



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

Forschungspaket Gesamtverkehrliche Erschlies- sungsqualitäten – Motorisierter Individualverkehr (TP3)

**Qualités de desserte globales – sous-projet transport indivi-
dual motorisé**

**Integrated Traffic Coverage Quality – sub-project motorised
private transport**

**EBP Schweiz AG
Bence Tasnády
Jonas Hess
Andreas Bühlmann
Mark Sieber
Nadine Rieser**

**Forschungsprojekt VPT_20_04C_01 auf Antrag der Arbeitsgruppe Ver-
kehrsplanung und -technik (VPT)**

April 2024

1770

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

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

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

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

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

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

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

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



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Forschungspaket Gesamtverkehrliche Erschlies- sungsqualitäten – Motorisierter Individualverkehr (TP3)

**Qualités de desserte globales – sous-projet transport indi-
viduel motorisé**

**Integrated Traffic Coverage Quality – sub-project motorised
private transport**

**EBP Schweiz AG
Bence Tasnády
Jonas Hess
Andreas Bühlmann
Mark Sieber
Nadine Rieser**

**Forschungsprojekt VPT_20_04C_01 auf Antrag der Arbeitsgruppe Ver-
kehrsplanung und -technik (VPT)**

April 2024

1770

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Bence Tasnády

Mitglieder

Jonas Hess

Andreas Bühlmann

Mark Sieber

Nadine Rieser

Begleitkommission

Präsident

Christian Hasler

Mitglieder

Claudio Büchel

Alexander Erath

Maik Hömke

Martin Tschopp

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 und Ziele	25
1.1.1 Forschungspaket	25
1.1.2 Teilprojekt MIV	25
1.2 Methodisches Konzept und Rahmenbedingungen	25
1.3 Vorgehen und Berichtsaufbau	27
1.3.1 Forschungspaket	27
1.3.2 Teilprojekt MIV	28
2 Stand der Forschung	31
2.1 Angebot, Kapazität und Verkehrsfluss	31
2.2 Erreichbarkeit.....	32
2.3 Parkierung	33
2.4 Forschungsbedarf	34
3 Quantitative Erschliessungskriterien	35
3.1 Übersicht und Grundsätze.....	35
3.2 Methodik Angebot / Kapazität.....	35
3.2.1 Einleitung	35
3.2.2 Betrachtungsperimeter und Gewichtung	36
3.2.3 Methode 1.....	39
3.2.4 Methode 1+.....	42
3.2.5 Methode 2.....	43
3.2.6 Finale Festlegung der Methode	48
3.3 Methodik Erreichbarkeiten.....	52
3.3.1 Einleitung.....	52
3.3.2 Räumliche Auflösung	52
3.3.3 Potenzial.....	55
3.3.4 Raumwiderstand	71
3.3.5 Beispielanwendung	76
3.4 Skalierung und Herleitung Güteklassen	77
3.4.1 Einleitung.....	77
3.4.2 Angebot / Kapazität.....	78
3.4.3 Erreichbarkeit.....	81
4 Qualitative Erschliessungskriterien	95
4.1 Übersicht und Grundsätze.....	95
4.2 Methodik Verkehrsqualität	95
4.2.1 Einleitung.....	95
4.2.2 Knotenbasierte Verfahren.....	96
4.2.3 Datengestütztes Verfahren (Modell)	100
4.2.4 Beispielanwendung	101
4.2.5 Finale Festlegung der Methode	112
4.3 Methodik Parkfeldverfügbarkeit	112
4.3.1 Einleitung.....	112
4.3.2 Auslastung der relevanten Parkfelder	114
4.3.3 Verteilung	115
4.3.4 Haltepunkte.....	116

4.3.5	Parkleitsystem.....	117
4.3.6	Parkkosten.....	117
4.4	Festsetzung Wertprofil.....	117
4.4.1	Verkehrsqualität	117
4.4.2	Parkfeldverfügbarkeit	119
4.5	Beispielanwendung	120
4.5.1	Entwicklungsgebiet Binz.....	120
4.5.2	Entwicklungsschwerpunkt Marthalen	121
4.5.3	Entwicklungsschwerpunkt Route de Saint-Julien	122
4.5.4	Crans(-Montana) Dorfzentrum.....	124
5	Folgerungen und weiterer Forschungsbedarf	127
5.1	Quantitative Erschliessungskriterien	127
5.2	Qualitative Erschliessungskriterien	128
	Literaturverzeichnis	131
	Anhänge	133
	Glossar	139
	Projektabschluss.....	141

Zusammenfassung

Ausgangslage

Zurzeit werden die Erschliessungsqualitäten eines Standorts oder Gebiets lediglich durch die Güteklassen für den öffentlichen Verkehr (ÖV) beschrieben, und auch diese nicht als normierter schweizerischer Standard. Für die anderen Verkehrsmittel – motorisierter Individualverkehr (MIV) sowie Fuss- und Veloverkehr – fehlt ein einheitlicher Ansatz zur Beschreibung der Erschliessungsqualitäten, weshalb auch keine schweizweite verkehrsmittelübergreifende Darstellung existiert.

In Grundlagenbericht VSS 2011/106 [11] wurde ein zweistufiges Methodikkonzept mit quantitativen und qualitativen Kriterien erarbeitet und als zweckmässig beurteilt. Die Methodik unterscheidet dabei zwischen vier (mit einzelnen Güteklassen versehene) Verkehrsmittel und zwei Stufen von Erschliessungskriterien. Für den MIV sind dies:

- Stufe 1: Quantitativ
 - Angebot/Kapazität: Kapazitätsindex
 - Erreichbarkeiten
- Stufe 2: Qualitativ
 - Netzqualität: Auslastung und Verkehrsqualität, Verkehrsorientierung und Zustand Strasseninfrastruktur
 - Komfort: Öffentliches und privates Parkfeldangebot
 - Sicherheit: Unfallrisiko

Dieses Konzept wurde im vorliegenden Forschungsprojekt weiter vertieft und konkretisiert. Die entwickelten Methoden wurden anhand der folgenden vier Fallbeispiel-Standorte verifiziert: Entwicklungsgebiet Binz, Entwicklungsschwerpunkt Route de Saint-Julien, Entwicklungsschwerpunkt Marthalen-Schilling und Crans(-Montana) Dorfzentrum. Der vorliegende Bericht dokumentiert die Arbeiten im Rahmen des Teilprojekts 3 MIV, die mit den anderen Teilprojekten abgestimmt waren.

Angebot / Kapazität

Der Kapazitätsindex wurde eingeführt, um die Erschliessung eines Standorts oder eines Gebiets verkehrstechnisch zu quantifizieren. Er wurde als eine kapazitätsgewichtete Strassennetzdicke im Umfeld des Standortareals definiert. Damit quantifiziert er das theoretisch verfügbare Angebot ungeachtet der tatsächlich verfügbaren Kapazität dieser Strassen unter Berücksichtigung der vorherrschenden Verkehrsmenge. Im Grundlagenbericht wurde er pro Verkehrsmodellzone berechnet und anhand der Zonenfläche normiert. In der vorliegenden Forschungsarbeit wurden drei Methoden zur Berechnung des Kapazitätsindex' entwickelt, getestet und daraus ein Vorschlag für die Berechnungsmethodik festgelegt.

Die vorgeschlagene Berechnung des Kapazitätsindex' erfolgt auf Basis der Streckenkapazitäten [Fz/h] des NPVM. Die Verwendung des NPVM statt kantonaler oder regionaler Modelle, die eine feinere Auflösung aufweisen können, liegt in der schweizweiten Vergleichbarkeit begründet. Der Perimeter für die Berechnung umfasst die Strecken, welche vom Zentrum des Standortes aus in einer MIV-Fahrt mit einer maximalen Dauer von 9 Minuten (9-Minuten-Isochrone) erreicht werden können. Der Perimeter wird weiter unterteilt in 3 Teilgebiete, die jeweils in unter 3 Minuten, unter 6 Minuten und unter 9 Minuten vom Zentrum des Standortes aus erreicht werden können. Da die Relevanz niedrigklassiger Strassen für einen Standort mit der Entfernung abnimmt, wird das in die Berechnung einfließende Strassennetz je nach Teilgebiet unterschiedlich stark ausgedünnt. Der Kapazitätsindex wird berechnet, indem für jedes der drei Teilgebiete des Perimeters die Streckenkapazität gemäss NPVM mit der jeweiligen Streckenlänge multipliziert und gewichtet aufsum-

miert wird. Die Gewichtung der Teilgebiete nimmt mit zunehmendem Abstand zum Standort ab. Eine Methode, bei welcher die Knoten als leistungsbestimmendes Element in städtischen Netzen in den Vordergrund gestellt werden, wurde u.a. wegen inhomogener Abbildung von Knoten im Verkehrsmodell wieder verworfen.

Erreichbarkeit

Die Erreichbarkeit wird beschrieben durch den Erreichbarkeitsindex. Er stellt die verkehrstechnische Quantifizierung der erreichbaren Möglichkeiten eines Standorts oder eines Gebiets dar. Durch diese Quantifizierung können verschiedene Standorte hinsichtlich ihrer Einbettung in das Gesamtverkehrssystem unter Berücksichtigung der vorherrschenden Potenziale bewertet werden. Der Erreichbarkeitsindex eines Standorts lässt sich in seiner allgemeinen Form wie folgt beschreiben: $E_i = \sum R_{ij} \cdot P_j$. Es handelt sich um die Summe der nach Raumwiderstand R_{ij} gewichteten Potenziale P_j der von diesem Standort aus erreichbaren Ziele. Um die methodische Kongruenz zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln zu wahren, wurde im Teilprojekt MIV auch die Erreichbarkeit im ÖV berechnet. Im vorliegenden Forschungsprojekt wurden folgende Aspekte bei der Berechnung der Erreichbarkeit diskutiert:

- Räumliche Auflösung

Wie sich in der Forschung gezeigt hat, kann die Wahl der räumlichen Auflösung des Gebiets einen grossen Einfluss auf das Ergebnis haben. Dieses Phänomen wird als MAUP (Modifiable Areal Unit Problem) bezeichnet, weswegen im Grundlagenbericht eine sehr feine räumliche Auflösung (Hektarraster) gewählt wurde. Allerdings hat sich gezeigt, dass die Berechnung der ÖV-Erreichbarkeit auf Basis des Hektarrasters sehr rechenintensiv ist. Deshalb wurde in dieser Forschungsarbeit ein Wechsel auf Verkehrszonen als räumliche Auflösung geprüft. Dies insbesondere aufgrund der feinkörnigeren Zonen des neuen NPVMs und auch weil die verwendeten Reisezeiten aus dem NPVM auf Verkehrszonenebene vorliegen. Aus Sicht der Forschungsstelle ist die gröbere Auflösung trotz Genauigkeitseinbussen gerechtfertigt. Es konnte aufgezeigt werden, dass eine feinere Auflösung auf Hektarrasterebene nicht zwingend eine grössere Genauigkeit mit sich bringt: Werden nämlich die Erreichbarkeitsindizes in Klassen eingeteilt, wie dies für die Güteklassen geschieht, ist die Klassenzuteilung der Hektarrasterpunkte innerhalb einer Verkehrsmodellzone wenig differenziert.

- Potenzial P_j

Für die Beschreibung des Potenzials wurde neben dem Ansatz aus dem Grundlagenbericht (Einwohner und Arbeitsplätze) eine alternative Metrik auf Basis der Verkehrserzeugung gemäss NPVM getestet. Mit diesem Wechsel sollte erreicht werden, dass damit auch verkehrsentensive Einrichtungen mit wenig Strukturdaten besser berücksichtigt werden. Ausserdem sollte damit die Problematik von schwierig zu beschaffenden Auslandsdaten (insb. der Arbeitsplätze) umgangen werden. Da die Erzeugung für das Ausland im NPVM nicht vollständig ist, wurde für die Abschätzung derselben ein zweistufiges Regressionsmodell entwickelt und angewandt. Als Vergleich wurden auch die Strukturdaten für das Ausland aus den Verkehrsperspektiven 2050 herangezogen. Es konnte anhand des Vergleichs nicht festgestellt werden, welche der beiden Methoden zu besseren Resultaten führt. Für den Normierungsprozess wurden die Einwohner und Arbeitsplätze als Metrik für das Potenzial vorgeschlagen, insbesondere wegen der komplexen Berechnung der Verkehrserzeugung im Ausland.

- Raumwiderstand R_{ij}

Der Raumwiderstand gibt an, zu welchem Mass ein erreichbares Potenzial gewichtet wird und damit auch wie stark es in die Erreichbarkeit eines Standorts einfließt. Für die Berechnung der Reisezeit wurde der Tagesverkehr vorgeschlagen, für den ÖV die «empfundene Reisezeit». Ansätze, die Reisezeit abhängig von der jeweiligen Nutzung zu wählen (z.B. MSP für «Arbeit» und NVZ für «Freizeit»), wurden verworfen. Gründe hierfür waren einerseits die methodische Konsistenz mit den anderen Verkehrsmitteln aber auch die Praxistauglichkeit. Die sogenannte Distance-Decay-Funktion berücksichtigt den Umstand, dass sich die Anzahl der Wege auf einer Relation mit zunehmender Reisezeit vermindert. Für den MIV und ÖV wurden unterschiedliche Distance-Decay-Funktionen getestet. Schliesslich wurden Funktionen vorgeschlagen, mit welchen die

statistische Verteilung des Raumwiderstands in Abhängigkeit der Reisezeit der empirischen Verteilung der Reisezeiten im MIV bzw. ÖV gemäss dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) entspricht.

Güteklassen

Mit den beiden Indizes «Kapazitätsindex» und «Erreichbarkeitsindex» allein können keine abschliessenden Aussagen über die Erschliessungsqualität eines bestimmten Standorts gemacht werden. Hierfür mussten sogenannte *Güteklassen* (A bis E) definiert werden. Es wurden sowohl in der Dimension Angebot (Kapazitätsindex) als auch Erreichbarkeit je eine Skalierung und eine damit verbundene *Kategorisierung* definiert. Anhand der Skalierung kann ein Standort einer *Kategorie* (I bis V) zugeordnet werden. Diese jeweiligen Kategorien für den Kapazitätsindex und den Erreichbarkeitsindex werden dann überlagert zu den Güteklassen A bis E.

Da es sich bei beiden Indizes um abstrakte Grössen handelt, war eine sachlogische Herleitung der Kategorien nicht möglich. Für eine einzelne Strasse mit einer bestimmten Kapazität kann aufgrund von physikalischen Überlegungen beurteilt werden, ob die Kapazität als gut beurteilt werden kann: Wie viele Fahrzeuge können den Strassenquerschnitt bei einem angenommenen Fahrzeugabstand passieren? Der Kapazitätsindex hingegen vermengt Querschnittskapazitäten mit Längen und gewichtet diese je nach Ort unterschiedlich. Das Resultat ist physikalisch nicht mehr fassbar. Um beurteilen zu können, ob ein bestimmter Kapazitätsindex für eine *gute* oder *unbefriedigende* Qualität steht, wurde daher eine datengestützte Skalierung herangezogen. Dabei wurde die Häufigkeitsverteilung der berechneten Indexwerte herangezogen und auf Basis dieser Information sowie unter Berücksichtigung der Charakteristika der Fallbeispielstandorte festgelegt, wo die Grenzen der Kategorien sind. So konnte beispielsweise festgelegt werden, dass das Dorfzentrum von Crans(-Montana) als eines der vier Fallbeispielstandorte definitionsgemäss die Grenze zwischen den Kategorien V und IV für den Kapazitätsindex bilden soll. Es wurden lineare, logarithmische und weitere Skalierungen getestet und anhand der Darstellung der daraus resultierenden Kategorien auf einer Schweizer Landkarte entschieden, welche Skalierungen zu den plausibelsten Kategoriengrenzen führen. Für den weiteren Normierungsprozess ist zu prüfen, ob die Kategoriengrenzen breiter abgestützt festgelegt werden sollen.

Qualitative Indikatoren

Es wurde nach wie vor als richtig erachtet, dass ergänzende qualitative Erschliessungskriterien in Stufe 2 die Gesamtsicht der Erschliessungsqualitäten komplettieren. Gegenüber dem Grundlagenbericht wurde die Relevanz derselben jedoch insofern herabgestuft, als dass sie nicht mehr zu einer Veränderung der Güteklassen führen, die auf Basis der quantitativen Indikatoren berechnet werden. Stattdessen wird für jeden qualitativen Indikator ein sogenanntes fünfstufiges Wertprofil bestimmt: gut – eher gut – neutral – eher schlecht – schlecht.

Die Zahl der qualitativen Kriterien für den MIV aus dem Grundlagenbericht [11] wurde im Laufe der Bearbeitung auf die zwei wichtigsten reduziert: Verkehrsqualität und Parkfeldverfügbarkeit. Der Zustand der Strasseninfrastruktur und das Unfallrisiko wurden im Schweizer Kontext als für die Erschliessungsgüte wenig ausschlaggebend erachtet. Der Zustand der Strasseninfrastruktur ist in der Schweiz ausserordentlich gut. Selbst wenn einzelne Strassenabschnitte einen unzureichenden Zustand aufweisen, kann davon ausgegangen werden, dass dieser in den folgenden Jahren verbessert wird. Der Strassenzustand ist aus Sicht Erschliessung für den MIV von untergeordneter Bedeutung. Die Verkehrssicherheit ist zweifellos ein wichtiges Thema. Aus Sicht der Erschliessung dürfte für den MIV das Unfallrisiko jedoch von geringerer Bedeutung sein. Die Fahrzeuglenkenden dürften – wiederum im Gegensatz zum Veloverkehr – Standorte aus Sicherheitsüberlegungen kaum meiden. Der Verkehrsorientierung wurde eine starke Korrelation mit der Verkehrsqualität attestiert und daher vernachlässigt.

Die Datengrundlagen zur Beurteilung der **Verkehrsqualität** werden grundsätzlich immer besser. Aber die modellbasierte Herleitung liefert zurzeit nur für Strecken, aber nicht für

Knoten brauchbare Daten zur Verkehrsqualität. Ein Test mit dem Layer «Verkehrslage» von Google Maps hat im Rahmen der Forschungsarbeit widersprüchliche Resultate geliefert. Ausserdem wurde eine Abstützung auf private Anbieter im Rahmen einer nationalen Norm als nicht zweckmässig erachtet. Es wurde daher eine lokale Erhebung der mittleren Wartezeiten vorgeschlagen. Die Beurteilung und Überführung des Wertprofils der Wartezeiten soll in Anlehnung an die aktuell gültigen Normen für die Verkehrsqualität erfolgen. Für die Erhebung der Wartezeiten vor Ort wurden klare Kriterien definiert: Welche Knoten, welche Ströme etc. zu erheben sind.

Zur **Parkfeldverfügbarkeit** öffentlich zugänglicher Parkfelder liegen ebenfalls noch keine schweizweiten Datengrundlagen vor. Hier konnte ein Kriterienbaum entwickelt werden, mit welchem vor Ort eine möglichst objektive Beurteilung und eine Überführung in ein Wertprofil möglich ist. Dabei sind vor Ort folgende Kriterien zu erheben: Auslastung der Parkfelder, Verteilung der Parkfelder, Vorhandensein von Haltepunkten vor den Gebäuden und Vorhandensein eines Parkleitsystems. Für die Festlegung der massgebenden Parkfelder wurde vorgeschlagen, die dominierende Nutzung am betrachteten Standort sowie die maximal zulässige Parkdauer der Parkfelder zu berücksichtigen. Nachgelagert führen überdurchschnittlich hohe Parkkosten zur Herabsetzung des Wertprofils um eine Stufe.

Folgerungen und weiterer Forschungsbedarf

In der vorliegenden Forschungsarbeit konnten die beiden quantitativen Indikatoren «Kapazitätsindex» und «Erreichbarkeitsindex» unter Wahrung der Praxistauglichkeit gegenüber dem Grundlagenbericht [11] weiter verfeinert und optimiert werden. Insbesondere die Anforderung der Praxistauglichkeit hat oft dazu geführt, dass im Zweifel die einfachere bzw. «verständlichere» Methode gewählt wurde. Der Satz an qualitativen Indikatoren konnte auf die beiden wesentlichen reduziert werden: «Verkehrsqualität» und «Parkplatzverfügbarkeit». Für diese wurde eine Operationalisierung vorgeschlagen und im Feld getestet.

Aufgrund der in dieser Arbeit entwickelte Methode wurde eine Norm entwickelt, die es Planenden erlaubt, mit vertretbarem Aufwand für alle Standorte in der Schweiz eine Beurteilung der Erschliessungsqualität vorzunehmen.

Aus Sicht der Forschungsstelle besteht insbesondere bezüglich folgender Themen weiterer Forschungsbedarf:

- Beim Kapazitätsindex handelt es sich um eine kapazitätsgewichtete Strassennetzdichte ohne Berücksichtigung der Auslastung. Die Tatsache, dass die tatsächlich vorhandene Verkehrsnachfrage unberücksichtigt bleibt, kann die Aussagekraft schmälern.
- Für die Beschreibung des Standortpotenzials wurden zwei Methoden untersucht. Der Entscheid für die Metrik «Einwohner und Arbeitsplätze» ist unmittelbar vor Projektabschluss gefallen. Daher konnte die Gewichtung der Strukturdaten nicht mehr untersucht werden. Im weiteren Normierungsprozess müsste die Definition des Standortpotenzials vor dem Hintergrund, dass die Auslandsdaten aus der Erarbeitung der Schweizerischen Verkehrsperspektiven übernommen werden können, diskutiert und ggf. vertieft werden.
- Den Ansatz, die Wahl der betrachteten Zeit für die Berechnung des Raumwiderstands (Hauptverkehrszeit, Nebenverkehrszeit etc.) von der jeweiligen Nutzung am betrachteten Standort abhängig zu machen, wurde wieder verworfen. Gründe dafür waren neben der Wahl einer einfachen Methode zur Wahrung der Praxistauglichkeit auch der Anspruch, die Methoden für alle Verkehrsmittel möglichst konsistent zu halten. Aus Sicht der Forschungsstelle hat dieser Ansatz nach wie vor seine Berechtigung und könnte ggf. wieder aufgenommen werden.
- Für die empfundene Reisezeit im ÖV wird gemäss Stand der Praxis eine Umsteigestrafe von rund sieben Minuten pro Umsteigevorgang angesetzt. Diesbezüglich sieht die Forschungsstelle weiteren Forschungsbedarf, der allerdings unabhängig vom weiteren Normierungsprozess erfolgen sollte.
- Die Berücksichtigung der Parkkosten bei der Bewertung der Parkfeldverfügbarkeit hat zu kontroversen Diskussionen geführt. Im Lauf des Normierungsprozesses sollte diese Frage nochmals breit abgestützt erörtert werden.

- Den qualitativen Indikatoren ist eigen, dass sie nur den aktuellen Zustand beschreiben können, nicht aber geplante zukünftige Zustände. Für die Beschreibung künftiger Zustände gilt es, eine Reihe von Annahmen zu treffen – oder auf die qualitativen Indikatoren zu verzichten. Hinsichtlich dieser Annahmen müssten der Anwenderschaft Hinweise gegeben werden können.
- Die qualitativen Erschliessungskriterien werden separat dargestellt, d.h. sie führen nicht zu einer Veränderung der quantitativen Güteklassen (z.B. Veränderung um eine Güteklasse bei guten bzw. schlechten qualitativen Erschliessungsqualitäten). In diesem Zusammenhang kritisch hinterfragt werden kann das Verhältnis vom beträchtlichen Aufwand für die Beschreibung der qualitativen Kriterien (mehrere Erhebungen vor Ort zwecks Repräsentativität) zu deren Relevanz.
- Im Rahmen dieser Arbeit wurde aufgrund der Daten des NPVM eine Erreichbarkeitskarte erstellt, die in der Norm verwendet wird. Mit dem VSS ist zu klären, wie eine solche Karte als digitale Ressource zur Verfügung gestellt werden kann. Zudem soll geprüft werden, wann und wie eine zukünftige Aktualisierung sichergestellt wird, wenn eine Aktualisierung des NPVM oder der Arbeitsplatz- und Bevölkerungszahlen (in der Schweiz, aber auch im Ausland) zur Verfügung stehen.

Résumé

Situation de référence

Actuellement, les qualités de desserte d'un site ou d'une région sont uniquement décrites par les niveaux de qualité de desserte par les transports publics (TP), sans qu'il existe de norme au niveau suisse. Une approche homogène pour décrire les qualités de desserte pour les autres moyens de transport (le transport individuel motorisé (TIM) ainsi que le trafic piéton et cycliste) fait défaut. C'est la raison pour laquelle il n'existe aucune représentation qui englobe l'ensemble des moyens de transport au niveau suisse.

Dans l'étude de base VSS 2011/106 [11], une approche méthodologique en deux étapes, à savoir basée sur des critères quantitatifs et qualitatifs, a été élaborée et s'est révélée appropriée. Cette méthodologie distingue quatre moyens de transport (assortis de niveaux de qualité individuels) et deux étapes de critères de définition de la desserte. Pour les TIM, il s'agit de:

- Etape 1: Critères quantitatifs
 - Offre / capacité: indice de capacité
 - Accessibilité
- Etape 2: Critères qualitatifs
 - Qualité du réseau: taux d'utilisation et qualité du trafic, orientation trafic et état des infrastructures routières
 - Confort: offre de stationnement publique et privée
 - Sécurité: risque d'accident

Ce concept a été approfondi et concrétisé dans le présent projet de recherche. Les méthodes développées ont été vérifiées au moyen des quatre cas concrets suivants : zone de développement Binz, pôle de développement Route de Saint-Julien, pôle de développement Marthalen-Schilling et centre du village de Crans(-Montana). Le présent rapport documente les travaux menés dans le cadre du sous-projet 3 TIM. Ils ont été coordonnés avec les autres sous-projets.

Offre / capacité

L'indice de capacité a été introduit pour quantifier la desserte d'un site ou d'une région en matière de trafic. Il a été défini comme une densité des réseaux routiers pondérée en termes de capacité dans l'environnement du site. Il quantifie l'offre théoriquement disponible, en dépit de la capacité réellement disponible de ces routes, en tenant compte du volume de trafic dominant. Dans l'étude de base, il a été calculé par zone de modèle de trafic et normalisé au moyen de la surface des zones. Dans le présent travail de recherche, trois méthodes de calcul de l'indice de capacité ont été développées et testées pour finalement aboutir à une proposition de méthodologie de calcul.

Le calcul proposé pour déterminer l'indice de capacité se fonde sur les capacités des tronçons [Véh/h] du MNTP. L'utilisation du MNTP au lieu de modèles cantonaux ou régionaux, qui pourraient présenter une résolution plus fine, se justifie par la comparabilité au niveau national qu'il permet. Le périmètre du calcul englobe les tronçons qui peuvent être atteints depuis le centre du site par un trajet en TIM d'une durée maximale de 9 minutes (isochrone de 9 minutes). Le périmètre est ensuite subdivisé en 3 sous-régions, chacune pouvant être respectivement atteinte en moins de 3 minutes, moins de 6 minutes et moins de 9 minutes depuis le centre du site. Etant donné que pour un site, la pertinence des routes de catégorie inférieure diminue avec l'éloignement, le réseau routier pris en compte pour le calcul est atténué à des degrés divers selon la sous-région. Pour chacune des trois sous-régions du périmètre, l'indice de capacité est calculé en multipliant la capacité du tronçon selon le

MNTP par la longueur du tronçon en question et en pondérant ensuite le résultat de l'addition. La pondération des sous-régions diminue au fur et à mesure que la distance par rapport au site augmente. Une méthode qui consiste à accorder la priorité aux nœuds en tant que critères de performances dans les réseaux urbains a une nouvelle fois été rejetée, entre autres en raison de la représentation non homogène des nœuds dans le modèle de trafic.

Accessibilité

L'accessibilité est décrite par l'indice d'accessibilité. Celui-ci quantifie les possibilités d'accès à un site ou une région en matière de trafic. Cette quantification permet d'évaluer différents sites du point de vue de leur intégration dans le système global du trafic en tenant compte des potentiels prédominants. Dans sa forme générale, l'indice d'accessibilité d'un site peut être décrit comme suit : $E_i = \sum R_{ij} \cdot P_j$. Il s'agit de la somme des potentiels P_j pondérés selon la résistance spatiale R_{ij} des destinations accessibles à partir de ce site. Afin de préserver la congruence méthodologique entre les différents moyens de transport, l'accessibilité par les TP a également été prise en compte dans le sous-projet TIM. Pour le présent projet de recherche, les aspects suivants ont été abordés pour le calcul de l'accessibilité:

- Résolution spatiale

Comme les travaux de recherche l'ont démontré, le choix de la résolution spatiale pour la région peut avoir une grande influence sur le résultat, un phénomène connu sous le nom de MAUP (Modifiable Areal Unit Problem). C'est la raison pour laquelle une résolution spatiale très fine (grille hectométrique) a été choisie dans l'étude de base. Cependant, il s'est avéré que la détermination de l'accessibilité par les TP sur la base d'une grille hectométrique nécessite des calculs intensifs. Aussi un remplacement par les zones de trafic comme résolution spatiale a-t-il été examiné dans le cadre de ce travail de recherche, notamment en raison des zones plus fines du nouveau MNTP, mais aussi parce que les temps de parcours du MNTP utilisés sont présents au niveau des zones de trafic. Le centre de recherche est d'avis que la résolution plus faible est justifiée malgré les pertes de précision. Il a été observé qu'une résolution plus fine de l'ordre de l'hectare n'entraîne pas nécessairement une plus grande précision : en effet, si les indices d'accessibilité sont répartis en catégories, comme cela est le cas pour les niveaux de qualité, la répartition en classes des points de la grille hectométrique à l'intérieur d'une zone de modèle de trafic est peu nuancée.

- Potentiel P_j

Pour décrire le potentiel, outre l'approche employée dans l'étude de base (démographie et postes de travail), une métrique alternative basée sur la génération de trafic selon le MNTP a été testée. Ce changement avait pour objectif de mieux prendre en compte des installations générant un trafic intense avec moins de données structurelles et de contourner le problème des données étrangères difficiles à obtenir (notamment les postes de travail). Comme la génération pour l'étranger n'est pas complète dans le MNTP, un modèle de régression en deux étapes a été développé et appliqué en vue de l'estimer. A des fins de comparaison, il a aussi été tenu compte des données structurelles pour l'étranger issues des Perspectives d'évolution du transport 2050. La comparaison n'a pas permis de déterminer laquelle des deux méthodes débouche sur de meilleurs résultats. Pour le processus de normalisation, la démographie et les postes de travail ont été proposés comme métrique pour déterminer le potentiel, notamment en raison du calcul complexe de la génération du trafic à l'étranger.

- Résistance spatiale R_{ij}

La résistance spatiale indique dans quelle mesure un potentiel atteignable est pondéré et, par conséquent, dans quelle mesure il influe sur l'accessibilité d'un site. Pour le calcul du temps de parcours, le trafic journalier a été proposé ; pour les TP, il s'agit du « temps de parcours ressenti ». Les approches consistant à choisir les temps de parcours en fonction de l'utilisation respective (p. ex. heures de pointe en matinée pour le « travail » et heures creuses pour les « loisirs ») ont été rejetées. Les raisons de ce choix sont, d'une part, la cohérence méthodologique avec les autres moyens de transport et, d'autre part, la faisabilité pratique. La « fonction de décroissance avec la distance » considère le fait que le nombre de trajets diminue à mesure que le temps de

parcours augmente. Pour le TIM et les TP, différentes fonctions de décroissance avec la distance ont été testées. Au final, des fonctions ont été proposées pour lesquelles la répartition statistique de la résistance spatiale selon le temps de parcours correspond à la répartition empirique des temps de parcours dans le TIM ou les TP conformément au microrecensement mobilité et transports (MRMT).

Niveaux de qualité

Les seuls indices que sont l'« indice de capacité » et l'« indice d'accessibilité » ne permettent pas de formuler quelque conclusion que ce soit sur la qualité de desserte d'un site déterminé. Pour ce faire, il a fallu définir des *niveaux de qualité* (A à E). Tant au niveau de l'offre (indice de capacité) que de l'accessibilité, une mise à l'échelle ainsi qu'une *catégorisation* qui y est associée ont été définies. La mise à l'échelle permet d'affecter un site à une *catégorie* (I à V). Ces différentes catégories pour l'indice de capacité et l'indice d'accessibilité sont ensuite superposées aux niveaux de qualité A à E.

Vu que pour les deux indices, il s'agit de grandeurs abstraites, une déduction logique des catégories n'était pas possible. Pour une route isolée avec une capacité déterminée, il est possible d'estimer, sur la base des considérations physiques, si la capacité peut être jugée bonne : combien de véhicules peuvent emprunter la section de route pour une distance entre véhicules donnée ? En revanche, l'indice de capacité mélange les capacités des sections avec les longueurs et pondère celles-ci différemment en fonction de l'endroit. Le résultat n'est physiquement plus compréhensible. Pour évaluer si un indice de capacité déterminé est synonyme de qualité *bonne* ou *satisfaisante*, une mise à l'échelle basée sur des données a été utilisée. Pour ce faire, il a été tenu compte de la distribution des fréquences des valeurs d'indices calculées. Sur la base de ces informations et en tenant compte des caractéristiques des cas concrets, il a été déterminé où les limites des catégories se situent. Ainsi, il a par exemple été possible de déterminer que le centre du village de Crans(-Montana), un des quatre cas concrets, devait constituer par définition la limite entre les catégories V et VI pour l'indice de capacité. D'autres mises à l'échelle, entre autres linéaires et logarithmiques, ont été testées, et la représentation des catégories qui en résultent sur une carte géographique suisse a permis de déterminer quelles mises à l'échelle donnent lieu aux limites de catégories les plus plausibles. Pour la suite du processus de normalisation, il convient de contrôler si les limites de catégories doivent être plus largement étayées.

Indicateurs qualitatifs

Il a été considéré comme pertinent que les critères de desserte qualitatifs complémentaires de l'étape 2 viennent compléter la vue d'ensemble des qualités de desserte. Par rapport à l'étude de base, l'importance de ceux-ci a néanmoins été revue à la baisse dans la mesure où ils ne donnent plus lieu à une modification des niveaux de qualité calculés sur la base des indicateurs quantitatifs. Au lieu de cela, chaque indicateur qualitatif se voit attribuer un des cinq profils de valeur suivants : bon – plutôt bon – neutre – plutôt mauvais – mauvais.

En cours de traitement, le nombre de critères qualitatifs pour le TIM provenant de l'étude de base [11] a été ramené aux deux critères les plus importants : la qualité du trafic et la disponibilité des places de stationnement. L'état des infrastructures routières et le risque d'accident ont été considérés, dans le contexte suisse, comme peu déterminants pour la qualité de la desserte. En Suisse, l'état des infrastructures routières est remarquablement bon. Même si l'état de certaines portions de route n'est pas satisfaisant, on peut partir du principe que cela va s'améliorer dans les prochaines années. Sur le plan de la desserte pour les TIM, l'état des routes revêt une importance secondaire. La sécurité routière est sans conteste un sujet important. Du point de vue de la desserte, le risque d'accident pourrait cependant être de moindre importance pour les TIM. Les conducteurs de véhicules pourraient difficilement éviter des sites pour des raisons de sécurité, à la différence du trafic cycliste. Une corrélation étroite entre l'orientation trafic et la qualité du trafic a été attestée et, par conséquent, négligée.

Globalement, les données servant à évaluer la **qualité du trafic** ne cessent de s'améliorer. Mais la déduction basée sur des modèles ne fournit actuellement des données utilisables sur la qualité du trafic que pour des tronçons et non pour des nœuds. Un test avec le calque « conditions de circulation » de Google Maps a fourni des résultats contradictoires dans le cadre du travail de recherche. Par ailleurs, un soutien d'opérateurs privés dans le cadre d'une norme nationale a été considéré comme non approprié. Par conséquent, une collecte locale des temps d'attente moyens a été proposée. L'évaluation et le transfert du profil de valeur des temps d'attente devraient se faire sur le modèle des normes actuellement en vigueur pour la qualité du trafic. Des critères clairs ont été établis pour la collecte des temps d'attente sur place (nœuds, flux, etc. à collecter).

En ce qui concerne la **disponibilité des places de stationnement** accessibles au public, il n'existe pas encore de données au niveau national. Un arbre de critères a pu être développé ; il permet une évaluation aussi objective que possible sur place et un transfert vers un profil de valeur. Pour ce faire, les critères suivants doivent être collectés sur place : taux d'utilisation des places de stationnement, répartition des places de stationnement, présence d'arrêts devant les bâtiments et présence d'un système de gestion du stationnement. Pour définir les places de stationnement déterminantes, il a été proposé de prendre en compte l'utilisation dominante sur le site considéré ainsi que la durée de stationnement maximale autorisée sur les places de stationnement. En aval, des frais de stationnement plus élevés que la moyenne entraînent une dépréciation du profil de valeur d'un niveau.

Suites et besoins de recherches complémentaires

Le présent travail de recherche a permis d'affiner et d'optimiser les deux indicateurs quantitatifs que sont l'« indice de capacité » et l'« indice d'accessibilité » tout en conservant la faisabilité pratique par rapport à l'étude de base [11]. Souvent, le besoin de faisabilité pratique a précisément eu pour conséquence qu'en cas de doute, c'est la méthodologie la plus simple ou la plus « compréhensible » qui est retenue. La série d'indicateurs qualitatifs a pu être ramenée aux deux indicateurs principaux : la « qualité du trafic » et la « disponibilité des places de stationnement ». Pour ceux-ci, une concrétisation a été proposée et testée sur le terrain.

Une norme a été élaborée sur la base de la méthodologie développée dans ce travail ; elle permet aux personnes en charge de la planification de réaliser une évaluation de la qualité de desserte pour tous les sites de Suisse moyennant des efforts raisonnables.

Le centre de recherche est d'avis qu'il existe un besoin de recherche supplémentaire, notamment en ce qui concerne les sujets suivants:

- L'indice de capacité est une densité de réseaux routiers pondérée en termes de capacité, qui ne prend pas en compte le taux d'utilisation. Le fait que la demande de transport véritablement présente ne soit pas prise en compte peut en réduire la pertinence.
- Pour décrire le potentiel du site, deux méthodologies ont été étudiées. La décision d'opter pour la mesure « démographie et emplois » est tombée juste avant la fin du projet, si bien qu'il n'a plus été possible d'évaluer la pondération des données structurelles. Dans la suite du processus de normalisation, la définition du potentiel du site devrait être abordée ou approfondie, en sachant que les données de l'étranger issues de l'élaboration des perspectives d'évolution des transports en Suisse peuvent être reprises.
- L'approche selon laquelle le choix de l'heure considérée pour le calcul de la résistance spatiale (heure de pointe, heure creuse, etc.) dépend de l'utilisation correspondante sur le site considéré a de nouveau été rejetée. Cette décision s'appuie non seulement sur le choix d'une méthodologie simple pour conserver la faisabilité pratique, mais aussi sur la volonté de maintenir une cohérence maximale au niveau des méthodologies pour tous les moyens de transport. Le centre de recherche est d'avis que cette approche demeure justifiée et pourrait, le cas échéant, être reprise.
- Selon l'état de la pratique, une pénalité de changement d'environ sept minutes par changement de véhicule est appliquée pour ce qui est du temps de parcours ressenti dans les TP. Le centre de recherche entrevoit un besoin de recherche supplémentaire

- à cet égard, mais celui-ci devrait toutefois se faire indépendamment de la suite du processus de normalisation.
- La prise en compte des frais de stationnement pour l'évaluation de la disponibilité des places de stationnement a suscité la controverse. Cette question devrait à nouveau être examinée sur une base assez large au cours du processus de normalisation.
 - Les indicateurs qualitatifs ont la particularité de ne pouvoir décrire que l'état actuel, mais pas les états futurs prévus. Pour décrire les états futurs, il convient de formuler une série d'hypothèses – ou de renoncer aux indicateurs qualitatifs. En ce qui concerne ces hypothèses, des indications devraient pouvoir être fournies à la communauté des utilisateur·rice·s.
 - Les critères de desserte qualitatifs sont présentés séparément ; autrement dit, ils n'entraînent pas de modification des niveaux de qualité quantitatifs (p. ex. passage à un autre niveau de qualité en cas de bonnes ou de mauvaises qualités de desserte qualitatives). Dans ce contexte, il convient de s'interroger de manière critique sur le rapport entre l'investissement considérable pour décrire les critères qualitatifs (plusieurs collectes sur place à des fins de représentativité) et la pertinence de ceux-ci.
 - Dans le cadre de ce travail, une carte d'accessibilité a été établie sur la base des données du MNTP. Cette carte est utilisée dans la norme. Il convient de clarifier avec la VSS comment une telle carte peut être mise à disposition en tant que ressource numérique. Par ailleurs, il faudrait vérifier quand et comment une actualisation future est garantie et si une actualisation du MNTP ou des chiffres sur l'emploi ainsi que des statistiques démographiques (en Suisse, mais aussi à l'étranger) est disponible.

Summary

Current situation

At present, the traffic coverage quality of a location or territory is only described by means of public transport (PT) quality classes – and even for these, there is no harmonised Swiss standard. For the other modes of transport (motorised private transport (MPT), as well as pedestrian and cycle traffic), there is no uniform approach to describing traffic coverage quality, so there is no Switzerland-wide intermodal view either.

In the baseline report VSS 2011/106 [11], a two-stage methodological concept with quantitative and qualitative criteria was developed – and considered suitable. The methodology distinguishes between four modes of transport (with individual quality classes) and two coverage-criteria stages. For MPT, these are as follows:

- Stage 1: quantitative
 - Offer/capacity: capacity index
 - Accessibility
- Stage 2: qualitative
 - Network quality: utilisation, transportation quality, traffic orientation and state of road infrastructure
 - Comfort: public and private parking availability
 - Safety: risk of accidents

This research project has added depth and substance to the concept described above. The methods developed were verified using the following four case-study locations: Binz development zone, Route de Saint-Julien development pole, Marthalen-Schilling development pole and Crans(-Montana) village centre. This report documents the work carried out in MPT sub-project 3, which was coordinated with the other sub-projects.

