheren Flächennutzung pro Passagier weniger gut eignet.¹³

Die **Fallbeispiele** zeigen, wie sich eine Widerstandsreduktion bzw. eine Erreichbarkeits erhöhung auf die Modal-Split-Anteile auswirkt. Beim ÖV wurde für ausgewählte Gemeinden eine Reduktion der Umsteigezahlen um 50% (mehr Direktverbindungen) und eine Reduktion der Zu- und Abgangszeiten um 20% modelliert. Dies hat bei den drei Gemeinden zu klaren Verschiebungen der Modal-Split-Anteile geführt. Mit der modellierten Massnahme konnte in den unterschiedlichen Raumtypen «geringbesiedelt mit mittlerer Isochronenfläche» (Hasle, LU), «mitteldicht besiedelt mit grosser Isochronenfläche» (Suhr, AG) und «dicht besiedelt mit kleiner Isochronenfläche» (Pully, VD) sowohl über den Elastizitätsansatz als auch über einen NPVM-Modellauf eine Verschiebung beobachtet werden.

Grundsätzlich zeigen die Fallbeispiele, dass eine Massnahme, die die generalisierten Kosten senkt und dadurch die Erreichbarkeit erhöht zu einer Verlagerung führt. In Hasle (LU), wo die Erreichbarkeitsveränderung knapp 5% beträgt, entspricht die Verlagerung einer Zunahme des ÖV-Anteils um 2.2%. In Suhr (AG) impliziert die modellierte Massnahme eine leicht tiefere Erreichbarkeitsveränderung, die angesichts der hohen Elastizität aber eine Zunahme des ÖV-Anteils um 6% bewirkt. In Pully (VD) liegt die die Verschiebung bei 4%. Die Veränderung des ÖV-Anteils liegt damit zwischen 2% und 6%.

Das Fallbeispiel weist auf folgende Punkte hin, die bei der Beurteilung des Verlagerungspotenzials eine wichtige Rolle spielen. Erstens zeigt das Beispiel, dass Erreichbarkeitsveränderungen durchaus auch bei den Raumtypen einen Effekt haben können, für die eine tiefere Elastizität modelliert wurde. Zweitens macht das Beispiel deutlich, dass die Verschiebung des Modal-Split-Anteils ein kombinierter Effekt ist, der sich aus Elastizität und Erreichbarkeitsveränderung zusammensetzt. Zentral ist bei dieser Betrachtung, dass eine

¹³ Die Resultate widerspiegeln auch die unterschiedlichen Präferenzen bezgl. Mobilitätswerkzeugen und die Selbstselektion beim Wohn- und Arbeitsort. In dicht besiedelten Gebieten, wo der ÖV gut geeignet ist und das Angebot tendenziell auch stärker ausgebaut ist, befinden sich möglicherweise auch mehr ÖV-Nutzende, was sich auf den Modal-Split auswirkt.

Massnahme je nach Gemeinde eine unterschiedliche Erreichbarkeitsverschiebung zur Folge hat (vgl. Kapitel 8.2).

8.1.2 Motorisierter Individualverkehr

Grundsätzlich deuten die ermittelten Elastizitätswerte darauf hin, dass auch beim MIV ein Verlagerungspotenzial besteht. Die Tendenzen sind beim MIV zudem ähnlich wie beim ÖV: Die Elastizität nimmt mit der Dichte und mit der Grösse der Isochronenfläche zu. Die Elastizitäts-Werte haben jedoch eine tiefere Varianz als beim ÖV, wie in der folgenden Abbildung ersichtlich ist. Dies deutet darauf hin, dass zwar auch beim MIV ein Verlagerungspotenzial besteht, dieses aber weniger stark vom Raumtyp abhängt als beim ÖV.

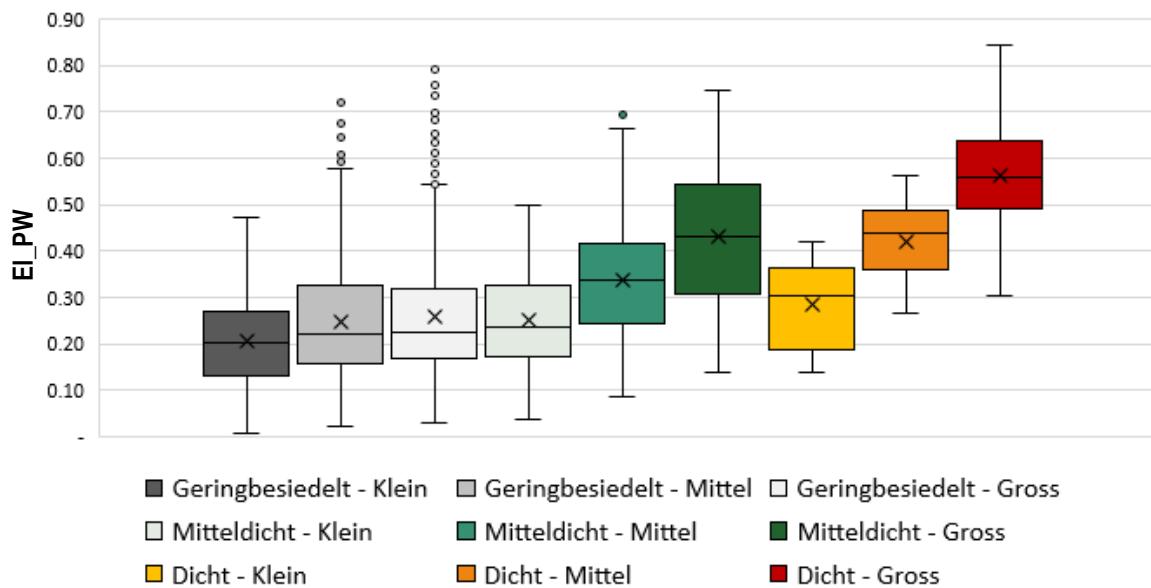


Abb. 42 Elastizität des Modal-Split-Anteils beim Personenwagen bezogen auf eine 1%-Veränderung der Erreichbarkeit

Wie schon beim ÖV, zeigen die Modellresultate, dass im Durchschnitt eine höhere Siedlungsdichte mit einer höheren Elastizität verbunden ist. In dicht besiedelten Gebieten bewirkt demnach eine Erreichbarkeitsveränderung eine stärkere Verschiebung des Modal-Split-Anteils des MIV. Der Effekt der Dichte ist jedoch weniger stark ausgeprägt als beim ÖV; die Elastizität nimmt mit erhöhter Dichte nur leicht zu. Etwas ausgeprägter ist laut den Resultaten der Einfluss der Raumstruktur bzw. der Grösse der Isochronenfläche. Mit grösserem Einzugsgebiet steigt auch der Effekt einer Erreichbarkeitsveränderung auf die Höhe des Modal-Split-Anteils.

Bei den abgebildeten Elastizitäten handelt es sich wie erwähnt um Durchschnittswerte. Die tiefere Varianz bei diesen durchschnittlichen Elastizitätswerten deutet darauf hin, dass der Raumtyp beim MIV einen kleineren Einfluss auf das Verlagerungspotenzial hat als beim ÖV. Die Unterschiede widerspiegeln möglicherweise auch die tiefere Varianz bei der MIV-Erreichbarkeit. Je nach Gemeinde variiert die Erreichbarkeit bei ÖV, Fuss- und Veloverkehr deutlich stärker als beim MIV. Beim ÖV dürften vor allem die Angebotsunterschiede deutlich grösser sein, was sich auch bei der Erreichbarkeit und den Elastizitäten widerspiegelt.

Mit der Erreichbarkeit variieren also auch beim MIV die Modal-Split-Anteile. Die etwas tiefen und homogeneren Elastizitäten im Vergleich zum ÖV könnten darauf hindeuten, dass die Erreichbarkeit beim MIV auf einem generell hohen Niveau liegt und es zwischen den Gemeinden weniger Unterschiede gibt. Die Tatsache, dass in Gemeinden mit Raumtyp «Dicht – Gross» und «Mitteldicht – Gross» eine hohe MIV-Elastizität nachgewiesen werden kann, zeigt auch, dass MIV und ÖV in diesen Räumen in direkter Konkurrenz zueinanderstehen.

Die Resultate der Analysen deuten folglich auch beim MIV auf Verlagerungspotenziale hin, die mit einer Veränderung der Erreichbarkeit erzielt werden können und mit Siedlungsdichte und Grösse der Raumstruktur zunehmen.

8.2 Umsetzung von Erreichbarkeitsveränderungen

Für die Analyse der künftigen Nachfragebeeinflussung ist neben dem relativen Verlagerungspotenzial, welches die Elastizitäten repräsentiert, auch die Frage relevant, wie effizient sich überhaupt Erreichbarkeitsveränderungen herbeiführen lassen: Wie stark wirkt sich eine Widerstandsreduktion auf die Erreichbarkeit aus, differenziert nach den Raumtypen?

Erst die Kombination dieser beiden Komponenten (Elastizität und Erreichbarkeitsveränderung) mit dem heutigen Niveau des Modal-Splits lassen eine effektive Einschätzung der Verlagerungspotenziale bzw. der Veränderung des verkehrsmittelspezifischen Anteils in Prozentpunkten zu.

Darüber hinaus lässt sich durch den Einbezug von Gesamtnachfragekennzahlen auch eine grobe Größenordnung des absoluten Verlagerungspotenzials für die Raumtypen herleiten. Diese absoluten Größenordnungen sind zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit besonders wichtig, auch wenn diese allein nicht ausreichen. Dafür müssten selbstverständlich auch die Kosten auf der Angebotsseite mitberücksichtigt werden.¹⁴

Wie nachfolgend gezeigt wird, variieren nicht nur die relativen Verlagerungspotenziale nach Verkehrsmittel und Raumtyp, sondern auch die Sensitivität der Erreichbarkeit auf Widerstandsveränderungen.

Die nachfolgende Analyse untersucht als weitere Grundlage zur Abschätzung von Verlagerungspotenzialen zusätzlich die Sensitivität der Erreichbarkeit auf eine Reduktion des verkehrsmittelspezifischen Widerstands sowie auf dieser Basis das absolute Verlagerungspotenzial in Anzahl Wegen. Die Analyse erfolgt auf folgenden Ebenen:

- Untersuchung der Auswirkungen einer Reduktion des Raumwiderstands (generalisierte Kosten) auf die Erreichbarkeit nach Raumtyp (Abschnitt 8.2.1).
- Anwendung der Elastizitäten und Abschätzung der Veränderung der Modal-Split-Anteile bei 1%iger Reduktion des Raumwiderstands (in % und %-Punkten) unter Berücksichtigung des aktuellen Niveaus, nach Raumtyp (Abschnitt 8.2.2).
- Grobe Abschätzung der absoluten Größenordnung der verlagerten Wege auf Basis der Veränderung in %-Punkten, wobei 100% der Zahl der Wege im NPVM entsprechen (Abschnitt 8.2.3).

8.2.1 Reduktion des Raumwiderstands und Auswirkungen auf die Erreichbarkeit

Um die Sensitivität der Erreichbarkeit auf Veränderungen im Widerstand abschätzen zu können, wurde wie folgt vorgegangen:

- Mit dem NPVM wurde eine flächendeckende Reduktion der generalisierten Kosten bzw. des Widerstands um 10% für alle Verkehrsmittel umgesetzt. Die Erreichbarkeit pro Verkehrsmittel wurde im NPVM auf dieser veränderten Grundlage neu geschätzt.
- Die Veränderung der Erreichbarkeit in % ergibt sich durch Vergleich mit der (nicht-logarithmierten) Erreichbarkeit im Ausgangszustand.