Offer/capacity

The capacity index was introduced to quantify the coverage of a location or territory in terms of transport. It was defined as capacity-weighted road-network density in the vicinity of the location. It thus quantifies the theoretically available offer, irrespective of the actually available capacity of these roads, taking into account the prevailing traffic volume. In the baseline report, it was calculated for each transport-model zone and standardised on the basis of the zone's size. In this research work, three methods for calculating the capacity index were developed and tested, and a proposal for the calculation methodology was thus derived.

The proposed calculation of the capacity index is based on the route capacities [Fz/h] in the national passenger transport model (NPVM). The reason why the NPVM was used instead of cantonal or regional models, which can have a finer resolution, was because of the resulting Switzerland-wide comparability. The perimeter for the calculation encompasses the routes that can be reached from the centre of the location in one MPT trip with a maximum duration of 9 minutes (9-minute isochron). Moreover, the territory within the perimeter is subdivided into 3 sub-territories that can be reached in under 3 minutes, under 6 minutes and under 9 minutes respectively from the centre of the location. As the relevance of low-class roads for a location decreases with distance, the road network included in the calculation is thinned out to varying degrees, depending on the sub-territory. The capacity index is calculated by multiplying the route capacity as per NPVM by the respective route length for each of the three sub-territories within the perimeter and adding them up in a weighted manner. The weighting of the sub-territories decreases as distance from

the location increases. A method in which nodes are prioritised as the performance-determining element in urban networks was rejected – one reason for this being the inhomogeneous representation of nodes in the transport model.

Accessibility

Accessibility is described by means of the accessibility index. This is a quantification of a location's or territory's accessible options in terms of transport. By means of this quantification, different locations can be assessed with regard to their embedding in the overall transport system, taking into account the existing potentials. In its general form, the accessibility index of a location can be described as follows: $E_i = \sum R_{ij} \cdot P_j$. It is the sum of the potentials (P_j) of the destinations that can be reached from this location, weighted by spatial resistance (R_{ij}). In order to maintain methodological congruence between the various modes of transport, accessibility by PT was also calculated in the MPT sub-project. In this research project, the following aspects were discussed in the context of calculating accessibility:

- Spatial resolution

As research has shown, the spatial resolution chosen for a territory can have a major influence on the result. This phenomenon, the so-called 'modifiable areal unit problem' (MAUP), is why a very fine spatial resolution (hectare matrix) was chosen in the baseline report. However, it has been shown that calculation of PT accessibility on the basis of a hectare matrix is very computationally intensive. Hence, a change to a spatial resolution based on transport zones was considered in this research work. In particular, this was because of the new NPVM's finer-resolution zones and also because the applied journey times, taken from the NPVM, are available at transport-zone level. From the research team's point of view, the coarser resolution is justified, despite sacrifices regarding precision. In fact, it was shown that a finer resolution at hectare-matrix level does not necessarily entail greater precision: If the accessibility indices are divided into classes, as is done for the quality classes, there is little difference between classifications of the hectare-matrix points within a transport-model zone.

- Potential P_j

Alongside the approach from the baseline report (residents and jobs), an alternative metric based on the traffic generation shown by the NPVM was tested for describing potential. One aim of this change was to better take into account traffic-intensive facilities with little structural data. Another aim was to circumvent the problem of difficult-to-obtain foreign data (especially regarding jobs). For foreign countries, traffic generation is not completely represented in the NPVM, so a two-stage regression model was developed and applied to estimate it. The structural data for abroad from Transport Outlook 2050 was also used for comparison. From the comparison, it could not be determined which of the two methods leads to better results. For the standardisation process, residents and jobs were proposed as the metric for potential, especially because of the complexity of calculating traffic generation abroad.

- Spatial resistance R_{ij}

The spatial resistance indicates to what extent an achievable potential is weighted and thus also how strongly it influences the accessibility of a location. For calculation of journey time, daily traffic was proposed – and for PT, the 'perceived journey time'. Approaches that involved selecting journey time according to the respective type of use (e.g. morning rush hour for 'work' and off-peak hours for 'leisure') were rejected: firstly for reasons of methodological consistency with the other modes of transport and secondly because of practicality. The so-called 'distance-decay function' takes into account the fact that the number of trips decreases in relation to increasing journey time. Different distance-decay functions were tested for MPT and PT. Finally, functions were proposed with which the statistical distribution of spatial resistance in relation to journey time matches the empirical distribution of journey times in MPT and PT according to the Mobility and Transport Microcensus (MTMC).

Quality classes

The two indices ‘capacity index’ and ‘accessibility index’ alone do not enable any conclusive statements to be made about the coverage quality of a particular location. For this purpose, so-called *quality classes* (A to E) had to be defined. Scaling and an associated *categorisation* were defined for both the offer (capacity index) and accessibility. Based on the scaling, a location can be assigned to a *category* (I to V). These categories, for the capacity index and accessibility index respectively, are then superimposed to produce the quality classes A to E.

As both indices are abstract values, no objectively logical derivation of categories was possible. For an individual road with a certain capacity, physical considerations can be used to assess whether it is possible to judge the capacity as good: How many vehicles can fit within the road’s cross-section, given an assumed vehicle spacing? The capacity index, on the other hand, combines cross-sectional capacities with lengths – and gives these different weightings, depending on the location. The result is no longer physically tangible. For this reason, data-based scaling was used, so as to be able to assess whether a certain capacity index represents *good* or *unsatisfactory* quality. Here, the frequency distribution of the calculated index values was incorporated and, on the basis of this information and the characteristics of the case-study locations, it was determined where the boundaries of the categories are. For instance, it was thus determined that the Crans(-Montana) village centre, as one of the four case-study locations, should by definition form the boundary between categories V and IV for the capacity index. Linear, logarithmic and other scalings were tested and, based on representation of the resulting categories on a map of Switzerland, it was decided which scalings lead to the most plausible category boundaries. For the ongoing standardisation process, it should be assessed whether the category boundaries ought to be defined on a broader basis.

Qualitative indicators

It was still considered correct that supplementary qualitative coverage criteria in stage 2 complete the overall view of coverage quality. Compared to the baseline report though, their relevance was downgraded to the extent that they no longer lead to any change in the quality classes calculated on the basis of the quantitative indicators. Instead, each qualitative indicator is rated according to a so-called ‘five-level rating scale’: good – rather good – neutral – rather poor – poor.

During processing, the number of qualitative criteria for MPT from the baseline report [11] was reduced to the two most important ones: transportation quality and parking availability. The state of road infrastructure and the risk of accidents were considered to be of little significance to coverage quality in the Swiss context. The road infrastructure in Switzerland is in an exceptionally good state. Even if individual road sections are in an inadequate state, improvements thereof can be expected in the coming years. The state of the roads is of secondary importance with regard to coverage for MPT. Road safety is undoubtedly an important issue. With regard to coverage though, the risk of accidents is likely to be of no great significance to MPT. Drivers (in contrast to cyclists) are unlikely to avoid locations for safety reasons. Traffic orientation was found to strongly correlate with transportation quality and therefore ignored.

The data sources for assessing **transportation quality** are generally improving all the time. However, model-based derivation currently only provides useful data on transportation quality for routes and not for nodes. A test using the ‘traffic’ layer in Google Maps delivered contradictory results within the scope of the research work. Furthermore, reliance on private providers in the context of a national standard was not considered appropriate. Thus, local surveying of average waiting times was proposed. The assessment and conversion of the waiting-times rating should be based on the currently valid standards for transportation quality. Clear criteria were defined for on-site surveying of waiting times, regarding which nodes, which flows etc. are to be surveyed.

Similarly, for **parking availability**, there are not yet any Switzerland-wide data sources on publicly accessible parking spaces. Here, a criteria tree was developed, with which it is

possible to make an on-site assessment that is as objective as possible and to convert it into a rating. This involves surveying the following criteria on site: utilisation of parking spaces, distribution of parking spaces, presence of places to stop in front of buildings, and presence of a parking guidance system. In order to determine which parking spaces are significant, it was proposed that the dominant type of use at the surveyed location, as well as the parking spaces' maximum permissible parking duration, be taken into account. Later in the process, above-average parking costs cause the rating to be downgraded by one level.

Conclusions and need for further research

In this research work, the two quantitative indicators 'capacity index' and 'accessibility index' were refined and optimised more than in the baseline report [11], while maintaining practicality. In particular, the requirement of practicality often led to the simpler or more 'understandable' method being chosen in case of doubt. The set of qualitative indicators was reduced to the two essential ones: 'transportation quality' and 'parking availability'. For these, operationalisation was proposed – and tested in the field.

Based on the method developed in the course of this work, a standard was developed, which allows planners to carry out assessment of coverage quality for all locations in Switzerland, with a manageable amount of effort.

From the research team's point of view, there is a need for further research on the following topics in particular:

- The capacity index is a capacity-weighted road-network density that does not take utilisation into account. The fact that the actual demand for transport is not incorporated can reduce informativeness.
- Two methods were assessed for describing a location's potential. The decision in favour of the metric 'residents and jobs' was made just before the project was completed. As a result, there was no longer time to assess the weighting of structural data. During the ongoing standardisation process, the definition of location potential would have to be discussed and (if necessary) enhanced, in view of the fact that foreign data from the work on the Swiss Transport Outlook report can be incorporated.
- An approach in which the time considered for calculation of spatial resistance (rush hour, off-peak hours etc.) is made dependent on the respective type of use at the surveyed location was again rejected, not only in order to maintain practicality by selecting a simple method, but also because of the aspiration to keep the methods as consistent as possible for all modes of transport. From the research team's point of view, this approach is still justified and could be adopted again if necessary.
- In accordance with current practice, a transfer penalty of around seven minutes per transfer is applied to the perceived journey time in PT. The research team sees a need for further research in this regard, although this should be separate from the ongoing standardisation process.
- The consideration of parking costs upon assessment of parking availability has led to heated debates. In the course of the standardisation process, this matter should be discussed again on a broad basis.
- The qualitative indicators are inherently only able to describe the current state and not planned future states. In order to describe future states, a number of assumptions have to be made – or else the qualitative indicators must be dispensed with. It would have to be possible to provide users with information about these assumptions.
- The qualitative coverage criteria are presented separately, i.e. they do not lead to any change in the quantitative quality classes (e.g. no shifting from one quality class to another if qualitative coverage criteria are rated as good or poor). In this context, the relationship between the considerable effort required to describe the qualitative criteria (multiple on-site surveys for representativeness) and their relevance can be critically assessed.
- In the course of this work and on the basis of NPVM data, an accessibility map was created, which is used in the standard. How such a map can be made available as a

digital resource is to be clarified with the VSS. Another matter that should be looked into, is that of when and how a future update can be ensured whenever updates of the NPVM, job figures or population figures (in Switzerland, but also abroad) are available.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Ziele

1.1.1 Forschungspaket

Zurzeit bestehen zur Beschreibung von Erschliessungsqualitäten lediglich die Güteklassen für den öffentlichen Verkehr (ÖV), und auch diese nicht als normierter schweizerischer Standard. Für die anderen Verkehrsmittel – motorisierter Individualverkehr (MIV) sowie Fuss- und Veloverkehr – fehlt ein einheitlicher Ansatz zur Beschreibung von Erschliessungsqualitäten und somit existiert auch keine schweizweite verkehrsmittelübergreifende Darstellung.

Im **Grundlagenbericht** [11] «Normierte gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten - Grundlagenbericht» wurde im Rahmen einer Bedürfnisanalyse festgehalten, dass die Qualität der Erschliessung von Arealen und Quartieren für die Abstimmung von Siedlungs- und Verkehrsentwicklung eine herausragende Rolle spielt. Dazu bedarf es einer einheitlichen Methodik, um die Erschliessungsqualität über alle Verkehrsmittel hinweg beschreiben zu können. In [11] konnten bereits die Bedürfnisse, die methodischen Ansätze und Grenzen hin zu normierten gesamtverkehrlichen Erschliessungsqualitäten aufgezeigt werden. Vorgängig zum Methodikkonzept wurde eine breite Literaturanalyse durchgeführt, eine Bedarfsanalyse bei Planungsstellen durchgeführt und der Forschungsstand dargelegt. Auch eine VSS-Umfrage im Sommer 2017 bei Kantonsingenieuren und Kantonsplanern bestätigte den Bedarf für Normen gesamtverkehrlicher Erschliessungsqualitäten.

Der **Begriff «Erschliessungsqualitäten»** wird in [11] folgendermassen umschrieben: *Es wird damit versucht, die Angebotsqualitäten des motorisierten Individualverkehrs, öffentlichen Verkehrs sowie Fuss- und Veloverkehr möglichst umfassend abzubilden (Angebot und Infrastruktur, Zuverlässigkeit, Komfort, etc.). Es geht dabei nicht um den raumplanerischen Erschliessungsbegriff im engeren Sinne (ja/nein), sondern um die umfassenden Angebotsqualitäten im Umfeld des interessierenden Gebietes.*

1.1.2 Teilprojekt MIV

Das Teilprojekt 3 MIV umfasst die mit den anderen Teilprojekten abgestimmte Ermittlung der Methoden zur Beschreibung der Erschliessungsqualität MIV. Solche Methoden fehlen heute bei der vergleichenden Beurteilung von Standorten oder geografischen Gebieten. Dadurch lassen sich innerhalb des MIV, aber auch im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln, keine objektiv einschätzbaren Aussagen zur Qualität der Erschliessung machen. Vielerorts beklagen Bürgerinnen und Bürger oder Behörden die Beeinträchtigung der Erschliessungsqualität durch Stau und Zeitverluste, ohne dass diese auf einer einheitlichen Skala eingeordnet werden könnten. Gewerbetreibende monieren, dass Städte mit Verkehrsberuhigung und einem knappen Parkfeldangebot die Erschliessungsqualität ihrer Geschäfte verschlechtern, ohne dass sich dies beziffern lässt. Und ländliche Gebiete können sich trotz hochrangiger Infrastruktur benachteiligt fühlen, da die Erreichbarkeit der Zentren unter Verkehrsüberlastungen leidet.

1.2 Methodisches Konzept und Rahmenbedingungen

In VSS [11] wurde ein zweistufiges Methodikkonzept mit quantitativen und qualitativen Kriterien erarbeitet (Abb. 1), anhand von Fallbeispielen getestet und im Grundsatz als zweckmässig beurteilt. Die Methodik unterscheidet vier (mit einzelnen Güteklassen versehene) Verkehrsmittel und zwei Stufen von Erschliessungskriterien (quantitativ vs. qualitativ) gemäss nachfolgender Abbildung. Dieses Konzept wird im vorliegenden Forschungspaket weiter vertieft und konkretisiert. Das letztlich resultierende methodische Gesamtkonzept wird im Synthesebericht zum Forschungspaket zusammengefasst [12].

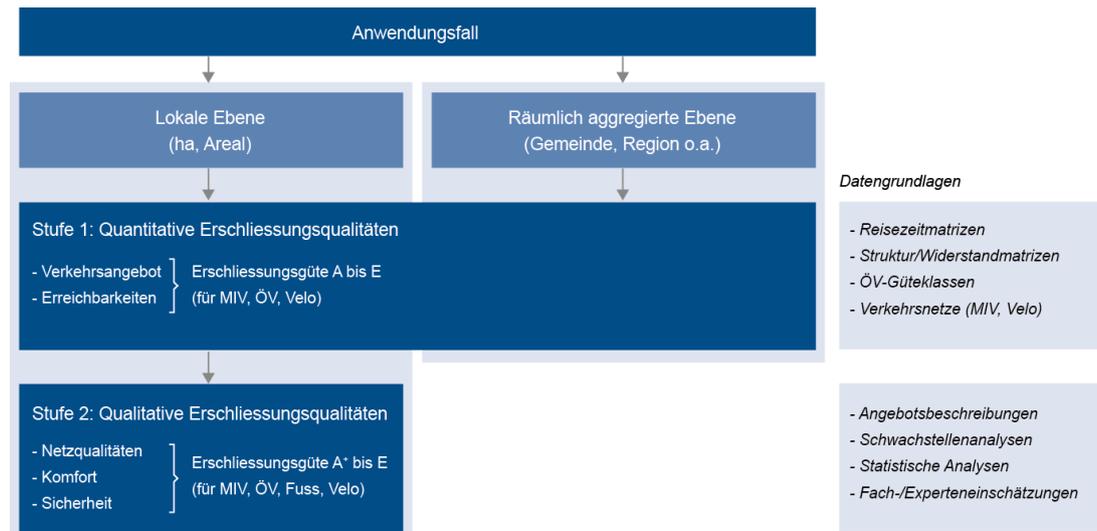


Abb. 1 Generelles Vorgehen zur Erhebung von gesamtverkehrlichen Erschliessungsqualitäten gemäss Grundlagenstudie [11]

Zu Beginn des Forschungspakets wurden verschiedene Rahmenbedingungen durch das TP1 «Gesamtverkehr und Koordination» definiert [12]. Nachfolgend sind die wichtigsten aufgeführt.

Räumliche zeitliche Systemgrenzen

- Die Erschliessungsqualitäten müssen in der ganzen Schweiz erhoben werden können (alle Raumtypen, inklusive grenznahe Standorte).
- Alle Kriterien müssen auf der lokalen Ebene erhoben werden.
- Die Beschreibung der Kriterien erfolgt für den jeweils verfügbaren aktuellsten Zustand.
- Bei den Kriterien mit einer zentralen schweizweiten Datengrundlage (z.B. NPVM) sollen diese grundsätzlich auch von der entsprechenden Stelle aufbereitet, der Anwenderschaft zur Verfügung gestellt und in periodischen Abständen aufdatiert werden.
- Es ist transparent auszuweisen, welche Einschränkungen bei grenznahen Standorten zu beachten sind.

Auswahl Erschliessungskriterien

- Die Erschliessungskriterien folgen grundsätzlich einer Angebotslogik. Nachfragedaten dienen wo notwendig als Gewichtung, es geht aber nicht darum, die Nachfragesituation an einem Standort darzustellen.
- Die Kriterienauswahl ist Gegenstand des Forschungspakets, d.h. die Auswahl aus der Grundlagenstudie [11] soll nochmals kritisch hinterfragt werden. Es soll jedoch, wenn möglich, an den drei Kriteriengruppen festgehalten werden:
 - Angebotskriterien: Netzdichte
 - Erreichbarkeitskriterien: Raumwiderstände bzw. Reisezeiten, gewichtet nach Potenzialen
 - Qualitative Erschliessungskriterien: mit speziellem Fokus auf Zuverlässigkeits- und Komfortaspekte
- Bei den quantitativen Erschliessungskriterien müssen die Datengrundlagen beim MIV und ÖV in schweizweit harmonisierter Form vorliegen. Bei den quantitativen Kriterien sind vor allem die Parameter und verwendeten Datengrundlagen zu prüfen und die inhaltliche Vergleichbarkeit (und Gleichwertigkeit) zwischen ÖV, MIV und Veloverkehr sicherzustellen.

- Bei den qualitativen Kriterien ist der Anwendbarkeit in der Praxis bzw. Objektivierbarkeit der Kriterien eine grosse Bedeutung beizumessen.

Parametrisierung der Erschliessungskriterien

- Die Parameter sind so zu definieren, dass eine schweizweite Anwendung aufgrund der vorliegenden Datengrundlagen möglich ist (quantitativ oder qualitativ) und sowohl städtische wie ländliche Standorte beschreiben lassen.
- Die Skalen sind einheitlich für eine gesamtschweizerische Anwendung und nicht nach Raumtypen zu differenzieren.

Datengrundlagen und -aufbereitung

- Die verwendeten Datengrundlagen müssen öffentlich zugänglich, periodisch nachgeführt und transparent dokumentiert sein.
- Bei den quantitativen Erschliessungskriterien müssen die Datengrundlagen beim MIV und ÖV in schweizweit harmonisierter Form vorliegen.
- Grenznahe Standorte (auf Schweizer Territorium) sind grundsätzlich mit vergleichbaren Erschliessungskriterien zu beschreiben. Dazu sind die verfügbaren Datengrundlagen und deren Qualität besonders zu prüfen.
- Bei den qualitativen Erschliessungskriterien sind lokal oder regional spezifische Informationsgrundlagen zu verwenden. Die Art der verwendeten Grundlagen sollte jedoch schweizweit vergleichbar sein. Bei den Kriterien, wo kantonale oder lokale Informationsgrundlagen notwendig sind, erfolgt die Aufbereitung später anwendungsspezifisch. D.h. in diesen Fällen ist speziell auf möglichst einfache Handhabung in der Praxis zu achten.
- Sind Datengrundlagen heute noch lückenhaft, aber in absehbarer Zeit in schweizweit harmonisierter Form zu erwarten, ist dies mit Blick auf die Weiterentwicklung der Methodik festzuhalten (inkl. Angabe von realistischen Zeithorizonten).

1.3 Vorgehen und Berichtsaufbau

1.3.1 Forschungspaket

Die Grobstruktur des Forschungsprojekts zeigt Abb. 2. Für das Forschungspaket ist eine integrale **gesamtverkehrliche Sichtweise** zentral. Die Aufarbeitung der quantitativen und qualitativen Erschliessungsqualitäten erfordert aber je Verkehrsmittel eine hinreichende analytische Tiefenschärfe. Zudem haben die Angebotsqualitäten der einzelnen Verkehrsträger unterschiedliche Eigenschaften, die zunächst separat aufbereitet werden sollen. Deshalb hat man sich für einzelne Lose entschieden. Die Abstimmung zwischen den Teilprojekten wird jedoch von Beginn an sichergestellt.

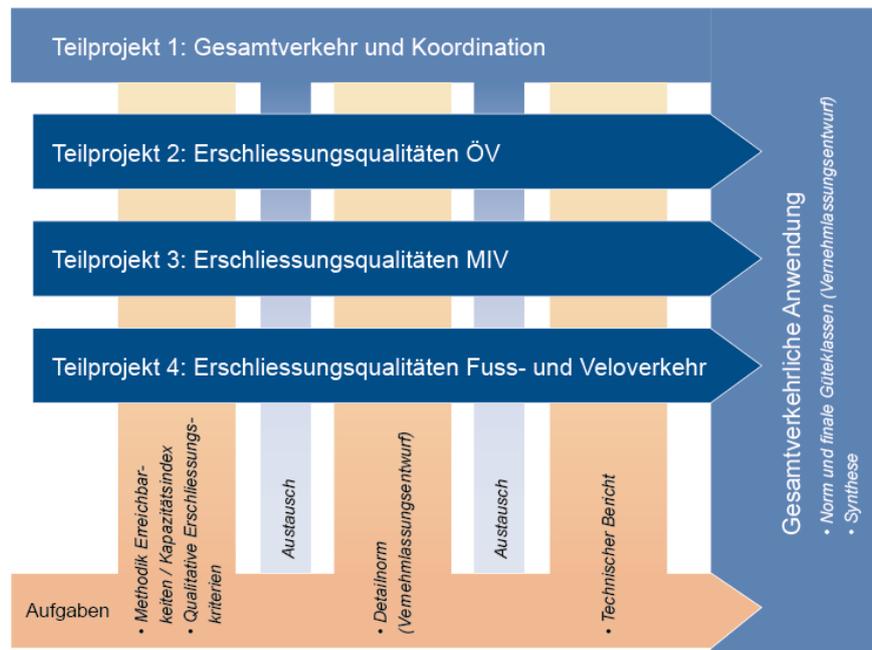


Abb. 2 Struktur Forschungspaket Gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten

Das TP1 «Gesamtverkehr und Koordination» hat die allgemeinen Rahmenbedingungen vorgegeben, stimmt die Methodiken aufeinander ab und leitet letztlich gesamtverkehrliche Darstellungsweisen / Indices ab. Die Erkenntnisse sind in einem separaten Synthesebericht zusammengefasst [12]. Das TP1 war somit vor allem zu Beginn und am Schluss tätig. Dazwischen hatte das TP1 vor allem koordinierende Funktion zur Begleitung der anderen Teilprojektarbeiten. Die Bearbeitung der Erschliessungskriterien der entsprechenden Verkehrsarten als solche (quantitativ und qualitativ) erfolgte durch die TP2 «ÖV», TP3 «MIV» und TP4 «Fuss-/Veloverkehr».

Zeitlich und inhaltlich wird das Forschungspaket somit über die gesamte Bearbeitungsdauer integral erarbeitet (mit jeweils gemeinsamen BK-Sitzungen). Das Forschungspaket wurde innerhalb von 2.5 Jahren erarbeitet.

1.3.2 Teilprojekt MIV

Die Grobstruktur des Teilprojektes MIV zeigt Abb. 3. Das Vorgehen sieht vor, dass zunächst in einem Arbeitsschritt 1 die Grundlagen aus dem Grundlagenbericht beurteilt werden und der Vertiefungsbedarf festgelegt wird (vgl. Kapitel 2). Im Arbeitsschritt 2 erfolgt die Vertiefung der quantitativen Indikatoren, namentlich des 'Kapazitätsindex' (vgl. Kapitel 3.2) und der Erreichbarkeit (vgl. Kapitel 3.3). In Arbeitsschritt 3 werden die qualitativen Indikatoren vertieft und ggf. auf die wesentlichen reduziert (vgl. Kapitel 4). Die Festlegung der Güteklassen und Wertprofile erfolgt in Arbeitsschritt 4 (vgl. Kapitel 3.4 für die quantitativen Indikatoren bzw. Kapitel 4.4 für die qualitativen Indikatoren). Abschliessend wird die entwickelte Methode in Arbeitsschritt 5 in einen Detailnormentwurf überführt und in Arbeitsschritt 6 dokumentiert.

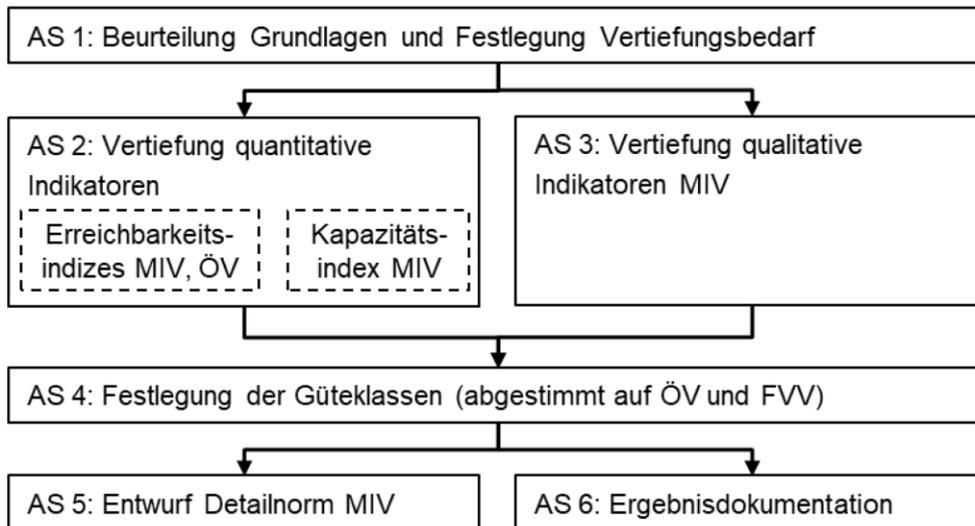


Abb. 3 Struktur Teilprojekt MIV

Teilprojektübergreifend wurden vier Fallbeispielstandorte definiert (vgl. Tab. 1). Die Fallbeispielstandorte folgen einer Hektarrasterlogik, d.h. dass Entwicklungsgebiete nicht das gesamte Gebiet umfassen, sondern jeweils das in der Tabelle visualisierte Teilgebiet. Im Rahmen des vorliegenden Teilprojekts wurden die Fallbeispiele auf unterschiedliche Weise als «Werkzeug» in die Arbeit einbezogen. Für manche Indikatoren wurden die Fallbeispiele während der Methodenentwicklung berechnet, um die finale Methode festlegen zu können (z.B. Kapazitätsindex, vgl. Kapitel 3.2). Bei anderen Indikatoren hingegen wurde eine Methode entwickelt und anschliessend mittels der Fallbeispiele getestet (z.B. Parkfeldverfügbarkeit, vgl. Kapitel 4.5). Daher findet sich im vorliegenden Bericht kein Kapitel «Fallbeispiele», sondern sie sind fallweise in den Bericht eingeflochten, so wie sie in der Bearbeitung berechnet wurden.

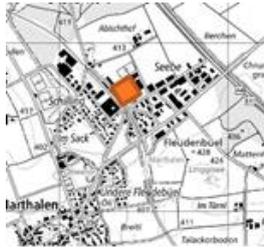
Tab. 1 Fallbeispielstandorte



Entwicklungsgebiet Binz/SZU (Zürich / ZH → Agglomerationszentrum):
 Die Gebiete rund um die SZU-Bahn-Haltestelle Zürich-Binz haben in den letzten 10-20 Jahren eine sehr starke Entwicklung erfahren. Gemäss kommunalem Richtplan der Stadt Zürich gilt das Gebiet als «Urbanes Kerngebiet» - zentrales nutzungsgemischtes Gebiet mit stadtraumbildender Baustruktur sowie einer angestrebten Ausnutzung von >250% (Wohnen+Arbeiten). Die Verdichtung des Gebietes ist mittlerweile stark fortgeschritten. Als Untersuchungsobjekt dient der Standort der Wohnüberbauung direkt von Bahn-Haltestelle liegend in nordwestlicher Richtung (ca. 10-jährige Siedlung). Das Gebiet ist sehr gut mit ÖV erschlossen (10' Takt SZU sowie diverse radiale und tangential Buslinien). MIV-seitig sind jedoch einige städtische Abschnitte zu 'überwinden' und das öffentliche Parkraumangebot ist begrenzt.



ESP Route de Saint-Julien (Genève / GE → Agglomerationszentrum plus Grenzstandort):
 Das Gebiet liegt auf der Entwicklungsachse zwischen Lancy und Saint-Julien (F). Gemäss Agglomerationsprogramm Grand Genève ist der ESP in der Priorität A (Nr. UD4-05b). Im Zuge von CEVA hat Lancy eine direkte und stark ausgebaute Bahnverbindung zu Annemasse/F erhalten. Das Areal selbst ist aber knapp 2 km von der Bahnlinie entfernt und zurzeit mit Bus erschlossen. Es wird jedoch eine neue Tramlinie von Lancy bis Saint-Julien/F gebaut (Eröffnung bis 2024/25). Auf denselben Zeitpunkt werden verschiedene Verdichtungsprojekte umgesetzt sein. Das Gebiet liegt rund 2.5 km von der französischen Grenze. Die MIV-Erschliessung ist mit unmittelbarer Nähe zum Autobahnanschluss Perly sehr gut. Insofern besteht trotz stark verbessertem ÖV-Angebot auch in Zukunft eine starke Konkurrenz zum MIV, insbesondere bezüglich Grenzgänger.



ESP Marthalen-Schilling (Marthalen / ZH → ländlicher Standort):
Marthalen-Schilling ist einer (von nur zwei) ländlichen Entwicklungsschwerpunkten gemäss Richtplan des Kantons Zürich. Der Bahnhof Marthalen liegt in der Industriezone nördlich des eigentlichen Dorfkerns. Die SBB hat im Rahmen der 4. Teilergänzung S-Bahn Zürich entschieden, den Bahnhof weiter südlich näher zum Dorfzentrum zu verschieben. Daraus ergaben sich sowohl in der Industriezone neue Entwicklungsmöglichkeiten als auch am neuen Bahnhofstandort. Die Gemeinde Marthalen erhielt mit der Direktverbindung der S12 ein attraktiveres Bahnangebot von/nach Zürich. Der nächste Autobahnanschluss (Benken/A4) liegt 1 km nördlich.



Crans(-Montana) Dorfzentrum (VS → Berggebiet, Tourismuszentrum):
Crans-Montana ist ein berühmtes Skigebiet im Kanton Wallis. Am 1. Januar 2017 fusionierte Mollens mit den Gemeinden Chermignon, Montana und Randogne zur neuen Gemeinde Crans-Montana. Mit knapp 1000 Einwohnern ist Crans-Montana zwar eine eher kleine Gemeinde. Die touristische Bedeutung ist aber sehr gross und der Anteil Zweitresidenzen ebenfalls. Das Fallbeispiel dient vor allem auch aus topografischen Aspekten als Ergänzung zu den mittelländischen Fallbeispielen. Das untersuchte Areal, Dorfzentrum Crans, liegt auf 1450 m.ü.M in unmittelbarer Nähe der Talstation der Bergbahn (Crans – Merbé – d'Er). Die Talstation ist auch als Verkehrsintensive Einrichtung im Kantonalen Richtplan eingetragen. Die Bahn-Endhaltestelle liegt knapp 2 km östlich davon. Trotzdem ist auch das Dorfzentrum Crans noch in der ÖV-Güteklasse B (wegen dichtem Busangebot). Es dürfte interessant sein, wie die Velo-seitige Erschliessungsqualität beurteilt werden kann.

2 Stand der Forschung

2.1 Angebot, Kapazität und Verkehrsfluss

Der Kapazitätsindex stellt die verkehrstechnische Quantifizierung der Erschliessung eines Standorts oder eines Gebiets dar. Die Kapazität hängt u.a. vom Verkehrsfluss ab. Der Verkehrsfluss umfasst die Menge an Verkehr, die auf einem gegebenen Abschnitt einer Strasse zu einem bestimmten Zeitpunkt fliesst.

Die Kapazität einer Strecke wird mit dem Fundamentaldiagramm (FD) der Verkehrstechnik beschrieben. Das FD stellt die Variablen Verkehrsfluss q [Fz/h], Verkehrsdichte k [Fz/km] und mittlere Geschwindigkeit v_m [km/h] gegenüber und lässt auf dieser Basis Aussagen zur Kapazität einer Strasse zu. Die Variablen sind über die Gleichung:

$$q = v \cdot k$$

miteinander verknüpft. Sind zwei Grössen bekannt, kann die dritte berechnet werden. Abb.4 zeigt das theoretische Fundamentaldiagramm von Verkehrsdichte k (x-Achse) und Verkehrsfluss q (y-Achse). Die Steigung einer Geraden an jeden Punkt auf der Kurve entspricht der mittleren Geschwindigkeit v_m . Mit dem Fundamentaldiagramm lassen sich zwei verschiedene Zustände bestimmen: Links (grüner Bereich) wird ein stabiler Zustand (freier Fluss) beschrieben. Im stabilen Bereich nimmt mit zunehmender Verkehrsdichte auch der Verkehrsfluss linear zu. Rechts (roter Bereich) ist der instabile Zustand (Stau) aufgeführt, bei welchem mit zunehmender Verkehrsdichte der Verkehrsfluss abnimmt. Der maximale Verkehrsfluss (q_{max}) bei optimaler Dichte (k_{opt}) ist die Kapazität.

Es gibt diverse Einflussfaktoren auf das FD. Beispielsweise verschiebt sich mit zunehmendem Anteil des Schwerververkehrs das Maximum nach links (geringere Fahrzeugdichte k , da Lastwagen mehr «Platz» benötigen) und nach unten (geringere Kapazität, da $q=k \cdot v$). Ferner können u.a. die Strassenbedingungen, Verkehrssicherheit, Gestaltung des Strassenraums oder das Verkehrsmanagement die Form des FDs beeinflussen.

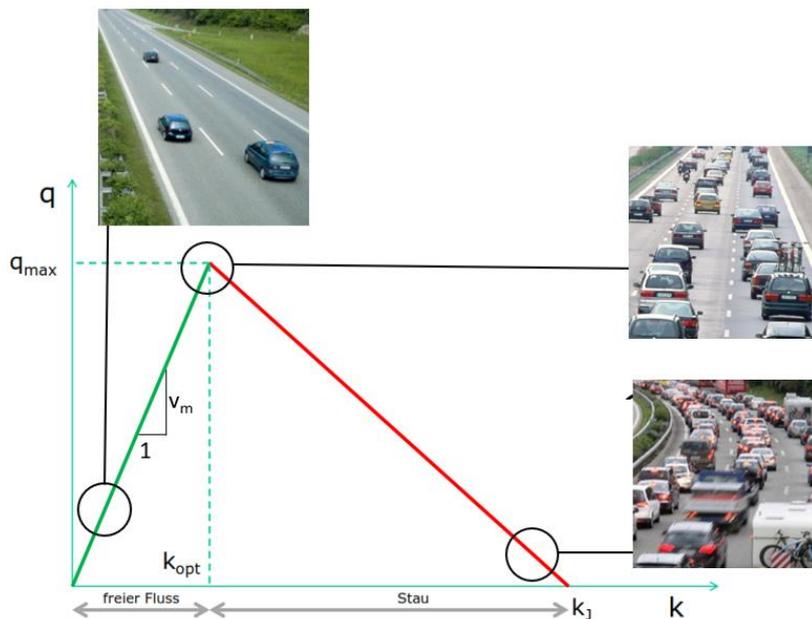


Abb.4 Theoretisches Fundamentaldiagramm mit Illustration der jeweiligen Zustände

Für den MIV sind heute verkehrstechnische Kennzahlen wie Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität in Gebrauch. Dazu bestehen diverse Forschungsarbeiten¹ und Normen. In den letzten Jahren wurden Anstrengungen im Hinblick auf die Erfassung der intermodalen Leistungsfähigkeit unternommen (z.B. [1] und [2]).

Für die Auslastung bzw. den Verkehrsfluss oder Verkehrsqualität stossen neben Verkehrsmodellen zunehmend Floating Car Data (FCD), sogenannte Probe Data, auf Interesse (vgl. z.B. [3], [4]). Durch die Digitalisierung der Fahrzeuge und Popularität von Smartphone Navigationsapps gelang es den grossen Anbietern von FCD-Daten (Bspw. Here und TomTom), ihre Penetrationsrate stark zu steigern, was die Daten immer verlässlicher macht. Die FCD machen die in Verkehrsmodellen oft simplifiziert implementierten geringeren Kapazitäten an Knoten dann auch sichtbar. Dies ist für eine urbane Anwendung wichtig, da in Städten die Kapazität des Netzes im Wesentlichen durch die Kapazität an Knoten bestimmt wird [5].

Für die Berechnung des Kapazitätsindex stellt sich die Frage, ob die theoretisch mögliche Kapazität verwendet wird oder die Restkapazität bis zu einem noch zu definierenden Zustand im FD. Die qualitative Bewertung der Verkehrsqualität kann strecken- oder knotenbezogen vorgenommen werden.

2.2 Erreichbarkeit

Der Ansatz der **Erreichbarkeit** stellt den Bezug zwischen Raum und Verkehr her. Einen Überblick über Modelle der Raumwirtschaftstheorie und Wirtschaftsgeographie liefert etwa Kleinewefers [6]. Erreichbarkeit bezeichnet die Qualität eines Raumpunktes, die sich aus seinen verkehrlichen Beziehungen (meist ausgedrückt in Reisezeiten) zu anderen Raumpunkten und deren Attraktionspotenzial ergibt (z.B. Einwohner und/oder Arbeitsplätze). In der Regel handelt es sich um eine Potenzialoptik. D.h. es wird der Reiseaufwand zu allen möglichen Zielorten berücksichtigt, gewichtet mit allen potenziell erreichbaren Attraktoren am Zielort. Arbeitsplätze werden oft als Proxy-Variable für die Wirtschaftstätigkeit verwendet. Die Bevölkerung kann die Arbeitskräfte an ihrem Wohnort repräsentieren, aber auch Proxy-Variable für die Möglichkeiten der sozialen Interaktion sein. Die Erreichbarkeit kann aber in der Theorie auch sehr spezifisch berechnet werden. Zusammengefasst kann sie nach folgenden Kriterien unterschieden werden [7]:

- *Wann?* Sowohl die Reisezeiten als auch die Öffnungszeiten variieren über den Tag. Mit dem MIV ist man i.d.R. nachts schneller an einem Ziel, jedoch haben die meisten Ziele nachts geschlossen, bzw. gibt es für viele Funktionen keine Nachfrage in der Nacht. Darüber hinaus ist die Erreichbarkeit mit dem ÖV für viele Ziele nachts schlicht gar nicht vorhanden. Ausserdem haben verschiedene Ziele eine tageszeitabhängige Wichtigkeit, bspw. erhöht eine Diskothek nur den Nutzen in der Nacht. Auch unterscheidet sich der Nutzen saisonal und wochentagsspezifisch (bspw. Freizeitverkehr).
- *Was?* Es können alle Arbeitsplätze für eine Analyse berücksichtigt werden, aber die Frage, ob es die richtigen sind, wird dabei ausgeklammert. Generalisierende Methoden berücksichtigen dies nicht und würden zu guten Ergebnissen, trotz einseitiger Ziele führen.
- *Wie viel ist genug?* Viele Erreichbarkeitsindizes geben an, dass der Nutzen bspw. mit jedem zusätzlichen Supermarkt weiter steigt. Ausserdem wird nicht berücksichtigt, ob die Anzahl und Kapazität der Ziele für die Nachfrage ausreichen.
- *Wer?* Verschiedene Personen haben unterschiedliche Bedürfnisse nach möglichen Zielen.
- *Wo?* Darüber hinaus ist die Bereitschaft, wie weit man für verschiedene Ziele (Freizeit, Einkauf, Arbeit, ...) fährt, stark unterschiedlich.

¹ z.B. SVI 2007/005: Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr – Vorstudie oder VSS 2017/624: Verkehrsqualität von Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstrassen innerorts

Wenn Unternehmen neue Standorte wählen, zählen Faktoren der Erreichbarkeit zu ihren wichtigsten Indikatoren. Für sie ergeben sich Produktivitätsvorteile aus «Branchen-Clustering» und verbessertem Zugang zu Arbeitskräften, Lieferanten und Kunden [8].

Zur Erreichbarkeit existieren bereits diverse Forschungsarbeiten u.a. [9]–[11], die differenzierte Ansätze verwenden. Ferner gibt es bereits kommerzielle Anbieter, die anwendungsbereite Lösungen für die Berechnung von Erreichbarkeiten zur Verfügung stellen (bspw. Conveyal oder Goat). Diese Dienstleister nutzen meist öffentlich verfügbare Daten (bspw. OSM oder GTFS-Daten), um die entsprechenden Produkte zur Verfügung zu stellen.

Die einzelnen Aspekte der Erreichbarkeit wie Räumliche Auflösung, Potenzial und Raumwiderstand werden detailliert in Kapitel 3.3 diskutiert und anhand von Beispielanwendungen illustriert.

2.3 Parkierung

Weniger verfügbare und aufschlussreiche Quellen liegen aktuell noch im Bereich der **Parkierung** vor. Hier sind normative Grundlagen auf Gemeindeebene vorhanden, die an den Werten der VSS-Norm 40 281 gemessen werden können. Der Kanton Zürich beispielsweise hat im Hinblick auf die Agglomerationsprogramme den Stand der Parkierungsregelungen in den Gemeinden erhoben. Zu den öffentlichen Parkfeldern verfügen Städte und Gemeinden über Informationen zu deren Lage und Anzahl. Bis wann solche Daten im Rahmen von Open Government Data Initiativen öffentlich und maschinenlesbar verfügbar gemacht werden, ist derzeit noch nicht voraussehbar. Für bewilligte Parkfelder auf privatem Grund sind solche Daten aber erst vereinzelt im Aufbau begriffen. Hier liegen bisher nur Stichprobenerhebungen vor, z.B. aus dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr. Aus dem SVI Forschungsprojekt VPT 20 00C (Nachhaltige Ansätze zur Parkraumplanung) könnte im Jahr 2024 eine homogene Datenlage für der Wohnnutzung zugeordnete Parkfelder vorliegen. Zurzeit gibt es nur ein privatwirtschaftliches Internetportal (Parking.ch), das den Anspruch hat, öffentlich zugängliche (private und öffentliche) Parkfelder in der Schweiz abzubilden [13]. Die Vollständigkeit dieses Portals kann jedoch nicht bestätigt werden.

Für die Erschliessungsqualität wichtiger als die totale Anzahl der Parkfelder ist der Anteil verfügbarer Parkfelder. Genaue Daten zur Auslastung von Parkfeldern können entweder durch Zählung von Ein- und Ausfahrten bei räumlich abgetrennten Parkflächen (bspw. Parkhäuser) oder durch Sensoren ermittelt werden. Dabei ist es schwierig die Daten von den meist privaten Anbietern von bspw. Parkhäusern zu bekommen. Sensoren für öffentliche Parkfelder sind oft nicht vorhanden und auch in Zukunft ist deren Einführung flächendeckend eher unwahrscheinlich. Aufgrund dessen haben sich verschiedene Studien, mit der Messung der Parkfeldverfügbarkeit auseinandergesetzt. Viele der Arbeiten nutzen die Parksuchzeit, als Proxy für die Parkfeldverfügbarkeit [14]–[16], Montini u. a. für die Stadt Zürich mit Hilfe von GPS-Tracking Daten [16]. Hierfür evaluierten sie den Unterschied zwischen der gewählten Route und der kürzesten Route zum letztendlich gewählten Parkfeld. In einem derzeit laufenden Forschungsprojekt an der Frankfurt University of Applied Science wird in einer GPS-basierten Studie ein Erklärungsmodell (Variablen bspw.: Verkehrsdichte, Datum, Uhrzeit, Standort, ...) für die Parksuchzeit entwickelt [17].

2.4 Forschungsbedarf

In Bezug auf den MIV stellt sich der zentrale Forschungsbedarf wie folgt dar:

Für den Kapazitätsindex sind verschiedene Ansätze und Grundlagen denkbar. Es ist zu klären, welche Messweise der Kapazität die Erschliessungsqualität am besten beschreibt, die zugleich fachlich fundiert und technisch machbar ist. Unter diese Frage fällt beispielsweise:

- Festlegung eines geeigneten Radius'
- Prüfung verschiedener Gewichtungssysteme
- Prüfung des Einflusses von Knotenkapazitäten
- Berücksichtigung tatsächliche (Rest-) oder theoretische Kapazität

Für den Erreichbarkeitsindex ist insbesondere zu klären, welche Reisezeiten zu messen sind und welche Parametrisierung der Erreichbarkeitsformel die Erschliessungsqualität am besten beschreibt. Unter diese Frage fällt beispielsweise:

- Gewichtung der absoluten Attraktion: Verifizierung der Wahl der sogenannten Präsenzbevölkerung, Prüfen von Alternativen
- Gewichtung nach der Entfernung vom Ursprungsort: Sensitivitätsanalysen zu verschiedenen Widerstandsfunktionen («Distance-Decay-Funktionen»), Variation der β -Koeffizienten
- Prüfung des Umgangs mit Strukturdatenquellen im Ausland
- Abwägen zwischen der Verwendung verschiedener Reisezeiten wie beispielsweise belastetes oder unbelastetes Netz, Tagesverkehr oder Spitzenstundenverkehr, Berücksichtigung von Zu- und Abgangszeiten, Wartezeiten etc.
- Prüfen der Spezifizierung des Erreichbarkeitsindex nach den erläuterten Kriterien

Für die qualitativen Indikatoren stellen sich insbesondere folgende Fragen:

- Klärung der Existenz einer schweizweit homogenen Datenquelle und deren Verwendung
- Abstimmung mit den weiteren Teilprojekten, wie quantitative Informationen in eine qualitative Beurteilung umzusetzen sind
- Aussagekräftigkeit von grossflächigen Daten (Verkehrsmodell, FCD) für kleinräumige qualitative Beurteilung

3 Quantitative Erschliessungskriterien

3.1 Übersicht und Grundsätze

Die quantitativen Kriterien gemäss generellem Vorgehen (vgl. Kapitel 1.3.1) umfassen Angebots- und Erreichbarkeitsindikatoren. Im Grundlagenbericht wurden diese wie folgt festgelegt:

- **Kapazitätsindex:** kapazitätsgewichtete Strassennetzdichte im Umfeld eines Standortes oder in einem geografischen Gebiet
- **Erreichbarkeitsindex:** Raumwiderstände zwischen Quell-/Zielorten, gewichtet mit Bevölkerung und Arbeitsplätzen

Bei den quantitativen Indikatoren ist die schweizweite Herleitung eine zentrale Voraussetzung, damit die Bewertungen verschiedener Standorte miteinander vergleichbar sind. Aus diesem Grund ist für die Berechnung eine schweizweit einheitliche Datengrundlage zu verwenden. Das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) bietet sich hierfür an. Es ist in seiner heutigen Version bereits sehr detailliert.

Beim **Kapazitätsindex** MIV handelt es sich um eine kapazitätsgewichtete (normierte) Strassennetzdichte im Umfeld des Standortareals. Im Grundlagenbericht wurde der Index pro Verkehrsmodellzone berechnet und anhand der Zonenfläche normiert. Für die Vertiefung ist zu prüfen, stattdessen den Kapazitätsindex für noch zu bestimmende Radien zu berechnen. Dies hätte u.a. den Vorteil, dass die Berechnung unabhängig von künftigen Modellanpassungen mit Implikationen auf die Verkehrsmodellzonengrösse ist. Es sollen zudem unterschiedliche Gewichtungssysteme geprüft werden. So könnte z.B. die Gewichtung einer Strecke mit zunehmendem Abstand zum betrachteten Standort abnehmen. Ausserdem soll eine Integration von Knoten als kapazitätsmindernde Elemente im Strassennetz geprüft werden.

Der **Erreichbarkeitsindex** wurde im Grundlagenbericht gemäss der Erreichbarkeitsformel «Zielpotenzial multipliziert mit dem Raumwiderstand» berechnet. Dabei wurde für die Potenzialberechnung des Zielortes die sogenannte Präsenzbevölkerung aus Einwohnern und Arbeitsplätzen herangezogen. Für den Raumwiderstand wurden Reisezeiten gemäss NPVM (MIV) oder HAFAS (ÖV) verwendet. Für die Vertiefung sind sowohl für das Zielpotenzial als auch für den Raumwiderstand alternative Ansätze zu prüfen.

Bei allen methodischen Diskussionen hinsichtlich der quantitativen Indikatoren steht die Praxistauglichkeit im Vordergrund. Grundsätzlich ist für die Praxisanwendung wünschenswert, dass Aussagen zum Kapazitätsindex und zum Erreichbarkeitsindex auf Hektarrasterebene getroffen werden können. Insbesondere die Rechenvorschrift für die ÖV-Erreichbarkeit auf Hektarrasterebene hat im Grundlagenbericht grosse Herausforderungen aufgezeigt. Der Aufwand für die Berechnungen war beträchtlich, sodass die Rechnerressourcen sich an ihre Grenzen gekommen sind.

3.2 Methodik Angebot / Kapazität

3.2.1 Einleitung

Der **Kapazitätsindex** stellt die verkehrstechnische Quantifizierung der Erschliessung eines Standorts oder eines Gebiets dar. Für den MIV sind heute verkehrstechnische Kennzahlen wie Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität in Gebrauch. Beim Kapazitätsindex MIV handelt es sich hingegen um eine kapazitätsgewichtete Strassennetzdichte im Umfeld des Standortareals. Er soll das theoretisch verfügbare Angebot, ungeachtet der tatsächlich verfügbaren Kapazität, welche sich mit Berücksichtigung der vorherrschenden Verkehrsmenge im Sinne des beschriebenen Fundamentaldiagramms (vgl. Kapitel 2.1) ermitteln lassen, quantifizieren.

Für die Berechnung des Kapazitätsindex¹ wurde im Grundlagenbericht das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) als Datengrundlage vorgeschlagen. Aufgrund der Netzauflösung des damals aktuellen NPVM wurde angeregt, bei der Berechnung des Kapazitätsindex¹ auch kantonale Modelle in Betracht zu ziehen. In der Zwischenzeit hat sich die Datenlage stark verbessert: Das NPVM mit Stand 2017 weist eine deutlich feinere Zonierung und Netzdichte auf als das Vorgängermodell. Die Auflösung ist zudem auch höher als bei einigen aktuellen kantonalen Verkehrsmodellen. Weil für die Berechnung des Kapazitätsindex¹ eine schweizweit einheitliche Datengrundlage essenziell ist, wird als Datengrundlage auf das NPVM 2017 zurückgegriffen und es werden keine kantonalen Verkehrsmodelle berücksichtigt. Da kantonale Modelle unterschiedliche räumliche Auflösungen aufweisen, könnte bei Verwendung derselben nicht sichergestellt werden, dass die Ergebnisse schweizweit vergleichbar sind. Dennoch gilt es bei der Verwendung des NPVM zu beachten, dass gewisse verwendete Attribute beim Aufbau des Modells nicht exakt bestimmt werden konnten. So stützt sich die Berechnung der Isochronen (Kapitel 3.2.2) auf Geschwindigkeiten im (unbelasteten) Netz (v_0): Je höher die Geschwindigkeit, desto grösser werden die Isochronen. Die verwendeten Geschwindigkeiten sind auf Basis einer limitierten Empirie eine geschätzte Grösse, insbesondere im untergeordneten Netz. Die verwendeten Streckenkapazitäten wurden für die Modellerstellung pauschal aus den aktuellen Normen abgeleitet und sind nicht in jedem Einzelfall korrekt.

Im Rahmen dieses Arbeitsschritts wurden insgesamt drei verschiedene Ansätze für die Berechnung des Kapazitätsindex¹ untersucht und beurteilt, welche Methode die besten Resultate liefert. Bei zwei Methoden stehen die Streckenkapazitäten im Fokus (Methode 1 und Methode 1+) und eine Methode fokussiert auf die Knotenkapazitäten (Methode 2). Alle Methoden wurden mit dem NPVM 2017 (DWV-Modell) und der Software VISUM 2020 anhand von vier Fallbeispielen getestet.

Bei der Beurteilung der Methoden zum Kapazitätsindex ist die Herausforderung, dass es sich um abstrakte Grössen handelt, die einen Standort charakterisieren. Ob Resultate als gut beurteilt werden, hängt zum einen davon ab, ob die Ergebnisse für die Fallbeispiele plausibel erscheinen: Schneiden diejenigen Fallbeispiele am besten ab, bei denen es aufgrund ihrer Charakteristik zu erwarten war? In den Entscheid, welche Methode die besten Ergebnisse liefert, müssen aber auch theoretische Überlegungen einfließen, die nicht direkt mess- oder auswertbar sind.

Die untersuchten Methoden berücksichtigen alle den gleichen Betrachtungsperimeter und die gleiche Gewichtung, die in Kapitel 3.2.2 vorgestellt werden. In den Kapiteln 3.2.3 bis 3.2.5 werden die Methoden im Detail erläutert.

3.2.2 Betrachtungsperimeter und Gewichtung

Da sich der Kapazitätsindex auf die Erschliessung eines Standorts oder eines Gebiets bezieht, beinhaltet der Betrachtungsperimeter nur das Strassennetz in unmittelbarer Nähe des betrachteten Gebiets. Um dem Standort näher gelegene Strecken stärker zu gewichten, werden drei diskrete Teilgebiete gebildet. Die Festlegung der Teilgebiete erfolgt über Isochronen (Linien gleicher Zeit) basierend auf der Reisezeit im unbelasteten Netz t_0 gemäss NPVM. Dabei wird von demjenigen Knoten ausgegangen, der zum betrachteten Hektarrasterpunkt am nächsten liegt. Dies ermöglicht, anders als bei Festlegung der Teilgebiete mit Hilfe von konzentrischen Kreisen, das tatsächlich erreichbare Umfeld des Standortes zu berücksichtigen. Die Teilgebiete der Isochronen überlappen nicht, sondern sind Ringe («Donuts»). Die 6-Minuten-Isochrone reicht z.B. demnach von der 3-Minuten-Isochrone bis zur 6-Minuten-Isochrone. Isochronen können als Quell- oder Zielisochronen berechnet werden. Quell-Isochronen messen die Zeit ab einem bestimmten Punkt wegfahrend, Ziel-Isochronen messen die Reisezeit zu einem bestimmten Punkt hinfahrend. Aufgrund gerichteter Netzelemente wie Abbiegeverbote, Einbahnstrassen oder HLS-Halbanhschlüsse sind Quell- und Zielisochronen in der Regel nicht identisch. Um diesen Effekt zu berücksichtigen, erfolgen die Berechnungen jeweils sowohl für den Quell- als auch für den Zielisochronen-Bereich und werden anschliessend summiert. Im Gegensatz zum geographischen Radius berücksichtigen Isochronen die Strassennetzstruktur. Für die Abgrenzung des Betrachtungsperimeters wurden zwei Ansätze getestet:

- Ansatz A: 3-, 6- und 9-Minuten-Isochronenbereiche
- Ansatz B: 5-, 10- und 15-Minuten-Isochronenbereiche

Aufgrund methodischer Implikationen, die weiter unten noch ausgeführt werden, wurde eine *diskrete* dreiteilige Einteilung der Isochronen gewählt und keine kontinuierliche Gewichtung gewählt.

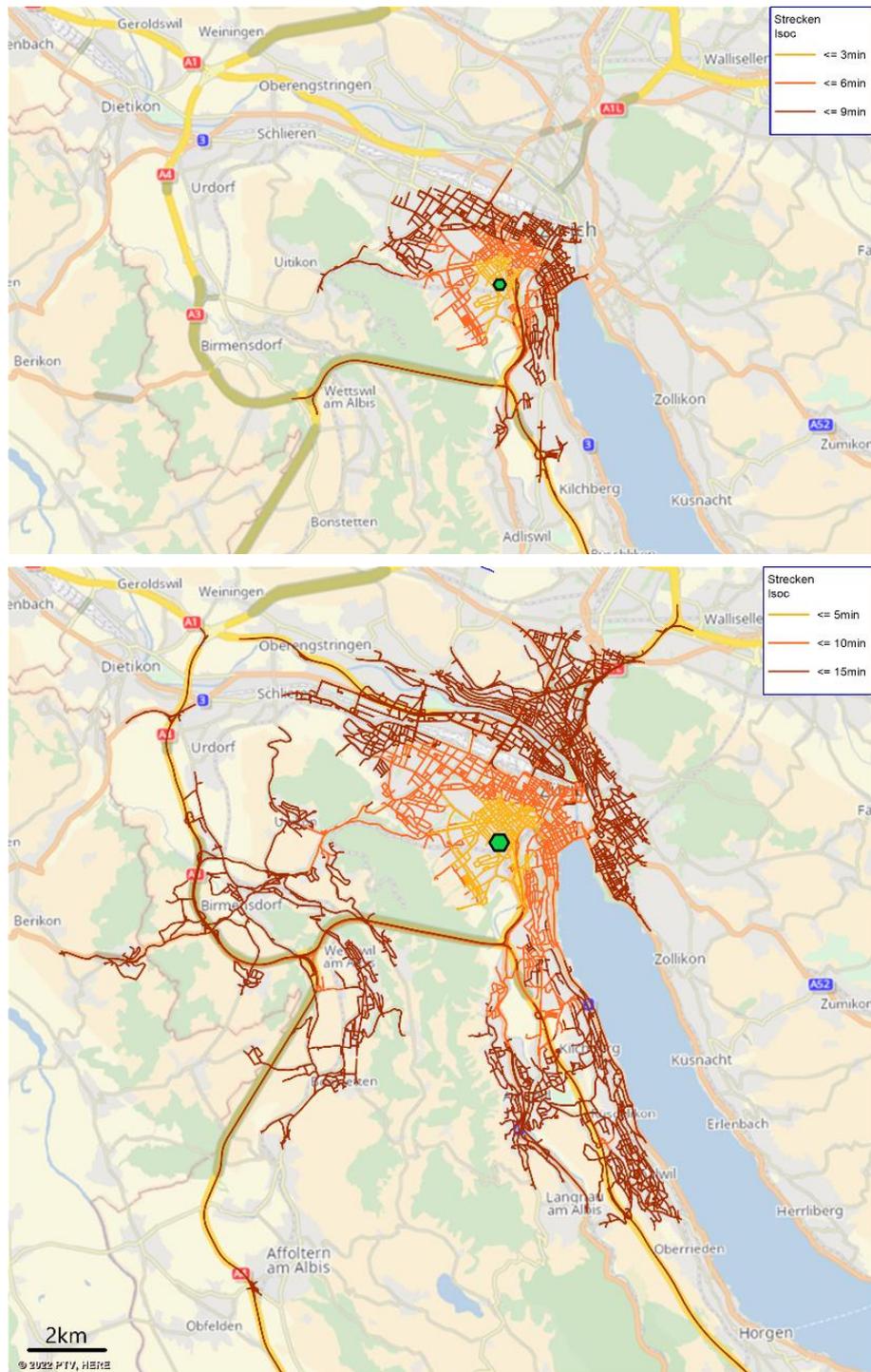


Abb.5 3-, 6- und 9-Minuten- (oben); 5-, 10- und 15-Minuten-Isochronenbereiche (unten) vom Fallbeispielstandort Entwicklungsgebiet Binz (grüner Punkt)

In Abb.5 ist ersichtlich, dass sich die 3-, 6- und 9-Minuten-Isochronenbereiche deutlich besser eignen, um das Strassennetz in unmittelbarer Nähe zu beschreiben. Die 15-Minuten-Isochrone reicht schon sehr weit und umfasst nicht nur das Strassennetz in *unmittelbarer Nähe* eines betrachteten Standorts. Diese Einschätzung wird auch bestätigt, wenn der Mikrozensus 2015 hinsichtlich der Fahrzeiten im MIV ausgewertet wird. In Tab. 2 ist ersichtlich, welcher Isochronenbereich welchen Anteil der MIV-Wege beinhaltet. Lesebeispiel: Der 3-Minuten-Isochronenbereich umfasst 7% der MIV-Wege, d.h. 7% aller MIV-Wege sind kürzer oder gleich drei Minuten lang. Bei 59% aller Wege beim 15-Minuten-Isochronenbereich des Ansatzes B kann nicht mehr von einem *Nahbereich* gesprochen werden. Noch enger gewählte Isochronen wie z.B. 1- oder 2-Minuten-Isochronen sind aufgrund der Modellfeinheit und -genauigkeit nicht zweckmässig. Aufgrund dieser Überlegungen werden die 3-, 6- und 9-Minuten-Isochronenbereiche (Ansatz A) für die Berechnung des Kapazitätsindex' festgesetzt.

Tab. 2 Anteil der MIV-Wege nach Isochronenbereich

Isochronenbereiche Ansatz A	Anteil der Wege gemäss MZMV 2015
3-Minuten-Isochronenbereich	7%
6-Minuten-Isochronenbereich	24%
9-Minuten-Isochronenbereich	28%
Isochronenbereiche Ansatz B	Anteil der Wege gemäss MZMV 2015
5-Minuten-Isochronenbereich	23%
10-Minuten-Isochronenbereich	43%
15-Minuten-Isochronenbereich	59%

Wie eingangs beschrieben, werden die drei Isochronenbereiche unterschiedlich gewichtet. Die naheliegendsten Strecken erhalten das höchste Gewicht, während die am weitesten entfernten Strecken im Betrachtungsperimeter das kleinste Gewicht erhalten. Für die Berechnung des Kapazitätsindex' wurden zwei Gewichtungen getestet (vgl. Tab. 3).

Tab. 3 Gewichtung der Teilbereiche

Isochronen-Bereich	Gewichtung 1	Gewichtung 2
3-Minuten-Isochronen-Bereich	3	5
6-Minuten-Isochronen-Bereich	2	$\frac{5}{3} = 1.67$
9-Minuten-Isochronen-Bereich	1	1

Gewichtung 1 sieht vor, dass die Isochronenbereiche mit zunehmendem Abstand zum betrachteten Standort weniger stark gewichtet werden. Die Gewichtungen mit 1, 2 und 3 sind dabei relativ nahe beieinander. Gewichtung 2 verfolgt einen geometrischen Ansatz. Er berücksichtigt den Umstand, dass die Fläche der Isochronenbereiche und damit auch die Anzahl der berücksichtigten Strecken mit zunehmender Entfernung zum Standort zunimmt. Wenn man sich die Isochronenbereiche vereinfacht als Donuts vorstellt die Minuten der Isochronenbereiche als Radius definiert, so ist die Fläche des 6-Minuten Donuts mit rund 85 genau drei Mal und die des 9-Minuten Donuts mit rund 141 genau fünf Mal so gross wie die des 3-Minuten Donuts (Fläche = ca. 28). Abb.6 veranschaulicht diese Zusammenhänge. Die Gewichtung 2 soll diesen Umstand ausgleichen und dafür sorgen, dass alle drei Donuts unter Berücksichtigung der Gewichtung die gleichen Flächenbeiträge leisten.

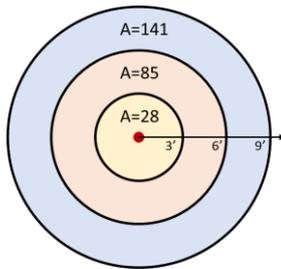


Abb.6 Herleitung Gewichtung 2

3.2.3 Methode 1

Methode 1 orientiert sich stark an der Methode gemäss Grundlagenbericht. Es wird die längengewichtete Streckenkapazität im Umfeld des Areal berechnet. Statt eines vorgeschlagenen fixen Radius' ab Areal – wie im Grundlagenbericht vorgeschlagen – wird mit den drei bereits definierten Isochronenbereichen (gemäss Kapitel 3.2.2) gearbeitet.

Wie im Grundlagenbericht vorgeschlagen, werden die Produkte aus Streckenkapazität und -länge pro Isochronenbereich aufsummiert. Es erfolgt jedoch keine Normierung über die (Isochronen-)Fläche, wie im Grundlagenbericht vorgeschlagen. Mit einer Normierung über die Fläche würden unterschiedlich weitläufige Isochronenbereiche aufgrund des Netzcharakters wieder aus dem Kapazitätsindex herausgerechnet.

Der Kapazitätsindex (KI) berechnet sich demnach wie folgt:

$$\begin{aligned}
 KI &= \alpha_{3\text{Min}} \cdot \sum_{13} \text{Streckenkapazität} * \text{Streckenlänge} + \\
 &\alpha_{6\text{Min}} \cdot \sum_{16} \text{Streckenkapazität} * \text{Streckenlänge} + \\
 &\alpha_{9\text{Min}} \cdot \sum_{19} \text{Streckenkapazität} * \text{Streckenlänge}
 \end{aligned}$$

mit α = Isochronenbereich-Gewichtung 1 oder 2

Resultate der Beispielanwendung

Die Beispielanwendung anhand der vier Fallbeispiele gibt ein differenziertes Bild des Kapazitätsindex' (siehe Abb.7). Um die Abhängigkeit der Gewichtung zu prüfen, wurden die zwei unterschiedliche Gewichtungen gemäss Tab. 3 getestet. Unabhängig von der Gewichtung erreichen die vier Beispielstandorte deutlich abgestufte Kapazitätsindizes, d.h. die gewählte Methode kann die Beispielstandorte ausreichend differenziert bewerten. Den höchsten Kapazitätsindex erreicht der Entwicklungsschwerpunkt (ESP) Route de Saint-Julien, gefolgt vom ESP Marthalen-Schilling. Den niedrigsten Kapazitätsindex weist das Dorfzentrum von Crans(-Montana) auf.

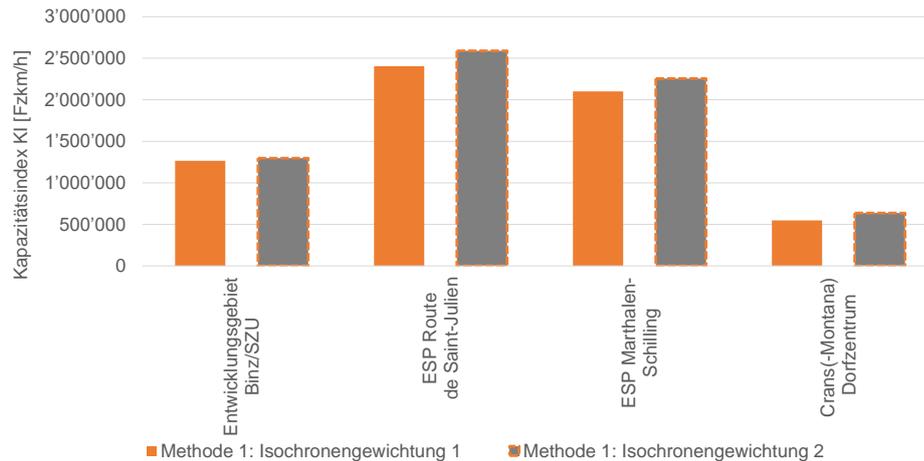


Abb.7 Vergleich des Einflusses der Isochronen-Bereich-Gewichtung Methode 1

Würdigung der Methode 1

Die Methode 1 besteht einerseits durch ihre Einfachheit, kann andererseits die Beispielstandorte dennoch ausreichend differenziert beschreiben. Damit ist die Methode gut kommunizierbar. Dennoch ist folgender Schwachpunkt zu benennen: In Abb.8 ist ersichtlich, dass die Netzfeinheit des verwendeten (Verkehrs-)Modells den Kapazitätsindex bestimmt: Die Hauptachsen bestimmen die Reichweite des 3-Minuten-Isochronenbereichs (I3). In der linken Netzstruktur in Abb.8 ist das Netz weniger fein und enthält keine Quartierstrassen, während in der rechten Netzstruktur Quartierstrassen vorhanden sind. Das Beispiel rechts hat einen höheren Kapazitätsindex, obwohl für Übergänge in Netzbereiche ausserhalb I3 gleich hohe Kapazitäten vorhanden sind, nämlich nur die Hauptachsen. Dies könnte zum Problem führen, da im NPVM das Ausland eine geringere Netzfeinheit aufweist als das Inland. Damit wären auslandsnahe Standorte bei der Berechnung des Kapazitätsindex' benachteiligt. Für die Behebung dieser Problematik sind folgende Lösungen denkbar:

- Lösung 1: Für vergleichende Analysen wird der Index nur mit Modellen bzw. nur in Teilbereichen von Modellen mit derselben Feinheit bezüglich der Strecken angewandt.
- Lösung 2: Für vergleichende Analysen von grenznahen mit nicht grenznahen Standorten bzw. Gebieten auf Basis des NPVM werden nur die Strecken berücksichtigt, welche auch im nahen Ausland im Modell enthalten sind. Die Strecken werden nach Streckentyp resp. FRC² (vgl. Tab. 27) gefiltert.
- Lösung 3: Für vergleichende Analysen von grenznahen mit nicht grenznahen Standorten bzw. Gebieten auf Basis des NPVM wird ein Umrechnungsfaktor bestimmt. Der Umrechnungsfaktor berücksichtigt die unterschiedliche Feinheit des Netzes pauschal.
- Lösung 4: Methode 1+ (vgl. Kapitel 3.2.4) reduziert diese Eigenschaft etwas.

² Functional Road Class: Die funktionale Klassifizierung definiert die Bedeutung einer Strasse innerhalb des Verkehrsnetzes. Hieraus leitet sich die Rolle einer Strasse bei der Bewältigung des Verkehrsflusses durch ein Straßennetz ab.

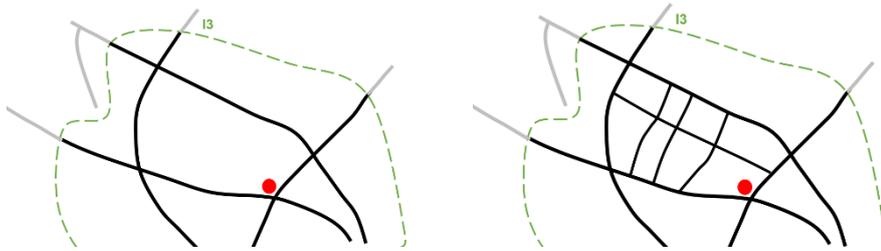


Abb.8 Beispiel für Auswirkungen der Netzfeinheit auf den Kapazitätsindex (links: weniger feines Netz, rechts feines Netz mit Quartierstrassen), grau: nicht berücksichtigte Strecken

Als weiterer Nachteil der Methode ist anzumerken, dass in Verkehrsmodellen, welche Knotenwiderstände berücksichtigen, die Knotenkapazitäten oft leistungsbestimmend sind. Die vorgeschlagene Methodik berücksichtigt jedoch nur Streckenkapazitäten.

- Lösung: Für die Anwendung von Modellen mit Knotenkapazitäten wird anstelle der Summe der Streckenkapazitäten, die Summe der Knotenkapazitäten verwendet.

Ein weiterer Kritikpunkt an der Methode ist, dass diese die *Vernetztheit* des Netzes ignoriert: Im Beispiel in Abb.9 bestimmen die Hauptachsen die Reichweite des 3-Minuten-Isochronenbereichs (I3). In der linken Netzstruktur ist das Netz zusammenhängend, während es in der rechten Netzstruktur aus reinen Sackgassen besteht, welche aus Nutzersicht keine «Kapazität» im Sinne von möglichen Ausweichrouten darstellen. Beide Netzstrukturen weisen jedoch ungefähr denselben Kapazitätsindex auf.

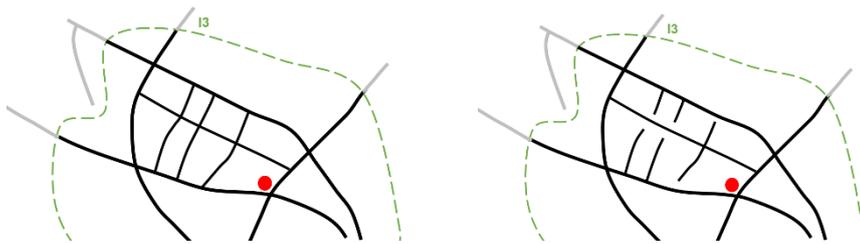


Abb.9 Beispiel für Vernetztheit (links: ohne Sackgassen, rechts mit Sackgassen)

- Lösung: Methode 2 (vgl. Kapitel 3.2.5) versucht die Vernetztheit in die Berechnung des Kapazitätsindex' zu integrieren.

Abschliessend lässt sich feststellen, dass Methode 1 dem intuitiven Verständnis eines Kapazitätsindex' stark entspricht und einfach zu verstehen und zu berechnen ist.

3.2.4 Methode 1+

In Kapitel 3.2.3 wurde aufgezeigt, dass die Methode 1 den Nachteil hat, dass die (modelierte) Netzfeinheit einen grossen Einfluss auf den Kapazitätsindex hat. Bei nicht einheitlicher Auflösung der Berechnungsgrundlage – zum Beispiel bei grenznahen Standorten – kann das zu Verzerrungen führen. Um der Feinheit des Netzes nicht zu viel Gewicht bei der Bewertung einzuräumen, wurde die Methode 1 zur Methode 1+ weiterentwickelt. Im Gegensatz zur Methode 1 gibt Methode 1+ an, wie hoch die Kapazität **am Rand** der drei Isochronenbereiche ist. Es werden somit nur diejenigen Strecken berücksichtigt, die eine Isochronengrenze berühren. Die Methode beschreibt somit die lokale Kapazität nach 3, 6 und 9 Minuten Fahrzeit. Es erfolgt keine Normierung und keine Gewichtung über die Länge oder die Fläche. Der Kapazitätsindex berechnet sich demnach wie folgt:

$$KI = \alpha_{3\text{Min}} \cdot \sum_{13} \text{Streckenkapazität} +$$

$$\alpha_{6\text{Min}} \cdot \sum_{16} \text{Streckenkapazität} +$$

$$\alpha_{9\text{Min}} \cdot \sum_{19} \text{Streckenkapazität}$$

mit α = Isochronenbereich-Gewichtung 1 oder 2

Resultate der Beispielanwendung

Die Beispielanwendung anhand der vier Fallbeispiele gibt ein differenziertes Bild des Kapazitätsindex' (vgl. Abb.10). Auch hier wurden, um die Abhängigkeit der Gewichtung zu prüfen, die zwei unterschiedlichen Gewichtungen der Isochronenbereiche getestet.

Unabhängig von der Gewichtung erreicht der ESP Route de Saint-Julien den höchsten und das Dorfzentrum von Crans(-Montana) den niedrigsten Kapazitätsindex. Die Reihenfolge der anderen Beispielstandorte verändert sich durch die unterschiedliche Gewichtung nicht. Die Entwicklungsgebiete Binz/SZU, Route de Saint-Julien und Marthalen-Schilling erreichen einen um ca. 10-15% höheren Kapazitätsindex mit der Gewichtung 2, für Crans-Montana ist der Unterschied mit +26% stärker ausgeprägt.

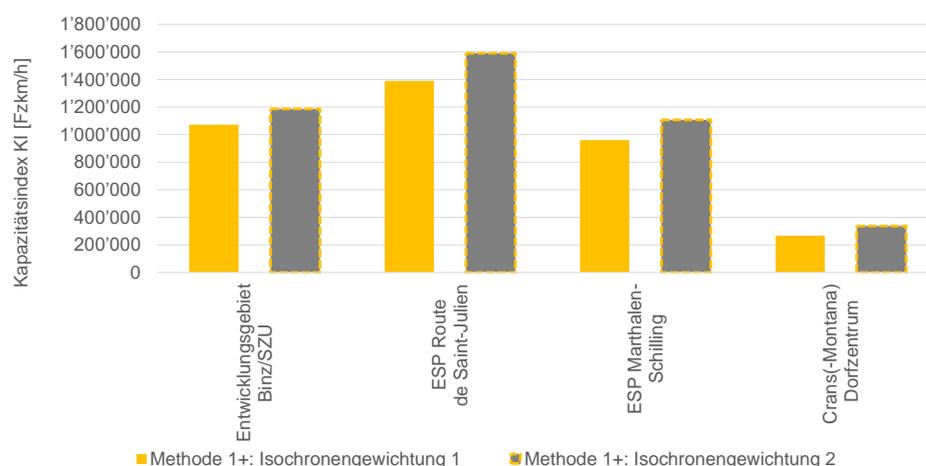


Abb.10 Vergleich des Einflusses der Isochronen-Bereich-Gewichtung Methode 1+

Würdigung der Methode 1+

Hauptziel der Weiterentwicklung der Methode 1 zur Methode 1+ war, den Kapazitätsindex robust gegen unterschiedliche Netzauflösungen zu machen. Die Feinheit des Modells hat

je nach Situation nach wie vor eine Wirkung auf den Kapazitätsindex, wie das Beispiel in Abb.11 zeigt. Die Hauptachsen bestimmen die Reichweite des 3-Minuten-Isochronenbereichs (I3). In der oberen linken Netzstruktur ist das Netz weniger fein und enthält keine Quartierstrassen, während in der oberen rechten Netzstruktur Quartierstrassen vorhanden sind. Beide Beispiele weisen aufgrund der gewählten Methode denselben Kapazitätsindex auf. Liegen die Quartierstrassen jedoch am Rand des Isochronen-Bereichs wie in Abb.11 im unteren linken Beispiel, ist der Kapazitätsindex höher. Somit kann die Schwäche der unterschiedlichen Netzfeinheiten bspw. im NPVM an Standorten in der Nähe vom grenznahen Ausland auch in Methode 1+ nicht vollständig kompensiert werden. Analog zu Methode 1 kann auch Methode 1+ keine Knotenkapazitäten berücksichtigen und die Vernetztheit wird ebenfalls nicht berücksichtigt. Für diese Problematiken gelten die gleichen Lösungsvorschläge wie für Methode 1 (vgl. Kapitel 3.2.3).

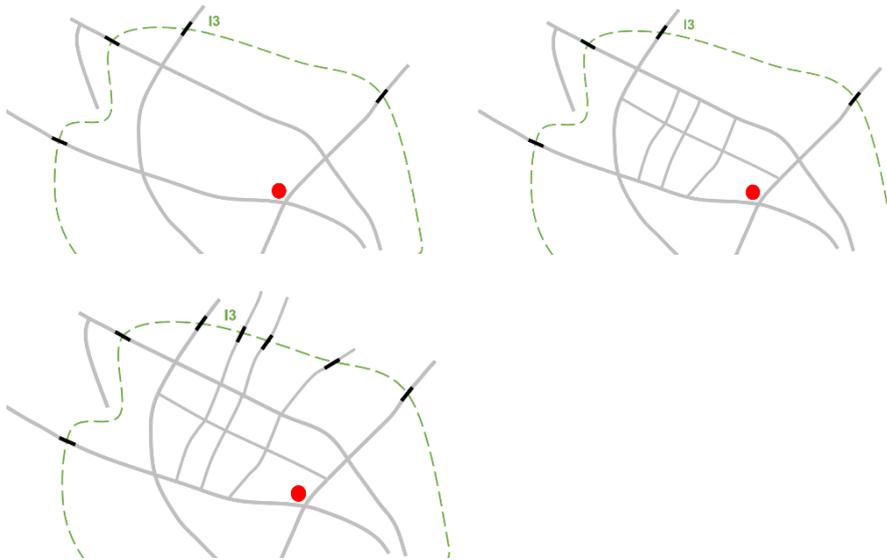


Abb.11 Beispiel für Netzfeinheit, links oben: weniger feines Netz, rechts feines Netz mit Quartierstrassen, links unten feines Netz mit Quartierstrassen grau: nicht berücksichtigte Strecken

Methode 1+ vermag die Nachteile der Methode 1 nicht zu beseitigen, ist jedoch deutlich weniger intuitiv als Methode 1. Ausserdem stellt sie eine sehr selektive Betrachtung der Kapazität an ausgewählten Standorten dar und ignoriert die dazwischenliegenden Netzabschnitte.

3.2.5 Methode 2

Die Methoden 1 und 1+ fokussieren sich auf die Streckenkapazitäten. Mit der Methode 2 wurde eine weitere Methode entwickelt, die die *Netzübergänge* betrachtet. Die Überlegung hinter dieser Methode ist, dass für die Netzkapazität eines Standortes nicht unbedingt die Summe aller Kapazitäten entscheidend ist, sondern dass v.a. die Netzübergänge ausreichende Kapazitäten aufweisen sollten, damit ein Standort gut erreichbar ist. Dieses Vorgehen berücksichtigt dann auch besser die Vernetztheit, die in Methode 1 und 1+ weniger Berücksichtigung findet.

Bei Methode 2 werden die Übergänge zwischen den Netzhierarchien anhand der Knoten bewertet. Dabei werden zunächst den Strecken Ränge zugeordnet. Dies geschieht basierend auf dem Streckentyp gemäss NPVM (siehe Tab. 4).

Tab. 4 Rangierung je Streckentyp

Streckentypname gemäss NPVM enthält	Rang der Strecke
Autobahn	Rang 1
Autostrasse	Rang 1
Rampe	Rang 2
HVS	Rang 2
Übrige Strassen	Rang 3
«Restliche Strecken»	Rang 3

Anschliessend werden den Knoten Typen zugeordnet. Knoten zwischen Strecken gleichen Rangs erhalten den Typ (bezeichnet mit I = 1, II = 2 und III = 3), der dem Rang der angrenzenden Strecken entspricht. Bei Knoten zwischen Strecken unterschiedlichen Ranges werden die Knotentypen wie folgt gebildet:

- Typ I: Mindestens eine Eingangsstrecke hat Rang 2 und mindestens eine Ausgangsstrecke hat Rang 1
- Typ II: Mindestens eine Eingangsstrecke ist Rang 2 und mindestens drei Ausgangsstrecken sind Rang 2 und Knoten entspricht nicht schon Typ I
- Typ III: Mindestens eine Eingangsstrecke ist Rang 3 und mindestens eine Ausgangsstrecke ist Rang 2 ist und Knoten ist nicht schon Typ I oder Typ II zugeordnet worden

Zusammengefasst ergeben sich damit folgende drei Typen:

- Typ I: Übergänge von HVS, Anschlüssen oder Verzweigungen nach Autobahnen und Autostrassen ⇒ Nationalstrassenanschlüsse
- Typ II: Knoten innerhalb HVS, Anschlüssen oder Verzweigungen ⇒ bedeutende Knoten im HVS-Netz
- Typ III: Übergänge von übrigen Strassen nach HVS, Anschlüssen oder Verzweigungen ⇒ Übergang zu leistungsfähigeren Netzen

Für die Berechnung des Kapazitätsindex' wird ermittelt, wie viele Knoten je Typ in den drei Isochronenbereichen liegen:

$$\text{Kapazitätsindex} = \sum_{\text{Knoten},k} \sum_{\text{Iso},i} \alpha_{\text{Typ}} \cdot f_{\text{Typ},k} \cdot \alpha_{\text{Iso}} \cdot f_{\text{Iso},i}$$

mit α_{Typ} = noch zu definierende Gewichtungsfaktoren für die Knotentypen

mit α_{Iso} = Isochronenbereich-Gewichtung

Um den Einfluss der Gewichtung zu quantifizieren, wurden zwei Gewichtungen des Knotentyps und die bereits vorgestellten Gewichtungen der Isochronenbereiche (vgl. Kapitel 3.2.2) getestet:

- Knotentypgewichtung 1 mit Gewicht 3 für Typ-I-Knoten, Gewicht 2 für Typ-II-Knoten und Gewicht 1 für Typ-III-Knoten.
- Knotentypgewichtung 2 mit Gewicht 20 für Typ-I-Knoten, Gewicht 1 für Typ-II-Knoten und Gewicht 0.1 für Typ-III-Knoten.