¹⁴ Die Analyse zur Wirtschaftlichkeit geht über den Rahmen dieses Forschungsprojekts und wird deshalb auch nicht weiter vertieft.

- Um eine mit den Elastizitäten vergleichbare Sensitivität zu erhalten, wurde im Bereich von 0-10% von einem linearen Zusammenhang zwischen Veränderung des Widerstands und Veränderung der Erreichbarkeit ausgegangen. Die relative Veränderung wird deshalb mit dem Faktor 10 normiert.

Zu Illustration: Um die generalisierten Kosten eines Wegs um 1% zu reduzieren, müsste beispielsweise die Reisezeit um rund 1% reduziert werden. Bei einer Reisezeit von 60 Minuten entspricht dies einer Reduktion um knapp eine Minute. Bei einer Strecke von 90 km und einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 90 km/h müsste dazu die durchschnittliche Geschwindigkeit auf etwa 91 km/h erhöht werden.

Die folgende Abbildung zeigt die so ermittelte Sensitivität der Erreichbarkeit auf eine 1%ige Reduktion des Raumwiderstands bzw. der generalisierten Kosten.

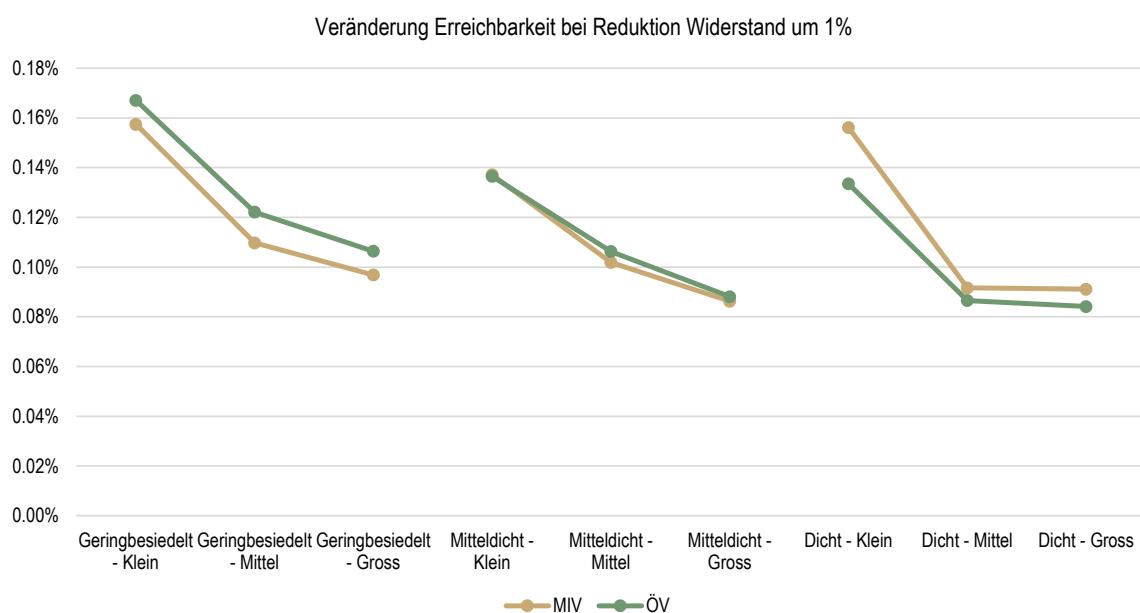


Abb. 43 Sensitivität der Erreichbarkeit bei flächiger Reduktion des Raumwiderstands um 1%, Medianwerte nach Verkehrsmittel und Raumtyp

Die Sensitivität der Erreichbarkeit bei MIV und ÖV ist etwa gleich hoch. Die Erreichbarkeit steigt pro 1%ige Widerstandsreduktion zwischen 0.08% und 0.17%. Tendenziell ist die Sensitivität sowohl im ÖV als auch im MIV in kleinen Räumen höher und in grossen Räumen kleiner. Der Einfluss der Siedlungsstruktur ist eher klein.

Die Werte können dabei auch bezogen auf die lokale Siedlungsentwicklung interpretiert werden: Ein Potenzialwachstum an Bevölkerung und Beschäftigten im unmittelbaren Umfeld des Siedlungsschwerpunkts der Gemeinden im ähnlichen Prozentbereich könnte bei allen Verkehrsmitteln eine analoge Steigerung der Erreichbarkeit mit sich bringen, unter der Annahme, dass dieses lokale Potenzial praktisch 1:1 in die Erreichbarkeit einfließt.

8.2.2 Herleitung der relativen Veränderung des Modal-Split-Anteils

Die im Forschungsprojekt ermittelten Elastizitäten zeigen die prozentuale Veränderung des Modal-Split-Anteils auf eine einprozentige Veränderung der Erreichbarkeit (vgl. Abschnitt 8.1).

Um die effektiv zu erwartende Verschiebung beim Modal-Split zu ermitteln, muss der Elastizitätswert mit der Erreichbarkeitsveränderung multipliziert werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis der Multiplikation der Elastizitäten mit der oben gezeigten Sensitivität der Erreichbarkeit. Dabei handelt es sich um eine relative Veränderung des Modal-Split-Anteils, und nicht um Prozentpunkte.

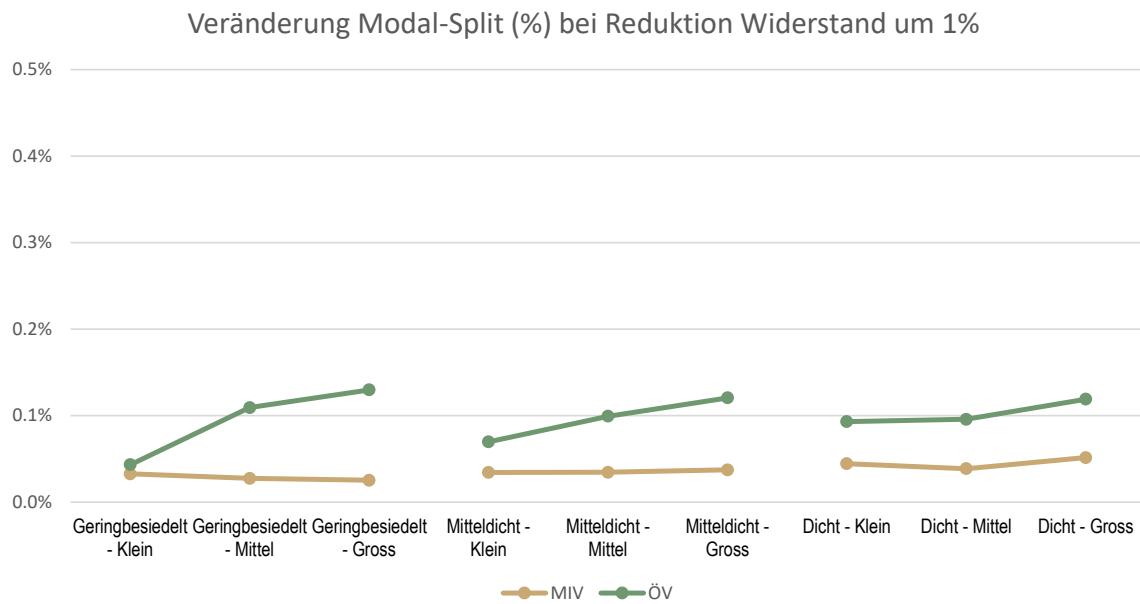


Abb. 44 Relative Veränderung des Modal-Split-Anteils bei flächiger Reduktion des Widerstands um 1%, Medianwerte nach Verkehrsmittel und Raumtyp

Hier weist der ÖV höhere Werte auf als der MIV, weil die gleich hohe Sensitivität durch die höhere Elastizität des ÖV übersteuert wird.

Um aus dieser relativen Veränderung eine Veränderung in %-Punkten zu ermitteln muss das aktuelle Niveau des MS-Anteils hinzugezogen werden. Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis der Berechnung aus aktuellem MS-Anteil * (1+ relative Veränderung des MS-Anteils).

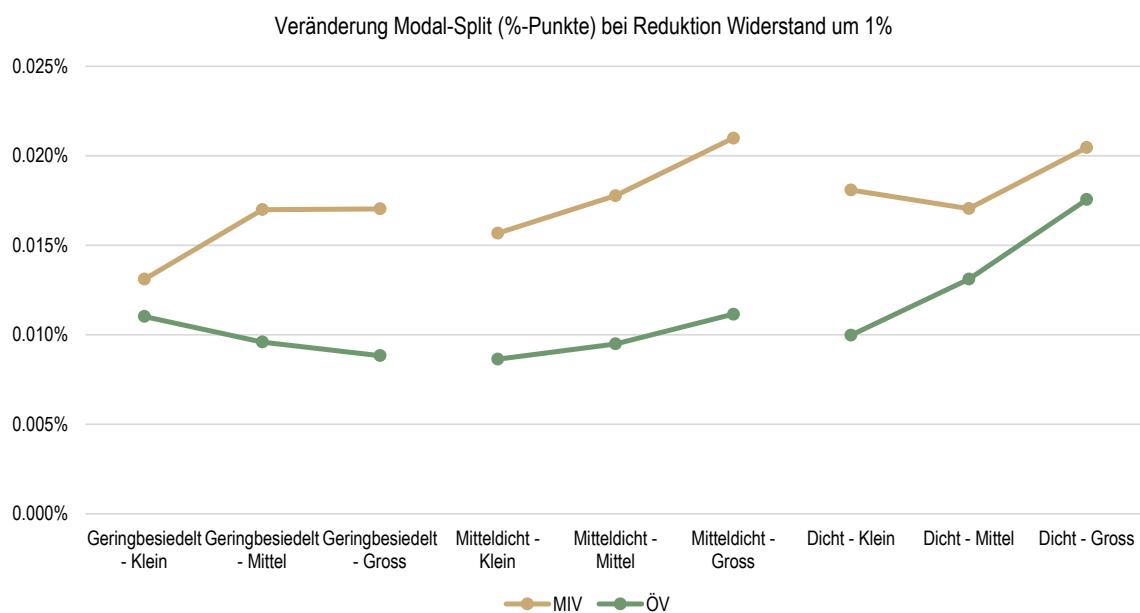


Abb. 45 Veränderung des Modal-Split-Anteils in %-Punkten bei flächiger Reduktion des Raumwiderstands um 1%, Medianwerte nach Verkehrsmittel und Raumtyp

Hier weist nun der MIV (trotz tieferer Elastizität in der Ausgangslage) eine grösere Veränderung auf als der ÖV. Dies liegt an den fast durchgehend höheren Anteilen des MIV am Modal-Split des Hauptverkehrsmittels. Das höhere Ausgangsniveau gleicht die meist tiefere %-Veränderung beim Ausweis in Form von %-Punkten teilweise wieder aus.

8.2.3 Absolute Größenordnung der verlagerten Wege

Um insbesondere die Effizienz von angebotsseitigen Massnahmen beurteilen und auch die Wirtschaftlichkeit von Angebotsverbesserungen grob einschätzen zu können, braucht es auch eine grobe Vorstellung der absoluten Größenordnungen.