Resultate der Beispielanwendung

Die Beispielanwendung zeigt ein differenziertes Bild des Kapazitätsindex' für die vier Fallbeispiele. Unabhängig von der gewählten Knotentyp-Gewichtung erreicht der Entwicklungsschwerpunkt Route de Saint-Julien den höchsten und das Dorfzentrum von Crans(-Montana) den niedrigsten Kapazitätsindex.

Die Reihenfolge der weiteren Beispiele variiert je Gewichtung (siehe Abb.12 und Abb.13), wobei bei Knotentypgewichtung 1 das Entwicklungsgebiet Binz/SZU und bei Knotentypgewichtung 2 der ESP Marthalen-Schilling den zweiten Rang erreichen. Beim ESP Marthalen-Schilling liegen deutlich mehr Autobahn-Anschlüsse (Typ I) in unmittelbarer Umgebung als beim Entwicklungsgebiet Binz/SZU (ca. 27 zu 13). Hingegen sind beim Entwicklungsgebiet Binz/SZU deutlich mehr Typ-II-Knoten innerhalb von 9 Minuten erreichbar (ca. 190 zu 125).

Die Knotentypgewichtung 2 bewertet primär die Qualität der Erschließung bezüglich Autobahnanschlüsse, da hierbei Knoten des Typs I deutlich stärker gewichtet werden als die anderen beiden Knotentypen. Bei der Knotentypgewichtung 1 wird der Knotenhierarchie weniger Gewicht gegeben.

In den Abbildungen ist auch ersichtlich, dass die Gewichtung der Isochronenbereiche nur zu minimalen Veränderungen des Kapazitätsindex' führt.

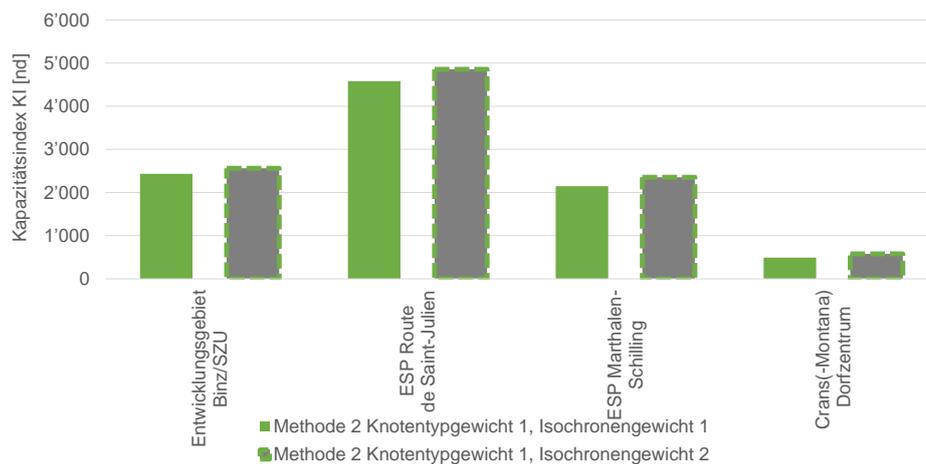


Abb.12 Ergebnisse für Knotentypgewichtung 1

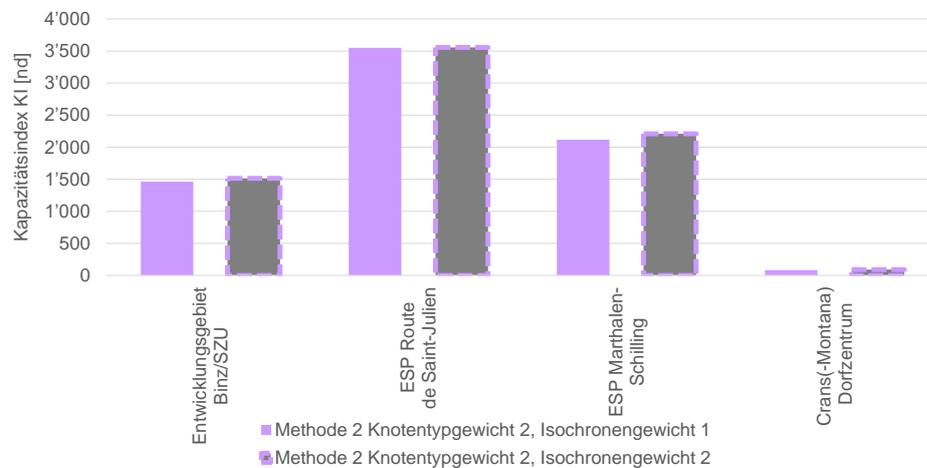


Abb.13 Ergebnisse für Knotentypgewichtung 2 (Knoten Typ I deutlich stärker gewichtet)

Würdigung der Methode 2

Die Netzfeinheit des Modells hat je nach Knotentypgewichtung eine unterschiedlich starke Wirkung auf den Kapazitätsindex. Im Beispiel in Abb.14 bestimmen die Hauptachsen die Reichweite des 3-Minuten-Isochronenbereichs (I3). In der linken Netzstruktur ist das Netz weniger fein und enthält somit weniger Typ-III-Knoten, während in der rechten Netzstruktur viele Typ-III-Knoten vorhanden sind. Die Unterschiede sind je nach Knotentypgewichtung unterschiedlich, wie im folgenden Beispiel für den Isochronenbereich von 3-Minuten ersichtlich ist. So ist mit Knotentypgewichtung 1 der Kapazitätsindex des linken Netzes mehr als doppelt so hoch wie im rechten Netz, wohingegen mit Knotentypgewichtung 2 das rechte Netz nur einen ca. 30% höheren Kapazitätsindex als das linke Netz hat.

$$\text{Kapazitätsindex} = \sum_{\text{Knoten},k} \sum_{\text{Iso},i} \alpha_{\text{Typ}} \cdot f_{\text{Typ},k} \cdot \alpha_{\text{Iso}} \cdot f_{\text{Iso},i}$$

$$\text{mit } \alpha_{\text{Iso}_{3\text{Minuten-Isochronen-Bereich}}} = 3$$

Mit Knotentypgewichtung 1:

$$\text{Kapazitätsindex}_{\text{links}} = 2 * 4 * 3 = 24$$

$$\text{Kapazitätsindex}_{\text{rechts}} = (2 * 4 + 1 * 11) * 3 = 57$$

Mit Knotentypgewichtung 2:

$$\text{Kapazitätsindex}_{\text{links}} = 1 * 4 * 3 = 12$$

$$\text{Kapazitätsindex}_{\text{rechts}} = (1 * 4 + 0.1 * 11) * 3 = 15.3$$

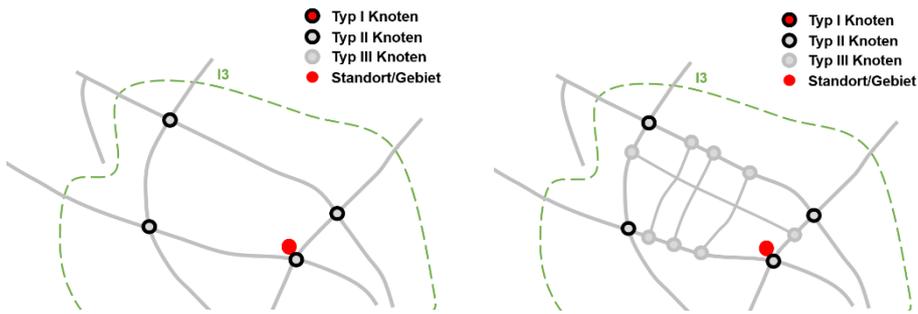


Abb.14 Beispiel für Netzfeinheit, links: weniger feines Netz (4 Typ II Knoten), rechts feines Netz mit Quartierstrassen (4 Typ II Knoten und 11 Typ III Knoten)

Unterschiedliche Feinheiten innerhalb des Modells, wie sie beispielsweise im NPVM beim Übergang zum nahen Ausland auftreten, beeinflussen den Index ausgeprägter, wenn Knotentypgewichtung 1 verwendet wird. Es gelten die gleichen Lösungsvorschläge wie bei Methode 1, um diesem Umstand zu begegnen (vgl. Kapitel 3.2.3).

Ein weiterer Nachteil der Methode ist, dass die räumliche Verteilung der erreichbaren Knoten nicht berücksichtigt wird: Für die Berechnung des Kapazitätsindex' ist es irrelevant, ob die drei erreichbaren Knoten des Typs I (Autobahnanschlüsse) auf demselben Autobahnabschnitt liegen oder nicht. Um diesen Umstand zu beheben, könnte die Bezeichnung des erreichbaren Streckennetzes berücksichtigt werden. Anstatt die Anzahl der Knoten zu zählen, könnte die Anzahl unterschiedlicher Bezeichnungen des erreichbaren Netzes gezählt werden (z.B. A4 Ri ZH, A2 Ri LU oder K15 Richtung Luzern).

Für die praktische Berechnung des Kapazitätsindex' nach Methode 2 ist insbesondere zu berücksichtigen, dass die Netzvereinfachung im NPVM nicht einheitlich ist und dazu führt, dass gerade komplexere Knoten teilweise mehrere Zwischenknoten pro «realen» Knoten (im Sinne von Strassenkreuzungen) beinhalten können. In Abb.15 sind einige Beispiele solcher nicht vereinfachter Knoten dargestellt. Für eine automatisierte Berechnung müssten die Knoten netzweit unter einheitlichen Gesichtspunkten vereinfacht werden. Da dies im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit nicht leistbar war, wurde diese Methode nicht weiterverfolgt.

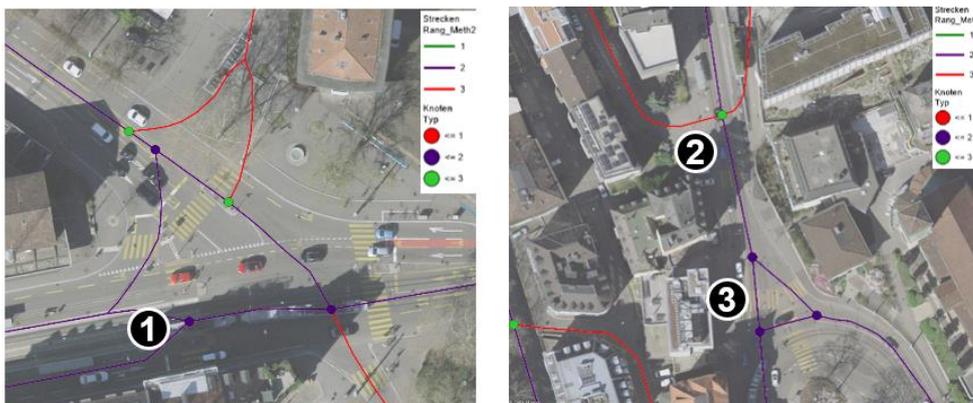


Abb.15 Beispiele notwendiger Knotenvereinfachung

Neben den bereits genannten methodischen Schwierigkeiten der Methode 2 ist auch zu bemerken, dass der Fokus auf die Netzübergänge statt auf die Streckenkapazitäten den Kapazitätsindex vom ursprünglichen Gedanken einer «kapazitätsgewichteten Strassen-netzdichte im Umfeld des Standortareals» entfernt.

3.2.6 Finale Festlegung der Methode

In den Kapiteln 3.2.3, 3.2.4 und 3.2.5 wurden bereits die Resultate der Beispielanwendungen pro Methode vorgestellt. Im vorliegenden Kapitel werden die drei Methoden nochmals anhand der Fallbeispiele gegenübergestellt. Um ein breitere Daten- und Entscheidungsgrundlage zu erhalten, wurden zusätzliche Fallbeispiele gerechnet. Anhand dieser Gegenüberstellung und anhand weiterer Überlegungen wird die definitive Methode zur Berechnung des Kapazitätsindex' festgelegt.

Festlegung Gewichtung

Auf Basis der ersten Testung der Methoden wurde entschieden, dass für den Kapazitätsindex die Gewichtung 2 der Isochronenbereiche (3 Min.: Gewicht 5, 6 Min.: 1.67, 9 Min.: 1) verwendet werden soll. Diese Gewichtung gewährleistet, dass die Streckenkapazitäten in unmittelbarer Nähe eines betrachteten Standortes einen grösseren Einfluss auf den Kapazitätsindex hat als weiter entfernt liegende Strecken.

Vergleich der drei Methoden

Schritt 1: Drei Methoden, fünf Beispiele

Beim Vergleich der Resultate der verschiedenen Berechnungsarten stehen die *qualitativen Unterschiede* im Vordergrund, die Auswirkungen der Methoden auf die konkrete absolute Zahl des Kapazitätsindex' hingegen sind nicht entscheidend. Daher werden die Kapazitätsindizes so skaliert, dass der Beispielstandort mit dem höchsten Kapazitätsindex (bei allen Methoden ESP Route de Saint-Julien) 100% erhält (siehe Abb.16).

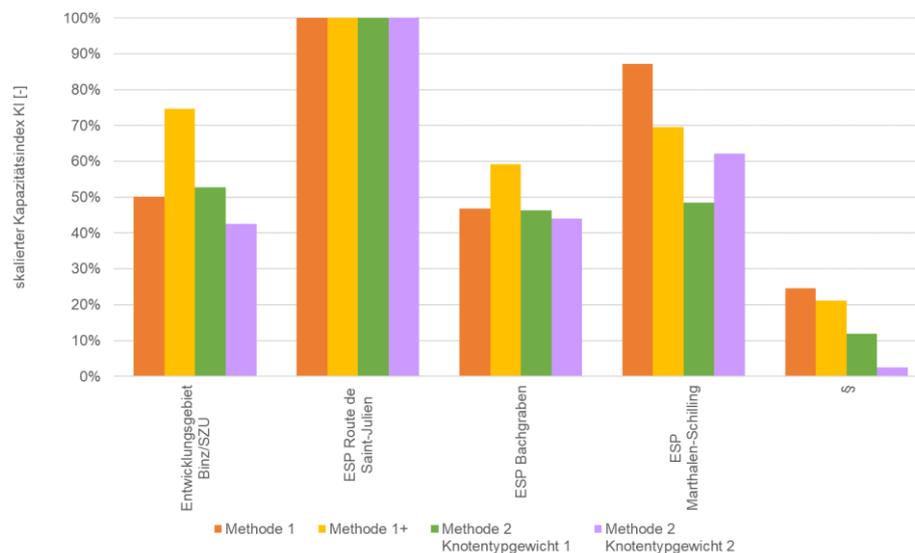


Abb.16 Vergleich der vier Methoden, normiert auf Fallbeispiel mit dem pro Methode höchstem Kapazitätsindex

Unterschiede zwischen den Methoden zeigen sich insbesondere bei den folgenden drei Standorten: Entwicklungsgebiet Binz/SZU, ESP Bachgraben und ESP Marthalen-Schilling. Falls die Nähe zu Nationalstrassen positiv bewertet werden soll, dann eignet sich Methode 2 mit Knotentypgewichtung 2, weil damit der ESP Marthalen-Schilling wesentlich besser abschneidet als die anderen beiden ESP, während Crans-Montana einen deutlich kleineren Kapazitätsindex aufweist. Methode 1+ weist einen grossen Unterschied zwischen dem Entwicklungsgebiet Binz/SZU und ESP Bachgraben – trotz ähnlicher Umgebung beider Fallbeispiele – aus. Das Ergebnis in Methode 1 für die Fallbeispiele entspricht da eher der

wahrgenommenen Realität. Der hohe Wert vom eher ländlich gelegenen ESP Marthalen-Schilling ist durch die Nähe zur Autobahnausfahrt (<3min Fahrzeit) begründet.

Abschliessend lässt sich feststellen, dass Methode 2 mit Knotentypgewichtung 2 einen zu hohen Fokus auf höherrangige Strassen legt, welche in einem Kontext von bspw. Crans-Montana keinen so hohen Stellenwert haben. Knotentypgewichtung 1 liefert zwar Werte, die mit Methode 1 vergleichbar sind, jedoch bringt die grosse Ungenauigkeit hinsichtlich der Zeichnung der Netzgeometrie zu viele Unsicherheiten mit sich, die nur mit einer sehr aufwendigen Netzbereinigung gelöst werden könnten (vgl. die Ausführungen in Kapitel 3.2.5). Deswegen sollen im nächsten Schritt lediglich Methode 1 und 1+ weiterverfolgt werden.

Schritt 2: Zwei Methoden, neun Beispiele

Um die Entscheidungsgrundlage für die Wahl der definitiven Berechnungsmethode des Kapazitätsindex' nochmals zu vergrössern, wurden weitere Fallbeispiele gerechnet. Für die zusätzlichen Fallbeispiele wurden Entwicklungsschwerpunkte aus verschiedenen Regionen der Schweiz ausgewählt. Mit Oberriet wurde ein weiterer grenznaher Standort berücksichtigt. Abb.17 zeigt die Ergebnisse der Methoden 1 und 1+ für insgesamt neun Fallbeispiele.

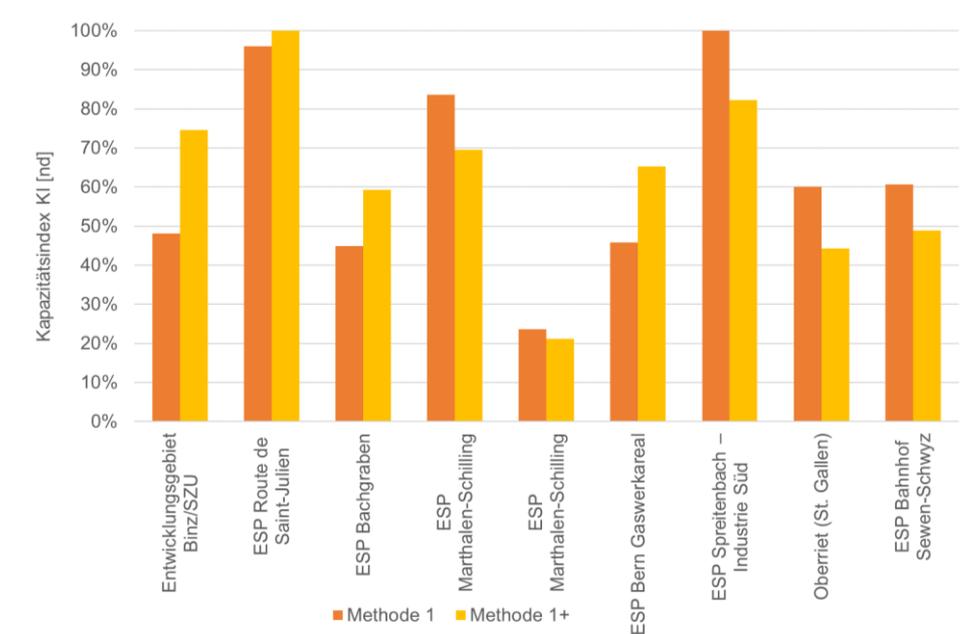


Abb.17 Vergleich der neun Fallbeispiele für Methode 1 und 1+

Die Gegenüberstellung der Methoden zeigt, dass die Methode 1+ urbane Standorte überdurchschnittlich gut bewertet (bspw. Entwicklungsgebiet Binz/SZU, ESP Bachgraben). Dies lässt sich damit erklären, dass nur solche Strecken berücksichtigt werden, die genau 3, 6 bzw. 9 Minuten vom betrachteten Standort entfernt liegen. Also wird die niedrige Kapazität der direkt umliegenden Strecken unterbewertet. Methode 1 hingegen bewertet die drei urbanen Standorte Binz, Bachgraben und Gaswerkareal sehr ähnlich und bestätigt mit dem Kapazitätsindex auch die grosse Kapazität im Umfeld des ESP Spreitenbach-Industrie Süd. Aufgrund der Ergebnisse und auch der grösseren Intuitivität der Methode wird entschieden, für die Berechnung des Kapazitätsindex' die Methode 1 vorzuschlagen.

Optimierung Methode 1

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, können ungleiche Netzfeinheiten innerhalb eines Modells zu Verzerrungen des Kapazitätsindex' führen. Für die Anwendung des NPVM heisst das konkret, dass Standorte in Grenznähe benachteiligt werden, da im

Modell das Auslandnetz weniger fein ist als in der Schweiz. Um diesem Umstand zu begegnen, wurde geprüft, welchen Einfluss eine Ausdünnung des Strassennetzes auf den Kapazitätsindex hat. Hierbei wurde mit Hilfe der «Functional Road Class» (FRC) das Netz ausgedünnt. In einem iterativen Verfahren wurde bestimmt, dass eine Netzausdünnung auf $FRC \leq 5$ (= Lokale Strasse mit grosser Bedeutung und höherklassige Strassen) der Feinheit des Netzes im Ausland entspricht (siehe Abb.18). Mit dieser Netzausdünnung kann sichergestellt werden, dass der Kapazitätsindex von grenznahen Standorten gleich bewertet wird wie von Standorten in der Zentralschweiz.

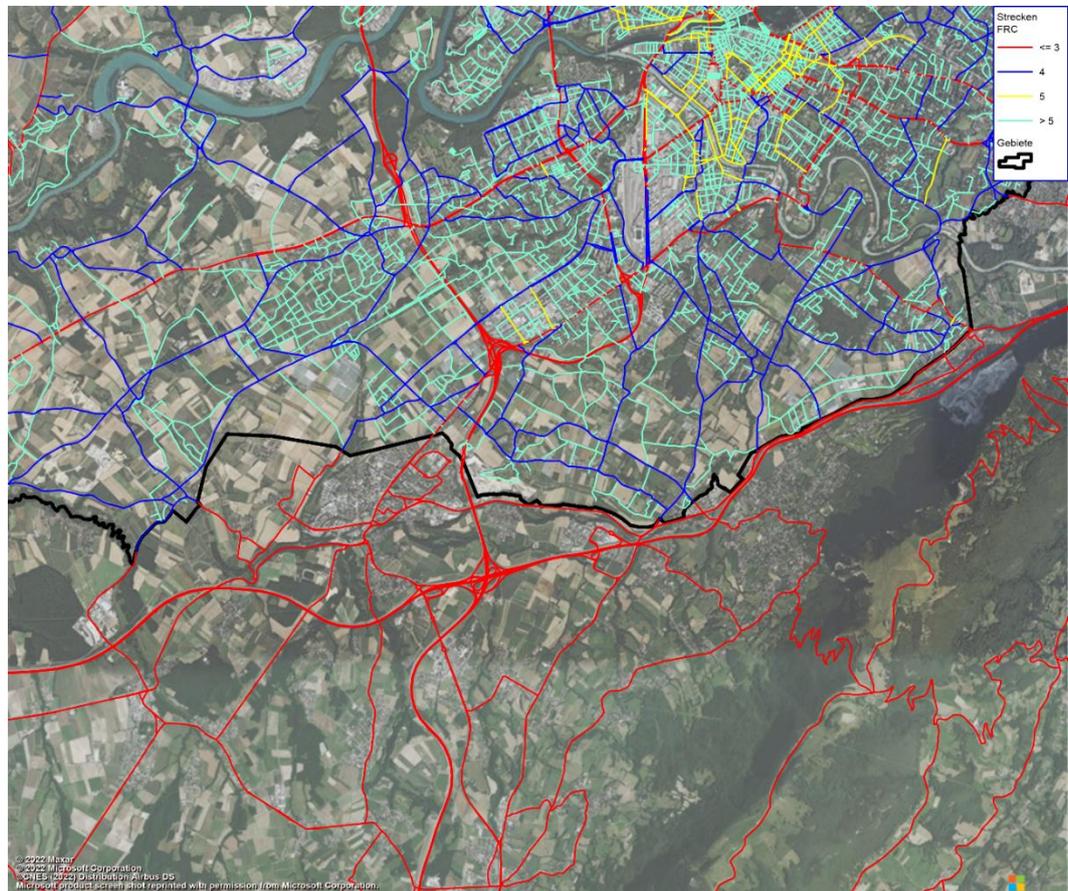


Abb. 18 Beispiel der Netzausdünnung auf Basis der FRC in der Umgebung des Fallbeispiel St. Julien, Genf: Grüne Strecken werden nicht berücksichtigt

Um den Umstand zu berücksichtigen, dass die Relevanz von niedrigklassigen Strassen für einen Standort mit der Entfernung abnimmt, wurde eine weitere Optimierung der Methode vorgenommen: Das in die Analyse einflussende Strassennetz wird je nach Isochronenbereich unterschiedlich stark ausgedünnt: Für den 3-Minuten-Isochronenbereich werden Strassen mit $FRC \leq 5$ (Strassen, die Hauptverbindungen innerhalb einer Gemeinde darstellen), für den 6-Minuten-Isochronenbereich werden Strassen mit $FRC \leq 4$ (Strassen, die Teile einer Gemeinde miteinander verbinden) und für den 9-Minuten-Isochronenbereich werden Strassen mit $FRC \leq 3$ (Strassen, die verschiedene Regionen verbinden) berücksichtigt. Für die initiale Berechnung der Isochronenbereiche werden alle Strassen verwendet. Hierbei gilt es zu beachten, dass die Strecken im Ausland keine FRC-Kategorisierung aufweisen, was dazu führt, dass für alle Isochronenbereiche die gleichen Streckentypen – ohne Ausdünnung – berücksichtigt werden. Da jedoch Auslandsstrecken bei den wenigsten Standorten in den Kapazitätsindex mit einfließen (ein Grossteil der Schweizer Grenze ist unbesiedelt) und ausländische Strecken oft auch erst im zweiten und dritten Isochronenbereich erreicht werden, kann dieser Umstand vernachlässigt werden. Wenn jedoch ein Grenzstandort evaluiert wird, sollten die Ergebnisse dementsprechend kritisch geprüft werden.

Die Netzausdünnung nach Isochronenbereichen hat keine Auswirkung auf die Hierarchien innerhalb der Fallbeispiele (siehe Abb.19). Lediglich der Beispielstandort Crans(-Montana) erfährt eine überdurchschnittlich starke Reduktion des Kapazitätsindex’.

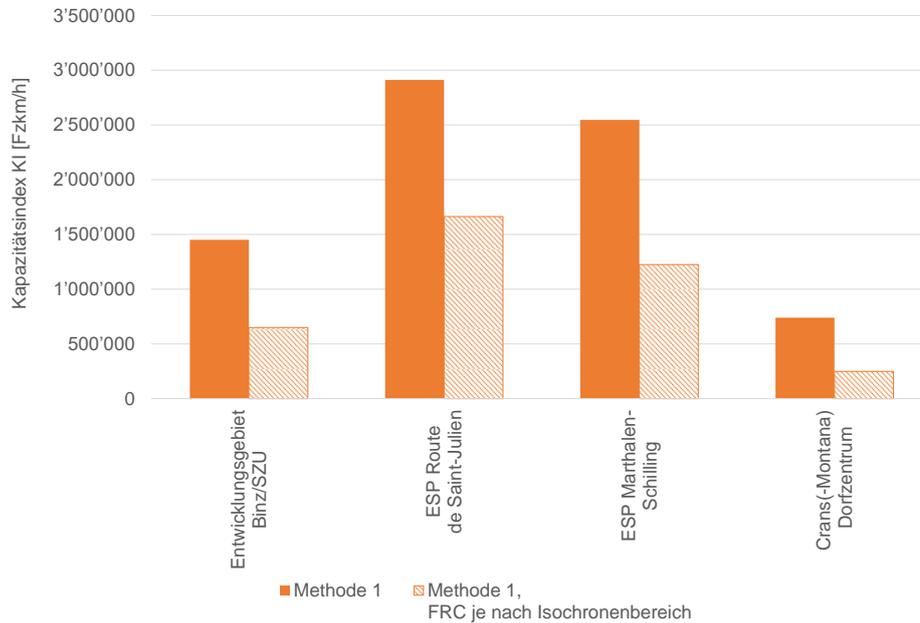


Abb.19 Vergleich Methode 1 mit und ohne Netzausdünnung

Die Optimierung der Methode 1 stützt sich in zweifacher Hinsicht auf die FRC. Die FRC ist ein TomTom-Attribut, das beim Modellaufbau des NPVM übernommen wurde. Es kann jedoch nicht sichergestellt werden, dass das Attribut bei einer Weiterentwicklung des NPVM-Netzes aktualisiert und neu vergeben wird. Alternativ bestünde auch die Möglichkeit, die Netzausdünnung auf Basis von Streckentypen statt auf Basis der FRC vorzunehmen, da diese auch im Ausland vorliegen. Allerdings sind die Streckentypen im Ausland nicht kongruent mit denjenigen im Inland. Aus diesem Grund schlägt die Forschungsstelle vor, die Berechnung dennoch auf die FRC abzustützen und bei der Interpretation der Ergebnisse im grenznahen Bereich die fehlende Netzausdünnung im Ausland zu berücksichtigen.

Finale Methode zur Berechnung des Kapazitätsindex’

Unter Berücksichtigung der Optimierungen ist die finale Formulierung des Kapazitätsindex’ wie folgt:

$$\begin{aligned}
 KI = & 6 \cdot \sum_{13} \text{Streckenkapazität}_{FRC \leq 5} * \text{Streckenlänge}_{FRC \leq 5} + \\
 & 2 \cdot \sum_{16} \text{Streckenkapazität}_{FRC \leq 4} * \text{Streckenlänge}_{FRC \leq 4} + \\
 & \sum_{19} \text{Streckenkapazität}_{FRC \leq 3} * \text{Streckenlänge}_{FRC \leq 3}
 \end{aligned}$$

Relevant sind Quell- und Zielisochrone. Die Gewichtung der Isochronenbereiche und berücksichtigten Strassentypen sind in Tab. 5 aufgeführt, welche im Grundsatz auf der Tab. 3 basiert.

Tab. 5 Übersicht Gewichtung Isochronenbereiche und berücksichtigten Strassentypen

Isochronen-Bereich	Netzdichte	Gewichtung
3-Minuten	FRC 0 bis 5	5
6-Minuten	FRC 0 bis 4	1.67
9-Minuten	FRC 0 bis 3	1

3.3 Methodik Erreichbarkeiten

3.3.1 Einleitung

Der **Erreichbarkeitsindex** stellt die verkehrstechnische Quantifizierung der erreichbaren Möglichkeiten eines Standorts oder eines Gebiets dar. Durch diese Quantifizierung können verschiedene Standorte hinsichtlich ihrer Einbettung in das Verkehrssystem unter Berücksichtigung der vorherrschenden Potenziale bewertet werden.

Da in der Schweiz mit dem neuen NPVM eine einheitliche Grundlage für den MIV und ÖV vorliegt, soll von den in Kapitel 2.2 erwähnten kommerziellen Produkten kein Gebrauch gemacht werden. Wie in Kapitel 3.1 erläutert, soll für die Berechnung des Erreichbarkeitsindex – genau wie für den Kapazitätsindex – vielmehr eine Methodik entwickelt werden, welche die nationale Grundlage nutzt.

Der Erreichbarkeitsindex des Standorts i (E_i) lässt sich in seiner allgemeinen Form wie folgt beschreiben:

$$E_i = \sum R_{ij} \cdot P_j$$

Es handelt sich um die Summe der nach Raumwiderstand (R_{ij}) gewichteten Potenziale (P_j) der erreichbaren Ziele von diesem Standort.

3.3.2 Räumliche Auflösung

Der Erreichbarkeitsindex ist ein relationsbasierter Ansatz, d.h. von einem bestimmten Startpunkt werden die Beziehungen zu allen erreichbaren Zielpunkten (Potenzialen) analysiert bzw. aufsummiert. Für die Berechnung der Erreichbarkeit stellt sich dabei die Frage, welche räumliche Auflösung gewählt werden soll. Die Wahl der Auflösung kann bei räumlichen Analysen und Modellierungen einen grossen Einfluss auf das Ergebnis haben [18]. Dies wird in der Wissenschaft Modifiable Areal Unit Problem (MAUP, Problem der veränderbaren Gebietseinheit) genannt. Es «beschreibt die Anfälligkeit der Ergebnisse von kartographischen oder statistischen Analysen und jeder Form von räumlicher Modellierung gegenüber der Definition der untersuchten Raumeinheiten». Je nach räumlicher Gliederung können bei Auswertung einer Variable verschiedene Schlüsse gezogen werden. Aparicio u. a. fanden in Ihrer Studie zur Erreichbarkeit von öffentlichen Gesundheitseinrichtungen heraus, dass die Aggregation von Blöcken auf Zensus-Gebietseinheiten zu einer immensen Abweichung des Ergebnisses führen kann [19]. So hat sich bei einem der in der Studie untersuchten Fallbeispiele die Mindestdistanz bzw. die einwohnergewichtete Durchschnittsdistanz zur nächstgelegenen Gesundheitseinrichtung je nach Aggregationsebene um über 200% unterschieden.

Abb.20 zeigt an einem schematischen Beispiel den Einfluss der räumlichen Auflösung auf das Ergebnis der Erreichbarkeitsberechnung. Im linken Beispiel der Abbildung ist das betrachtete Gebiet auf zwei Einheiten aufgeteilt, die jeweils ein Potenzial $P_j = 12$ aufweisen. Die Distanz zwischen den beiden Einheiten beträgt $t_{ij} = 1$. Im rechten Beispiel der Abbildung ist eine Einheit des betrachteten Gebiets nochmals auf vier kleinere Einheiten unterteilt. Diese weisen nun jeweils ein Potenzial von $P_j = 3$ auf, die nicht aufgeteilte Einheit nach wie vor $P_j = 12$. Die Distanzen zwischen den Einheiten sind in der Abbildung angegeben. Für

die Berechnung der Erreichbarkeit wird der Einfachheit halber eine Distance-Decay-Funktion der Form $\frac{1}{t_{ij}}$ gewählt (vgl. Kapitel 3.3.4 zur Distance-Decay-Funktion). Die Erreichbarkeit E_i erhöht sich durch die feinere Aufteilung der einen Zone von 24 auf rund 29 um etwa 21%. Grund hierfür ist, dass im rechten Beispiel Erreichbarkeitsanteile in die Berechnung einfließen, die im linken Beispiel als «Binnen-Potenziale» unberücksichtigt bleiben.

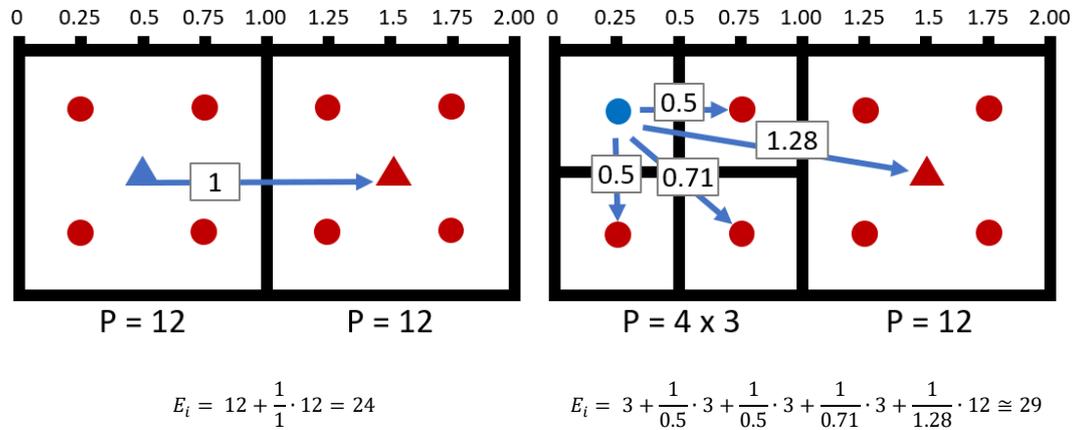


Abb.20 Einfluss der Auflösung auf die Erreichbarkeit

Im Grundlagenbericht wurde für die Berechnung der Erreichbarkeit das Hektarraster als räumliche Auflösung gewählt. Diese feine Auflösung bietet den Vorteil, dass (theoretisch) lokal sehr differenzierte Aussagen zur Erreichbarkeit getroffen werden können und die oben beschriebene MAUP-Problematik umgangen wird. Die Berechnung der Fallbeispiele im Grundlagenbericht hat aber auch die damit verbundenen Herausforderungen zutage gefördert. Insbesondere die Berechnung der ÖV-Erreichbarkeit auf Basis von HAFAS-Daten hat sich als sehr aufwändig und rechenintensiv herausgestellt. Um die Praxistauglichkeit der Methode zu gewährleisten, wurde im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit geprüft, ob eine weniger feine Auflösung, beispielsweise auf Basis der Verkehrszonen des NPVM, zweckmässiger wäre. Abb.21 zeigt am Beispiel der Stadt Bern die Grösse der Verkehrsmodellzonen (rote Umrandungen) im Vergleich zum Hektarraster (blaue Punkte).

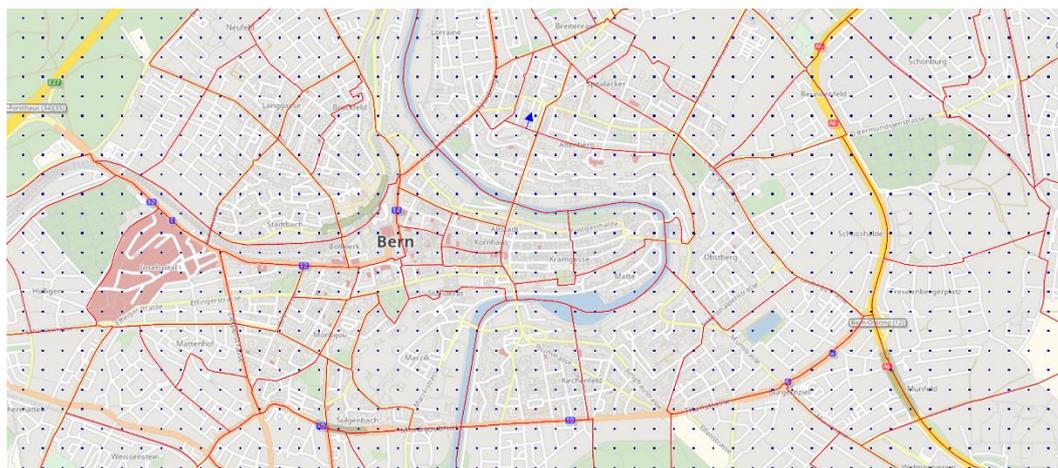


Abb.21 Verkehrsmodellzonen (rote Umrandungen) im Vergleich zum Hektarraster (blaue Punkte)

Auf den ersten Blick scheinen die Zonen im Vergleich zur Auflösung des Hektarrasters gross und die feiner aufgelösten Hektarrasterpunkte die bessere Wahl. In den Kapiteln 3.3.3 und 3.3.4 wird gezeigt, dass sowohl das Potenzial P_j als auch der Raumwiderstand R_{ij} aufgrund Datenverfügbarkeit und -konsistenz mittels Daten aus dem NPVM bestimmt werden. Das heisst, dass die Daten für die Berechnung der Erreichbarkeit auf Ebene Verkehrszone vorliegen. Eine Desegregation auf Hektarraster wäre zwar möglich, würde aber

keinen Mehrwert bzw. keine höhere Genauigkeit im Sinne von mehr Information bringen, da die Grunddaten nur auf Ebene der Verkehrszonen zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse der Fallbeispiele aus dem Grundlagenbericht (Abb.22 und Abb.23) zeigen sehr anschaulich, dass eine feinere Auflösung auf Hektarrasterebene nicht zwingend eine grössere Genauigkeit mit sich bringt: Die Einfärbung der Hektarrasterpunkte ist insbesondere beim MIV wenig differenziert, sondern die Hektarrasterpunkte, die innerhalb einer Verkehrsmodellzone liegen, weisen die gleiche Farbe auf (d.h. sie gehören zur gleichen Klasse des Erreichbarkeitsindex'). Das Ergebnis zum ÖV ist etwas differenzierter, aber auch dort scheint der Informationsgewinn gegenüber der Auflösung nach Verkehrsmodellzonen den damit verbundenen Mehraufwand bei der Berechnung nicht zu rechtfertigen.