Eine grobe Einschätzung zur absoluten Größe des durch eine Widerstandsreduktion von 1% verlagerten Verkehrs kann gewonnen werden, indem die Veränderung des Modal-Splits (%-Punkte) mit dem Total der Wege gemäss NPVM in den Gemeinden pro Tag (DWV) mit einem Umrechnungsfaktor DWV-DTV (0.93) sowie mit 365 Tagen multipliziert wird.

Es handelt sich dabei wie erwähnt um eine flächendeckende Reduktion des Widerstands, um die generelle Sensitivität eines Raumtyps auf Widerstandsveränderungen zu zeigen. In der Realität müssten ausgewählte Verbindungen gezielt und deutlich stärker aufgewertet werden, um denselben Effekt ermitteln zu können.

Die folgende Abbildung zeigt den Median der verlagerten Anzahl Wege aller Gemeinden eines Raumtyps. In jedem Raumtyp weichen rund 6-12% der Gemeinden deutlich nach oben ab (Ausreisser). Im Raumtyp «Dicht – Gross» gibt es einzelne Gemeinden, die nach oben um ein Vielfaches vom Median abweichen, insbesondere Agglomerationskerne der grossen und mittleren Agglomerationen wie Zürich, Genf, Bern, Basel und Winterthur. Im Raumtyp «Dicht – Mittel» weichen Lausanne, Luzern und St. Gallen deutlich nach oben ab.

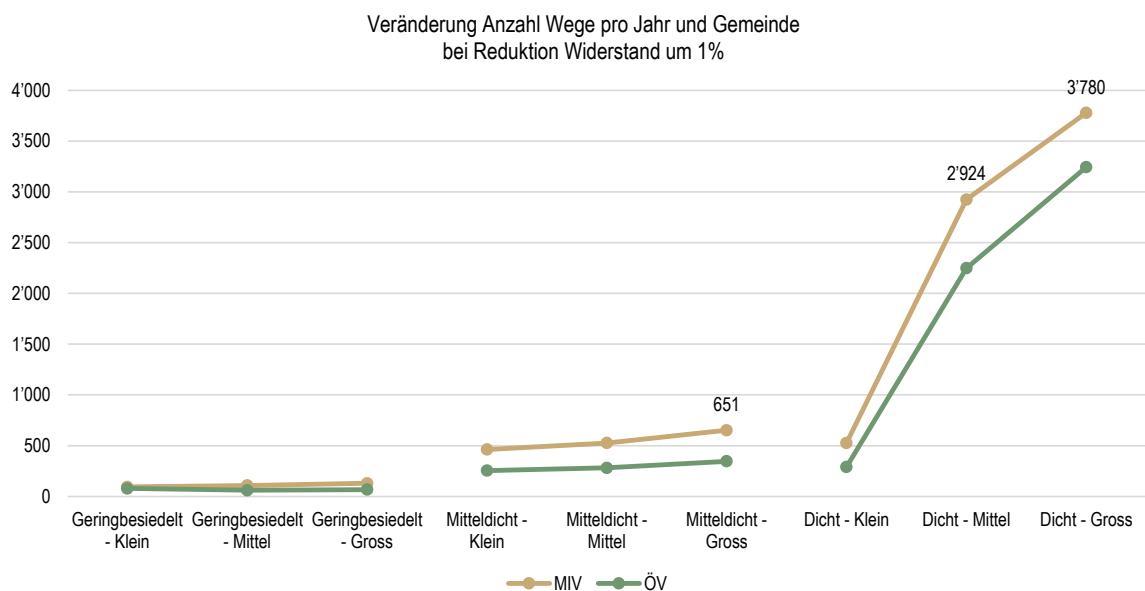


Abb. 46 Veränderung der Anzahl Wege pro Jahr bei flächiger Reduktion des Raumwiderstands um 1%, Medianwerte nach Verkehrsmittel und Raumtyp

Insgesamt können mit der flächendeckenden ÖV-Widerstandsreduktion etwa 1.3 Mio. Wege auf das Hauptverkehrsmittel öffentlicher Verkehr verlagert werden. Die detaillierte Analyse der sehr groben Abschätzung nach Gemeinden zeigt, dass beim ÖV insbesondere die grossen Städte Zürich, Genf, Bern, Basel und Winterthur sowie deren Gürtel das grösste absolute Potenzial aufweisen. Auch Lausanne, Luzern und St. Gallen weisen noch grössere Potenziale auf. Ausserhalb der grossen Agglomerationen weisen die mitteldicht besiedelten Gemeinden zwischen den Autobahnen im Mittelland und in den Voralpen noch ein gewisses Potenzial auf, das entlang der regionalen Eisenbahnlinien gebündelt werden könnte. Als Beispiele können hier z.B. die ÖV-Achsen Luzern – Bern (via Entlebuch), Thun – Montreux oder St.Gallen – Rapperswil genannt werden. Weniger gross ist das absolute Potenzial auch in mitteldicht besiedelten Tourismusorten im Berggebiet, insbesondere

wenn sie bereits sehr gut mit dem ÖV erschlossen und besucht werden sowie teilweise bereits autofrei sind.

Beim **MIV** sind die absoluten Werte in den grossen Städten kleiner, in den Gebieten ausserhalb jedoch oft grösser als beim ÖV. Höhere Werte weisen vor allem Gebiete rund um die Nationalstrassen im Mittelland auf (z.B. Luzern – Olten, Zürich – Olten und Zürich – Rapperswil). Insgesamt würden so durch die flächendeckende MIV-Widerstandsreduktion um 1% etwa 2.0 Mio. Wege auf das Hauptverkehrsmittel motorisierter Individualverkehr verlagert. In absoluten Zahlen ist eine Widerstandsreduktion im MIV damit effektiver als eine entsprechende Reduktion beim ÖV.

8.3 Einordnung und Fazit zu Verlagerungspotenzialen

Mit Blick auf die Nutzung der Erkenntnisse zur Herleitung von planerischen Ansätzen zur Nutzung der Verlagerungspotenziale fasst dieses Kapitel die wesentlichen Erkenntnisse zum Verlagerungspotenzial zusammen.

8.3.1 Erkenntnisse zum Verlagerungspotenzial

Folgende Erkenntnisse aus der Forschungsarbeit sind für die Analyse der Verlagerungspotenziale von zentraler Bedeutung:

- Die Resultate der Analyse deuten darauf hin, dass Verkehrsmittel je nach Raumtyp unterschiedlich stark auf Erreichbarkeitsveränderungen reagieren.
- Erreichbarkeitsveränderungen wirken im verwendeten Ansatz über die Elastizitäten in einem beschränkten Bereich in beide Richtungen. Hohe Elastizitäten zeigen deshalb auch ein Risiko an, dass bei einer Einschränkung der Erreichbarkeit der Modal-Split-Anteil sinkt.
- Die Erreichbarkeit der übrigen Verkehrsmittel (Konkurrenz) hat in den statistischen Modellen einen signifikanten und stark negativen Einfluss auf den Modal-Split eines Verkehrsmittels. Das bedeutet, dass der MIV-Modal-Split-Anteil meist tiefer ist, wenn die Erreichbarkeit beim ÖV besonders hoch ist und umgekehrt. Beim ÖV wirkt dieser Konkurrenzterm noch stärker als beim MIV, wobei er aufgrund der absolut hohen Erreichbarkeitswerte jeweils stark vom MIV dominiert wird.
- Die ermittelten Elastizitäten basieren auf Modal-Splits bezogen auf die Wege nach Hauptverkehrsmittel und die Erreichbarkeit basiert auf den generalisierten Kosten. Die ÖV-Erreichbarkeit hängt deshalb auch von der Zu- und Abgangszeit zu den Haltestellen ab. Eine Förderung der ÖV-Erreichbarkeit im Modell kann deshalb auch über eine Verkürzung der Zu- und Abgangszeiten zu Fuss und mit dem Velo erreicht werden.

Für die Herleitung planerischer Ansätze ist zudem die Abgrenzung zwischen Ansätzen auf der Angebotsseite und raumplanerischen Ansätzen wichtig: Raumplanerische Massnahmen im Siedlungsgebiet haben einen Einfluss auf die Anordnung von Bevölkerung und Beschäftigten im Raum, was ein wichtiger Bestandteil der Erreichbarkeit ist. Massnahmen wie die Innenentwicklung bzw. Verdichtung können insbesondere zu einer Erhöhung des Potenzials und daher der Erreichbarkeit führen. Wichtig ist, dass sich mit dem Potenzial die Erreichbarkeit für alle Verkehrsmittel erhöht. Die relative Veränderung der Verkehrsmittel hängt davon ab, wie gross die Bedeutung des lokalen Potenzials für die Erreichbarkeit ist. In Regionen mit tiefen Einwohnerzahlen und wenig Arbeitsplätzen wird die Erreichbarkeit – relativ betrachtet – weniger stark vom eigenen Potenzial getrieben und mehr von anderen Faktoren wie dem Verkehrsangebot. Verkehrsmittel und Räume, deren Erreichbarkeit stark von den lokalen Potenzialen abhängig ist, reagieren tendenziell stärker auf Massnahmen der Innenentwicklung als jene, deren Erreichbarkeit von Potenzialen ausserhalb der Gemeinde geprägt ist.

8.3.2 Übergeordnete Erkenntnisse

In den vorigen Kapiteln wurde unabhängig von verkehrspolitischen oder umweltpolitischen Zielen auf die Verlagerungspotenziale eingegangen. Nachfolgend wird davon ausgegangen, dass wo möglich und sinnvoll grundsätzlich eine Verlagerung vom motorisierten Individualverkehr (MIV) zum öffentlichen Verkehr (ÖV) angestrebt wird. Dies entspricht den aktuellen, übergeordneten verkehrspolitischen Zielen und dem generellen Rahmen der analysierten Forschungsfragen.

Vor diesem Hintergrund und mit den ermittelten Elastizitäten und verkehrsmittelspezifischen Verlagerungspotenzialen vor Augen lassen sich folgende zentrale Erkenntnisse zum Verlagerungspotenzial formulieren:

- Für eine Verlagerung auf den ÖV bestehen insbesondere in grossen und mittelgrossen Räumen Potenziale, bei Berücksichtigung der absoluten Grössenordnungen vor allem in dicht besiedelten und in Bündeln von mitteldicht besiedelten Räumen. Dabei haben insbesondere Gemeinden ein ÖV-Verlagerungspotenzial, welche innerhalb ihres Raumtyps noch eine vergleichsweise tiefe ÖV-Erreichbarkeit aufweisen.
- Eine solche Verlagerung kann im Einklang mit den im Modell getroffenen Annahmen sowohl durch die Steigerung der Erreichbarkeit des ÖV wie durch die Reduktion der Erreichbarkeit der Konkurrenz-Verkehrsmittel (dominiert vom MIV) erreicht werden. Ein Ausbau des Angebots beim MIV oder ein Verlust an Attraktivität beim ÖV führen hingegen tendenziell zu einer Verlagerung hin zum MIV.
- Eine Erreichbarkeitsverbesserung kommt je nach Raumtyp mit mehr oder weniger Aufwand zustande. Hierzu konnte in Kapitel 8.2 gezeigt werden, dass in geringbesiedelten Räumen eine Widerstandsreduktion oft eine höhere prozentuale Erreichbarkeitsveränderung bringt, als in mitteldicht und dicht besiedelten Räumen. Andererseits scheint dieser Effekt angesichts der damit verbundenen absoluten Potenziale (im Sinne von potentiellen Jahresfrequenzen) marginalisiert zu werden. Die mitteldicht und dicht besiedelten Räume stehen als Räume der aktiven Bewirtschaftung von Verlagerungspotenzialen über die Angebotsgestaltung deshalb im Vordergrund.
- Mit Berücksichtigung der Sensitivität der Erreichbarkeit lässt sich durch eine marginale Widerstandsreduktion der MIV stärker als der ÖV beeinflussen, weil die Modal-Split-Anteile meist auf einem höheren Niveau liegen.
- In der statistischen Analyse wurden Wirtschaftlichkeitskriterien bewusst ausgeklammert. In der Verkehrs- und Angebotsplanung spielen diese Kriterien aber eine wichtige Rolle. In kleinen Raumstrukturen, insbesondere in geringbesiedelten Gebieten, sprechen Aspekte der Wirtschaftlichkeit und das absolute vorhandene Potenzial gegen grössere Ausbauten im öffentlichen Verkehr. In der Regel sind massive Erreichbarkeitsverbesserungen hier auch nur durch Überwindung der topografischen Hindernisse durch eine geeignete Infrastruktur möglich, deren Kosten meist nur in Kombination mit anderen Bedürfnissen (Regionalpolitik, Tourismuspolitik, Kohäsion, internationaler Durchgangsverkehr, Bündelung mit anderen wichtigen Transportinfrastrukturen) begründet werden können.

8.3.3 Nutzung der Erkenntnisse zur Herleitung planerischer Ansätze

Aufgrund der Erkenntnisse stellt sich die Frage, wie diese Ergebnisse zur Ausgestaltung von Massnahmen beitragen können. Dazu werden nachfolgend drei Ansätze am Beispiel der Förderung des öffentlichen Verkehrs präsentiert, welche für ausgewählte Raumtypen und Gemeinden vertieft zu analysieren sind.

Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass die Modellergebnisse Tendenzen pro Raumtyp auf aggregierter Ebene zeigen, nicht jedoch spezifische, für Gemeinden direkt ermittelte Potenziale. Um das Verlagerungspotenzial für einen Ort oder eine Gemeinde festzulegen, sind spezifische Analysen unter Berücksichtigung der aktuellen Erreichbarkeits- und Modal-Split-Niveaus der einzelnen Gemeinden notwendig. Die Analysen wurden zudem allgemein für die Raumtypen, und nicht für spezifische Massnahmen durchgeführt. Wirtschaftliche Aspekte wie die Kostenunterschiede verschiedener Ansätze wurden ebenfalls nur global berücksichtigt.

a) Ansatz I: Erhöhung der Erreichbarkeit im öffentlichen Verkehr durch angebotsseitige Massnahmen

Die Modellresultate deuten darauf hin, dass mit einer Erhöhung der ÖV-Erreichbarkeit auch der Modal-Split-Anteil des ÖV erhöht werden kann. Es ist deshalb bei angebotsseitigen ÖV-Massnahmen, welche die Erreichbarkeit erhöhen (gemäss den im Modell berücksichtigten Komponenten der generalisierten Kosten), eine Verlagerungswirkung hin zum ÖV zu erwarten. Solche Massnahmen umfassen zum Beispiel:

- Verdichtung des Fahrplans (Erhöhung der Taktfrequenz, Reduktion der Umsteige- und Wartezeiten)
- Beschleunigung (Reduktion der Fahrzeiten)
- Direktverbindungen (Reduktion der Umsteigevorgänge, Umsteige- und Wartezeiten)
- Abstimmung der Ankunfts- und Abfahrzeiten von Anschlüssen (Reduktion der Umsteige- und Wartezeiten)
- Optimierung der Zugänglichkeit und Standorte der Haltestellen (Reduktion der Zu- und Abgangszeiten zu ÖV-Haltestellen mit Fuss- und Veloverkehr oder MIV)

Grundsätzlich haben ÖV-Erreichbarkeitsverbesserungen laut den Modellergebnissen unabhängig vom Raumtyp einen Effekt. Die Elastizitäten nehmen jedoch mit Grösse der Raumstruktur und Siedlungsdichte zu. Auch nach Berücksichtigung der durch marginale Reduktionen des Raumwiderstands je nach Raumtyp erreichten Erreichbarkeitsverbesserung und den absoluten Wegzahlen, bleiben die Verlagerungspotenziale im ÖV in den mitteldicht und dicht besiedelten Raumtypen laut den Analysen am grössten.

Bei der Einschätzung der tatsächlichen Potenziale für diese Raumtypen sind auch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, die Sensitivität der Erreichbarkeit auf marginale Widerstandsveränderungen und die planerische Machbarkeit einer ÖV-Verbesserung zu berücksichtigen. So kann der ÖV in dicht besiedelten Gebieten mit bereits gutem ÖV-Angebot teilweise bereits an planerische und ökonomische Grenzen stossen. Ein für eine signifikante Erreichbarkeitsverbesserung nötiger ÖV-Ausbau wäre schwierig oder nur sehr aufwändig realisierbar. In dicht besiedelten Gebieten mit bereits hoher ÖV-Erreichbarkeit dürfte der nachfolgende zweite Ansatz deshalb von grösserer Relevanz sein. Die grössten Potenziale dürften in jenen Gemeinden dieser Raumtypen vorhanden sein, die im Vergleich mit den «Klassenbesten» Gemeinden eine eher tiefe ÖV-Erreichbarkeit und tiefe ÖV-Anteile aufweisen.

Insbesondere über die Zu- und Abgangszeiten zu den ÖV-Haltestellen besteht eine Verbindung zum Fuss- und Veloverkehr. Die Modellresultate zum Fuss- und Veloverkehr sind zwar zu wenig belastbar, als dass daraus robuste Verlagerungseffekte abzuleiten sind. Dennoch spielen beide Verkehrsmittel insbesondere als Zubringer zum ÖV eine entscheidende Rolle und die Fuss- und Velo-Erreichbarkeit interagiert über die obige Komponente

der generalisierten Kosten mit der ÖV-Erreichbarkeit. Bei der Herleitung planerischer Ansätze zur Erhöhung der ÖV-Erreichbarkeit sind deshalb auch der Fuss- und Veloverkehr jeweils mitzuberücksichtigen.

b) Ansatz II: Relative Erhöhung der Erreichbarkeit des öffentlichen Verkehrs

Die Elastizitäten sind per Definition in einem abgesteckten Bereich in beide Richtungen anwendbar. Zudem zeigen die statistischen Modelle, dass die Erreichbarkeit des ÖV (Konkurrenz) einen negativen Einfluss auf den Modal-Split des MIV hat. Daraus lässt sich folgern, dass eine relative Erhöhung der Erreichbarkeit im ÖV im Vergleich zum MIV eine Verlagerung weg vom MIV hin zum ÖV zur Folge hat.

Eine relative Erhöhung der ÖV-Erreichbarkeit kann auch zustande kommen, wenn die MIV-Erreichbarkeit einseitig abnimmt. Sinkt die MIV-Erreichbarkeit bei gleichbleibender ÖV-Erreichbarkeit aktiviert dies Verlagerungspotenziale vom MIV zum ÖV. Eine Reduktion der MIV-Erreichbarkeit ergibt sich zum Beispiel, wenn das Verkehrsaufkommen wegen Kapazitätsengpässen zu Staus und längeren Fahrzeiten führt. Die relative ÖV-Erreichbarkeit und dessen Attraktivität nehmen folglich zu, was zu Verlagerungen hin zum ÖV führen kann. Es können aber auch spezifische Massnahmen die MIV-Erreichbarkeit einschränken, wie etwa Temporeduktionen, Bevorzugung anderer Verkehrsmittel an Kreuzungen und Querungen oder über die Bepreisung und Dimensionierung des Parkplatzangebots.

Der umgekehrte Effekt ist ebenso denkbar. Sinkt die ÖV-Erreichbarkeit bei gleichbleibender MIV-Erreichbarkeit oder steigt die MIV-Erreichbarkeit bei gleichbleibender ÖV-Erreichbarkeit, aktiviert dies Verlagerungspotenziale vom ÖV zum MIV. Auslöser einer ÖV-Erreichbarkeitsreduktion können zum Beispiel ein Anstieg der ÖV-Reisezeit (stark belastete Strasse im Mischverkehr, Engpässe im Schienennetz), eine Ausdünnung des Taktfahrplans oder zusätzliche Umsteigevorgänge sein. Auslöser einer MIV-Erreichbarkeitssteigerung kann z.B. auch die optimierte Nutzung bestehender Infrastruktur aufgrund technologischer Entwicklungen wie autonomen Fahrzeugen sein.

Laut den Modellergebnissen sind solche Effekte unabhängig von der Siedlungsstruktur (Dichte) zu erwarten. Die Effekte dürften in mittleren und grossen Raumstrukturen stärker ausgeprägt sein, weil dort sowohl die ÖV- als auch die MIV-Elastizität auf einem hohen Niveau liegen. In diesen Raumtypen haben relative Veränderungen folglich die grössten Auswirkungen.

c) Ansatz III: Erhaltung des Verhältnisses zwischen ÖV- und MIV-Erreichbarkeit

Zur Ergänzung der beiden oberen Ansätzen ist noch ein dritter (schwächerer) Ansatz denkbar. Dabei steht die Erhaltung der aktuellen Verhältnisse zwischen ÖV- und MIV-Erreichbarkeit im Vordergrund. Dieses steht in kleinen und mittleren Räumen aufgrund der eher tiefen ÖV- und MIV-Elastizität im Vordergrund. Besonders im Fokus stehen dabei Gemeinden mit teilweise klarer Fokussierung des Modal-Splits auf ein Hauptverkehrsmittel. Ein hoher MIV-Anteil in Kombination mit einer tiefen ÖV-Erreichbarkeit oder ein relativ hoher ÖV-Anteil in solchen Räumen mit tiefer ÖV-Elastizität können auf Abhängigkeiten von einem Verkehrsmittel hindeuten, sei dies als Grunderschliessung der Bevölkerung oder für eine intensivere touristische Nutzung.

Bei diesem Ansatz spielen wirtschaftliche Aspekte in der Verkehrsplanung eine besondere Rolle. Muss zur Erhöhung der Reisegeschwindigkeit im MIV oder ÖV eine schwierige Topografie überwunden werden, äussert sich dies meist sowohl im Bau als auch im Betrieb des Angebots. Sind aus der lokalen Bevölkerung und Beschäftigung nur kleine absolute Nachfragepotenziale vorhanden, steigt der wirtschaftliche Druck auf das bestehende Angebot und zusätzliche Investitionen in neue Angebote werden unwahrscheinlicher. Aufgrund der bestehenden Abhängigkeiten ist jedoch gemäss diesem Ansatz eine Erhaltung der bestehenden Angebotsverhältnisse trotz schwieriger wirtschaftlicher Verhältnisse anzustreben.

9 Würdigung

9.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Welche Raumtypologie eignet sich, um die für die Schweiz relevanten räumlichen Voraussetzungen mit Einfluss auf das Verkehrsangebot und die Verkehrsnachfrage zu beschreiben?