Agglomerationsraum: Bäuler/Rümlang

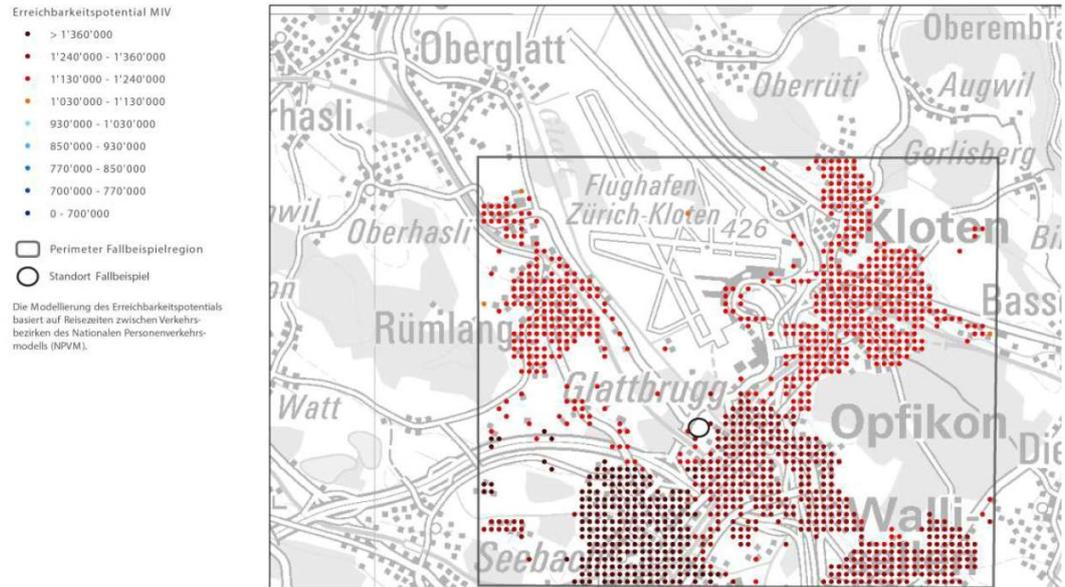


Abb.22 Erreichbarkeitspotenzial MIV für den Standort Bäuler/Rümlang auf Hektarbasis gemäss Grundlagenbericht

Ländlicher Raum: ESP Marthalen-Schilling

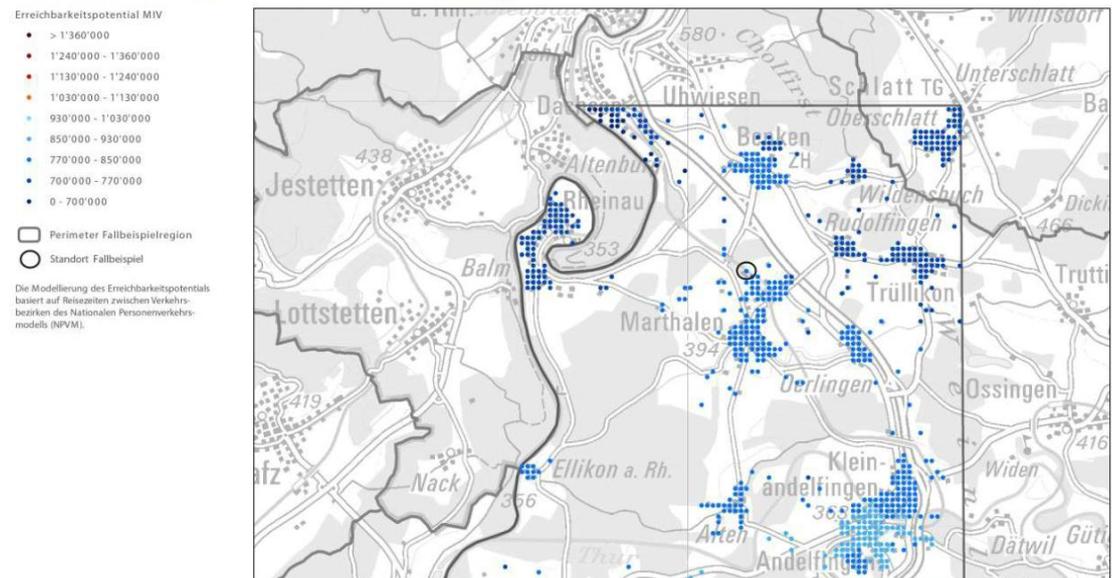


Abb.23 Erreichbarkeitspotenzial ÖV für den Standort Marthalen-Schilling auf Hektarbasis gemäss Grundlagenbericht

Aus diesem Grund wurde in Absprache mit der Begleitkommission entschieden, die Erreichbarkeit auf Ebene der Verkehrsmodellzonen zu berechnen. Es gilt hierbei jedoch zu beachten, dass es im NPVM-Verkehrszonen mit mehreren Siedlungsschwerpunkten gibt. Diese Zonen erhalten mit der gewählten Auflösung einen über alle Schwerpunkte gemittelten Erreichbarkeitsindex. Die weiter oben diskutierte Problematik der «Modifiable Areal Units» wird damit allerdings nicht gelöst. Da die Zonierung im NPVM zumindest innerhalb der Schweiz einer in sich konsistenten Logik folgt, wird diese Unschärfe zu Gunsten einer deutlich einfacheren Handhabung in der Berechnung in Kauf genommen. Die Verknüpfung von der Verkehrsmodellzone zum betrachteten Hektarrasterpunkt erfolgt ganz einfach: Die Erreichbarkeit der Zone, in der der interessierende Hektarrasterpunkt liegt, ist für diesen massgebend.

3.3.3 Potenzial

Methode Einwohner und Arbeitsplätze

Das Potenzial am Zielort P_j berücksichtigt die erreichbaren Attraktivitätsmerkmale am Zielort und kann auf zahlreiche Arten beschrieben werden. Im Grundlagenbericht wurde eine Annäherung durch **Einwohner und Arbeitsplätze** am Zielort vorgeschlagen, wie aktuell auch das ARE [20] die Erreichbarkeiten berechnet. Anders als bei der vom ARE angewendeten Methodik wurden im Grundlagenbericht die Arbeitsplätze nur zur Hälfte für das Potenzial berücksichtigt. Das Potenzial berechnet sich demnach wie folgt:

$$P_j = EW + \frac{1}{2}AP$$

mit EW = Anzahl Einwohner pro Verkehrszone

mit AP = Anzahl Arbeitsplätze pro Verkehrszone

Die Idee dahinter ist, dass das Potenzial eines Ortes höher ist, je mehr Bevölkerung und Arbeitsplätze sich dort befinden. Die Anzahl Arbeitsplätze werden nur halb so stark gewichtet wie eine Einwohnerin oder ein Einwohner, da das Verkehrsmengenpotenzial, das von einem Arbeitsplatz ausgeht, kleiner ist als dasjenige von einem Einwohner. Die Annäherung des Potenzials durch Einwohner und Arbeitsplätze hat den Nachteil, dass Zielorte mit publikumsintensiven Einrichtungen in Bezug auf die Potenziale unterschätzt werden. Für das Ausland gibt es ein EU-Kilometerraster mit der Einwohneranzahl. Jedoch ist anzumerken, dass die Datenverfügbarkeit zu den Arbeitsplätzen im Ausland sehr dürftig ist. Diese müssten für jedes Land einzeln zusammengetragen werden. In Deutschland bspw. werden diese Daten nicht zentral veröffentlicht, sodass ein unverhältnismässiger Aufwand für die Beschaffung notwendig wäre.

Methode Verkehrserzeugung

Methodische Diskussion

Als alternativer Ansatz besteht die Möglichkeit, das Potenzial eines Zielortes durch seine **Verkehrserzeugung** (beispielsweise im DWV) zu beschreiben. Dieser Ansatz stellt sicher, dass auch Orte mit verkehrintensiven Nutzungen ausreichend berücksichtigt werden. Das Potenzial berechnet sich nach der Verkehrserzeugungs-Methode wie folgt:

$$P_j = \text{Verkehrserzeugung im DWV}$$

mit Verkehrserzeugung im DWV = Anzahl Personen pro Werktag (Zielfahrten) pro Verkehrszone über alle Verkehrsmittel

Es ist bei diesem Ansatz mittels Verkehrserzeugung zu beachten, dass in die Berechnung neben Einwohner- und Arbeitsplatzzahlen auch Daten eingehen, deren Attraktionspotenzial nur grob abgeschätzt werden kann (z.B. für Einkaufs- und Freizeiteinrichtungen). Damit wird eine gewisse Ungenauigkeit in Kauf genommen. Jedoch ist dieses Vorgehen etabliert

und akzeptiert bei der Erstellung von Verkehrsmodellen [21]. Zudem wird die Verkehrserzeugung nicht jährlich aktualisiert, sondern in grösseren Intervallen. In Bezug auf das Ausland ist zu beachten, dass im Verkehrsmodell zwar eine Verkehrserzeugung ausgewiesen wird, diese jedoch im Gegensatz zum Inland nicht modelliert, sondern aus der grenzquerenden Personenverkehrserhebung abgeleitet wird. Für die Berechnung der Erreichbarkeit bedeutet dies, dass in den Potenzialen im Ausland nur diejenigen Verkehre abgebildet sind, die einen Bezug zur Schweiz haben. Sie sind somit im Vergleich zu den Potenzialen in der Schweiz zu niedrig. Schweizer Standorte mit einem starken Bezug zum Ausland würden ohne Korrektur dieses Umstands bei der Berechnung der Erreichbarkeit benachteiligt behandelt.

Schätzung des Potenzials im Ausland

Um die Potenziale im Ausland konsistent mit der Schweiz abzubilden, wird vorgeschlagen, ein statistisches Modell zu schätzen, das die Verkehrserzeugung auf Basis von Parametern (auch Prädiktoren genannt), die auch für das Ausland vorliegen, berechnet. Damit kann die Verkehrserzeugung im NPVM für das Ausland mit den berechneten Werten korrigiert und anschliessend die Erreichbarkeit berechnet werden. Es wurden im Rahmen der Forschungsarbeit folgende zwei Modellansätze getestet: Multiple lineare Regression und Random Forest (die Funktionsweise des Random-Forest-Ansatzes wird weiter unten auf den Seiten 61f erläutert).

Das Modell wird mit Daten der Schweiz trainiert, um die Verkehrserzeugung im Ausland zu schätzen. Es handelt sich hierbei um eine räumliche Extrapolation. Es muss dabei sichergestellt werden, dass die Wertebereiche der Prädiktoren für die Schweiz und das Ausland in etwa vergleichbar sind [22], [23]. Andernfalls handelt es sich um eine Extrapolation aus dem Modellraum und die Modellschätzung ist nicht mehr belastbar. Dies gilt insbesondere für den Random Forest, der ausserhalb des Wertebereichs des Trainingsdatensatzes «blind» ist. Die lineare Regression kann aufgrund ihrer linearen Form Daten extrapolieren, aber auch in diesem Fall sind die Werte mit grösserer Unsicherheit behaftet. Abb.24 erläutert diesen Sachverhalt beispielhaft: Die schwarzen Punkte im Diagramm bilden den Trainingsdatensatz, die farbigen Punkte sind die Schätzungen mittels linearer Regression bzw. Random Forest. Die lineare Regression kann den Trend aus dem Trainingsdatensatz gut für Werte > 100 auf der x-Achse extrapolieren. Der Random Forest hingegen schätzt für Punkte ausserhalb des Trainingsdatensatzes einen zu niedrigen Wert, und zwar die höchste Schätzung aus dem Trainingsdatensatz.

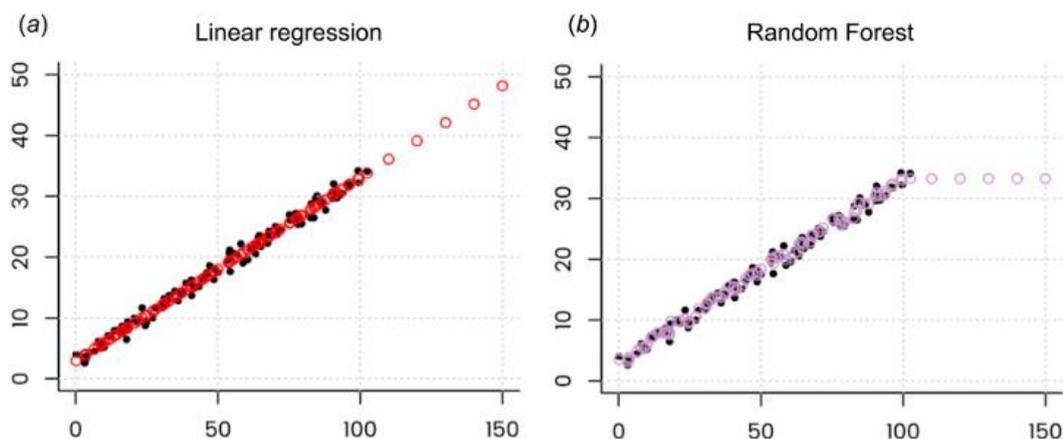


Abb.24 Extrapolation aus dem Modellraum mit linearer Regression und Random Forest [24]

Um das Problem der Extrapolation zu mindern, werden die Auslandszonen in zwei Gruppen eingeteilt (vgl. Abb.25 und Abb.26) und für beide Gruppen ein separates Modell geschätzt:

- Gruppe 1 (Schraffur: Horizontallinie) umfasst diejenigen Auslandszonen, die maximal so gross sind wie die grösste Schweizer NPVM-Zone (233 km²). Für diese Gruppe, die

560 Zonen umfasst, wird ein detailliertes Modell (Modell 1) aus Kombination von linearem Modell und Random Forest mit Prädiktoren gemäss Tab. 6 gerechnet. Dieses Modell wird auf NPVM-Zonen-Auflösung trainiert.

- Gruppe 2 (Schraffur: Punkte) umfasst diejenigen Auslandszonen, die grösser sind als die grösste Inlandszone. Für diese Zonen könnte die Extrapolation zu einem Problem werden. Für diese Gruppe, die 150 Zonen umfasst, wird daher ein vereinfachtes lineares Modell (Modell 2) mit nur zwei Prädiktoren gerechnet. Zudem wird dieses Modell nicht auf NPVM-Zonen-Auflösung trainiert, sondern aggregiert auf MS-Regionen³.

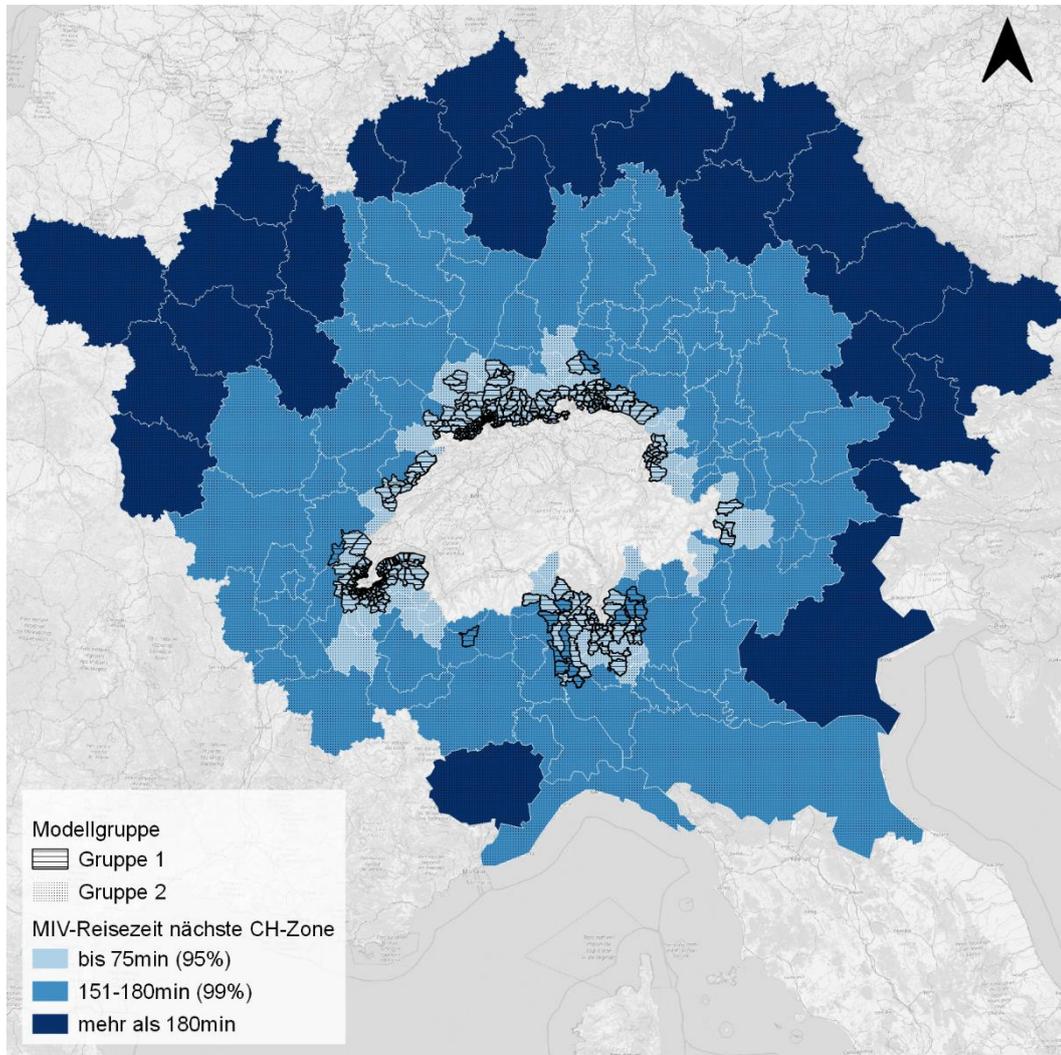


Abb.25 Einteilung Auslandszonen in zwei Gruppen und Mindestreisezeiten zu nächster Schweizer Zone (MIV)

³ Die 106 MS-Regionen (MS = mobilité spatiale) werden insbesondere als mikroregionale Zwischenebene für zahlreiche wissenschaftliche und regionalpolitische Zwecke verwendet. Sie wurden 1982 im Rahmen eines Forschungsprojektes über räumliche Mobilität (PNR5) aus bestehenden Berggebietsregionen und Raumplanungsgebieten gebildet. Sie zeichnen sich durch eine gewisse räumliche Homogenität aus und gehorchen dem Prinzip von Kleinarbeitsmarktgebieten mit funktionaler Orientierung auf Zentren.

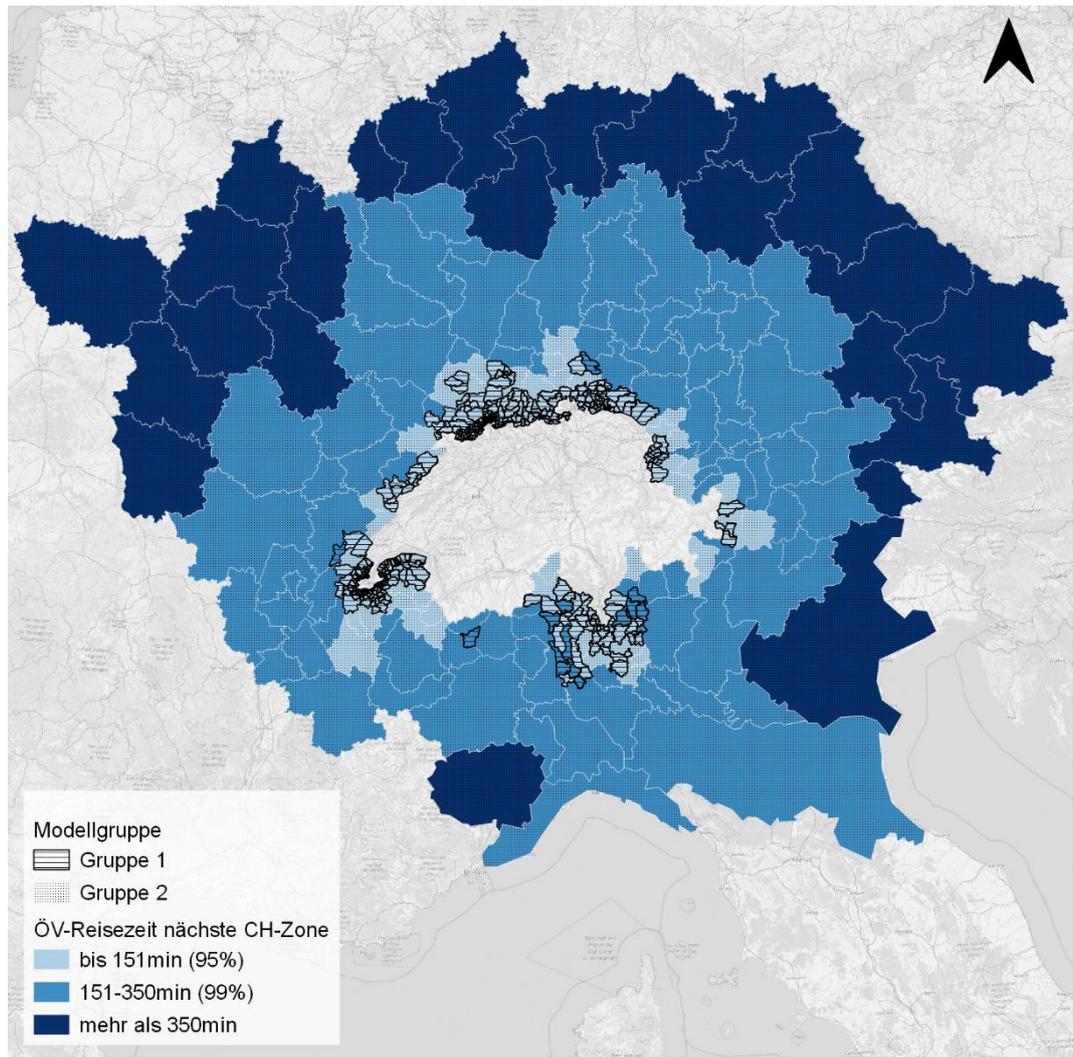


Abb.26 Einteilung Auslandszonen in zwei Gruppen und Mindestreisezeiten zu nächster Schweizer Zone (ÖV)

Das NPVM berechnet die Verkehrserzeugung innerhalb der Schweiz vereinfacht gesagt, indem für verschiedene Nutzungen Verkehrserzeugungsraten angesetzt und mit entsprechenden Strukturgrößen multipliziert werden. Für das Ausland liegen weder diese Erzeugungsraten vor, noch sind die für die Berechnung erforderlichen Strukturgrößen wie Anzahl Arbeitsplätze, Verkaufsflächen etc. bekannt. Daher wird im Vorhersagemodell versucht, diese Einflüsse mittels einfacher zu bestimmender Prädiktoren anzunähern. Wenn also die Flächen nicht bekannt sind, so soll die Anzahl der Institutionen berücksichtigt werden. Tab. 6 zeigt die für das Modell untersuchten Prädiktoren.

Mögliche Effekte einer räumlichen Autokorrelation bei der Modellschätzung werden der Einfachheit halber bewusst ausgeklammert. Eine positive räumliche Autokorrelation liegt dann vor, wenn nahe beieinander liegende Orte einander mit höherer Wahrscheinlichkeit ähnlich sind als weiter voneinander entfernte Orte [25].

Tab. 6 Prädiktoren für das Vorhersagemodell 1

Prädiktor	Quelle	
Einwohner	CH: [20] Ausland: [29]	
Fläche	[20]	
Bildung	OSM	<i>amenity</i> : kindergarten, school, university, college
Gesundheit	OSM	<i>amenity</i> : hospital, nursing_home, clinic
Freizeit	OSM	<i>amenity</i> : cinema, conference_centre, theatre, casino <i>leisure</i> : sports_centre, stadium, water_park <i>tourism</i> : theme_park, zoo
Einkauf	OSM	<i>shop</i> : mall, department_store, furniture

Bevor mit der Schätzung der Modelle begonnen werden kann, müssen die Prädiktoren hinsichtlich Korrelation und Verteilung geprüft werden. In Abb.27 sind die paarweisen Korrelationen aller Prädiktoren dargestellt. Damit wird geprüft, ob keine Multikollinearität vorherrscht. Bei zu starker Multikollinearität wird die Schätzung der Koeffizienten in der multiplen linearen Regression instabil. Die Auswertung zeigt, dass die Korrelationen in einem akzeptablen Rahmen liegen. Die grösste Korrelation findet sich zwischen den Prädiktoren «Bildung» und «Einwohner» mit einem Wert von 0.313.

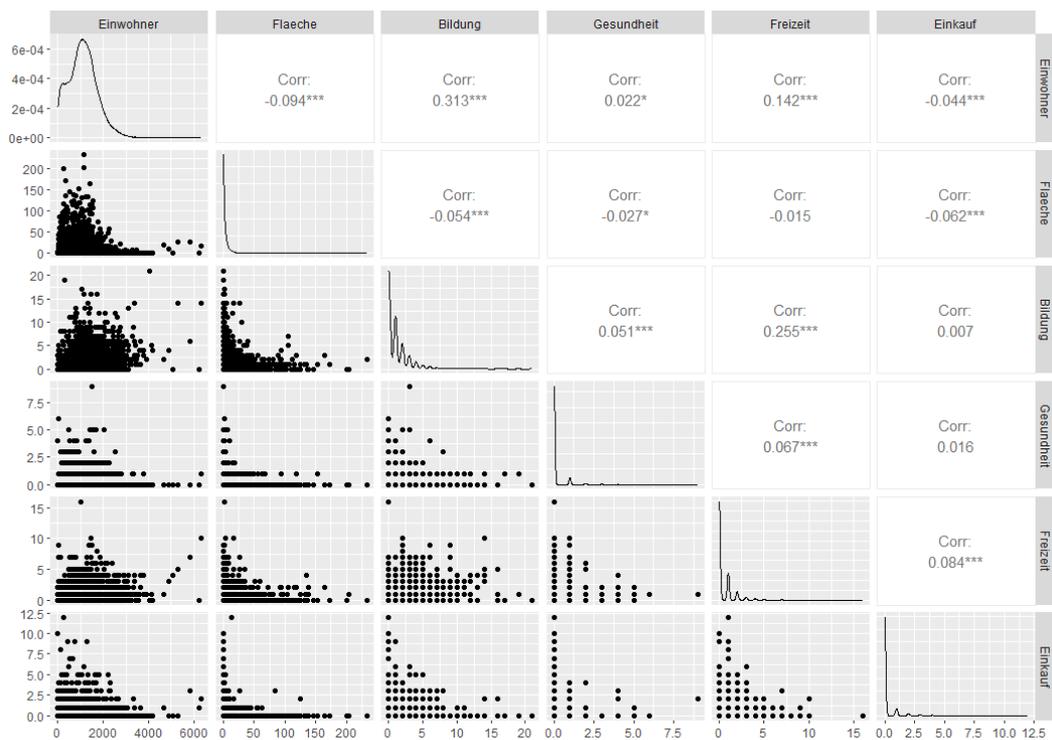


Abb.27 Prüfung der Multikollinearität

Die Häufigkeitsverteilung der Prädiktoren ist in Abb.28 für jeden Prädiktor als Histogramm dargestellt. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass alle Prädiktoren – bis auf die Einwohner – eine rechtsschiefe Verteilung aufweisen. Für diesen Fall wird in der Literatur eine logarithmische Transformation vorgeschlagen (Ergebnis siehe Abb.29). Es zeigt sich, dass insbesondere die Verteilung des Prädiktors «Fläche» dank Transformation nunmehr besser einer Normalverteilung gleicht. Bei den anderen Prädiktoren konnte die Rechtsschiefe nur minimal verringert werden. Da das Modell durch Transformation der meisten Variablen nicht verbessert werden konnte, wurde für das Modell 1 nur der Prädiktor «Fläche» transformiert.

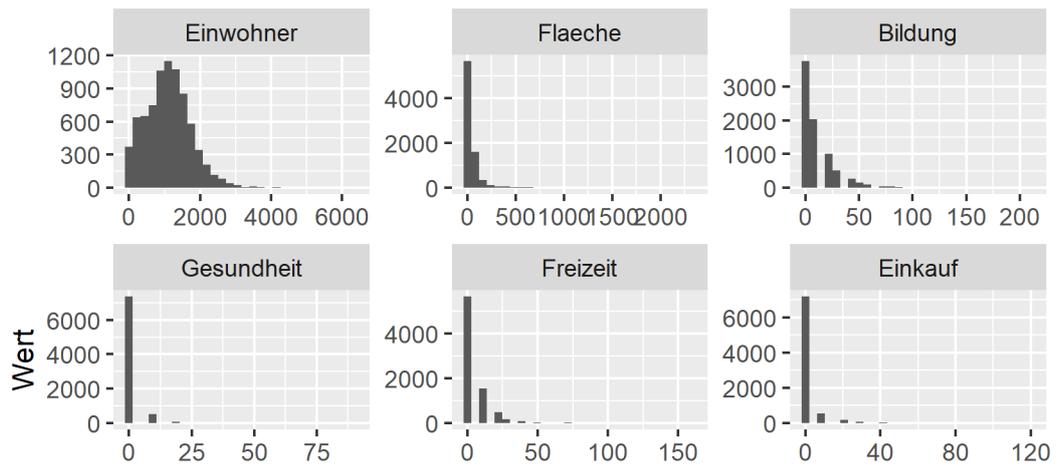


Abb.28 Histogramm der Prädiktoren

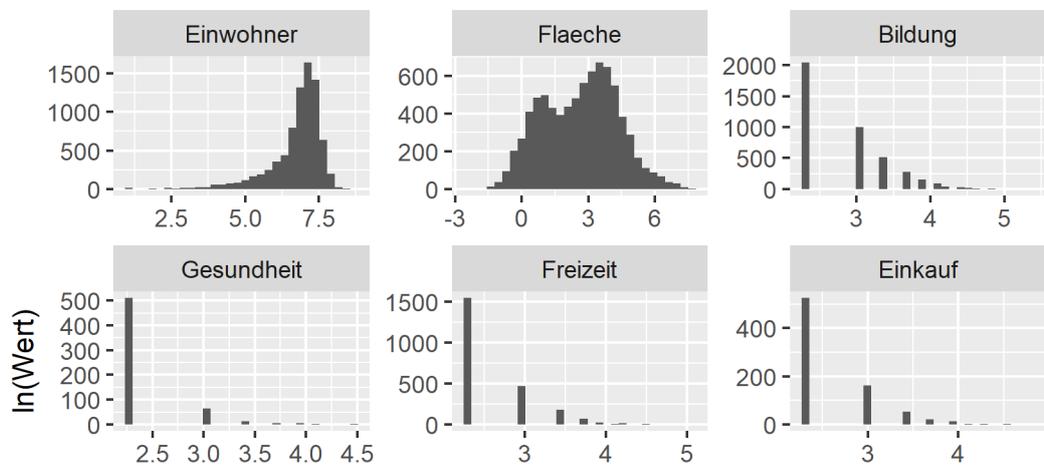


Abb.29 Histogramm der transformierten Prädiktoren

Gruppe 1 (Auslandszonen ≤ 233 km²)

Multiple lineare Regression

Die multiple lineare Regression ist ein statistisches Verfahren, mit dem eine abhängige Variable durch mehrere unabhängige Variablen erklärt wird. Das dazu verwendete Modell ist linear in den Parametern. Es wurden verschiedene Kombinationen von Prädiktoren und Variablen-Transformationen getestet. Folgendes Modell hatte die beste Aussagekraft:

$$P_j = 2464 + 1.39 \cdot \text{Einwohner} - 745.01 \cdot \ln(\text{Fläche}) + 130.70 \cdot \text{Bildung} + 842.21 \cdot \text{Gesundheit} + 435.30 \cdot \text{Freizeit} + 1936.74 \cdot \text{Einkauf}$$

Abb.30 zeigt links in einem Streudiagramm die Erzeugung gemäss NPVM (x-Achse) und die geschätzte Erzeugung (y-Achse) gemäss dem linearen Modell. Bei einem perfekten Modell wären alle Punkte auf der roten Diagonale. Rechts in der Abbildung ist die Residuenanalyse dargestellt: Auf der x-Achse ist der geschätzte Wert, auf der y-Achse das Residuum (Abweichung des Modellwerts vom tatsächlichen Wert) dargestellt. In einem guten Modell sollten die Residuen unabhängig vom Wertebereich zufällig streuen.

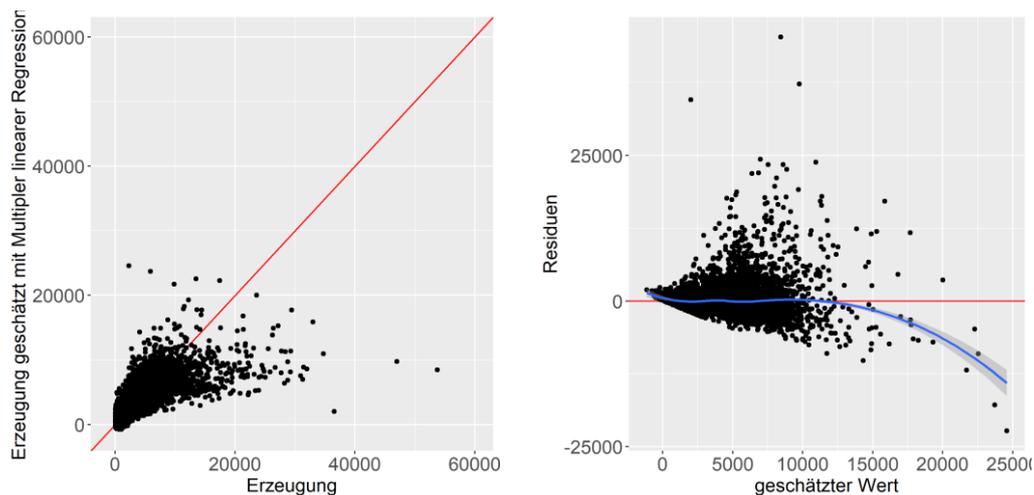


Abb.30 Streudiagramm Erzeugung vs. geschätzte Erzeugung mittels multipler linearer Regression und Residuenanalyse

Das Modell wurde mit einer 10-Fold-Kreuzvalidierung⁴ geprüft und es ergibt sich ein Bestimmtheitsmass⁵ (R^2) von 0.44 und ein normierter nRMSE⁶ (Root Mean Square Error) von 0.048. Die Diagramme zeigen, dass die Schätzfehler (Residuen) ungefähr normalverteilt sind, vor allem bei grösseren Verkehrserzeugungen jedoch etwas grösser werden. Zudem werden mit dem Modell auch negative Verkehrserzeugungen geschätzt, was in Realität nicht vorkommen kann.

Random Forest

Beim Random Forest handelt es sich um ein Ensemble-Verfahren, das die Ergebnisse einer Reihe unkorrelierter Entscheidungs- bzw. Regressionsbäume kombiniert [27]. Die Idee hinter Ensemble-Verfahren ist, dass gleichzeitig mehrere Modelle mit den gleichen Daten trainiert und anschliessend die Modellergebnisse gemittelt werden. Dabei ist Voraussetzung, dass die verschiedenen Modelle unkorreliert sind, damit die Modellfehler unabhängig bleiben. Abb.31 zeigt die Funktionsweise des Random-Forest-Verfahrens.

⁴ Bei einer k-Fold-Kreuzvalidierung wird der Ursprungsdatensatz in k Teil-Datensätze unterteilt. Es werden insgesamt k Modelle geschätzt, wobei jeweils ein Teil-Datensatz für die Schätzung des Modells nicht verwendet wird. Anhand des vorenthaltenen Teil-Datensatzes wird das Modell getestet und Kenngrössen wie R^2 oder RMSE berechnet. Am Schluss werden die Kenngrössen über alle Modelle gemittelt.

⁵ Das R^2 wird auch Bestimmtheitsmass genannt und dient der Beurteilung der Anpassungsgüte einer Regression. In der Regression ist das Bestimmtheitsmass definiert als der Anteil der durch die Regression erklärten Quadratsumme an der zu erklärenden totalen Quadratsumme und gibt an, wie viel Streuung in den Daten durch ein vorliegendes lineares Regressionsmodell erklärt werden kann. Ein R^2 von 1 bedeutet, dass sämtliche Streuung in den Daten durch das Modell erklärt werden kann.

⁶ Das nRMSE ist ein übliches Mass, um die Abweichung zwischen Modell und Realität zu beschreiben. Durch Normierung wird das Mass auf den Wertebereich 0 bis 1 eingegrenzt. Ein perfektes Modell weist einen nRMSE von 0 auf. Das nRMSE kann auf verschiedene Arten berechnet werden. Für den vorliegenden Forschungsbericht wurde folgende Normierung verwendet: $\frac{RSME}{y_{max}-y_{min}}$ mit $RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$

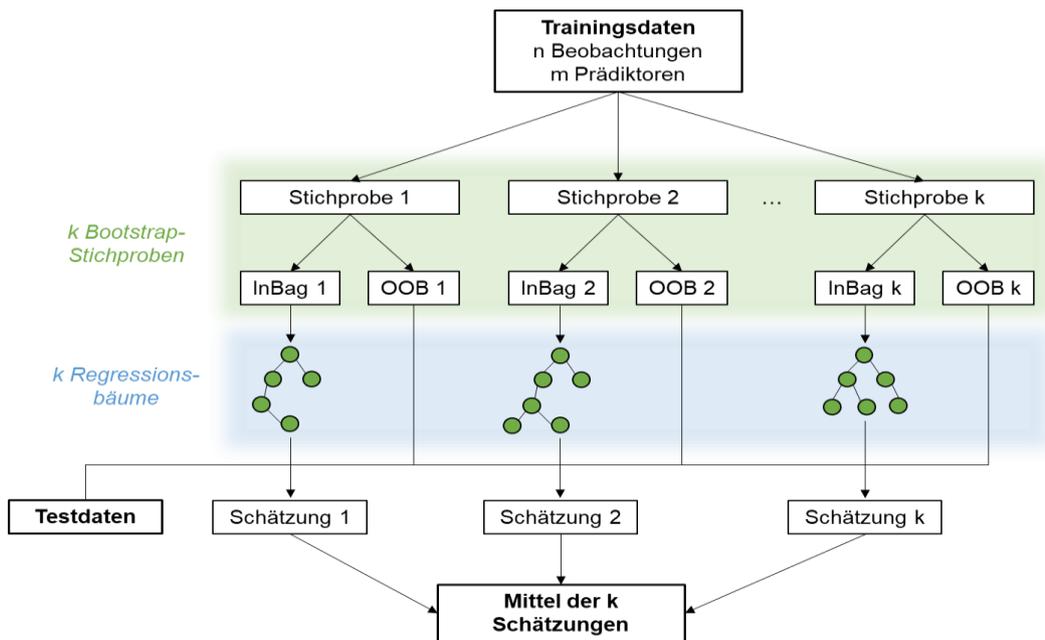


Abb.31 Funktionsweise des Random-Forest-Verfahrens (eigene Abbildung nach Rodriguez-Galiano u. a. 2015)

Aus dem Trainingsdatensatz (hier: NPVM-Zonen in der Schweiz) werden k Bootstrap-Stichproben⁷ gezogen. Mit den Daten, die in der Stichprobe sind («InBag») wird ein Regressionsbaum berechnet. Dabei wird nur ein zufälliger Teil der m Prädiktoren verwendet. Die Daten, die für die Stichprobe nicht ausgewählt wurden («Out of Bag» oder «OOB») dienen als Testdatensatz für den Regressionsbaum. Für jede der k Stichproben wird ein Regressionsbaum gerechnet. Das Mittel aller k Schätzungen bzw. Vorhersagen bildet die Vorhersage des Random Forests.

Regressionsbäume haben gegenüber der einfachen linearen Regression den Vorteil, dass nichtlineare Zusammenhänge und Interaktionen zwischen Prädiktoren einfach behandelt werden können. Einzelne Regressionsbäume tendieren jedoch zu Überanpassung⁸. Random Forests haben hier den Vorteil, dass das Risiko der Überanpassung durch Auswertung zahlreicher unkorrelierter Bäume minimiert wird, ohne den Vorteil der sehr guten Vorhersagekraft einzubüssen. Nachteilig ist, dass im Gegensatz zur linearen Regression das Modell nicht in Form einer Formel (β -Parameter) interpretiert werden kann, da das Modell einen ganzen Satz von Regressionsbäumen umfasst. Für den vorliegenden Fall kann dieser Nachteil in Kauf genommen werden, da nicht die Modellstruktur im Vordergrund steht, sondern eine möglichst präzise Vorhersage für die Verkehrserzeugung im Ausland.

Für das Random-Forest-Modell ergibt sich ein R^2 von 0.49 und ein normierter RMSE von 0.046. Abb.32 zeigt links wiederum in einem Streudiagramm die Erzeugung gemäss NPVM (x -Achse) und die geschätzte Erzeugung (y -Achse). Rechts in der Abbildung ist die Residuenanalyse dargestellt: Auf der x -Achse ist der geschätzte Wert, auf der y -Achse das Residuum dargestellt. Die Diagramme zeigen, dass auch beim Random Forest die Schätzfehler (Residuen) vor allem bei grösseren Verkehrserzeugungen grösser werden. Im Vergleich zum linearen Modell sind die Residuen jedoch kleiner, d.h. insgesamt ist die Anpassung des Modells besser. Es ist jedoch augenfällig, dass das Modell die Verkehrserzeu-

⁷ Beim Bootstrap-Verfahren werden aus einem Datensatz wiederholt Stichproben mit Zurücklegen gezogen.

⁸ Unter Überanpassung («overfitting») versteht man, dass ein Vorhersagemodell so spezifisch ist, dass es auch die zufällige Streuung der Daten («Rauschen»), aus denen die Modellparameter geschätzt werden, reproduziert. Solche Modelle ergeben oft keine guten Vorhersagen für neue Beobachtungen [28].

Erzeugung systematisch unterschätzt, was sowohl im Streudiagramm (Punkte liegen mehrheitlich unter der roten Diagonale) als auch im Residuendiagramm anhand des blauen Loess-Glätters zu erkennen ist (mit zunehmender Verkehrserzeugung steigt der Glätter an).

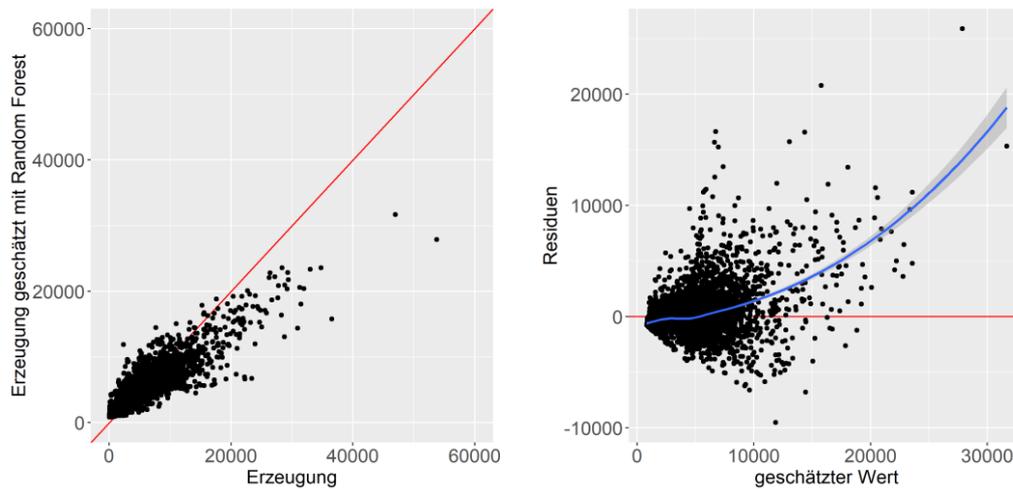


Abb.32 Streudiagramm Erzeugung vs. geschätzte Erzeugung mittels Random Forest und Residuenanalyse

Finales Modell

In Bezug auf das R^2 und den nRSME sind beide Modelle vergleichbar. Der Random Forest hat den Vorteil, dass keine negativen Werte geschätzt werden und dass die Residuen insgesamt etwas kleiner sind. Nachteilig ist die systematische Unterschätzung der Verkehrserzeugung. Als finales Modell wird daher eine Kombination der beiden Ansätze (stacked model) vorgeschlagen. Dabei werden die beiden Schätzungen der Modelle als Prädiktoren eines weiteren Random-Forest-Modells verwendet. Abb.33 zeigt schematisch das Vorgehen zur Berechnung des finalen Modells. Die Ergebnisse des Modells sind in Abb.34 dargestellt. Mit der Kombination beider Modelle kann das R^2 auf 0.82 erhöht und das nRSME auf 0.013 verringert werden.