Der Raum spielt in der Verkehrsplanung vielfältige Rollen. In der aktuellen Planungsphilosophie der Abstimmung von Siedlung und Verkehr und in der Literatur sind räumliche Gegebenheiten als Grundlage der Verkehrsnachfrage (Distanz- und Raumüberwindung, Anzahl und Anordnung der Potenziale), als Bestimmungsfaktor der Siedlungsausdehnung (Distanzen, Dispersion), als Gestaltungs- und Kostenfaktor bei der Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur sowie als Zeit- und Kostenfaktor beim Betrieb relevant.

Im verwendeten Forschungsansatz wurde eine Raumtypologie verwendet, welche diese verschiedenen Rollen abbildet und dabei gleichzeitig vom aktuellen Verkehrsangebot, von der Erreichbarkeit und von der Verkehrsmittelnutzung möglichst unabhängig ist. Als typenbildende Indikatoren wurden dabei die Siedlungsstruktur (operationalisiert über den DE-GURBA-Raumtyp) sowie die Raumstruktur (Grösse der vom Fussverkehr innert 240 Minuten erreichbaren Fläche) verwendet, mit je drei Ausprägungen: klein, mittel und gross bei der Raumstruktur und gering-, mitteldicht und dichtbesiedelt bei der Siedlungsstruktur. Die Raumstruktur bildet dabei die topografischen Verhältnisse und räumliche Hindernisse ab. Je schwieriger die topografischen Verhältnisse und je zahlreicher und grösser die natürlichen und gebauten Hindernisse, desto weniger weit kommt man zu Fuss und desto kleiner ist die Raumstruktur. Die Siedlungsstruktur berücksichtigt nicht nur die Dichte, sondern auch die Grösse zusammenhängender Siedlungseinheiten.

Die statistischen Modelle zeigen, dass sich der Zusammenhang zwischen Erreichbarkeit und Modal-Split der politischen Gemeinden je nach Raumtyp unterscheidet, insbesondere wenn der Einfluss anderer räumlicher Charakteristiken eliminiert wird. Die Stärke des Einflusses der Erreichbarkeit auf den Modal-Split variiert je nach Verkehrsmittel und Raumtyp.

Neben der Erreichbarkeit spielen auch andere aggregierte räumliche Charakteristiken eine Rolle, wie beispielsweise die Dispersion (Distanz zwischen Siedlungseinheiten), die relative Dichte (Verhältnis Einwohner und Beschäftigte), das mittlere Einkommen sowie der Besitz von Mobilitätswerkzeugen (PW- und ÖV-Abo-Besitz). Besonders ausgeprägt ist im MIV-Modell die Rolle der Dispersion. Grössere Distanzen zwischen Siedlungseinheiten führen ceteris paribus bei gleicher Erreichbarkeit dazu, dass der Modal-Split-Anteil des MIV höher (+) ist als bei kleinen Distanzen. Umgekehrt hat die relative Dichte (Anzahl Einwohner pro Beschäftigten) einen dämpfenden Einfluss (-). Auch der PW-Besitz (Personenwagen pro Haushalt) sowie das mittlere Einkommen erhöhen gemäss Modell den MIV-Modal-Split (+).

Im ÖV spielen solche räumlichen Charakteristiken im Vergleich zur Erreichbarkeit eine weniger bedeutende Rolle, auch wenn hier ebenfalls die Dispersion (+) und die Zahl der ÖV-Abos pro Einwohner (+) einen Einfluss haben.

Welchen Einfluss hat das Verkehrsangebot auf die Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in unterschiedlichen Raumtypen?

Die statistischen Analysen zeigen, dass das verkehrsmittelspezifische Verkehrsangebot – abgebildet über die Erreichbarkeit – einen signifikanten Einfluss auf den Modal-Split-Anteil eines Verkehrsmittels hat, selbst wenn der Einfluss anderer räumlicher Charakteristiken (siehe oben) und der Konkurrenz-Erreichbarkeit eliminiert wird.

Die Erreichbarkeit wirkt bei allen Verkehrsmitteln und Raumtypen positiv auf den Modal-Split-Anteil. Im Veloverkehr ist der Einfluss der Erreichbarkeit dabei generell tief (kleine

Parameterwerte) und teilweise nicht signifikant (gering besiedelte Räume), wobei wichtige Daten zum Einbezug qualitativer Faktoren der Veloinfrastruktur fehlen.

Bei den übrigen Verkehrsmitteln variiert die Stärke des Einflusses der Erreichbarkeit je nach Verkehrsmittel und Raumtyp-Indikator:

- **Siedlungsstruktur:** Der Einfluss der Erreichbarkeit im MIV ist in gering besiedelten Räumen grösser als in dichtbesiedelten Räumen. Beim ÖV ist der Einfluss in dichtbesiedelten Räumen am grössten bzw. die Reihung umgekehrt. Im Fussverkehr zeigt das Modell ähnlich zum MIV in geringbesiedelten Räumen den stärksten Erreichbarkeiteffekt.
- **Raumstruktur:** Die Raumstruktur interagiert beim MIV und ÖV mit positivem Vorzeichen (+) mit der Siedlungsstruktur, in grösseren Räumen hat die Erreichbarkeit damit bei diesen Verkehrsmitteln einen grösseren Einfluss auf den Modal-Split. Im Fussverkehr (und im Veloverkehr) ist die Interaktion umgekehrt (-).

Auch wenn es mit dem verwendeten Ansatz nicht möglich war, Kreuz-Elastizitäten zu ermitteln, zeigt der Einbezug der Konkurrenz-Erreichbarkeit in die statistischen Modelle, dass diese einen signifikant negativen (-) Einfluss auf den Modal-Split der jeweils anderen Verkehrsmittel hat, wobei die Konkurrenzvariable beim ÖV von der MIV-Erreichbarkeit dominiert wird (und umgekehrt beim MIV von der ÖV-Erreichbarkeit).

Wie gross sind die Raumtyp-spezifischen Nachfragepotenziale nach Verkehrsmittel? Welche räumlichen Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit sich ein Ausbau des Angebots eines bestimmten Verkehrsmittels in einer entsprechend verlagerten bzw. induzierten Nachfrage niederschlägt?

Die Raumtyp-spezifischen Nachfragepotenziale wurden in Form von Erreichbarkeits-Modal-Split-Elastizitäten für vier Verkehrsmittel auf Basis der statistischen Modelle und dem aktuellen Niveau von Erreichbarkeit und Modal-Split-Anteil abgeschätzt.

Die ermittelten Elastizitäten für den Fuss- und Veloverkehr wurden aufgrund fehlender Datengrundlagen zur Qualität sowie ungenügender Abdeckung im NPVM nicht weiter untersucht. Von den durchgängig untersuchten Verkehrsmitteln ÖV und MIV weist der ÖV die höchsten Elastizitätswerte auf, wobei diese in grossen Räumen am höchsten und in kleinen, räumlich stark eingeschränkten Räumen am kleinsten sind. Im MIV sind die Elastizitäten nach Siedlungsstruktur ähnlich gereiht, aber auf einem deutlich tieferen Niveau in mittelgrossen und grossen Räumen.

Gemessen in Modal-Split-Anteilen (%-Punkte) reagieren die grossen Räume im MIV am stärksten auf marginale Raumwiderstands- bzw. Erreichbarkeitsveränderungen, vor allem in mitteldicht und dicht besiedelten Räumen. Auch der ÖV-Anteil reagiert in grossen, dicht besiedelten Räumen am stärksten auf marginale Widerstandsveränderungen im Angebot. In geringbesiedelten grossen Räumen zeigt der ÖV-Anteil jedoch die kleinste Reaktion.

Bei der Interpretation muss darauf geachtet werden, dass a) die Elastizitäten per Definition auf beide Seiten gelten, b) Angebotsausbauten im dichten Siedlungsraum mit bereits sehr dichten Strassen- und ÖV-Netzen sowie in topografisch schwierigem Gelände (kleine Raumstruktur) tendenziell aufwändiger sind und c) vor allem im MIV und ÖV die jeweilige Konkurrenz-Erreichbarkeit einen grossen Einfluss hat. In Gemeinden oder Räumen mit bereits sehr gutem Angebot eines Verkehrsmittels steht daher tendenziell eher die Analyse einer Stagnation dessen Erreichbarkeit in Kombination mit der Erhöhung der Erreichbarkeit im anderen Verkehrsmittel im Vordergrund (relative Erreichbarkeitsveränderung). In Gemeinden mit einer kleinen bis mittleren Angebotsqualität des betrachteten Verkehrsmittels steht hingegen die Analyse einer Erreichbarkeitssteigerung im Vordergrund.

Nicht zuletzt zeigen die Abschätzungen zum absoluten Nachfragepotenzial, dass sowohl MIV als auch ÖV in mitteldicht und dicht besiedelten Räumen die grössten Verlagerungspotenziale, und damit einhergehend, für ein jeweils gefördertes Verkehrsmittel auch die

grössten Risiken eines Nachfragerückgangs bei einer (relativen) Erreichbarkeitsreduktion aufweisen. Die Raumstruktur beeinflusst damit grundsätzlich die Beeinflussbarkeit der Modal-Splits, der Effekt wird aber von den in mitteldicht und dicht besiedelten Räumen anzu treffenden absoluten Nachfragepotenziale dominiert. Im MIV wirkt eine marginale Erreichbarkeitsveränderung aufgrund des generell höheren Modal-Split-Niveaus stärker als im ÖV.

Differenzierte Aussagen dazu, ob es sich beim Verlagerungspotenzial um verlagerten oder induzierten Verkehr handelt, sind mit dem verwendeten Ansatz nicht möglich. Die Verlagerungspotenziale wurden auf Basis von aktuellen Beobachtungsdaten ermittelt, wobei Unterschiede zwischen den betrachteten Gemeinden genutzt wurden, um die signifikanten Einflussfaktoren zur Erklärung des Modal-Split-Anteils sowie die Elastizitäten abzuleiten. Der Fokus lag dabei auf der Erklärung von Unterschieden in den relativen Anteilen der Verkehrsmittelnachfrage im Sinne des Marktanteils eines Verkehrsmittels. Aus den statischen Unterschieden in den relativen Anteilen lassen sich dabei keine Aussagen machen, ob sich diese Unterschiede durch einen verlagerten oder induzierten Verkehr ergeben haben.

Welche Räume resp. Raumtypen eignen sich besonders für weitere Investitionen in den öffentlichen Verkehr sowie den Fuss- und Veloverkehr? Auf welche Raumtypen soll sich die Angebotsentwicklung der einzelnen Verkehrsmittel konzentrieren? Und bei welchen Raumtypen sind keine Verlagerungspotenziale mehr vorhanden? Welche wirtschaftlichen Aspekte sind in Zusammenhang mit dieser Gestaltung des Verkehrsangebots zu berücksichtigen?

Ausgehend von der Annahme, dass eine Verlagerung vom MIV hin zum ÖV und zum Fuss- und Veloverkehr angestrebt werden soll, zeigen die Analysen, dass Investitionen in den öffentlichen Verkehr zur Reduktion der Raumwiderstände und zur Erhöhung der Erreichbarkeit vor allem im **mitteldicht besiedelten grossen Raumtyp sowie im dicht besiedelten mittleren Raumtyp** vielversprechend sind. Diese befinden sich insbesondere im Mittelland, vorwiegend zwischen Zürich und Bern, entlang oder etwas abseits der Nationalstrassen und Eisenbahnkorridore. In diesen Raumtypen wirken sich marginale ÖV-Widerstandsreduktionen gemäss Elastizitätenansatz gut auf den Modal-Split im ÖV aus, das ÖV-Angebot ist im Mittel noch nicht so gut ausgebaut und es lässt sich aufgrund des offenen Raums eine Bündelung der Nachfrage entlang von Korridoren erreichen, was sich positiv auf das Nachfragepotenzial in absoluter Grössenordnung sowie auf die Wirtschaftlichkeit auswirken kann.

Im **dicht besiedelten grossen Raumtyp** (grosse Städte und ihr direktes Umland) ist eine ÖV-Widerstandsreduktion angesichts der bereits sehr guten Angebote und der hohen baulichen Dichte aufwändig. Dies zeigt auch die Analyse der Wirksamkeit von marginalen ÖV-Widerstandsreduktionen auf die Erreichbarkeit. Hier ist wie oben erwähnt deshalb eher die Analyse einer (relativen) Verschlechterung der Erreichbarkeit im ÖV angezeigt. Eine solche Entwicklung dürfte gemäss dem verwendeten Modell zu einer Reduktion des ÖV-Anteils, und über das grosse absolute Nachfragepotenzial im dichten Raum zu einem absoluten ÖV-Nachfragerückgang führen. In diesem Raumtyp sind deshalb Investitionen in die Erhaltung der ÖV-Erreichbarkeit – auch mit Beachtung der für den ÖV attraktiven Relationen und im relativen Vergleich zum MIV – wichtig.

Im **geringbesiedelten kleinen Raumtyp** (Seitentäler im Berggebiet, Jura) zeigen sich Unterschiede im ÖV-Modal-Split abgestuft nach Erreichbarkeit, auch wenn diese Unterschiede im Mittel eher klein sind und in tiefen ÖV-Elastizitäten resultieren. Andererseits reagiert dieser Raumtyp gut auf marginale Widerstandsveränderungen im ÖV. Ein Teil dieses Raumtyps weist zudem hohe Anteile des ÖV am Modal-Split auf, insbesondere touristisch geprägte Gemeinden. Für weitere grosse ÖV-Erreichbarkeitsverbesserungen ist oft die aufwändige Überwindung von schwieriger Topografie notwendig, und das absolute Nachfragepotenzial aus der lokalen Bevölkerung und Beschäftigung ist klein. Für diesen Raumtyp scheint deshalb eine Erhaltung der aktuellen Angebotsverhältnisse zielführender als eine unimodale Beschleunigung. Die tiefe Korrelation zwischen ÖV-Güteklassenindex

und ÖV-Anteil in diesem Raumtyp könnte jedoch auch darauf hindeuten, dass die kleinräumige Erschliessung im ÖV weniger entscheidend ist als die Verfügbarkeit schneller Direktverbindungen. Bei Gemeinden mit hohem MIV-Anteil in Kombination mit relativ tiefer ÖV-Erreichbarkeit kann dies auch als Abhängigkeit vom MIV interpretiert werden. Investitionen im Hinblick auf eine Erhaltung der bestehenden Erreichbarkeitsverhältnisse mit dem ÖV und MIV sind aus diesen Gründen gegenüber dem Ziel einer Beschleunigung im Vordergrund.

Die **übrigen Raumtypen** zeigen zu wenig klare eigenständige Tendenzen und liegen zwischen den oben erwähnten Raumtypen. **Geringbesiedelte mittelgrosse bis grosse Räume** reagieren beim Modal-Split ähnlich auf marginale Widerstands- und Erreichbarkeitsveränderungen wie **mitteldichtbesiedelte kleine bis mittelgrosse Räume** und **dichtbesiedelte kleine Räume**. Diese Raumtypen weisen mittlere Elastizitäten auf und reagieren im Mittel nur schwach auf marginale Widerstandsreduktionen im ÖV, jedoch etwas stärker auf marginale Veränderungen im MIV.

Investitionen in die Erreichbarkeit mit dem Fuss- und Veloverkehr erscheinen **in allen Raumtypen** sinnvoll, sofern dies Topografie, Bebauung und klimatische Bedingungen im Einzelfall zulassen, insbesondere weil das Velo (bzw. auch das E-Bike) auf kurzen Strecken und für bestimmte Wegzwecke auch den MIV konkurrenzieren kann. Zudem ist die ÖV-Erreichbarkeit in multimodalen Wegekenntnen auch an das Angebot im Fuss- und Veloverkehr gekoppelt. Dies ist auch im Modell abgebildet, weil Zu- und Abgangszeit im ÖV ein Teil der generalisierten Kosten sind. Ein Mittel zur Erhaltung bzw. marginalen Verbesserung der (relativen) ÖV-Erreichbarkeit in allen Raumtypen ist daher die Verbesserung des Zugangs zu den bestehenden ÖV-Haltestellen sowie die Abstimmung neuer Haltestellen mit der räumlichen Verteilung der lokalen Nachfragepotenziale. Für fundiertere Aussagen spezifisch zum Fuss- und Veloverkehr sind die verwendeten Daten und Modelle zu wenig robust.

9.2 Offene Fragen und weiterer Forschungsbedarf

Die Forschungsresultate sind ein erster Schritt bei der Ermittlung von Verlagerungspotenzialen nach Raumtyp. Insbesondere stellen die vorgeschlagene Raumtypologie und die aufbereiteten Gemeindedaten eine Basis dar, auf der weitere Analysen und Vertiefungen durchgeführt werden können.

Mit der verwendeten Methodik konnten pro Raumtyp aggregierte Erreichbarkeits-Modal-Split-Elastizitäten ermittelt werden. Diese zeigen Tendenzen auf, die in einem gegebenen Raumtyp aufgrund der Unterschiede zwischen den Gemeinden auf Verlagerungspotenziale hindeuten. Weiterführende Analysen wären nötig, um aus diesen Tendenzen differenzierte Effektgrössen herleiten zu können. Es stellt sich insbesondere die Frage, in welchen Gemeinden eines Raums effektiv Verlagerungspotenziale bestehen und mit welchen konkreten Massnahmen diese ausgeschöpft werden können. Dabei ist von besonderem Interesse, wie sich das Verlagerungspotenzial im Einzelfall vom Durchschnitt des Raums unterscheidet.

Hierzu dürften praxisnahe Fallstudien das probatere Mittel zu sein, kommt hier doch der quantitative aggregierte Ansatz an seine Grenzen, insbesondere was die adäquate Abbildung des Fuss- und Veloverkehrs betrifft. Bei solchen Fallstudien sind neben den räumlichen Charakteristiken auch zwingend die Kosten der Massnahmen einzubeziehen. Bei Fallstudien auf regionaler Ebene sollte es dabei auch möglich sein, kalibrierte regionale Verkehrsmodelle zur Bestimmung der Erreichbarkeit und der Modal-Splits einzusetzen, alternative Kenngrössen zur Abbildung der Erreichbarkeit und des Modal-Splits zu verwenden sowie verschiedene Verkehrszwecke zu unterscheiden, oder sogar eigene Erhebungen zur Qualität und Sicherheit des Angebots im Fuss- und Veloverkehr durchzuführen.

Sollten weiterhin quantitative Analysen im Vordergrund stehen, könnte ein spannender Ansatz darin bestehen, die hier auf aggregierter Ebene hergeleiteten Ergebnissen mit einem Entscheidungsmodell auf Individualebene zu vergleichen. Die Erreichbarkeit, die räumlichen Charakteristiken und der Raumtyp könnten dabei als Variablen in die Modelle einfließen.

Anhang: Verwendete Datengrundlagen

Die folgenden Tabellen zeigen die für die Analyse der räumlichen Charakteristiken verwendeten Datengrundlagen.

Tab. 1 Verwendete räumliche Datensätze

Datensatz	Datenherr / Quelle	Datenstand
SwissBoundaries3D	swisstopo	1.5.2017
Bauzonen Schweiz harmonisiert	ARE	2017
SwissTLM3D: TLM_SIEDLUNGSNAME, TLM_GEBAEUDE_FOOTPRINT, TLM_STRASSE, TLM_EISENBAHN, TLM_HALTESTELLE	swisstopo	2017
DHM25 (25m Raster)	swisstopo	Stand 2022
STATENT (Hektarraster)	BFS GEOSTAT	2017
STATPOP (Hektarraster)	BFS GEOSTAT	2017
Strukturdaten NPVM 2017	ARE	2017
Klimanormwerte 1981-2020 (2km Raster) (Mittlere Sonnenscheindauer, Niederschlagsmenge und Jahrestemperatur)	MeteoSchweiz	2021
Seen, Flüsse, Gletscher, Sumpfgebiete, Strassenetz (inkl. grenznahes Ausland)	OpenStreetMap	2022
Arealstatistik (Gletscher / Firn, vegetationslose Flächen)	Swisstopo	2021
Population grid (1km ²)	GEOSTAT GISCO	2018
Experimentelle Daten zum Zersiedelungsindex (Verkehrszonen)	ARE	2015/17 (und 2021/22)
ÖV-Güteklassen	ARE	2016/17
Strassenverkehrsunfälle mit Personenschäden 2011-2021	ASTRA / BFS	2022
BFS ThemaKart (Vegetationsflächen)	BFS GEOSTAT	2017
Dienstleistungen für die Bevölkerung – Erreichbarkeit	BFS GEOSTAT	2018

Tab. 2 Verwendete aggregierte Daten auf Gemeindeebene

Datensatz	Datenherr / Quelle	Datenstand
Altersstruktur der Bevölkerung (pro Gemeinde)	BFS	2017
Strukturdaten NPVM 2017 pro Verkehrszone (Einwohner, Beschäftigte)	ARE	2017
Steuerbelastung verschiedener Haushaltstypen pro Gemeinde	EFV	2017
Anzahl Erwerbstätige nach Wohn- und Arbeitsort 2018	BFS	2018
Reines Einkommen und Anzahl Steuerpflichtige (direkte Bundessteuer) pro Gemeinde	EFV	2017
Mikrozensus Mobilität und Verkehr MZMV 2015	BFS	2015
Raumgliederungen (Gemeinden)	BFS	2017
Pendlermatrix 2018 (Anzahl Zu- und Wegpendler pro Gemeinde)	BFS	2018
Generalabo / Halbtax (nach Postleitzahl)	SBB	2017
Bestand der Strassenfahrzeuge (pro Gemeinde)	BFS	2017
Gemeindeportraits 2017-2019 (Sozialhilfequote, Wohnungsleerstand, Wähleranteile, Ausländeranteil, Bevölkerungswachstum, neu gebaute Wohnungen)	BFS	2015-2018
Hotelleriestatistik HESTA	BFS	2013 (Datenschutz)