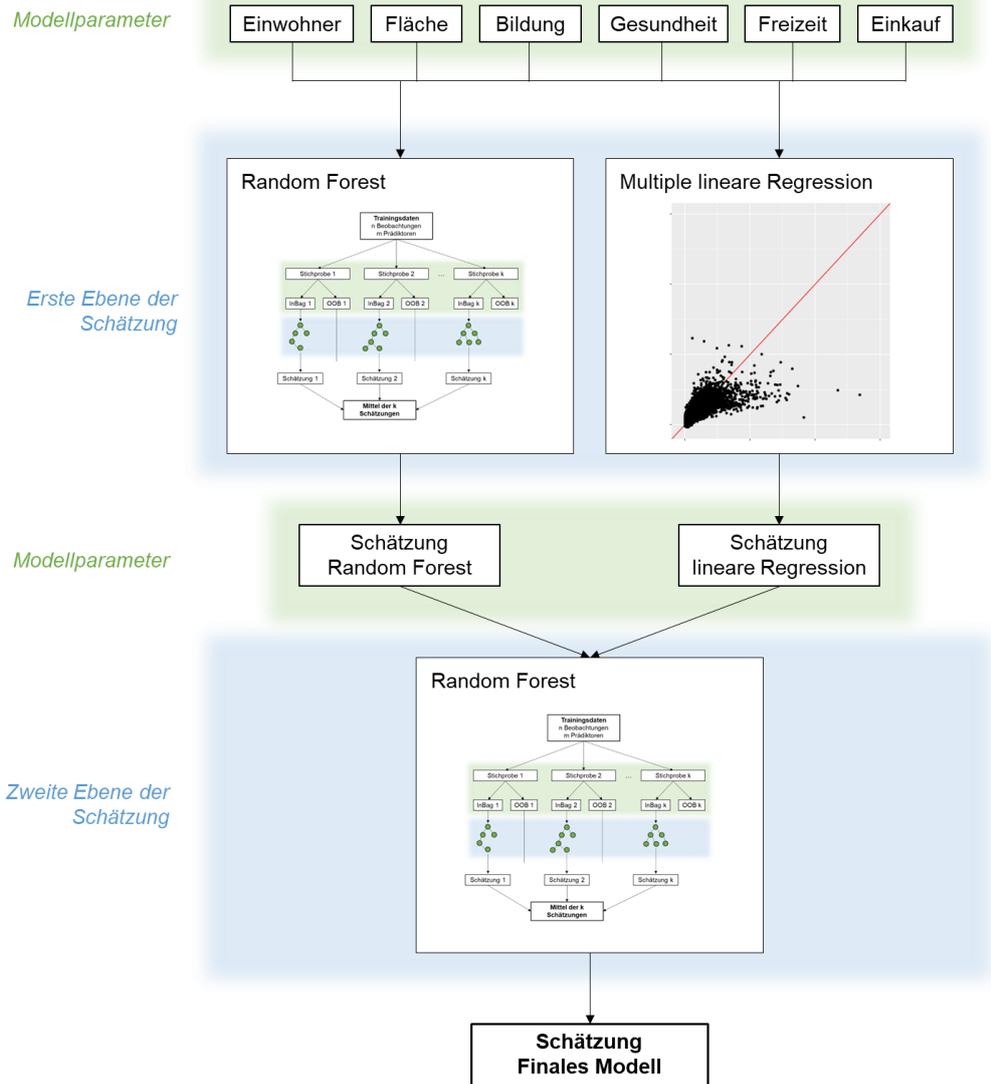


Abb.33 Schema finales Modell

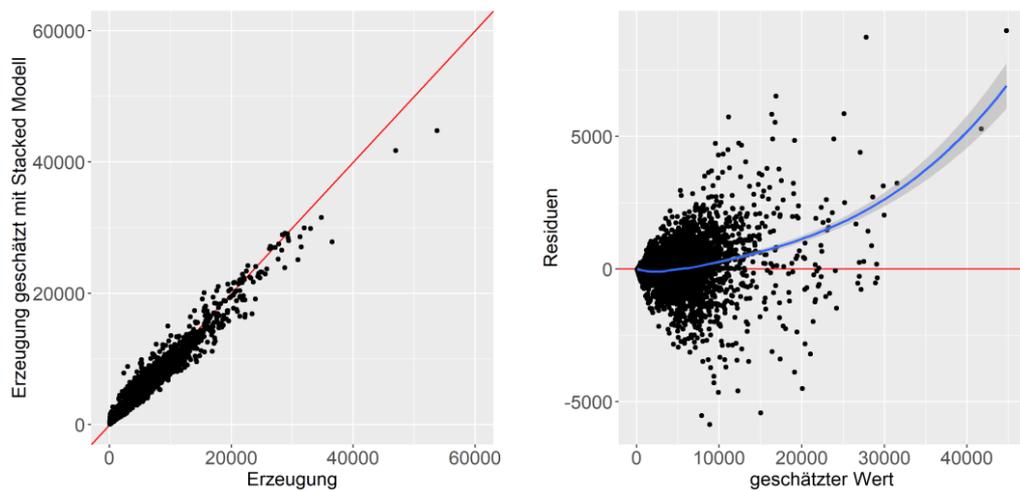


Abb.34 Streudiagramm Erzeugung vs. geschätzte Erzeugung mittels Stacked Modell und Residuenanalyse

Gruppe 2 (Auslandszonen > 233 km²)

Multiple lineare Regression (Modell 2)

Wie eingangs beschrieben, wird für die Gruppe 2 der Auslandszonen ein vereinfachtes Modell gerechnet, das sich auf die Prädiktoren «Einwohner» und «Fläche» stützt. Für die Modellschätzung werden die NPVM-Zonen auf MS-Regionen aggregiert, um eine mit den Auslandszonen vergleichbare Zonengrösse zu erreichen. Die Fläche wird, wie im Modell 1, logarithmisch transformiert. Dadurch ergibt sich für das Modell 2 folgender funktionaler Zusammenhang:

$$P_j = 47937.23 + 4.644 \cdot \text{Einwohner} - 16708.98 \cdot \ln(\text{Fläche})$$

Abb.30 zeigt links in einem Streudiagramm die Erzeugung gemäss NPVM (x-Achse) und die geschätzte Erzeugung (y-Achse) gemäss dem linearen Modell. Rechts in der Abbildung ist die Residuenanalyse dargestellt: Auf der x-Achse ist der geschätzte Wert, auf der y-Achse das Residuum dargestellt.

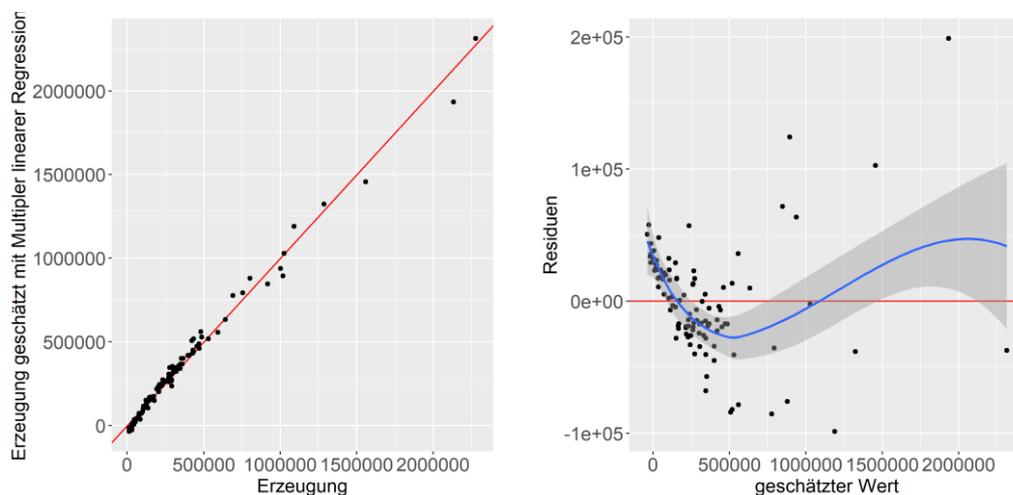


Abb.35 Streudiagramm Erzeugung vs. geschätzte Erzeugung mittels multipler linearer Regression und Residuenanalyse

Das Modell hat ein R^2 von 0.99 und einen normierten nRMSE von 0.022. Die Diagramme zeigen, dass die Schätzung bei kleinen Verkehrserzeugungen unter dem wahren Wert liegen und bei grossen Erzeugungen eher darüber. Die Analyse der Residuen zeigt kein zufriedenstellendes Bild, da sie nicht zufällig verteilt sind. Da die Gruppe 2 der Auslandszonen weiter entfernt liegen und ihr Gewicht für die Berechnung der Erreichbarkeit geringer ist, kann diese Modellgüte akzeptiert werden.

Anwendung der Modelle auf die Auslandszonen

Mit den Modellen 1 und 2 kann die Verkehrserzeugung im Ausland geschätzt werden. Die grösste Herausforderung dabei ist die eingangs erwähnte Extrapolation und die damit verbundene Gefahr, dass unplausible Schätzwerte berechnet werden. Um ein Gefühl für das Verhalten des Modells zu erhalten, wird die Modellschätzung des finalen Modells für Gruppe 1 (zweite Ebene der Schätzung gemäss Abb.33) mit den beiden Modellen der ersten Ebene der Schätzung verglichen. Abb.36 zeigt links in einem Streudiagramm die Schätzwerte der multiplen linearen Regression (erste Ebene der Schätzung) und des finalen Modells (Stacked Modell) und rechts die Schätzwerte des Random-Forest-Ansatzes (erste Ebene der Schätzung) und des finalen Modells.

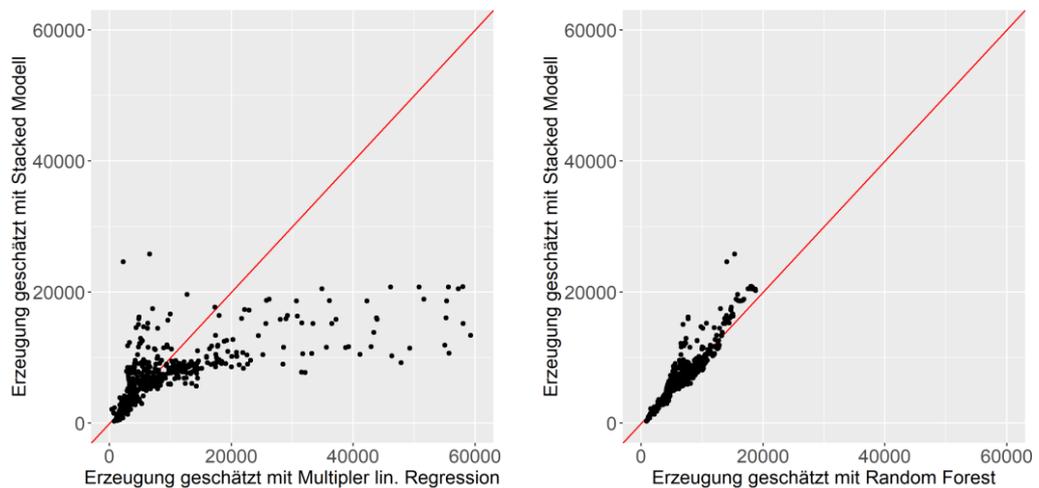


Abb.36 Streudiagramm Erzeugung geschätzt mit Stacked Modell und multipler linearer Regression bzw. Random Forest für Gruppe 1

Es ist gut zu erkennen, dass das finale Modell und der Random Forest (der ersten Ebene der Schätzung) zu ähnlichen Schätzwerten kommt (rechtes Diagramm): Die Punkte liegen mehr oder weniger auf der roten Diagonale. In der Tendenz werden die Schätzungen im finalen Modell gegenüber Zwischenergebnis (Random Forest) etwas erhöht. Dies ist positiv zu bewerten, da gezeigt wurde, dass der Random Forest zu tendenziell zu niedrigen Schätzungen geführt hat (vgl. Abb.32). Die Unterschiede zwischen der multiplen linearen Regression und dem finalen Modell sind deutlich grösser (linkes Diagramm): Während die lineare Regression (der ersten Ebene der Schätzung) Werte bis rund 60'000 schätzt, zeigt das finale Modell (das auf einem Random-Forest-Ansatz basiert, siehe Abb.33) eine Deckelung im Bereich von rund 20'000. Dies ist typisch für den Random Forest und wurde bereits in Abb.24 erläutert. Es stellt sich hierbei die Frage, ob das problematisch ist bzw. ob nun das finale Modell oder die lineare Regression die bessere Schätzung liefert. Diese Frage kann nicht direkt beantwortet werden, die Schätzungen des finalen Modells können jedoch grob plausibilisiert werden. Hierzu wird das Verhältnis der Erzeugung gemäss NPVM zur geschätzten Erzeugung berechnet. Es ist zu erwarten, dass dieses Verhältnis kleiner als 1 ist, da im Modell nur die Verkehrserzeugung mit Bezug zur Schweiz ausgewiesen ist und die Schätzung die gesamte Verkehrserzeugung beinhaltet. Zudem ist zu erwarten, dass das Verhältnis in der Tendenz mit zunehmendem Abstand zur Schweizer Grenze (ausgedrückt in MIV-Fahrzeit) dargestellt.

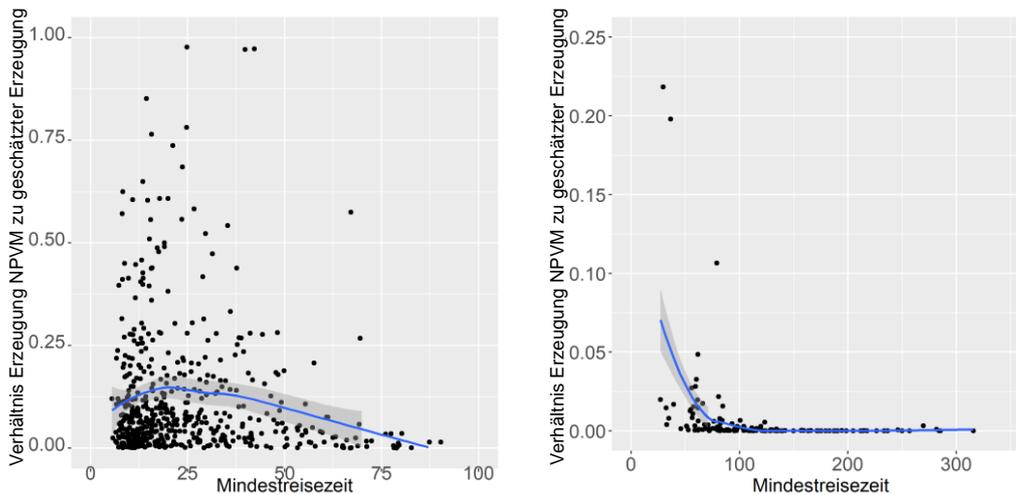


Abb.37 Streudiagramm Verhältnis Erzeugung NPVM zu geschätzter Erzeugung vs. Mindestreisezeit MIV zur Schweizer Grenze. Links = Modell 1, rechts = Modell 2

Das linke Diagramm in der Abbildung zeigt den erwarteten Trend für das Modell 1, dass das Verhältnis von Erzeugung gemäss NPVM zu geschätzter Erzeugung mit zunehmender Distanz zur Schweizer Grenze abnimmt. Gleichzeitig ist auch festzustellen, dass in Grenznähe zahlreiche geringe Verhältnisse zu finden sind. Auffällig sind ein paar Ausreisser, die in der Abbildung nicht dargestellt sind. In Tab. 7 sind diejenigen Zonen der Gruppe 1 aufgeführt, die die Verkehrserzeugung mit Sicherheit unterschätzen, da sie weniger Verkehrserzeugung schätzen, als das NPVM angibt (Verhältnis > 1).

Tab. 7 Auslandszonen mit geschätzter Erzeugung kleiner als im NPVM

Zonen-Nr. (NPVM)	Einwohner	Erzeugung (NPVM)	Erzeugung geschätzt	Verhältnis NPVM / pro Einwohner geschätzt	Erzeugung pro Einwohner (NPVM)	Erzeugung pro Einwohner (geschätzt)
837108140	197	3'522	373	9.4	17.9	1.9
837108035	681	4'829	2'053	2.4	7.1	3.0
834202072	0	10'727	4'748	2.3	--	--
837101027	644	4'504	2'084	2.2	7.0	3.2
837108127	1'724	7'306	5'233	1.4	4.2	3.0
837101024	925	4'742	3'452	1.4	5.1	3.7
834301003	5'206	707	544	1.3	1.9	1.4
837108039	1'080	4'634	3'599	1.3	4.3	3.3
837108087	0	8'246	7'608	1.1	--	--
821309073	7'038	8'036	7'569	1.1	1.1	1.1

Die auffälligste Zone (Nernier) mit einem Verhältnis von 9.4 dürfte im NPVM unrealistisch abgebildet sein: Es hat eine Erzeugungsrate (Verkehrserzeugung pro Einwohner) von 17.9. Das ist deutlich über dem erwarteten Wert. Ein Blick auf das Luftbild gibt keine Hinweise auf eine stark verkehrserzeugende Einrichtung. Die geschätzte Erzeugungsrate für diese Zone von 1.9 ist zwar eher gering, aber insgesamt plausibler. Als weitere Plausibilisierung kann in diesem Zusammenhang die Verteilung der geschätzten Erzeugungsraten herangezogen werden (vgl. Abb.38).

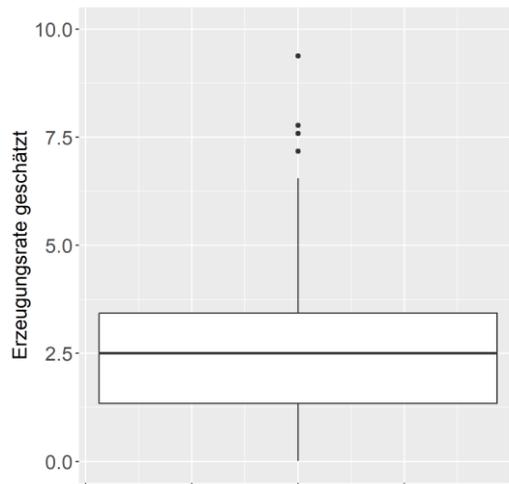


Abb.38 Boxplot der geschätzten Erzeugungsraten (pro Einwohner), Werte > 10 abgeschnitten

In der Abbildung sind 17 Ausreisser mit Erzeugungsraten > 10 nicht dargestellt. Insgesamt scheint die Verteilung aber plausibel. Aufgrund dieser Plausibilisierungen wird das Modell 1 wie beschrieben angewandt und die Ergebnisse für die Berechnung der Erreichbarkeit weiterverwendet. Für die Anwendung in der Praxis wären weitere Plausibilisierungsschritte zu prüfen, um die Schätzung möglichst exakt durchzuführen und Unsicherheiten auszuräumen. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird auf weitere Analysen verzichtet.

Das rechte Diagramm für Modell 2 in Abb.37 mit den abfallenden Verhältnissen mit zunehmender Distanz zur Schweiz entspricht sehr gut den Erwartungen. Modell 2 weist jedoch den Nachteil auf, dass für zwölf der 150 Zonen negative Verkehrserzeugungen geschätzt werden (vgl. Tab. 8). Grund hierfür ist die Extrapolation aus dem Modellraum in Bezug auf die Einwohner. Wie weiter oben erläutert, wurde die Gruppenbildung der Zonen auf Basis der Flächengrössen vorgenommen, so dass in Bezug auf diesen Prädiktor keine Extrapolation stattfindet. Bezüglich Einwohner aber verhält es sich so, dass im Trainingsdatensatz der geringste Wert rund 4'000 Einwohner beträgt, im Auslandsdatensatz hingegen rund 2'300. Daher sind negative Schätzwerte möglich. In diesem Fall wird der Erzeugungswert aus dem grenzquerenden Verkehr (Wert gemäss NPVM) verwendet. Die betroffenen Zonen liegen alle etwas weiter von der Schweiz entfernt, im Mittel beträgt die MIV-Reisezeit bis zur Zone rund 80 Minuten, die nächste dieser Zonen ist 45 Minuten von der Schweizer Grenze entfernt, die weiteste 120 Minuten. Daher scheint diese Vereinfachung ohne weitere Analysen zulässig.

Tab. 8 Auslandszonen (Gruppe 2) mit negativ geschätzter Erzeugung

Zonen-Nr. (NPVM)	MIV-Reisezeit [Minuten]	Erzeugung (NPVM)	Erzeugung geschätzt
841404006	95	162	-43'722
813301001	97	16	-36'093
841104012	66	22	-34'575
841104004	80	14	-33'601
841200005	84	58	-28'351
813401003	72	167	-26'104
837108019	69	143	-22'561
813304002	121	273	-22'314
841200004	70	57	-21'470
842901006	45	1'222	-19'953
813304005	85	38	-17'802

Fazit

Obwohl der Ansatz mittels Verkehrserzeugung eine Schätzung der Daten für das Ausland erfordert, bietet er im Gegensatz zum Ansatz mittels Einwohner und Arbeitsplätzen den Vorteil, dass für das Ausland keine Arbeitsplatzdaten beschafft werden müssen und dass Zonen mit verkehrsintensiven Nutzungen adäquat berücksichtigt werden. Die Aufbereitung der Arbeitsplatzdaten für das Ausland würde einen grossen Aufwand bedeuten. Die oben beschriebene Methode zur Berechnung der Erzeugung im Ausland ist ebenfalls aufwändig und komplex, sie lässt sich jedoch fast vollständig automatisieren und ist damit in der späteren Anwendung deutlich weniger aufwändig als die Beschaffung und Aufbereitung von Arbeitsplatzdaten im Ausland.

Die Forschungsstelle hätte auf Basis dieser Grundlagen in Abstimmung mit der BK zunächst die Methode «Verkehrserzeugung» vorgeschlagen. Im Verlauf der Projektbearbeitung wurde jedoch die Erarbeitung der Schweizerischen Verkehrsperspektiven 2050 vom Bundesamt für Raumentwicklung abgeschlossen [29], in dessen Rahmen Strukturdaten für das Ausland auf NPVM-Zonenebene aufbereitet wurden. Diese konnten der Forschungsstelle kurz vor Projektabschluss zur Verfügung gestellt werden. Damit lagen auch für das Ausland die erforderlichen Strukturdaten vor und einer der Gründe für die Methode «Verkehrserzeugung» fiel weg. Daraufhin wurde untersucht, inwiefern sich die Erreichbarkeitskategorien für den MIV ändern würden, wenn statt der Verkehrserzeugung die Einwohner und Arbeitsplätze als Potenzial verwendet würden (vgl. Kapitel 3.4.3). Die Forschungsstelle konnte nicht ohne Weiteres beurteilen, welche Methode bessere Werte liefert, zumal beide Methoden mit Unsicherheiten behaftet sind. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Auslandsdaten auch in Zukunft aus den jeweils aktuellen Verkehrsperspektiven für die Berechnung der Erreichbarkeit verwendet werden können und sich die Datenlage im Ausland weiter verbessert. In Anbetracht dieser neuen Ausgangslage hat die Forschungsstelle in Absprache mit der BK entschieden, für die Berechnung der Erreichbarkeit das Potenzial mit Einwohnern und Arbeitsplätzen anzunähern. Da dieser Entscheid unmittelbar vor Projektabschluss gefällt wurde, beziehen sich die Abbildungen und Berechnungen im vorliegenden Bericht auf die Methode «Verkehrserzeugung». In Kapitel 3.4.3 wird aufgezeigt, inwiefern sich die Güteklassen durch die Anpassung der Methode ändern.

Tagesverkehr vs. Stundenverkehr

Statt des DWV könnte für die Verkehrserzeugung auch die ASP oder die MSP oder Kombinationen davon verwendet werden. Dass das Potenzial im DWV verwendet wird, bedeutet, dass eine *generelle Erreichbarkeit* – ungeachtet der Öffnungs- bzw. Nutzungszeiten der Potenziale – berechnet wird. Eine weitere Möglichkeit bestünde darin, das Potenzial am Zielort nach Aktivitäten zu gewichteten. Denn unterschiedliche Aktivitäten werden unterschiedlich oft genutzt. Auch wird in der Literatur vorgeschlagen, die Erreichbarkeit für verschiedene Nutzergruppen mit verschiedenen Bedürfnissen zu berechnen [7]. Diese Verfeinerung der Methodik wurde im Rahmen dieser Forschungsarbeit – in Rücksprache mit den anderen Teilprojekten und der Begleitkommission – nicht angewendet, um die Einfachheit der praktischen Umsetzung zu gewährleisten.

Resultate der Beispielanwendung

Um die beiden diskutierten Methoden miteinander zu vergleichen, wurden beide Methoden durchgerechnet (vgl. Abb.39 und Abb.40). Für die Methode mit Einwohnern und Arbeitsplätzen standen für das Ausland keine Arbeitsplatzdaten zur Verfügung und diese sind somit nicht berücksichtigt. Als Raumwiderstand wurde für die Darstellung eine Exponentialfunktion der Form $e^{\beta \cdot t_{ij}}$ mit $\beta_{MIV} = -0.05$ bzw. $\beta_{ÖV} = -0.032$ aus dem Grundlagenbericht verwendet. Die Diskussion zum Raumwiderstand findet sich in Kapitel 3.3.4.

Die Ergebnisse in den Abbildungen sind so skaliert, dass das Fallbeispiel mit dem grössten Erreichbarkeitsindex jeweils 100% erhält. Mit dieser Normierung können die *relativen Unterschiede* der beiden Methoden hinsichtlich Rangierung der Fallbeispiele analysiert wer-

den. Ein Vergleich der Ergebnisse des Erreichbarkeitsindex' mit der Methode Verkehrserzeugung und der Methode Einwohner- und Arbeitsplätze zeigt, dass die Hierarchien zwischen den Fallbeispielen nicht entscheidend beeinflusst werden. So bleibt das Entwicklungsgebiet Binz unabhängig von der Wahl der Methode das Gebiet mit dem höchsten Potenzial.

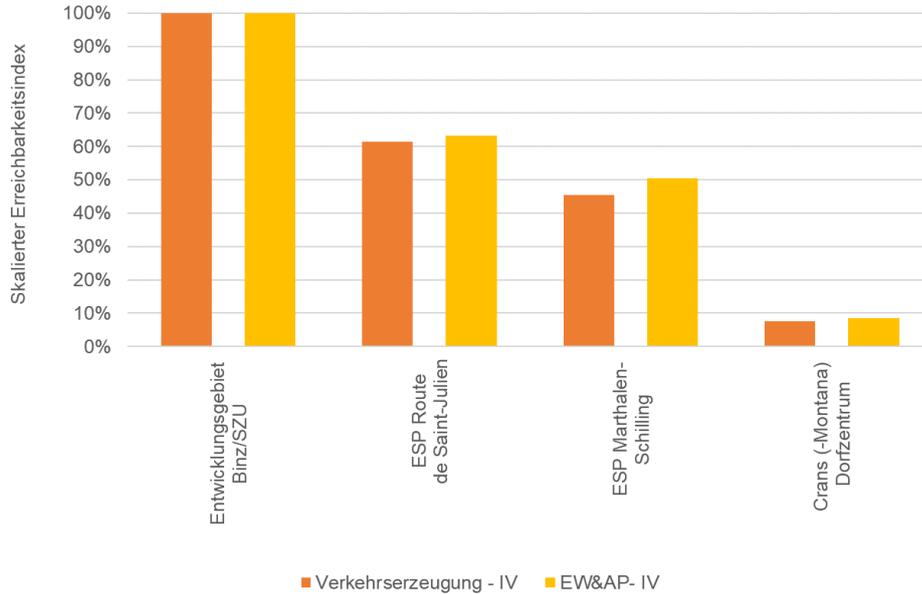


Abb.39 Skalierter Erreichbarkeitsindex MIV für Potenzial: Verkehrserzeugung und EW&AP (ohne AP im Ausland), mit Raumwiderstand: $e^{\beta \cdot t_{ij}}$, $\beta_{MIV} = -0.05$

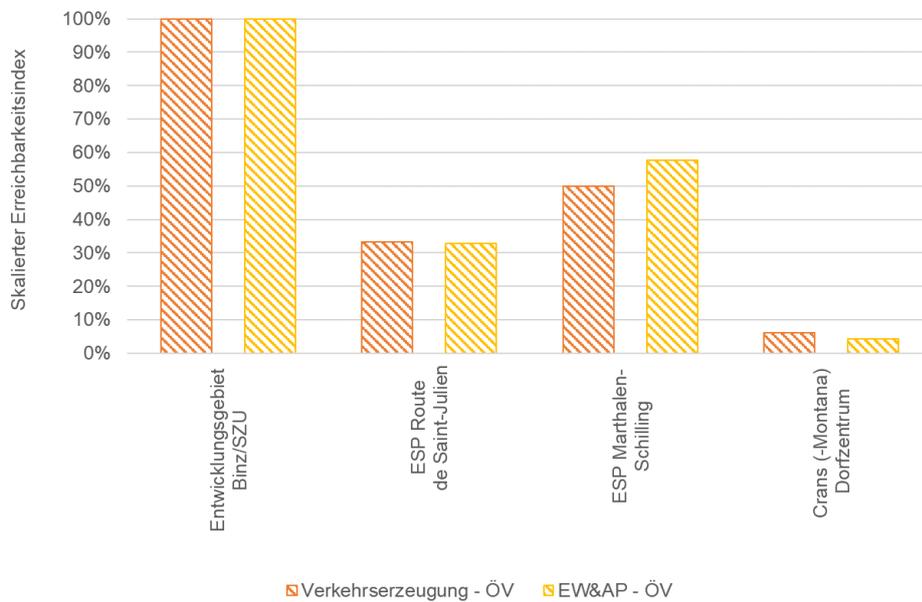


Abb.40 Skalierter Erreichbarkeitsindex ÖV für Potenzial: Verkehrserzeugung und EW&AP (ohne AP im Ausland), mit Raumwiderstand: $e^{\beta \cdot t_{ij}}$, $\beta_{ÖV} = -0.032$

Unabhängig von der Wahl der Methode für die Potenziale ist zu bemerken, dass Potenziale in der Startzone (Eigenpotenzial) in der Berechnung berücksichtigt werden sollten. So kann sichergestellt werden, dass Zonen mit wenigen Potenzialen neben einer sehr potentialintensiven Zone keine höhere Erreichbarkeit aufweisen [30]. Gemäss Pooler hat besonders

die Grösse der untersuchten Einheiten einen Einfluss auf die Bedeutung des Eigenpotenzials [31]. Je feiner die Einheit ist, desto geringer ist der Einfluss des Eigenpotenzials. In der gewählten Methodik wird dieses Eigenpotenzial berücksichtigt. Auch hier wurde eine Beispielberechnung durchgeführt (vgl. Abb.40), allerdings ohne Korrektur der Auslandpotenziale. Sie zeigt, dass das Eigenpotenzial je nach Fallbeispiel einen unterschiedlichen Einfluss hat. Für Crans-Montana, einen Ort, der wenig Potenzial in der Umgebung aufweist, hat die Berücksichtigung des Eigenpotenzials einen grösseren Einfluss, was die Erkenntnis von Pooler bestätigt [31]. Am Standort Binz ist dieser eher klein. Der Einfluss vom Eigenpotenzial hängt ausserdem vom gewählten Raumwiderstand ab. Ist der Raumwiderstand grösser, nimmt das Gewicht des Eigenpotenzials zu.

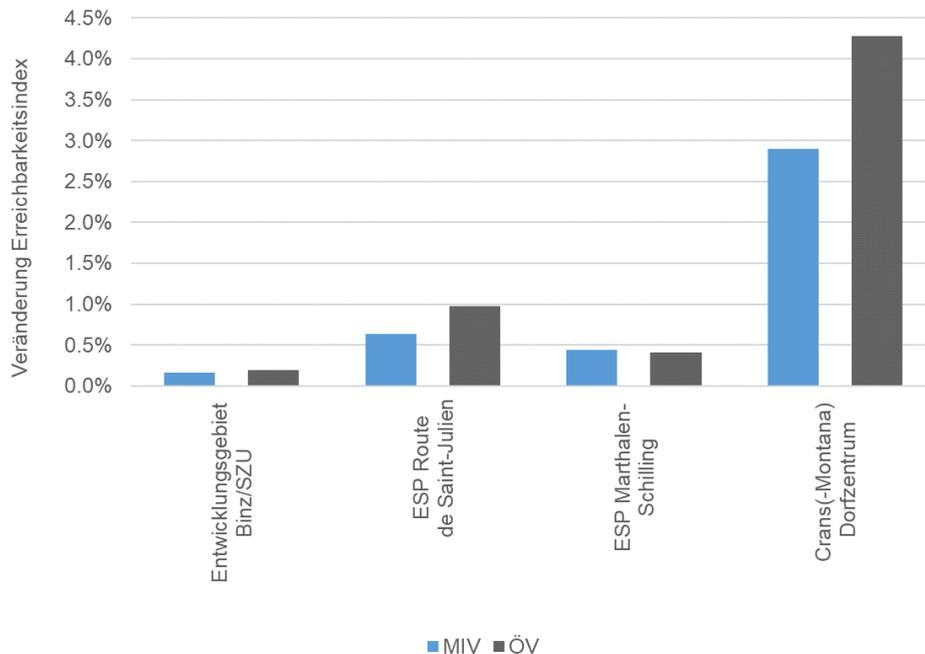


Abb.41 Veränderung des Erreichbarkeitsindex bei Berücksichtigung des Eigenpotenzials, mit Raumwiderstand: $e^{\beta \cdot t_{ij}}$, $\beta_{MIV} = -0.05$ bzw. $\beta_{ÖV} = -0.032$ (ohne Korrektur der Auslandpotenziale)

3.3.4 Raumwiderstand

Einleitung

Der Raumwiderstand gibt an, zu welchem Mass ein erreichbares Potenzial j gewichtet wird und damit wie stark j in die Erreichbarkeit eines Standorts i einfließt. Wie bereits erwähnt, nimmt das Gewicht eines Potenzials j mit zunehmender Reisezeit (t) ab. Um den Raumwiderstand zu bestimmen, werden zwei Angaben benötigt: die Reisezeit t und eine sogenannte Distance-Decay-Funktion, die auf Basis der Reisezeit angibt, wie stark das Potenzial am Zielort für den Standort i relevant ist und wie stark es gewichtet werden soll.

Reisezeit

Die Reisezeiten t werden aus dem NPVM übernommen, die in Form von Kenngrössenmatrizen vorliegen, die für jede Quelle-Ziel-Relation im Modell die durchschnittliche Reisezeit angeben.

MIV

In Bezug auf die Wahl der Reisezeit MIV gibt es mehrere Möglichkeiten:

- Berücksichtigung des unbelasteten oder des belasteten Netzes

- Berücksichtigung der Reisezeit in der Spitzenstunde oder im Tagesverkehr

In Abstimmung mit den anderen Teilprojekten wurde entschieden, das *belastete* Netz zu verwenden. Beim Kapazitätsindex (Kapitel 3.2) handelt es sich um eine reine angebotsorientierte Betrachtung, die das vorherrschende Verkehrsaufkommen ignoriert. Die Berücksichtigung des belasteten Netzes bei der Erreichbarkeit kann hier einen gewissen Ausgleich schaffen, indem erhöhte Widerstände durch hohes Verkehrsaufkommen bei der Erreichbarkeit Berücksichtigung finden.

Die Wahl der betrachteten Zeit fiel auf den *Tagesverkehr*. Eine Berücksichtigung der Reisezeit in einer der beiden Spitzenstunden (Abendspitzenstunde oder Morgenspitzenstunde) würde eine auf Spitzenstunden ausgerichtete Verkehrsplanung fördern, was zu einem ineffizienten Ressourceneinsatz führt. Vielmehr aber ist die Wahl der betrachteten Zeit von der jeweiligen Nutzung abhängig. Soll ein Arbeitsplatzstandort hinsichtlich seiner Erreichbarkeit untersucht werden, so ist die Spitzenstunde massgebend. Steht hingegen eine Freizeiteinrichtung im Fokus, so ist die Spitzenstunde in der Regel irrelevant. Idealerweise würde die Reisezeit je nach Nutzung unterschiedlich gewählt. Da aber eine nach Nutzung differenzierte Erreichbarkeit aufgrund der Praxistauglichkeit nicht weiterverfolgt werden sollte (siehe auch weiter oben), fiel die Wahl auf den Tagesverkehr, im Sinne einer *mittleren Reisezeit*.

Die Reisezeit t für den MIV setzt sich somit zusammen aus:

- der Anbindungszeit an Quell- und Zielzone,
- der Fahrzeit im belasteten Netz im Tagesverkehr (DWV)

Abb.43 zeigt die Zusammensetzung der Reisezeit für den MIV schematisch.

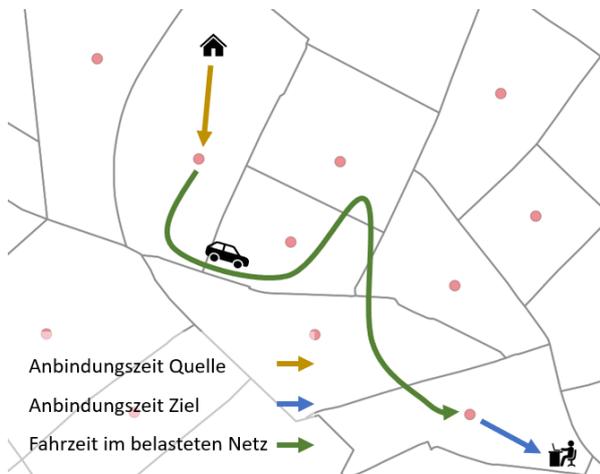


Abb.42 Zusammensetzung der Reisezeit für den MIV

Um die intrazonale Reisezeit zu schätzen gibt es Ansätze, welche die Fläche der Zone [32] berücksichtigen und solche, welche die Reisezeit zur Nachbarzone berücksichtigen [33], [34]. In Anlehnung an diese Autoren, wird die intrazonale Reisezeit mit der Hälfte der minimalen Reisezeit zur nächsten Nachbarzone angenähert. Für die Reisezeit des MIV relevant wäre auch die Parksuchzeit in der Zielzone. Das NPVM weist zwar Parksuchzeiten pro Zone aus, diese basieren jedoch nicht auf beobachteten Werten, sondern auf geschätzten Zeitwerten, welche so bestimmt wurden, dass der Modal Split in den Städten besser getroffen wird. Für die Reisezeit kann daher die Parksuchzeit nicht berücksichtigt werden.

ÖV

Für den ÖV dient die empfundene Reisezeit als Grundlage. Sie setzt sich aus den folgenden gewichteten Komponenten zusammen [35]:

- der Zugangs- und Abgangszeit (x1.34)
- der Startwartezeit (x0.89),
- der Fahrzeit im Fahrzeug inkl. Zwischenhaltezeiten (x1.0),
- der Umsteigewartezeit (x0.9),
- der Umsteigehäufigkeit (Strafe: 6min 46sek) und
- der Gehzeit zwischen den Haltepunkten beim Umsteigen (x1.34).
- Abb.43 zeigt die Zusammensetzung der Reisezeit für den ÖV schematisch.

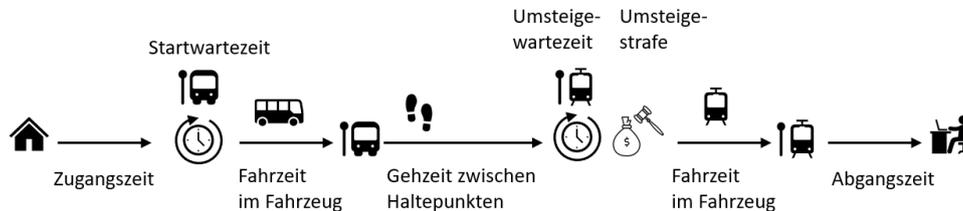


Abb.43 Zusammensetzung der Reisezeit für den ÖV

In Bezug auf die Zusammensetzung der Reisezeit ist zu bemerken, dass die empfundene Reisezeit des ÖV – wie sie auch im NPVM berechnet wird – methodisch weiterentwickelt werden könnte. Ein Umsteigen wird immer gleich bestraft (rund 7 Minuten Strafe), unabhängig davon, ob in der Stadt das Tram gewechselt wird oder an einem grossen Bahnhof mit Gepäck das Perron gewechselt werden muss. Dies entspricht zwar nicht der Realität, konnte jedoch im Rahmen dieses Forschungsprojekt nicht vertieft werden.

Distance-Decay-Funktion

Mit zunehmender Reisezeit von einem Startpunkt zu einem Zielort vermindert sich die Anzahl der Wege auf der entsprechenden Relation. Die Distance-Decay-Funktion berücksichtigt diesen Umstand, d.h. das Gewicht eines Standorts ist desto geringer, je weiter entfernt es vom betrachteten Start-Standort liegt. Laut Levinson & Wu ist diese «empirische Kalibration» des Raumwiderstandes üblich [7]. Für den MIV und ÖV werden unterschiedliche Distance-Decay-Funktionen bestimmt, da sich die durchschnittlichen Reisezeiten für die beiden Verkehrsmittel unterscheiden [36]. Im Grundlagenbericht wurde eine exponentielle Kostenfunktion der Form $e^{\beta \cdot t_{ij}}$ vorgeschlagen, wobei die Reisezeit t_{ij} und ein festzulegendes β die Funktion parametrisieren. Für den MIV und ÖV wurden unterschiedliche β gewählt. Da gemäss des Schweizer Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015 (MZMV 2015) für den MIV 95% der Fahrten kürzer als 60 Minuten dauern, wurde der Parameter β_{MIV} so bestimmt, dass die Distance-Decay-Funktion bei 60 Minuten den Wert 0.05 annimmt ($e^{\beta \cdot 60} = 0.05$). Analog dazu wurde der Parameter β_{OV} so bestimmt, dass die Funktion bei 95 Minuten den Wert 0.05 annimmt ($e^{\beta \cdot 95} = 0.05$), da 95% der zurückgelegten Wege weniger als 95 Minuten lang sind. Für den MIV nimmt die Exponentialfunktion mit dem im Grundlagenbericht gewählten β eine zufriedenstellende Form an, d.h. die empirische Verteilung wird gut getroffen (vgl. Abb.44). Für den ÖV weicht die exponentielle Kurve jedoch signifikant von der empirischen Verteilung ab, sodass im Rahmen dieser Forschungsarbeit eine neue Formulierung der Distance-Decay-Funktion vorgeschlagen wird.

MIV

Gemäss den einleitenden Ausführungen wird für den MIV – analog zum Grundlagenbericht – eine exponentielle Kostenfunktion mit $\beta_{MIV} = -0.05$ gewählt, da diese Funktion die empirische Verteilung der Reisezeiten bestmöglich annähert (siehe Abb.44). Die Formulierung der Erreichbarkeit für einen Standort i ist somit:

$$E_{iMIV} = \sum e^{\beta \cdot t_{ij}} \cdot P_j$$

mit $\beta = -0.05$

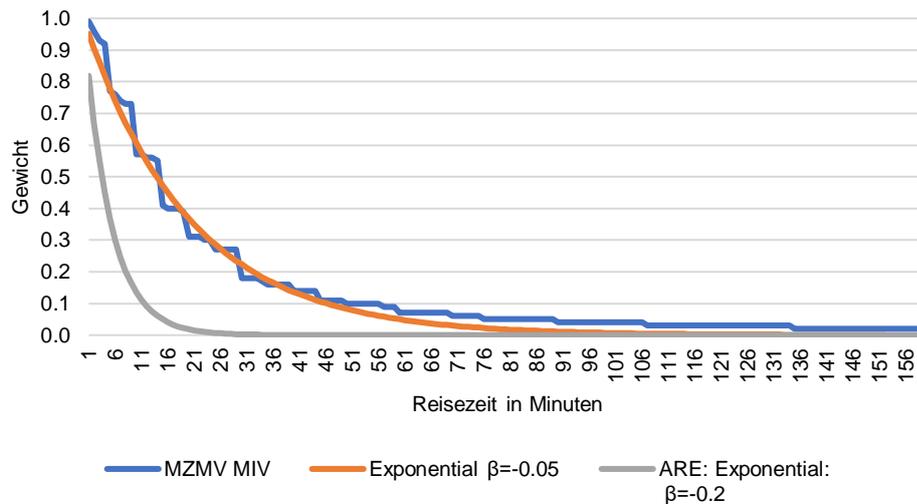


Abb.44 Verteilung der Reisezeiten und Distance-Decay-Funktionen MIV

ÖV

Für den ÖV wurden verschiedene Funktionsformen und -parameter getestet und festgestellt, dass je nach Reisezeit eine Gauss- bzw. eine Exponentialverteilung die empirische Reisezeitverteilung am besten annähert. Hierbei gilt es zu beachten, dass die Reisezeit gemäss MZMV von der Berechnungsmethodik der von der Forschungsstelle gewählten Reisezeit (siehe oben) abweicht. Im MZMV werden keine Gewichtungsfaktoren für die verschiedenen Komponenten berücksichtigt und ebenso wenig wird eine Strafe für das Umsteigen berechnet. Da jedoch durch die Berechnung der Reisezeiten auf Ebene der Verkehrszonen schon eine Ungenauigkeit in diese integriert ist und die Zeit im ÖV-Verkehrsmittel den grössten Anteil ausmacht, ist dies zu vernachlässigen. Die Formulierung für die Erreichbarkeit ist wie folgt:

$$E_{i_{\text{ÖV}}} = \sum \begin{cases} e^{\beta \cdot t_{ij}^2}, & t_{ij} < 58 \\ e^{\beta \cdot t_{ij}}, & t_{ij} \geq 58 \end{cases} \cdot P_j$$

mit $\beta = -0.032$, falls $t_{ij} < 58$ Minuten

mit $\beta = -0.023$, falls $t_{ij} \geq 58$ Minuten

Aus Abb.45 ist ersichtlich, dass die zusammengesetzte Formulierung die empirische Reisezeitenverteilung wesentlich besser als die im Grundlagenbericht vorgeschlagene Exponentialfunktion abbildet.

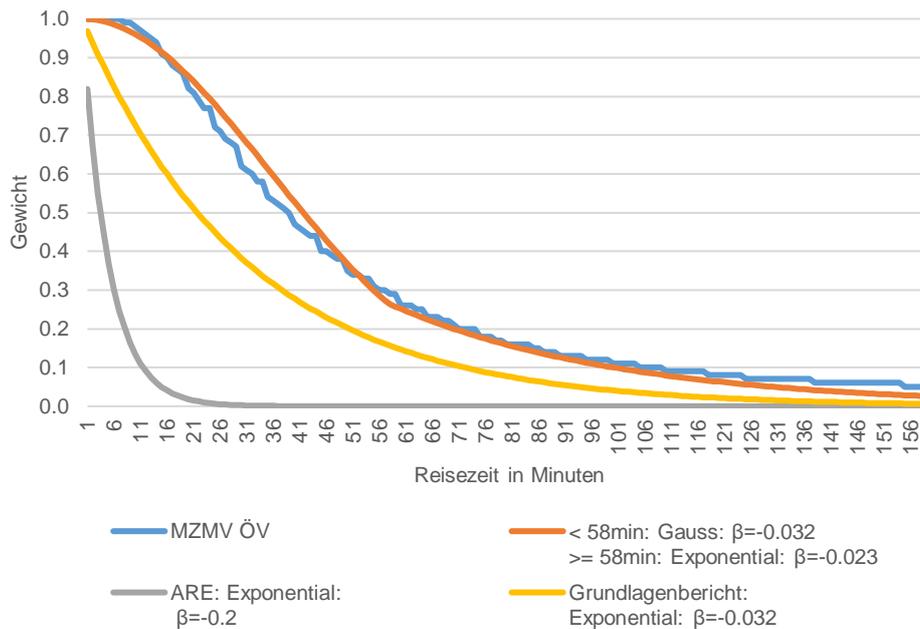
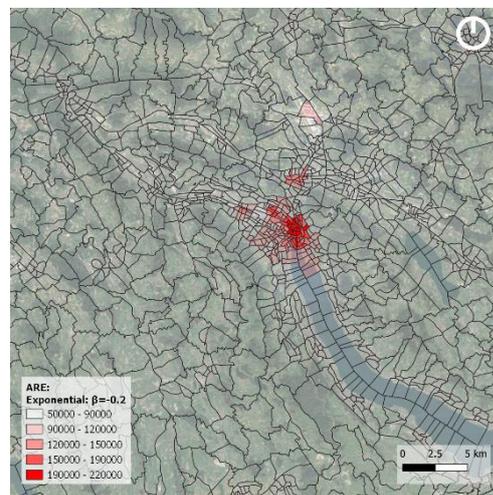
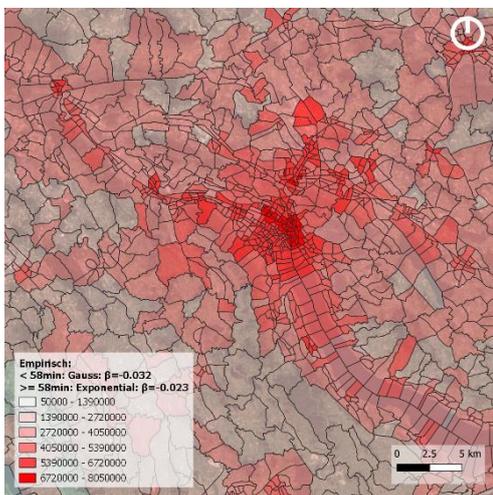


Abb.45 Verteilung der Reisezeiten und Distance-Decay-Funktionen ÖV

In Abb. 46 ist die Wirkung der verschiedenen Distance-Decay-Funktionen für den ÖV illustriert. Es ist ersichtlich, dass die vom ARE verwendete Funktion zu einer Konzentration hoher Erreichbarkeiten in den zentralen Stadtteilen der Stadt Zürich führt. Jedoch haben selbst zentrumsnahe Stadtteile wie bspw. Wiedikon keine hohen Erreichbarkeitswerte. Die Orte mit hoher Erreichbarkeit sind sehr ähnlich in der Variante mit der empirischen und der im Grundlagenbericht verwendeten Funktion. Dennoch wird entschieden die neu vorgeschlagene empirische Formulierung zu verwenden, da sie im Vergleich zu der im Grundlagenbericht verwendeten Funktion eine bessere methodische Rechtfertigung hat.



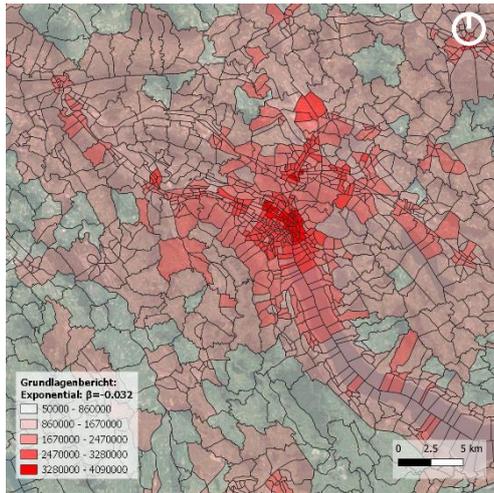


Abb. 46 Wirkung verschiedener Distance-Decay-Funktionen auf die Erreichbarkeitswerte, äquidistante Kategoriengrenzen

3.3.5 Beispielanwendung

Mit den in Kapitel 3.3.3 festgelegten Funktionen wurde für die vier Fallbeispiele der Erreichbarkeitsindex berechnet (vgl. Abb.47). Das Entwicklungsgebiet Binz schneidet am besten ab. Dies lässt sich mit der Lage in der grössten Agglomeration der Schweiz erklären, wo in unmittelbarer Nähe sehr viele Potenziale vorhanden sind. Die niedrigen Werte für Crans(-Montana) sind ebenfalls schlüssig, da es ein touristischer Standort in wenig dicht bebauter Umgebung ist. Auch der hohe Erreichbarkeitsindex für Marthalen-Schilling lässt sich mit der Nähe zu den Agglomerationen Zürich, Winterthur und Schaffhausen begründen.

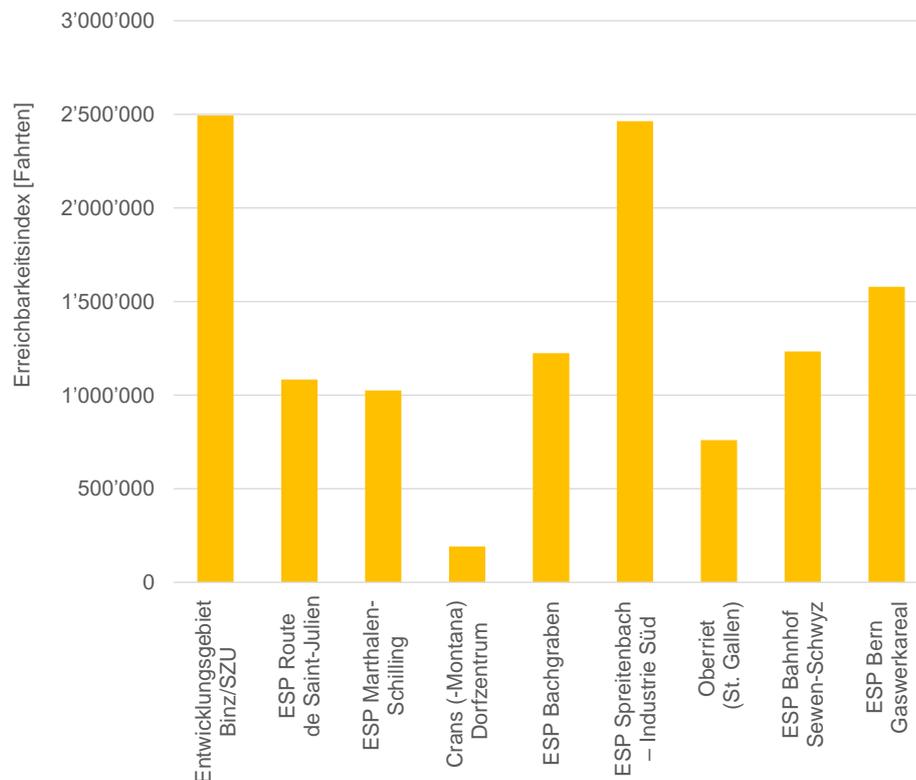


Abb.47 Ergebnisse Erreichbarkeitsindex MIV für die Fallbeispiele

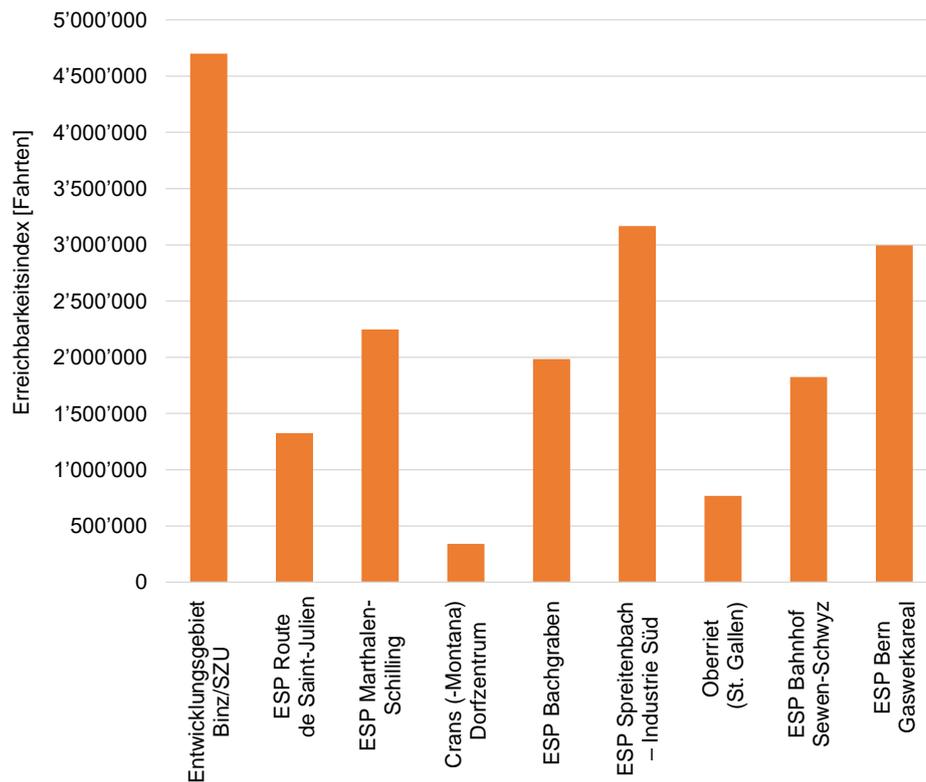


Abb.48 Ergebnisse Erreichbarkeitsindex OEV für die Fallbeispiele

Der Vergleich des Erreichbarkeitsindex' für den MIV mit demjenigen für den ÖV zeigt, dass der Index für den ÖV systematisch höher ist. Dies ist darin begründet, dass die Distance-Decay-Funktion für den ÖV deutlich längere Reisezeiten berücksichtigt: Ein Potenzial, das 60 Minuten mit dem MIV vom betrachteten Standort entfernt ist, geht mit einem Gewicht von 0.05 in den Erreichbarkeitsindex ein. Ein Potenzial, das 60 Minuten mit dem ÖV vom betrachteten Standort entfernt liegt, wird mit einem Gewicht von 0.25 berücksichtigt, also fünfmal stärker. Eine direkte Vergleichbarkeit des Erreichbarkeitsindex' zwischen MIV und ÖV ist somit durch die Wahl der Distance-Decay-Funktion nicht gegeben. Für die weitere Anwendung ist dieser Umstand jedoch unproblematisch, da für beide Verkehrsmittel separate Güteklassen hergeleitet werden (vgl. Kapitel 3.4). Vergleichbar sein müssen letzten Endes nicht die berechneten Erreichbarkeitsindizes – diese dienen in gewissem Masse als quantitative Zwischenergebnisse –, sondern die *Güteklassen*.

In Kapitel 3.4 werden auf Basis der berechneten Indikatoren die Güteklassen festgelegt. Dabei wird sich zeigen, dass die Skalen für den MIV und den ÖV unterschiedlich gewählt werden können. Damit kann die Vergleichbarkeit der beiden Indizes bei Bedarf wiederhergestellt werden.

3.4 Skalierung und Herleitung Güteklassen

3.4.1 Einleitung

Die in den Kapiteln 3.2 und 3.3 dargelegten Methoden zeigen auf, wie der Kapazitätsindex sowie der Erreichbarkeitsindex berechnet werden können. Mit den beiden Indizes allein können aber noch keine Aussagen über die Erschliessungsqualität eines bestimmten Standorts gemacht werden. Hierfür müssen sogenannte Güteklassen definiert werden. Es braucht sowohl in der Dimension Angebot (Kapazitätsindex) als auch Erreichbarkeit je eine Min-Max-Skala und eine damit verbundene Kategorisierung. Diese jeweiligen (Zwischen-)Kategorien (z.B. I bis V) werden dann überlagert zu den Güteklassen (A-E), vgl. Abb.49.

Erreichbarkeit

	I	II	III	IV	V
I	A	A	B	C	D
II	A	B	B	C	D
III	B	B	C	D	E
IV	C	C	D	D	E
V	D	D	E	E	E

Angebot / Kapazität

Abb.49 Schema Festlegung Güteklassen

Erst mit der Festlegung von Kategorien werden die berechneten Indizes *bewertet* und mit einer Qualitätsaussage versehen. Da es sich bei beiden Indizes um abstrakte Grössen handelt, ist eine sachlogische Herleitung der Kategorien nicht möglich. Für eine einzelne Strasse mit einer bestimmten Kapazität kann aufgrund von physikalischen Überlegungen beurteilt werden, ob die Kapazität als gut beurteilt werden kann: Wie viele Fahrzeuge können den Strassenquerschnitt passieren bei einem angenommenen Fahrzeugabstand? Der Kapazitätsindex hingegen vermengt Querschnittskapazitäten mit Längen und gewichtet diese je nach Ort unterschiedlich. Das Resultat ist physikalisch nicht mehr fassbar. Um beurteilen zu können, ob ein bestimmter Kapazitätsindex für eine *gute* oder *unbefriedigende* Qualität steht, muss daher zwingend eine datengestützte Skalierung herangezogen werden. Bei der datengestützten Skalierung wird die Häufigkeitsverteilung der berechneten Indexwerte herangezogen und auf Basis dieser Information festgelegt, wo die Grenzen der Kategorien sind.

Für eine datengestützte Skalierung bieten sich in erster Linie lineare und logarithmische Skalen an:

- bei der linearen Skalierung stehen gleiche Abstände auf der y-Achse für die gleichen Einheiten (Indexwert). Diese Skalierung ist sinnvoll, wenn die Häufigkeitsverteilung ziemlich gleichmässig ist.
- bei der logarithmischen Skalierung stehen gleiche Abstände auf der y-Achse für prozentual gleichbleibende Veränderungen des Indexwerts. Diese Skalierung ist sinnvoll, wenn ab gewissen Wertebereichen kaum mehr Differenzierungen vorliegen (schiefe Verteilung).

3.4.2 Angebot / Kapazität

Abb.50 zeigt für den Kapazitätsindex eine lineare und eine logarithmische Skalierung im Vergleich. Bei der linearen Skalierung (oberes Diagramm in der Abbildung) wird für jedes Fallbeispiel der berechnete Kapazitätsindex auf der y-Achse eingetragen. Es sind grosse Unterschiede zwischen den Fallbeispielen zu erkennen: Die Werte schwanken zwischen rund 200'000 und 1'600'000 (rund Faktor 8). Bei der logarithmischen Skalierung wird der natürliche Logarithmus (ln) des Kapazitätsindex' auf der y-Achse eingetragen (unteres Diagramm in der Abbildung). Die Skala wird dadurch deutlich gestaucht, die Werte schwanken nur noch zwischen rund 12 und 14 (rund Faktor 1.15).

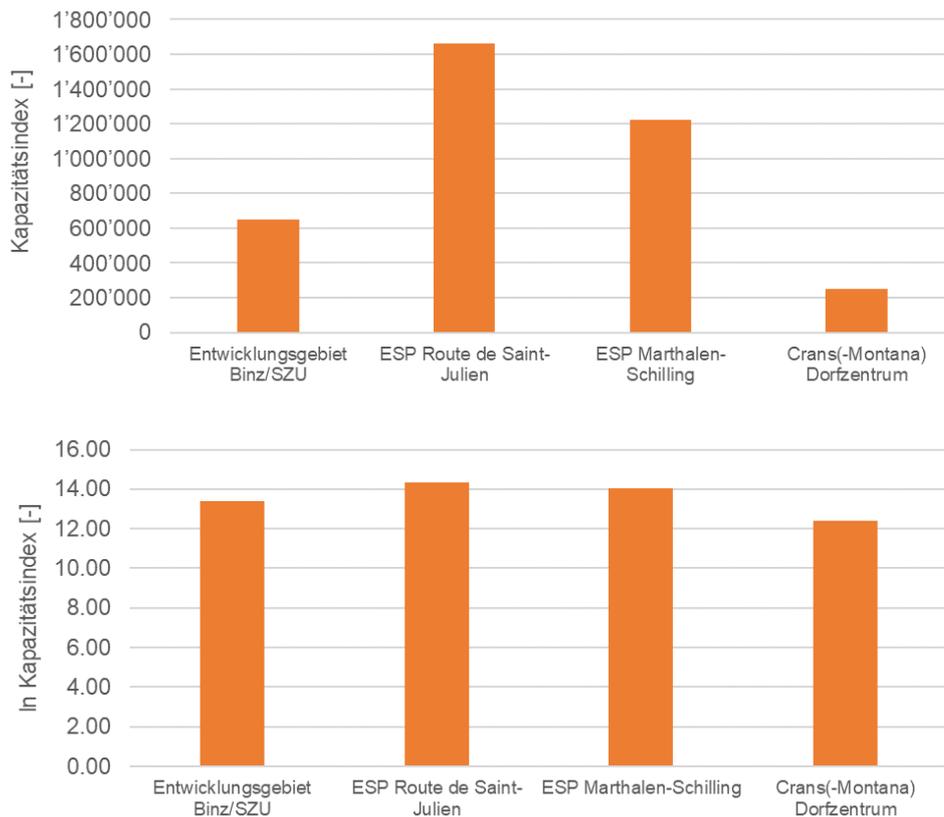


Abb.50 Vergleich lineare (oben) und logarithmische (unten) Skalierung

Bei der Festlegung der Kategorien I bis V können neben der Verteilung der Werte auch die Charakteristika der Fallbeispiele herangezogen werden. So kann beispielsweise *festgelegt* werden, dass das Dorfzentrum von Crans-Montana definitionsgemäss die Grenze zwischen den Kategorien V und IV bilden soll. Ebenso kann definiert werden, dass der ESP Route de Saint-Julien in die beste Kategorie I fallen soll und der ESP Marthalen-Schilling in die zweitbeste Kategorie II. Aufgrund dieser Überlegungen und dem Anspruch, äquidistante Kategoriengrenzen festzulegen, ergibt sich eine Kategorisierung wie in Abb.51 dargestellt.

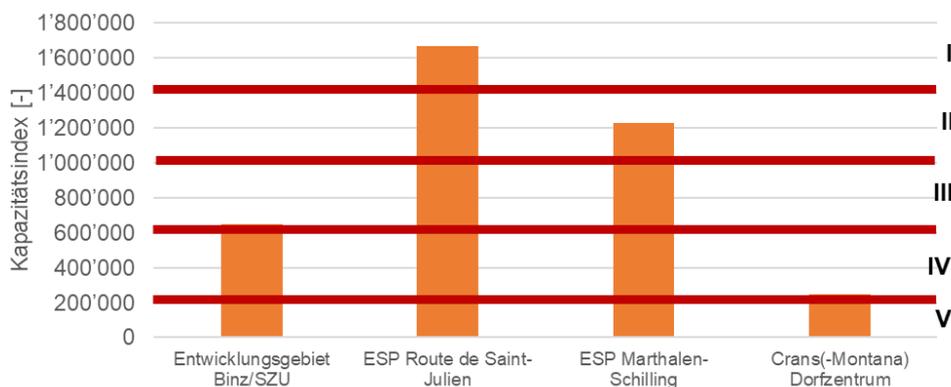


Abb.51 Kategorienbildung für den Kapazitätsindex bei linearer Skalierung

Auf die gleiche Weise kann eine Kategorienbildung für die logarithmische Skalierung hergeleitet werden. Wiederum soll definiert werden, dass das Dorfzentrum von Crans-Montana in die zweitletzte Kategorie IV fallen soll. Aufgrund der Stauchung der Skala können die beiden ESP Saint-Julien und Marthalen-Schilling nicht mehr sinnvoll getrennt werden, wenn der Anspruch einer äquidistanten Skalierung beibehalten wird. Abb.52 zeigt eine mögliche Kategorienbildung bei einer logarithmischen Skalierung.

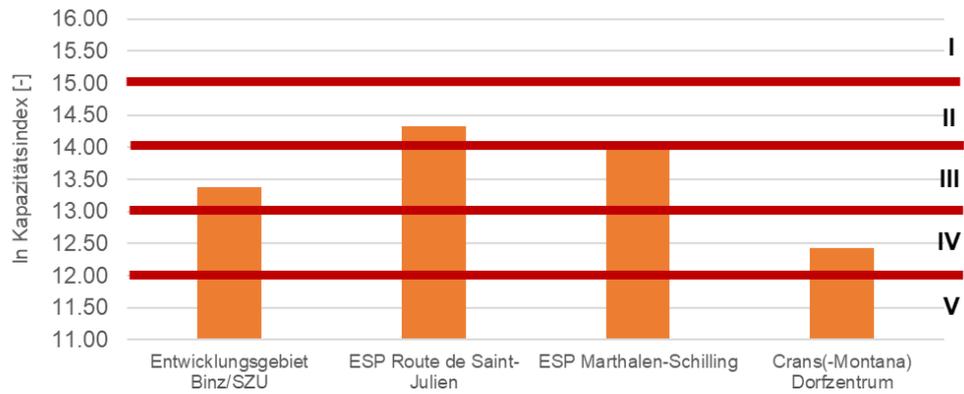


Abb.52 Kategorienbildung für den Kapazitätsindex bei logarithmischer Skalierung

Für die definitive Festlegung der Kategorienbildung gibt es keine physikalischen oder mathematischen «Zwänge», sondern sie ist in gewissem Masse arbiträr. Für den Kapazitätsindex bietet sich aus Sicht der Forschungsstelle die lineare Skalierung an, da sie den Vorteil hat, dass das Fallbeispiel mit dem besten Angebot in die beste Kategorie fällt. Damit spannt dieser Standort gewissermassen die Skala von oben her auf. Zum anderen gibt es für die Anwendung einer logarithmischen Skala an dieser Stelle wenig Hinweise, da die Häufigkeitsverteilung der vier Datenpunkte keinen Hinweis auf eine schiefe Verteilung liefert (bzw. liefern kann).

Ursprünglich war vorgesehen, die Kategoriengrenzen in allen Teilprojekten ausschliesslich anhand der vier Fallbeispiele festzulegen. Während der Projektbearbeitung wurde entschieden, die vorgeschlagene Kategorienbildung im finalen Teil der Forschung des vorliegenden TP3 datenbasiert zu überprüfen. Hierfür wurde die Berechnung des Kapazitätsindex' automatisiert und auf Basis der besiedelten Hektare für die ganze Schweiz angewandt. Abb.53 zeigt die Häufigkeitsverteilung des Kapazitätsindex' über die ganze Schweiz auf einer linearen Skala. Dunkelrot hervorgehoben sind die Indizes der vier Fallbeispiele. Ebenso in der Abbildung sind die Kategoriengrenzen gemäss Abb.51 eingetragen.

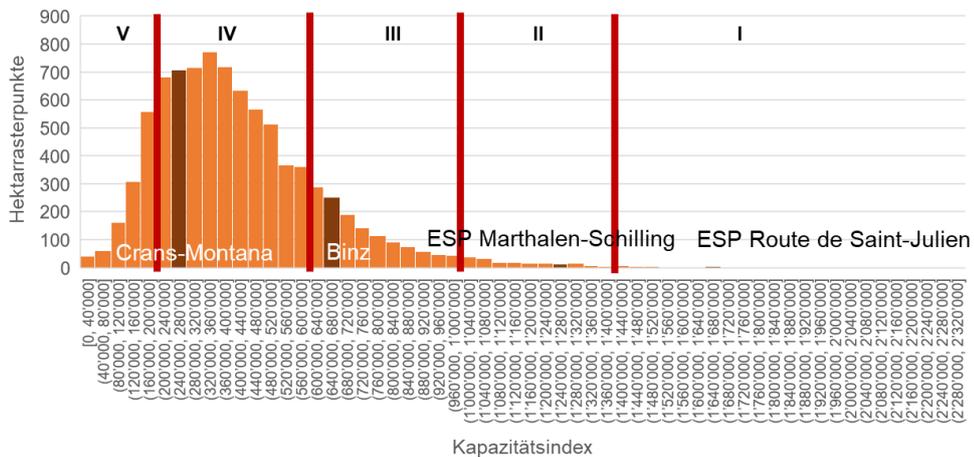
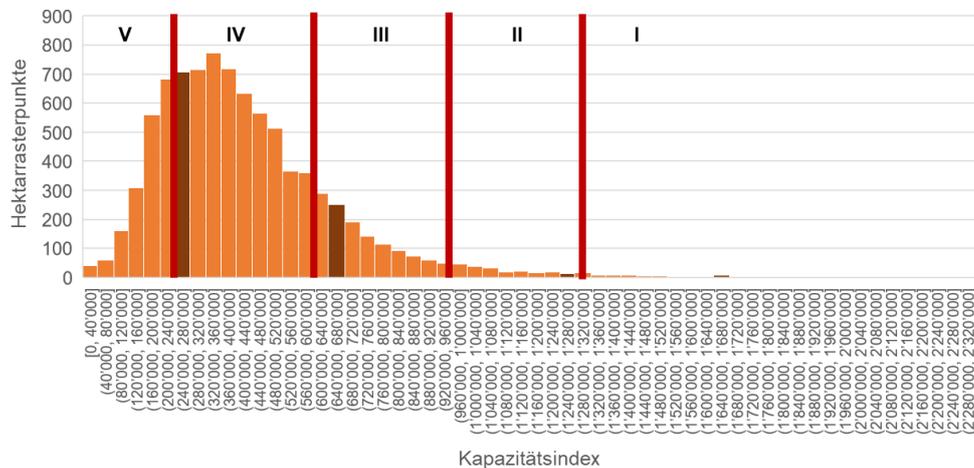


Abb.53 Häufigkeitsverteilung des Kapazitätsindex' (Auflösung Hektarraster) mit linearer Skalierung und Kategoriengrenzen gemäss Abb.51

Die Darstellung Abb.53 zeigt, dass die vier Fallbeispiele das gesamte Spektrum des Kapazitätsindex' gut abdecken, wobei ESP Route de Saint-Julien nahezu ein Ausreisser nach oben ist (99.7%-Quantil). Crans-Montana mit dem niedrigsten Kapazitätsindex entspricht immerhin noch dem 36%-Quantil. Grund für dieses verhältnismässig gute Abschneiden von Crans-Montana ist, dass zahlreiche Hektarrasterpunkte in sehr dünn besiedelten Siedlungsgebieten liegen und somit noch einen viel tieferen Index aufweisen. Dies ist bei der Kategorienbildung zu berücksichtigen. Diese Überprüfung der Kategoriengrenzen zeigt zum einen sehr deutlich, wie ungewiss die Kategorien sind, wenn sie nur anhand der vier

Fallbeispiele festgelegt werden. Andererseits wird damit deutlich, dass die Kategoriengrenzen etwas gestaucht werden könnten, damit nicht nur wenige Prozente in die höchsten beiden Kategorien fallen. Aufgrund dieser Erkenntnis wird vorgeschlagen, die Kategoriengrenzen wie folgt anzupassen: Das Dorfzentrum von Crans-Montana soll näher an der Kategoriengrenze IV-V liegen (250'000). Der ESP Route de Saint-Julien soll in die Kategorie I fallen und der ESP Marthalen-Schilling soll gerade nicht mehr in die beste Kategorie I fallen. Dazwischen sollen die Kategorienbreiten konstant sein (350'000). Damit ergibt sich eine Kategorisierung wie in Abb.56 dargestellt.



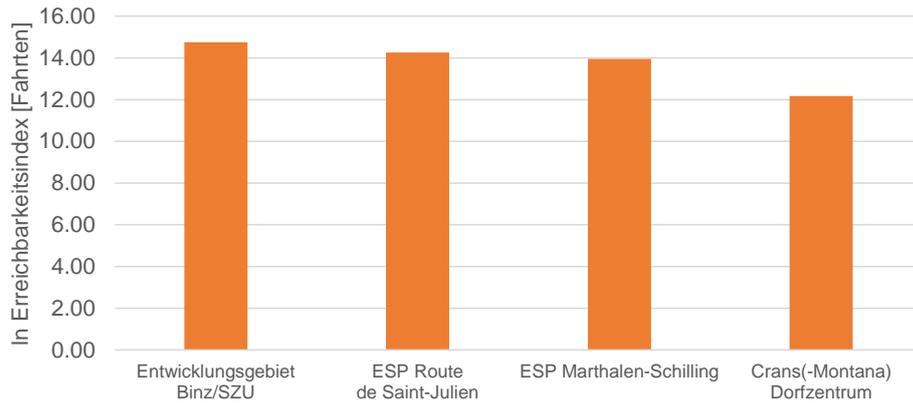


Abb.55 Vergleich lineare (oben) und logarithmische (unten) Skalierung MIV

Bei der Festlegung der Kategorien I bis V wird für den Erreichbarkeitsindex von Beginn an die schweizweite Verteilung der besiedelten Hektare herangezogen. Abb.56 zeigt die Häufigkeitsverteilung des Erreichbarkeitsindex' über die ganze Schweiz auf einer linearen Skala. Dunkelrot hervorgehoben sind die Indizes der vier Fallbeispiele. Die Darstellung zeigt, dass die vier Fallbeispiele das gesamte Spektrum des Erreichbarkeitsindex' gut abdecken.

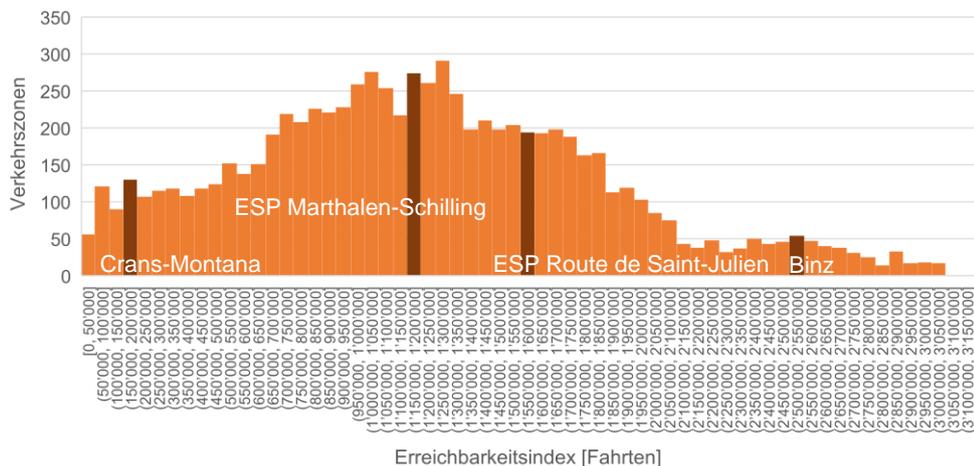


Abb.56 Häufigkeitsverteilung des Erreichbarkeitsindex' MIV mit linearer Skalierung

Abb.57 zeigt die Häufigkeitsverteilung des Erreichbarkeitsindex' auf einer logarithmischen Skala. Wie schon beim Kapazitätsindex zu beobachten war, führt die logarithmische Skala zu einer Stauchung der Ergebnisse, wodurch die Abstände geringer werden. Bei einer linearen Skala ist das Verhältnis zwischen dem Fallbeispiel mit dem höchsten Erreichbarkeitsindex (Binz) und dem zweithöchsten (ESP Route de Saint-Julien) in der Grössenordnung zwei. Bei einer logarithmierten Skala ist der Wert für Binz nur noch wenige Prozent höher als für Saint-Julien.

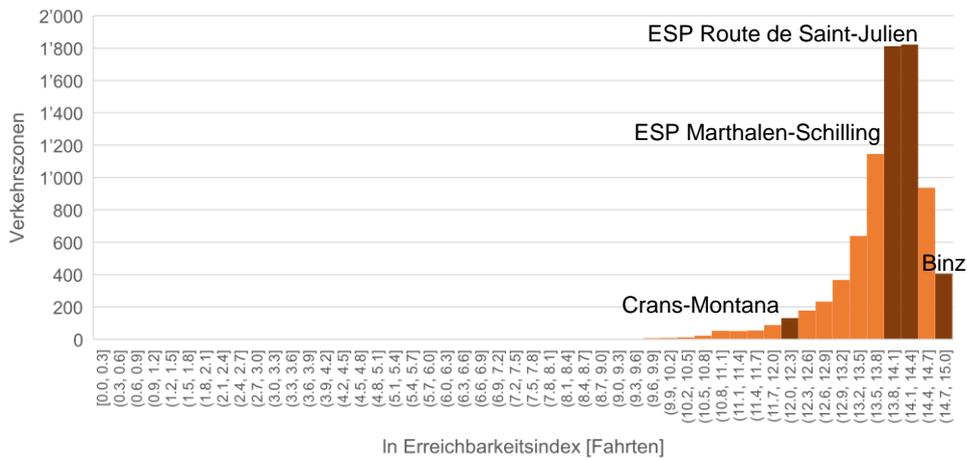


Abb.57 Häufigkeitsverteilung des Erreichbarkeitsindex' MIV mit logarithmischer Skalierung

Für die Festlegung der Kategoriengrenzen können neben der Verteilung der Werte nun wiederum die Charakteristika der Fallbeispiele herangezogen werden. So kann beispielsweise festgelegt werden, dass Binz mit der höchsten Erreichbarkeit in die höchste Kategorie I eingeteilt werden soll und der zweithöchste Wert in die Kategorie II fallen soll. Unter Berücksichtigung des Anspruchs äquidistanter Kategoriengrenzen ergibt sich eine Kategorisierung wie in Abb.58 dargestellt. Da die Skala nur nach unten begrenzt ist (Erreichbarkeitsindex = 0), nach oben jedoch nicht (der Erreichbarkeitsindex kann theoretisch unendlich gross werden), umfasst die Kategorie I einen grösseren Wertebereich als die Kategorien V bis II, die jeweils einen gleich grossen Wertebereich des Erreichbarkeitsindex' abdecken.

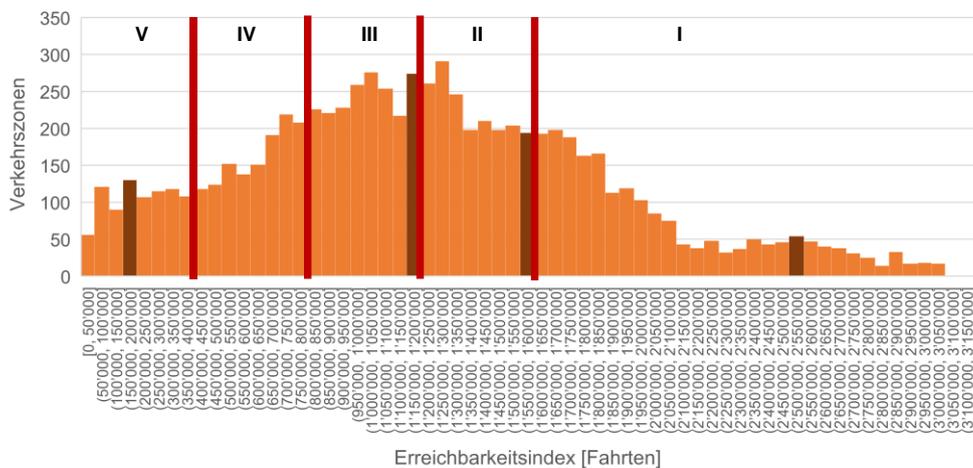


Abb.58 Kategorienbildung für den Erreichbarkeitsindex MIV händisch mit äquidistanten Kategoriengrenzen bei linearer Skalierung (Variante A)

In der Abbildung ist gut ersichtlich, dass die Kategorie I einen sehr grossen Wertebereich umfasst – die Verteilung ist schief. Daher bietet sich hier eine logarithmische Skalierung an (vgl. Kapitel 3.4.1). Abb.59 zeigt das Ergebnis nur für die vier Fallbeispiele mit vorgeschlagenen äquidistanten Kategoriengrenzen.

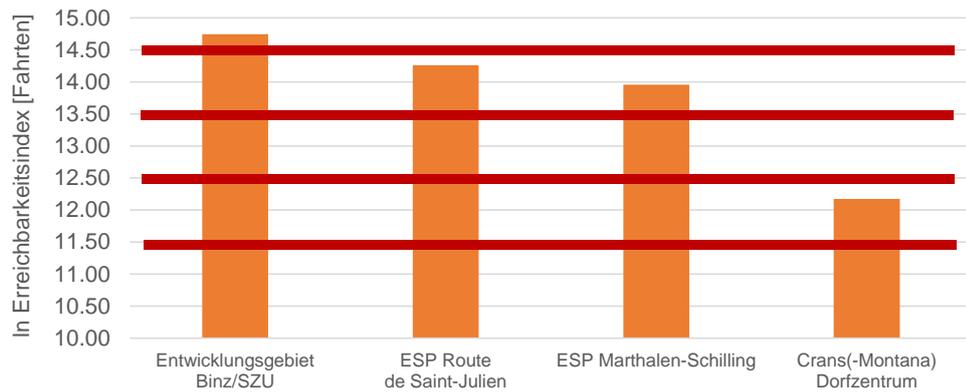


Abb.59 Kategorienbildung für den Erreichbarkeitsindex MIV händisch mit äquidistanten Kategoriengrenzen bei logarithmischer Skalierung (Variante B)

Die äquidistante Kategorieneinteilung auf einer logarithmischen Skalierung kann auch auf einer linearen Skala dargestellt werden, wie in Abb.60 gezeigt. Dies führt zu nunmehr nicht-äquidistanten Kategoriengrenzen. Die Kategorien umfassen mit steigenden Werten einen grösseren Wertebereich, weil auf dieser Darstellung die Stauchung des Logarithmus «zurückgerechnet» wird.