Glossar

Begriff	Bedeutung
Ausgang	Als Ausgang wird eine Abfolge von Wegen bezeichnet, die zu Hause beginnt und wieder zu Hause endet. [41]
Dichte	Masszahl zur Beschreibung der Anzahl von Potenzialen pro Flächenbezug. Die Zahl der Potenziale sowie der Flächenbezug können sehr unterschiedlich definiert und abgegrenzt werden. Klassische Potenziale in der Raumplanung sind die Bevölkerung, Beschäftigte, Gebäude usw. Häufig verwendete Flächenbezüge sind Gemeindegrenzen, Siedlungsgebiete oder Gebäudeflächen.
Dispersion	Beschreibt die mittlere zu überbrückende Distanz zwischen allen Aktivitätenmöglichkeiten oder Siedlungseinheiten innerhalb eines betrachteten Raums. Je weiter die Möglichkeiten auseinanderliegen, desto grösser die Dispersion.
Diversität	Beschreibt die Vielfalt der Aktivitätenmöglichkeiten innerhalb eines betrachteten Raums.
Elastizität	Mass zur Beschreibung der relativen Änderung einer abhängigen Variable bei relativer Änderung einer unabhängigen Variable.
Erreichbarkeit	Die Erreichbarkeit beschreibt oder misst die durch das Verkehrsangebot ermöglichten Beziehungssysteme. Oft wird dazu das über das Verkehrsangebot erreichbare Potenzial mit dem Widerstand («Distanz») zur Überbrückung des zwischen Ausgangspunkt und Potenzial liegenden Raums gewichtet.
Etappe	Die Etappe stellt oft die kleinste Einheit der beobachteten Mobilität dar. Sie hat eine Mindestlänge von 25 Metern und wird mit einem einzigen Verkehrsmittel zurückgelegt. [41]
Hauptverkehrsmittel	Als Hauptverkehrsmittel wird das primäre Verkehrsmittel bezeichnet. Werden mehrere Verkehrsmittel auf einem Weg verwendet (mehrere Etappen), so wird der öffentliche Verkehr den privaten vorgezogen und die schnelleren werden gegenüber den langsameren Verkehrsmitteln (insb. Fuss- und Veloverkehr) priorisiert.
Isochrone	Raum, der von einem definierten Ausgangspunkt innerhalb einer definierten maximalen Zeit erreicht werden kann. Im vorliegenden Bericht wird darunter generell die 240-Minuten-Fusswegisochrone verstanden, welche zur Bestimmung der Raumstruktur verwendet wird.
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Modal-Split-Anteil	Marktanteil eines Verkehrsmodus oder Verkehrsmittels am gesamten Verkehrsaufkommen. Das Gesamtaufkommen kann dabei über verschiedene Kennzahlen (z.B. Verkehrsleistung, Anzahl Ausgänge, Anzahl Wege, Anzahl Etappen, Unterwegszeit, Tagesdistanz usw.) ermittelt werden. Bei Verwendung der Anzahl Wege oder Ausgänge, bei denen mehrere Verkehrsmittel verwendet werden können, muss eine Priorisierung bzw. Gewichtung der verwendeten Verkehrsmittel vorgenommen werden (z.B. Hauptverkehrsmittel bzw. Verkehrsmittel mit der grössten zurückgelegten Distanz oder Unterwegszeit im Vergleich zum gesamten Weg/Ausgang).
ÖV	Verkehrsmittel des öffentlichen Verkehrs wie Bus, Trolleybus, Tram, Eisenbahn, Seilbahn, U-Bahn etc.
PW	Personenwagen (als repräsentatives Verkehrsmittel des motorisierten Individualverkehrs, neben Motorrad, Mofa usw.)
Relative Dichte	Anzahl Einwohner pro Beschäftigte innerhalb eines definierten Raumbezugs.
Residentielle Selbstselektion	Beschreibt das Phänomen, dass Personen und Verkehrsteilnehmende bei der Wohnortwahl das Niveau des Angebots des persönlich präferierten Verkehrsmittels berücksichtigen. Je besser ein Standort mit dem präferierten Verkehrsmittel erschlossen ist, desto eher fällt die Wohnortwahl auf diesen Standort.
Weg	Ein Weg kann aus einer oder mehreren Etappen bestehen und somit unter Verwendung eines oder mehrerer Verkehrsmittel bewältigt werden. Ein Weg wird durch den Zweck definiert, welcher sich wiederum nach der Art der Aktivität am Zielort richtet (z. B. Einkaufen). Wenn der Zielort erreicht ist, endet der Weg. Ein neuer Weg beginnt, wenn der Zweck wechselt, wenn der Rückweg nach Hause angetreten wird oder nach einem längeren Zwischenhalt. [41]
Zersiedelung	Konzept zur Beschreibung des «Ausmasses der Bebauung der Landschaft mit Gebäuden und ihrer Streuung, im Verhältnis zur Ausnutzung der überbauten Flächen für Wohn- oder Arbeitszwecke» [14].

Vegetationsfläche	Bei der Vegetationsfläche werden unbewohnte, vegetationslose Flächen (Seen, Gletscher, Fels) an der Gesamtfläche einer Gemeinde abgezogen.
Siedlungsgebiet	In diesem Bericht verwendet als Vereinigungsmenge von Bauzonen und Flächen von Siedlungsgebieten ausserhalb der Bauzone gemäss Datensatz «Ortschaften» des SwissTLM3D.
Einzugsgebiet	In diesem Bericht verwendet als an den Gemeindegrenzen abgeschnittene Isochronenflächen (vgl. Isochrone).

Literaturverzeichnis

Dokumentation

-
- [1] M. Vrtic und K. W. Axhausen (2000). **Modelle der Verkehrsmittelwahl: Regionale Wege in der Schweiz.**
- [2] Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2018). **Bessere Koordination zwischen Raum- und Verkehrsplanung.**
- [3] Bundesamt für Strassen ASTRA (2020). **Verkehr der Zukunft 2060: Langfristige Wechselwirkung Verkehr - Raum.**
- [4] Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2015). **Räumliche Auswirkungen von Verkehrsinfrastrukturen in der Schweiz. Historischer Synthesebericht: Zusammenfassung.**
- [5] Ecoplan, büro widmer (2004). **Wirkungsketten Verkehr - Wirtschaft.**
- [6] C. Holz-Rau (Juli 2001). **Verkehr und Siedlungsstruktur - eine dynamische Gestaltungsaufgabe. Raumforschung und Raumordnung, Bd. 59, pp. 264-275.**
- [7] LITRA (2019). **Der Modalsplit des Personenverkehrs in der Schweiz. Bedeutung und Herausforderungen für den öffentlichen Verkehr.**
- [8] J.-P. Rodrigue, C. Comtois und B. Slack (2013). **The geography of transport systems.** Routledge.
- [9] U. Weidmann, R. Dorbritz, H. Orth, M. Scherer und P. Spacek (2011). **Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen.**
- [10] Ecoplan, B+S, Hunziker Betatech (2017). **Infrastruktur unterschiedlicher Siedlungstypen.**
- [11] Büro für Mobilität AG, Interface, Hochschule Luzern (2015). **Veloverkehr in den Agglomerationen - Einflussfaktoren, Massnahmen und Potenziale.**
- [12] Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2020). **Modelltablierung nationales Personenverkehrsmodell (NPVM) 2017 - Schlussbericht.**
- [13] Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2018). **Dichte und Mobilitätsverhalten.**
- [14] C. Schwick und J. Jaeger (2010). **Zersiedelung und ihre Ausprägungen in der Schweiz aus raumplanerischer Sicht: Quantitative Analyse 1935 - 2002.** Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Bern.
- [15] J. Aston, G. Currie, A. Delbosc, M. Kamruzzaman und D. Teller (2021). **Exploring built environment impacts on transit use - an updated meta-analysis.** Transport Reviews, Bd. 41, pp. 73-96.
- [16] R. Ewing und R. Cervero (2010), **Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis.** Journal of the American Planning Association, Bd. 76, Nr. 3, pp. 265-294.
- [17] J. Ingvardsson und O. Nielsen (2018). **How urban density, network topology and socio-economy influence public transport ridership: Empirical evidence from 48 European metropolitan areas.** Journal of Transport Geography, Bd. 72, pp. 50-63.
- [18] INFRAS, EBP (2015). **Normierte gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten.** Grundlagebericht.
- [19] büro widmer ag, IVT ETH, Universität Duisburg-Essen (2020). **Einfluss nicht-verkehrlicher Variablen auf die Verkehrsmittelwahl.**
- [20] TransOptima, IVT ETH (2017). **Analyse der SP-Befragung 2015 zur Verkehrsmodus- und Routenwahl.**
- [21] J. Meli (2022). **Influence of socioeconomic variable on mode choice in Switzerland - A comparison of three large-scale RP/SP data sets.** Master thesis, IVT, ETH Zurich. Zurich.
- [22] P. Lanzini und S. Khan (2017). **Shedding light on the psychological and behavioral determinants of travel mode choice: A meta-analysis.** Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Bd. 48, pp. 13-27.
- [23] C. Hoffmann, C. Abraham, M. White, S. Ball und S. Skippon (2017). **What cognitive mechanisms predict travel mode choice? A systematic review with meta-analysis.** Transport Reviews, Bd. 37, Nr. 5, pp. 631-652.
- [24] M. Tschopp (2007). **Verkehrsinfrastruktur und räumliche Entwicklung in der Schweiz 1950-2000.**
- [25] K. Axhausen (2003). **Zur Verkehrsentwicklung: die letzten und die nächsten 50 Jahre.**
- [26] N. Baum-Snow (2007). **Did Highways Cause Suburbanization?** The Quarterly Journal of Economics, Bd. 122, Nr. 2, pp. 775-805.
- [27] B. Portnov, K. Axhausen, M. Tschopp und M. Schwartz (2011). **Diminishing effects of location? Some evidence from Swiss municipalities.** Journal of Transport Geography.

-
- [28] J. Cao, P. Mokhtarian und S. Handy (2009). **Examining the Impacts of Residential Self-Selection on Travel Behaviour: A Focus on Empirical Findings.** *Transport Reviews Bd. 29, Nr. 3, pp. 359-395.*
-
- [29] Metron (2021). **Perspektiven BAHN 2050. Studie zum Kernsatz 1: Die Bahnentwicklung ist mit den Zielsetzungen der Raumentwicklung abgestimmt.**
-
- [30] Schweizerische Bundesbahnen SBB (2021). **Perspektiven BAHN 2050. Studie zum Kernsatz 3. Im Personenverkehr verdoppelt sich der Bahnanteil am Gesamtverkehr.** *Bundesamt für Verkehr BAV.*
-
- [31] Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2022). **Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050.**
-
- [32] I. Aberegg, M. Tschopp, K. G. R. Infanger und R. Menzi (2010). **Erschliessung und Individualverkehr. Grundlagenbericht.**
-
- [33] büro widmer ag; senozon ag (2017). **Einfluss der Erreichbarkeit mit ÖV und LV auf den Parkfelderbedarf.** *Bundesamt für Strassen ASTRA.*
-
- [34] W. Brög (2017). **Das hauptsächlich vernachlässigte Verkehrsmittel - Die Bedeutung des Fussverkehrs und die Nutzung des Strassenraums.** [Online]. Available: <https://www.umkehr-fuss-online-shop.de/kostenlose-downloads/category/43-plenum-freitag.html?download=303:plenum-broeg>. [Zugriff am 03 05 2024].
-
- [35] Bundesamt für Statistik BFS (2024). **Räumliche Typologien.** [Online]. Available: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/querschnittsthemen/raeumliche-analysen/raeumliche-gliederungen/raeumliche-typologien.html>. [Zugriff am 03 05 2024].
-
- [36] Bundesamt für Statistik BFS (2024). **Internationale Definitionen von Raumtypologien.** [Online]. Available: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/querschnittsthemen/raeumliche-analysen/raeumliche-gliederungen/internationale-definitionen.html>. [Zugriff am 03 05 2024].
-
- [37] Eurostat (2018). **Methodological manual on territorial typologies.**
-
- [38] Bundesamt für Statistik BFS (2024). **Urbanisierungsgrad 2011 (DEGURBA eurostat).** [Online]. Available: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken.assetdetail.13787277.html>. [Zugriff am 03 05 2024].
-
- [39] Bundesamt für Statistik BFS (2024). **Pendlermobilität: Gemeindematrix 2018.** [Online]. Available: <https://www.bfs.admin.ch/news/de/2020-0613>. [Zugriff am 03 05 2024].
-
- [40] D. Bachofner, C. Merkli und A. Wenger (2018). **Prix Velostädte 2018. Schlussbericht.** Pro Velo Schweiz.
-
- [41] Bundesamt für Statistik BFS (2024). **Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2021.** [Online]. Available: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/erhebungen/mzmv.html>. [Zugriff am 03 05 2024].
-

Projektabschluss

Formular 3 ARAMIS SBT als PDF (Das Formular einscannen, dann das PDF öffnen und dann mit dem Schnappschuss-Werkzeug (Fotoapparat) die Seiten markieren und dann hier einfügen).



FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Version vom 09.10.2013

erstellt / geändert am: 18.9.2024

Grunddaten

Projekt-Nr.:	VPT_20_04E_06
Projekttitel:	Verlagerungspotenzial nach Erreichbarkeit und Raumtyp
Enddatum:	18.9.2024

Texte

Zusammenfassung der Projektresultate:

Das Projekt untersuchte den Einfluss der Erreichbarkeit auf den Marktanteil von vier Verkehrsmitteln in den politischen Gemeinden der Schweiz, differenziert nach neun Raumtypen. Zur Quantifizierung wurde auf die vorherrschenden Unterschiede zwischen verkehrsmittelspezifischer Erreichbarkeit und Modal-Split-Anteil der Gemeinden abgestellt. Die Raumtypen wurden aus einer Kombination der Indikatoren "Siedlungsstruktur" (gering-, mitteldicht- und dichtbesiedelt) und Grösse der "Raumstruktur" (klein, mittel, gross) gebildet. Diese Indikatoren wiederspiegeln in ihrer Kombination die unterschiedlichen räumlichen Voraussetzungen zur Entwicklung der Verkehrsmittel-Marktanteile in Abhängigkeit der Verkehrsmittel-Erreichbarkeit. Den grössten relativen Effekt zeigen im Modell Erreichbarkeitsveränderungen im dicht besiedelten, grossen (offenen und hindernisfreien) Raumtyp, den kleinste Effekt im geringbesiedelten kleinen (räumlich stark eingeschränkten) Raumtyp. Die Elastizität im ÖV ist in grossen Raumstrukturen am höchsten, und jeweils deutlich höher als beim MIV. Beim MIV sind die Unterschiede nach Raumtyp weniger akzentuiert, die Elastizität nimmt aber mit Dichte und Grösse der Raumstruktur ebenfalls zu. Der ÖV-Anteil reagiert somit stärker auf marginale Erreichbarkeitsveränderungen als der MIV-Anteil. Auf räumlich aggregierter Ebene haben neben der Erreichbarkeit zudem auch die Dispersion (Distanz zwischen Siedlungseinheiten), die relative Dichte (Einwohner pro Beschäftigte), das mittlere Einkommen oder der Besitz von Mobilitätswerkzeugen einen signifikanten Einfluss auf den Modal-Split einer Gemeinde. Die Untersuchungen zeigen jedoch auch, dass zur Beurteilung des Verlagerungspotenzials auch die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von marginalen Erreichbarkeitsverbesserungen, die absoluten Nachfragepotenziale eines Raumtyps sowie das aktuelle Niveau des Angebots und des Marktanteils einer Gemeinde innerhalb eines Raumtyps eine Rolle spielen. Diese Faktoren sind daher bei der Bestimmung der richtigen Ansätze zur Erhöhung des Marktanteils eines Verkehrsmittels zu berücksichtigen. Gezeigt am Beispiel der Verlagerung des Verkehrs auf den ÖV stehen dabei folgende Ansätze im Vordergrund:
a) Erhöhung der absoluten ÖV-Erreichbarkeit mit angebotsseitigen Massnahmen bei tiefem bis mittlerem ÖV-Anteil in Raumtypen mit hoher ÖV-Elastizität, guter Reaktion der Erreichbarkeit auf marginale Widerstandsreduktionen und mittlerem bis (gebündelt) grossem absolutem Potenzial.
b) Relative Erhöhung der Erreichbarkeit des ÖV bzw. Verhinderung einer relativen Reduktion der ÖV-Erreichbarkeit bei bereits gutem ÖV-Angebotsniveau in Raumtypen mit hoher ÖV-Elastizität und grossem absolutem ÖV-Potenzial.
c) Erhaltung des aktuellen Verhältnisses zwischen ÖV- und MIV-Erreichbarkeit bei Raumtypen mit tiefer ÖV-Elastizität und Dominanz / Abhängigkeit von entweder ÖV oder MIV sowie eher kleinem absoluten Potenzial.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Ziel war die Ermittlung von Erreichbarkeits-Modal-Split Elastizitäten für vier Verkehrsmittel auf Ebene der politischen Gemeinden, differenziert nach Raumtyp. Für die Verkehrsmittel ÖV und MIV konnte dieses Ziel erreicht werden. Beim Velo zeigte sich, dass die Erreichbarkeit zwar einen Einfluss auf dessen Marktanteil hat, sie aber die Verhältnisse im Veloverkehr nicht adäquat abbildet. Der Einbezug von Merkmalen der Wegnetzqualität und -sicherheit würde voraussichtlich bessere Modelle erlauben. Beim Fussverkehr hat die Erreichbarkeit statistisch einen positiven Einfluss auf den Marktanteil, jedoch stellte sich die Frage, inwieweit dieser Einfluss durch angebotsseitige Massnahmen (Gehzeit) effizient realisiert werden könnte. Sowohl beim Fuss- und Veloverkehr ist das zur Ermittlung der Erreichbarkeit verwendete NPVM sowie der Wegedatensatz des MZMV für den Marktanteil kein ausreichend detaillierter und aussagekräftiger Quantifizierungsansatz. Der generelle Ansatz mit einem statischen Vergleich unter Gemeinden ist zudem nicht geeignet, um zwischen verlagertem und induziertem Verkehr zu unterscheiden, und auch der Einbezug von Kriterien der Wirtschaftlichkeit ist auf aggregierter Ebene schwierig. Hier braucht es andere Herangehensweisen wie die Betrachtung von Fallbeispielen, welche neben den räumlichen Charakteristiken und relativen Marktanteilen auch das absolute Verkehrsaufkommen und die Kosten der Angebotsbereitstellung einbeziehen.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die Ergebnisse zeigen, dass sich Unterschiede in den MIV- und ÖV-Marktanteilen heterogener Gemeinden durch Unterschiede in der Erreichbarkeit und in anderen räumlichen Charakteristiken gut erklären lassen. Je nach Siedlungsstruktur und Raumstruktur reagieren die Gemeinden im Durchschnitt anders auf eine Erreichbarkeitsveränderung und es stehen daher andere planerische Ansätze im Vordergrund. Die räumliche Differenzierung von Strategien der Verkehrsangebotsentwicklung ist daher sinnvoll und wird durch die Ergebnisse gestützt. Zur Abschätzung von Nachfragereaktionen in der Verkehrsmittelwahl sollte analog eine weitergehende Berücksichtigung räumlicher Charakteristiken zur Schätzung von Nachfrageelastizitäten angestrebt werden.

Publikationen:

Die Forschungsergebnisse werden an der SVI-Forschungstagung im September 2024 gezeigt und einem interessierten Fachpublikum vorgestellt.

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Amacher

Vorname: Matthias

Amt, Firma, Institut: Ecoplan AG / Transoptima

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

20.9.2024



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

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die Begleitgruppe (BG) stellt der Forschungsstelle (FS) eine gute Beurteilung aus; diese hat unter den gegebenen Rahmenbedingungen eine sehr gute Arbeit geleistet. Die FS hat basierend auf den verfügbaren Daten und einem stimmigen methodischen Ansatz analytische Kennzahlen für die Verlagerungspotentiale hergeleitet. Dabei wurden neun empirisch sauber definierte Raumtypen gebildet, für welche die Verlagerungspotentiale differenziert betrachtet wurden. Anhand der Resultate können erste grobe Schätzungen insbesondere für den motorisierten Individualverkehr (MIV) und öffentlichen Verkehr (ÖV) bereitgestellt werden. Im konkreten Planungsfall sind jedoch weitere Rahmenbedingungen zu prüfen, wie es auch aus den Fallbeispielen ersichtlich ist.

Eine feinere Einschätzung der Verlagerungspotentiale ist mit diesem aggregierten Ansatz nicht möglich, was sich v.a. beim Fuss- und Veloverkehr bemerkbar macht. Dort fehlt eine Abbildung des Verkehrsangebots (z.B. Velowegen), wonach die Resultate des Elastizitätenansatzes basierend auf den Erreichbarkeiten (berechnet anhand von Quelle-Ziel-Reisezeiten) ungenau sind. Auch beschränkt sich die Untersuchung nur auf das Hauptverkehrsmittel, womit z.B. beim ÖV sämtliche Fuss, Velo oder MIV Zu- und Abgangsetappen nicht berücksichtigt werden.

Umsetzung:

Die vorhandene Datengrundlage erlaubt bedingte Aussagen auf räumlich aggregierter Ebene (Gemeinde resp. Verkehrszenen des NPVM) und ohne dynamische Komponenten (Momentbetrachtung ohne dynamische Wechselwirkung), womit dennoch sehr nützliche und interessante methodische Ansätze (mittels Elastizitätenansatz) ausgearbeitet wurden. Dabei wurden stimmige, nachvollziehbare und relevante Aussagen zum Verlagerungspotential v.a. für den MIV und ÖV produziert.

Durch die aggregierte Betrachtung der Daten gehen relevante Informationen verloren, was sich v.a. beim Fuss- und Veloverkehr bemerkbar macht. Dort konnten keine statistisch robusten Ergebnisse erzielt werden. Auch gibt es verschiedene Einschränkungen und Annahmen, welche bei der Interpretation der Resultate berücksichtigt werden müssen.

Weitergehender Forschungsbedarf:

Präzisere Abbildung des Fuss- und Veloverkehrs; Untersuchung anderer Faktoren zur Erklärung des Modal Splits (z.B. verhaltenseitig, kulturell; v.a. auf individueller Entscheidungsebene), evtl. anhand von Case Studies und lokalen Befragungen; Berücksichtigung weiterer Faktoren zur Bestimmung der Erreichbarkeit; dynamische Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Raumentwicklung, Verkehrsangebot und Nachfrage; methodische Verfeinerungen und Sensitivitätsanalysen

Einfluss auf Normenwerk:

-

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Schmid Vorname: Basil

Amt, Firma, Institut: Bundesamt für Raumplanung (ARE)

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

18.9.2024 B. S. - d