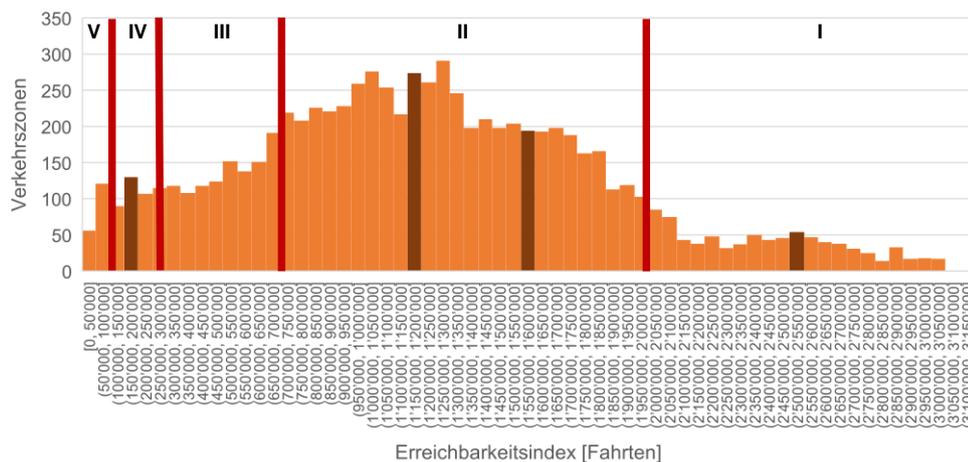


Abb.60 Kategorienbildung für den Erreichbarkeitsindex MIV händisch mit äquidistanten Kategoriengrenzen bei logarithmischer Skalierung dargestellt auf einer linearen Skala (Variante B)

Wie bereits erläutert, sind aufgrund der zahlreichen Datenpunkte für die Erreichbarkeit weitere datengestützte Kategoriengrenzen denkbar. Es könnte beispielweise versucht werden, die Kategoriengrenzen so festzulegen, dass die Streuung innerhalb der Kategorien möglichst gering und die Streuung zwischen den Kategorien möglichst gross wird. Der Jenks-Caspall-Algorithmus ist ein statistisches Verfahren zur automatischen Klassifikation von Werten anhand von sogenannten *natural breaks* (natürliche Unstetigkeiten).

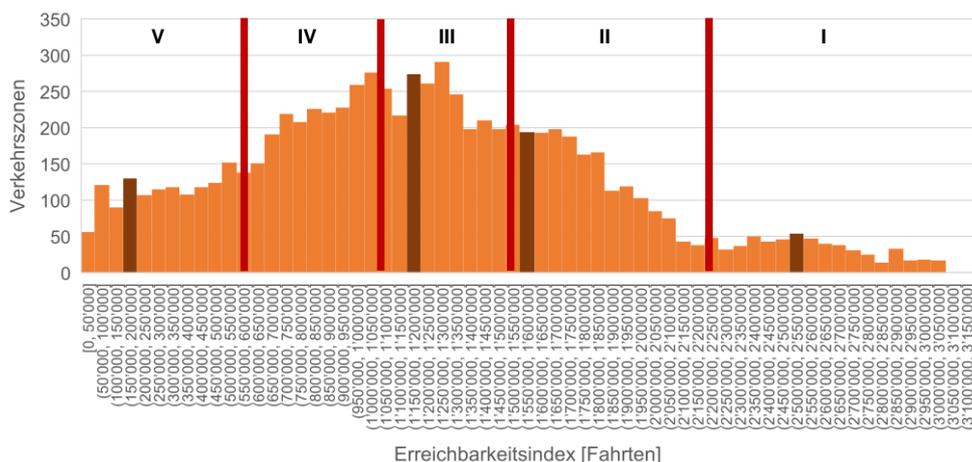


Abb.61 Kategorienbildung für den Erreichbarkeitsindex MIV nach dem Jenks-Caspall-Algorithmus (Variante C)

Die Darstellung zeigt, dass auch der Jenks-Caspall-Algorithmus relativ äquidistante Kategoriengrenzen liefert, allerdings führt die schiefe Verteilung dazu, dass im Vergleich zu den manuell gewählten Grenzen (Abb.58) ein grosserer Teil der Zonen in eine tiefere Kategorie fällt. Tab. 9 zeigt in der Übersicht die diskutierten Kategorien mit ihren Grenzen und Tab. 10 zeigt die Verteilung der Verkehrsmodellzonen in die fünf Kategorien nach der gewählten Methode. Während bei ersterer Methode rund die Hälfte (49%) aller Zonen in die Kategorien I und II fällt, ist es beim Jenks-Caspall-Algorithmus nur rund ein Drittel (30%).

Tab. 9 Kategorien nach Methode (MIV)

Kategorie	Variante A: händisch äquidistant linear	Variante B: händisch äquidistant logarithmisch (lineare Skala)	Variante C: Jenks-Caspall- Algorithmus
I	> 1'600'000	> 1'982'759	> 2'210'196
II	1'200'001 – 1'600'000	729'417 – 1'982'759	1'514'952 – 2'210'196
III	800'001 – 1'200'000	268'338 – 729'416	1'060'451 – 1'514'951
IV	400'001 – 800'000	98'717 – 268'337	567'531 – 1'060'450
V	≤ 400'000	≤ 98'716	≤ 567'530

Tab. 10 Verteilung der Zonen in Kategorien nach Methode (MIV)

Kategorie	Variante A: händisch äquidistant linear	Variante B: händisch äquidistant logarithmisch	Variante C: Jenks-Caspall- Algorithmus
I	26%	11%	7%
II	23%	66%	23%
III	25%	16%	27%
IV	16%	5%	27%
V	10%	2%	16%

Eine weitere mögliche Kategorienfestlegung wäre, dass jede Kategorie einem Quintil entspricht. Die Kategoriengrenze zwischen I und II würde demnach beispielsweise dem 80%-Quantil entsprechen, d.h. die Kategorie I würde immer die 20% am besten erreichbaren Zonen umfassen, die Kategorie II die nächsten 20% und so weiter. Auf diese Weise wären immer gleich viele Zonen in den verschiedenen Kategorien. Dies würde politisch den Verbesserungs- bzw. Wachstumsdruck der Gemeinden in Bezug auf ihre Erreichbarkeit fördern. Nachteilig ist bei dieser Methode, dass es sich um eine relative Bewertung handelt,

die sich nicht nur in Abhängigkeit der eigenen Erreichbarkeit verändert, sondern auch wenn sich die Erreichbarkeiten *anderer* Standorte verbessern oder verschlechtern. Die Kategorieneinteilung würde keine zeitlich konstante Aussage über die Erreichbarkeit eines Standortes machen, weil sich die Kategorienzuteilung aller Standorte mit der Aktualisierung der Erreichbarkeiten ändern würde. Die Verbesserung der Erreichbarkeit aller anderen Standorte könnte zu einer Kategorienabstufung eines betrachteten Standortes führen, ohne dass sich dessen Erreichbarkeit verschlechtert hat. Damit wäre zwar zu einem bestimmten Zeitpunkt ein schweizweiter Vergleich möglich, Entwicklungen in der Zeit könnten jedoch nicht analysiert werden. Aus diesem Grund wurde dieser Ansatz nicht weiterverfolgt.

Bisher wurde die Auswirkung verschiedener Methoden zur Kategorienbildung anhand der Häufigkeitsverteilung analysiert und geprüft, wie sich die Zonen in der Schweiz prozentual auf die einzelnen Kategorien aufteilen. Zur visuellen Plausibilisierung der Ergebnisse wurde die räumliche Verteilung der Kategorien in der Schweiz geprüft. Im Folgenden werden die Ergebnisse der drei Methoden auf einer Karte dargestellt.

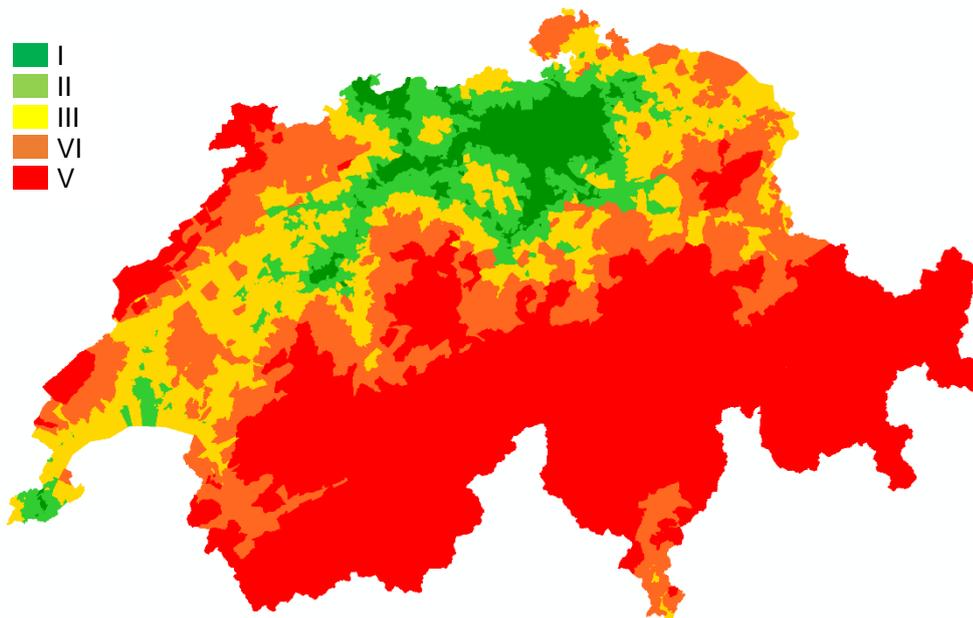


Abb.62 Kategorien für den Erreichbarkeitsindex MIV händisch mit äquidistanten Kategoriengrenzen bei linearer Skalierung (Variante A)

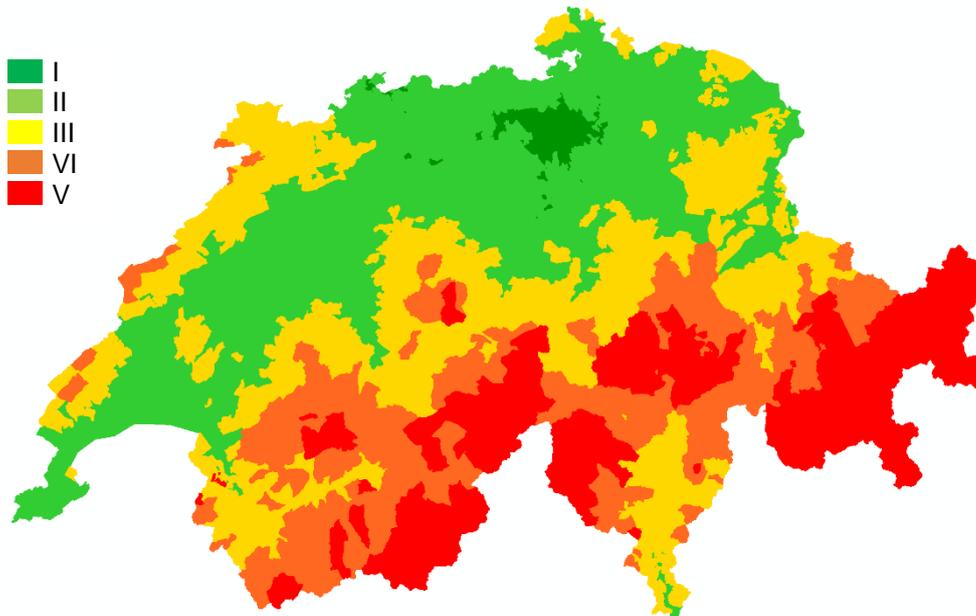


Abb.63 Kategorien für den Erreichbarkeitsindex MIV händisch mit äquidistanten Kategoriengrenzen bei logarithmischer Skalierung (Variante B)

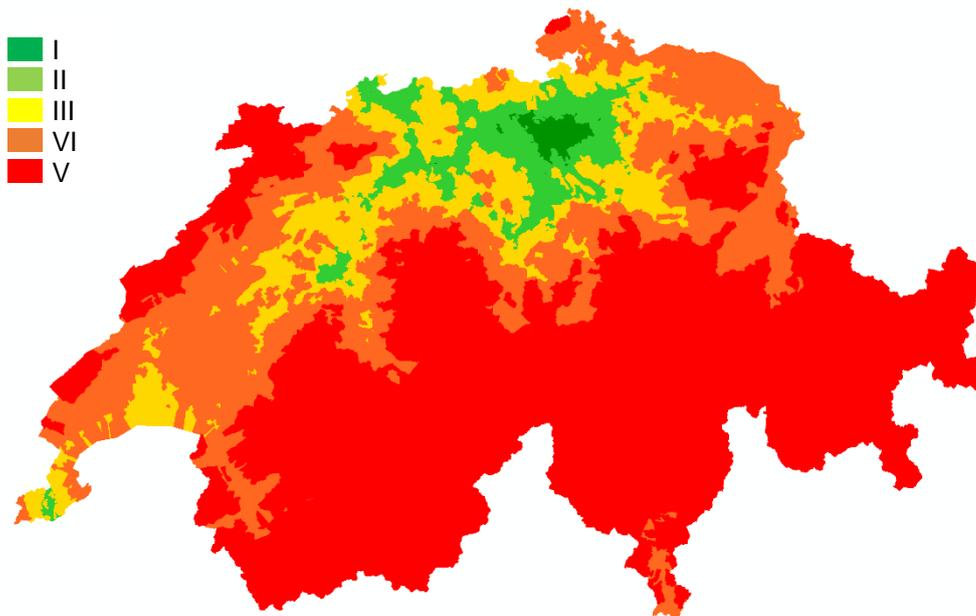


Abb.64 Kategorien für den Erreichbarkeitsindex MIV nach dem Jenks-Caspall-Algorithmus (Variante C)

Aufgrund dieser drei Visualisierungen können Kategoriengrenzen auf Basis des Jenks-Caspall-Algorithmus ausgeschlossen werden: Der Grossraum Zürich weist eine hervorragende Erreichbarkeit auf, während weite Teile der Schweiz in die niedrigste Kategorie fallen. Selbst Genf-Lausanne als eine der Metropolitanregionen der Schweiz fällt nur in die Kategorien III bis IV. Bei diesem Algorithmus hat das strukturstarke Zürich einen zu starken Einfluss auf die Kategoriengrenzen.

Etwas weniger eindeutig fällt die Wahl zwischen den Varianten A und B aus. Auch bei Variante A hat der Grossraum Zürich mit Abstand die beste Erreichbarkeit im MIV. Die südliche Schweiz erreicht trotz Berücksichtigung des Potenzials der Lombardei höchstens die zweitschlechteste Kategorie IV. In den Regionen Zürich und Nordwestschweiz, sowie

zum Teil in der Zentralschweiz und im Escape Mittelland gibt es eine Differenzierung zwischen den Kategorien I und II.

Bei Variante B ist die Dominanz Zürichs etwas weniger ausgeprägt. Die beste Kategorie I wird zwar nur im Raum Zürich erreicht, aber die zweitbeste Kategorie II erreichen auch zahlreiche Ortschaften entlang der A1. Auch das Tessin weist Ortschaften mit Erreichbarkeit der drittbesten Kategorie III auf. Die Differenzierung innerhalb der nördlichen Schweiz ist dabei etwas geringer.

Aus Sicht der Forschungsstelle ist die Variante B am zielführendsten, weil damit eine Differenzierung nicht in erster Linie bei den am besten erreichbaren Ortschaften erzielt wird (Kategorie I oder II), sondern auch in den Teilen der Schweiz mit etwas geringerer Erreichbarkeit eine Differenzierung erreicht wird. Es ist festzuhalten, dass die gewählte Distance-Decay-Funktion, die auch weiter entfernte Ortschaften bei der Berechnung der Erreichbarkeit mitberücksichtigt (vgl. Abb.44), eine glättende Wirkung hat. Zusammen mit der Beschränkung auf nur fünf Kategorien führt dies dazu, dass die lokale Differenzierung der Erreichbarkeit wenig ausgeprägt ist.

Finales Potenzial mit Einwohnern und Arbeitsplätzen

In Kapitel 3.3.3 wurden zwei Methoden zur Beschreibung des Potenzials diskutiert. Die Forschungsstelle hat nach Abstimmung mit der BK zunächst vorgeschlagen, das Potenzial mit der Verkehrserzeugung anzunähern, u.a. aufgrund von Überlegungen zur Datenverfügbarkeit im Ausland. Da im Verlauf der Projektbearbeitung Strukturdaten für das Ausland auf NPVM-Zonenebene zur Verfügung gestellt werden konnten, wurde kurz vor Projektabschluss entschieden, dennoch die Methode «Einwohner und Arbeitsplätze» für die Berechnung des Potenzials vorzuschlagen, nicht zuletzt weil sie weniger komplex ist als die Schätzung der Verkehrserzeugung für das Ausland. Im folgenden Kapitel wird aufgezeigt, inwiefern sich die Erreichbarkeitskategorien für den MIV ändern, wenn statt der Verkehrserzeugung die Einwohner und Arbeitsplätze als Potenzial verwendet werden.

Für diese Analyse wurden die Klassengrenzen der Variante B (Abb.59 bzw. Tab. 9) verwendet, jedoch mit dem Faktor 3.18 korrigiert. Der Korrekturfaktor berücksichtigt, dass die Erreichbarkeitsindizes mit der Verkehrserzeugung als Potenzial höher sind als mit Einwohnern und Arbeitsplätzen. Der Faktor entspricht den Anzahl Wegen, die eine Struktureinheit (Einwohner + 0.5 Arbeitsplatz) pro Tag zurücklegt.

Die Auswertung zeigt, dass für 95% der Zonen die Wahl der Methode für die Berechnung des Potenzials irrelevant ist: Sie fallen bei beiden Methoden in die gleiche Erreichbarkeitskategorie. Für 4% der Zonen verbessert sich die Kategorie mit Einwohnern und Arbeitsplätzen als Potenzial um eine Stufe. Für 1% der Zonen hingegen verringert sich die Kategorie um eine Stufe. Interessant ist dabei natürlich, um welche Zonen es sich handelt, die eine Änderung erfahren. Abb.65 visualisiert die Zonen, die durch die Anpassung der Methode bei der Berechnung des Potenzials eine Veränderung der Kategorienzuteilung erfahren. Grün sind diejenigen Zonen, die bei der Methode «Verkehrserzeugung» besser abschneiden, violett sind diejenigen Zonen, die bei der Methode «Einwohner und Arbeitsplätze» besser abschneiden.

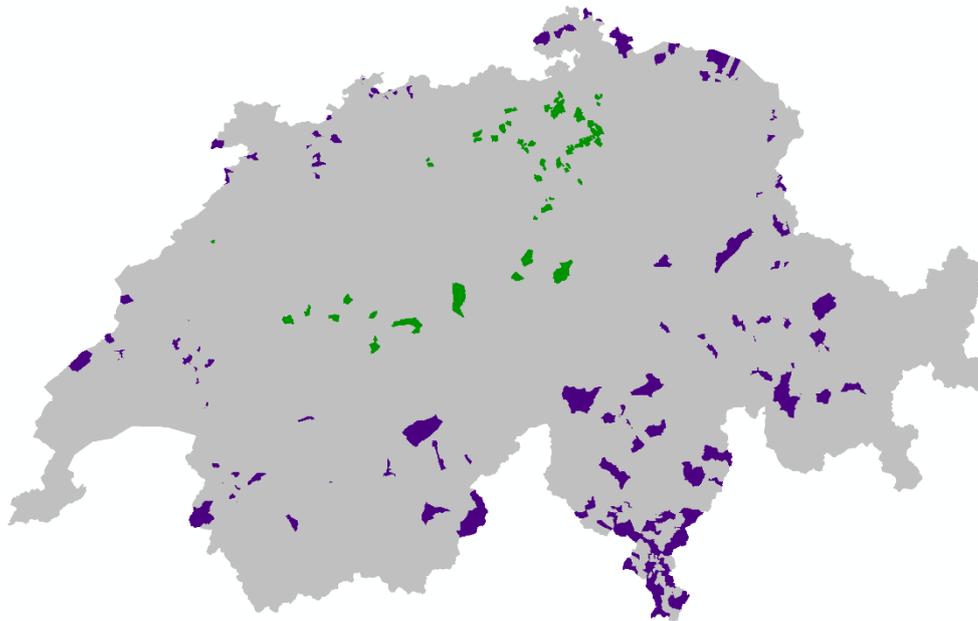


Abb.65 Veränderung der Erschliessungskategorie durch Wahl der Potenzialmethode (grün = besser bei «Verkehrserzeugung», violett = besser bei «Einwohner und Arbeitsplätze»)

Die Darstellung zeigt eine gewisse Systematik: In den Randregionen schneiden einige Zonen besser ab, wenn statt der Verkehrserzeugung die Einwohner und Arbeitsplätze als Potenzial herangezogen werden. Zonen, die mit der Methodik «Verkehrserzeugung» besser abschneiden, sind in der Tendenz in der Nord- oder Zentralschweiz zu finden. Diese Systematik könnte darauf hindeuten, dass sich die Potenziale im Ausland bei den beiden Methoden stärker unterscheiden als in der Schweiz. Um diesen Umstand näher zu untersuchen, wurde das Verhältnis der Erreichbarkeitsindizes für Auslandszonen nach beiden Methoden gebildet und auf einer Karte dargestellt (vgl. Abb.66).

Die Erreichbarkeitsindizes der Auslandszonen sind nicht Teil der Methodik. Mit dieser Analyse soll lediglich aufgezeigt werden, wie sich die Potenziale in den Auslandszonen je nach Methode unterscheiden. Ein Verhältnis von rund 0.3 entspricht der Erwartung, da dies in etwa dem weiter oben erläuterten Umrechnungsfaktor von 3.18 entspricht. Grössere Verhältnisse bedeuten, dass die Methode «Einwohner und Arbeitsplätze» höhere Erreichbarkeiten berechnet. Kleinere Verhältnisse hingegen bedeuten, dass die Methode «Verkehrserzeugung» zu höheren Erreichbarkeitsindizes führt.

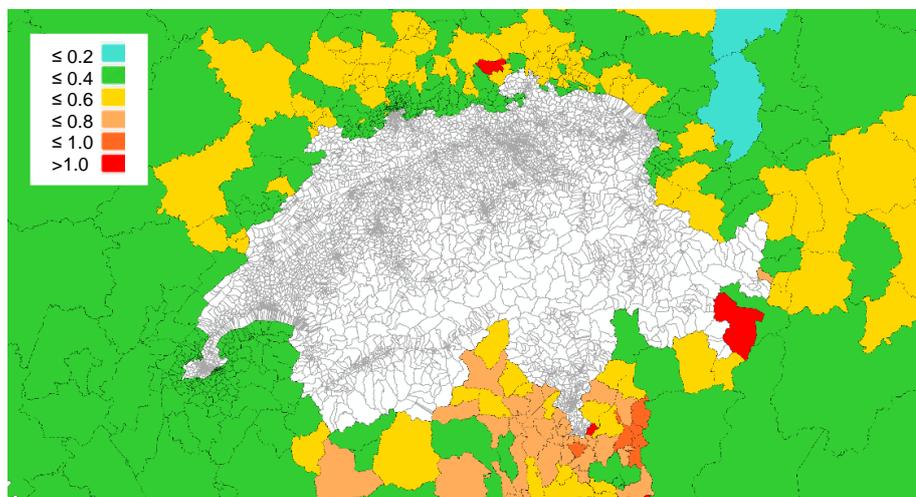


Abb.66 Verhältnis Erreichbarkeitsindex mit Einwohnern und Arbeitsplätzen zu Erreichbarkeitsindex mit Verkehrserzeugung für Auslandszonen

Die Darstellung zeigt sehr deutlich Unterschiede zwischen den Ländern: Während die Verhältnisse in Frankreich mehrheitlich der Erwartung entsprechen (0.2 bis 0.4), fällt Italien und auch Österreich mit grösseren Verhältnissen auf. D.h. hier führen die Strukturdaten zu einer stärkeren Attraktion als die geschätzte Verkehrserzeugung. In Deutschland ist das Bild etwas heterogener: Die Verhältnisse einiger Zonen entsprechen der Erwartung, andere liegen darüber. Es lässt sich nicht ohne Weiteres feststellen, welche Werte richtiger sind, da beide Methoden mit Unsicherheiten behaftet sind. Die Verkehrserzeugung wird im Ausland mittels eines statistischen Modells geschätzt. Die Strukturdaten aus den Verkehrsperspektiven wurden auch mittels Annahmen auf Zellengrösse disaggregiert und weisen demnach Unsicherheiten auf.

ÖV

Die Festlegung der Kategoriengrenzen für den ÖV erfolgt analog der gewählten Methode für den MIV. Die Ausführungen für den MIV haben aufgezeigt, dass die besten Ergebnisse für die Kategorienbildung erzielt werden, wenn die Festlegung der Kategorien händisch auf der logarithmierten Skala vorgenommen wird (Variante B). Es soll für den ÖV wiederum festgelegt werden, dass Binz mit der höchsten Erreichbarkeit in die höchste Kategorie I eingeteilt werden soll und der zweithöchste Wert in die Kategorie II fallen soll. Unter Berücksichtigung des Anspruchs äquidistanter Kategoriengrenzen ergibt sich eine Kategorisierung wie in Abb.67 dargestellt.

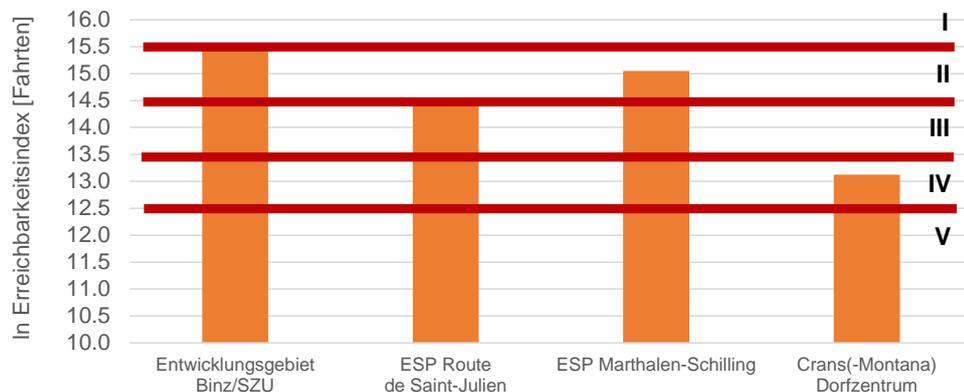


Abb.67 Kategorienbildung für den Erreichbarkeitsindex ÖV händisch mit äquidistanten Kategoriengrenzen bei logarithmischer Skalierung

Die vorgeschlagenen Kategoriengrenzen für den ÖV sind gegenüber dem MIV um einen ganzen logarithmierten Index auf der Skala nach oben verschoben (vgl. Abb.59 mit Abb.67). Grund hierfür ist, dass der Erreichbarkeitsindex für den ÖV systematisch höher ist als für den MIV. Im Kapitel 3.3.5 wurde dargelegt, dass eine direkte Vergleichbarkeit der Erreichbarkeitsindizes zwischen MIV und ÖV wegen unterschiedlicher Distance-Decay-Funktionen nicht gegeben ist. Vergleichbar müssen jedoch nicht die Indizes sein, sondern die Güteklassen, die einen Standort bezüglich seiner Erschliessung beschreiben. Tab. 11 zeigt die Verteilung der Verkehrsmodellzonen auf die fünf Erreichbarkeitskategorien des ÖV gemäss den MIV-Grenzen und den (angepassten) ÖV-Grenzen.

Tab. 11 Verteilung der Zonen in Kategorien nach Kategoriengrenze (OV)

Kategorie	Grenzen gemäss MIV (Abb.59)	Grenzen angepasst (Abb.67)
I	56%	6%
II	35%	50%
III	7%	35%
IV	2%	7%
V	0%	2%

Bei Übernahme der MIV-Grenzen ohne Anpassung würde mehr als die Hälfte der Schweiz bezüglich ÖV in die höchste Kategorie I eingeteilt. Die beiden Kategorien I und II zusammen würden rund 90% aller Standorte ausmachen. Das wäre gegenüber dem MIV eine zu positive Beurteilung, bei dem nur 11% in die Kategorie I eingeteilt wurden (vgl. Tab. 10). Daher müssen für den MIV und ÖV unterschiedliche Kategoriengrenzen gewählt werden. In Tab. 11 ist ersichtlich, dass mit den angepassten Grenzen gemäss Abb.67 die Verteilung der Zonen in die fünf Kategorien näher an die Verteilung für den MIV herankommt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der beiden Klassengrenzen ÖV auf einer Karte dargestellt.

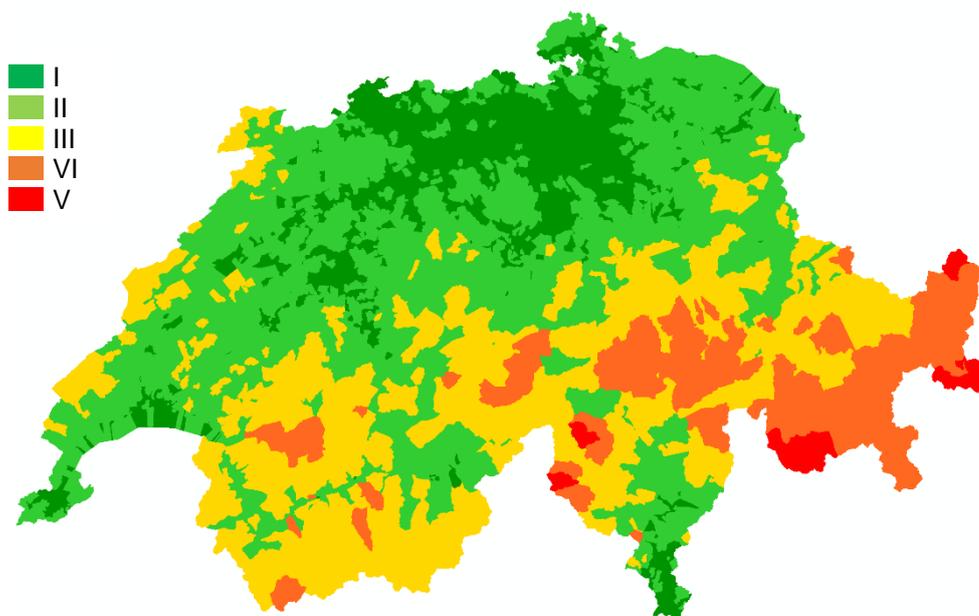


Abb.68 Kategorien für den Erreichbarkeitsindex ÖV gemäss MIV Variante B

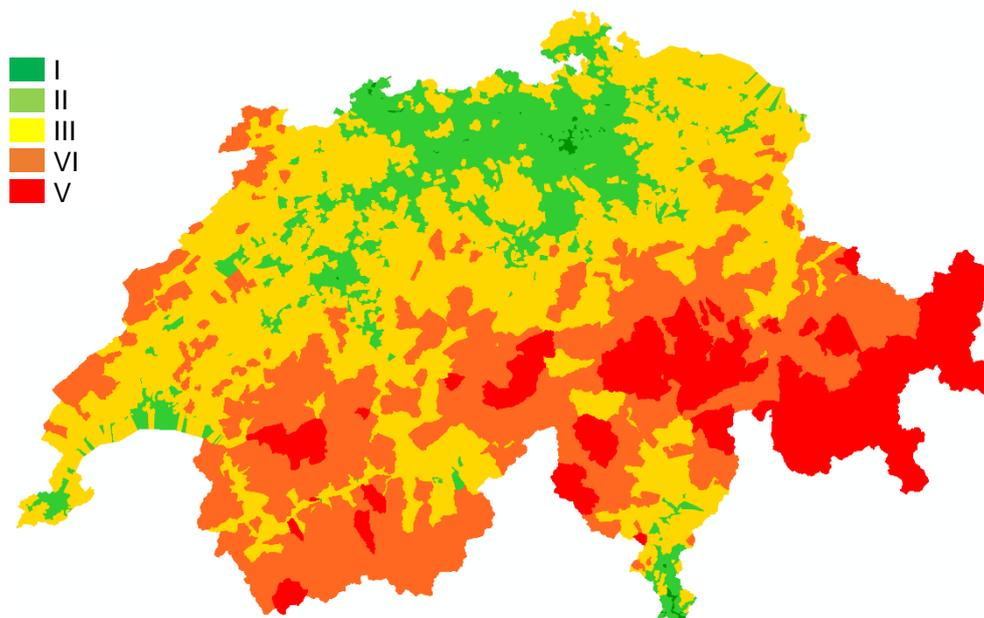


Abb.69 Kategorien für den Erreichbarkeitsindex ÖV angepasst

Die Visualisierungen der Erreichbarkeit bestätigen die Einschätzung aufgrund der Verteilung in Tab. 11: Ohne Anpassung der Kategoriengrenzen wäre ein zu grosser Teil der

Schweiz in den besten beiden Kategorien I und II (vgl. Abb.68). Mit Anpassung der Grenzen (vgl. Abb.69) sind lokale Erreichbarkeitsverbesserungen entlang der Bahnstrecken gut erkennbar und die räumliche Verteilung über die Schweiz ist weniger «flächig», sondern lokal differenzierter – was beim ÖV im Gegensatz zum MIV eher zu erwarten wäre.

Abb.70 zeigt eine weitere Variante der Kategorienbildung, bei der die Kategoriengrenzen so gewählt sind, dass die Verteilung der Zonen in die Kategorien exakt derjenigen des MIV (vgl. Tab. 10, Variante B) entspricht.

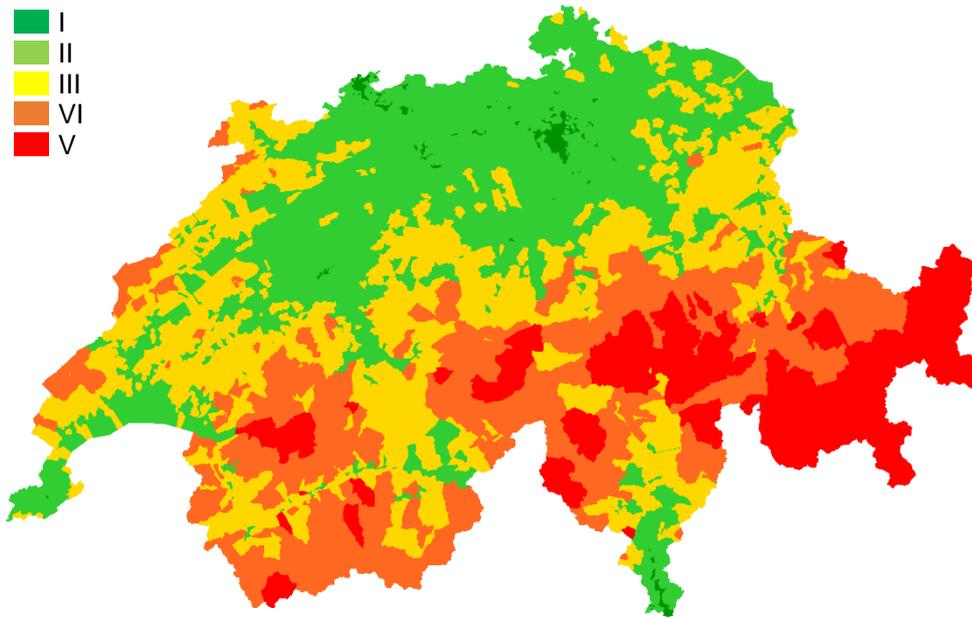


Abb.70 Kategorien für den Erreichbarkeitsindex ÖV (Verteilung an MIV angepasst)

Definitive Kategorien

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, die Kategoriengrenzen für den Erreichbarkeitsindex herzuleiten. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden einige davon aufgezeigt und mit der BK diskutiert. Im weiteren Normierungsprozess müsste die definitive Kategorienbildung noch breiter abgestützt festgelegt werden. Im Folgenden werden die Kategoriengrenzen, wie sie von der Forschungsstelle und der BK festgelegt wurden, nochmals wiedergegeben und aufgezeigt, wie sich die Kategorien auf einer Schweizer Karte zeigen. Gegenüber den bisherigen Darstellungen und Skalen wird hier das Potenzial mit Einwohnern und Arbeitsplätzen berechnet und die Grenzen wurden gerundet. Aus diesem Grund unterscheidet sich die Skala in Tab. 12 von derjenigen in Tab. 9.

Tab. 12 Definitive Kategorien		
Kategorie	MIV	ÖV
I	> 625'000	> 1'390'000
II	230'001 – 625'000	390'001 – 1'390'000
III	85'001 – 230'000	190'001 – 390'000
IV	30'001 – 85'000	85'001 – 190'000
V	≤ 30'000	≤ 85'000

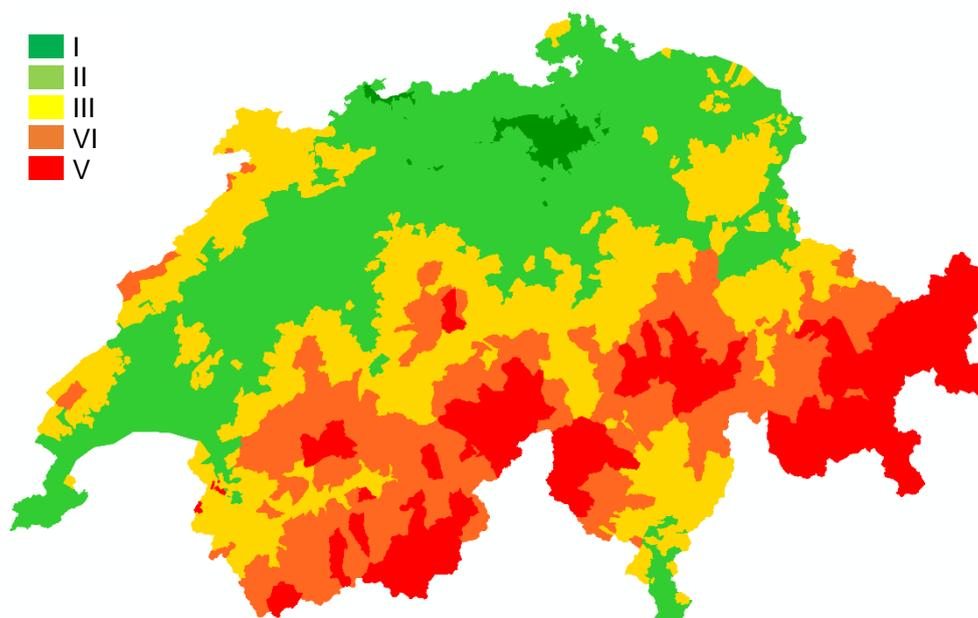


Abb.71 Definitive Kategorien für den Erreichbarkeitsindex MIV

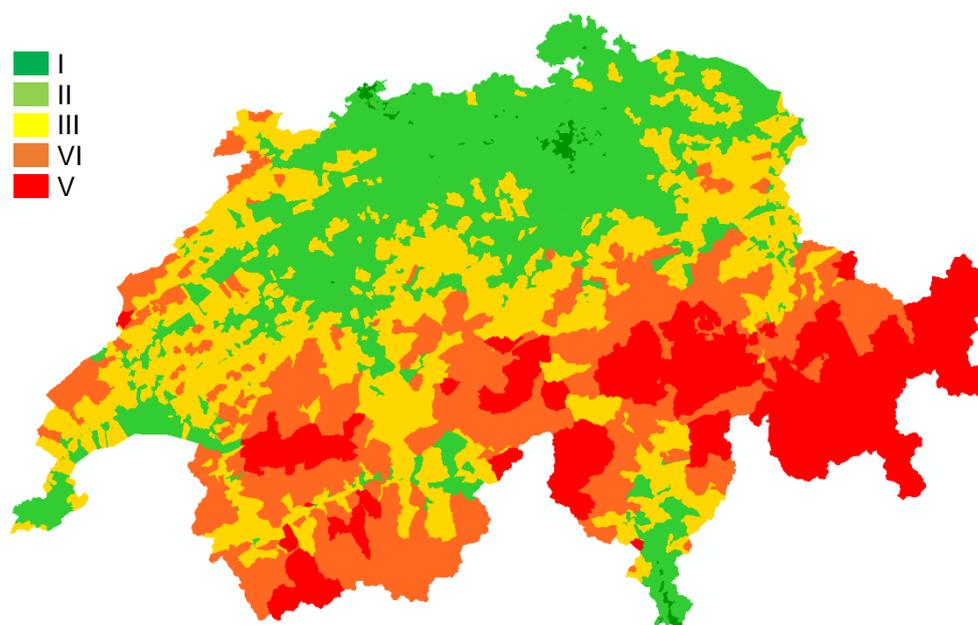


Abb.72 Definitive Kategorien für den Erreichbarkeitsindex ÖV

4 Qualitative Erschliessungskriterien

4.1 Übersicht und Grundsätze

Nicht alle Erschliessungskriterien sind quantifizierbar, da für die meisten zumindest kurz- bis mittelfristig keine einheitlichen, national verfügbaren Datengrundlagen zur Verfügung stehen. Zur vollständigen Beurteilung der Erschliessungsqualitäten an einem spezifischen Standort sind daher *ergänzende Qualitätsmerkmale* zu würdigen. Die Beurteilung von qualitativen Erschliessungskriterien kann jedoch nur für die lokale Standortebebene durchgeführt werden. Eine flächendeckende qualitative Beurteilung wäre einerseits enorm aufwändig, andererseits ergäbe eine Aggregation auf Gebietsstufe inhaltlich keinen Sinn.

Im Grundlagenbericht wurden folgende Qualitätsteilkriterien vorgeschlagen und getestet:

- A1: Auslastung und Verkehrsqualität
- A2: Verkehrsorientierung
- A3: Zustand Strasseninfrastruktur
- B1: Öffentliches Parkfeldangebot
- B2: Privates Parkfeldangebot
- C1: Unfallrisiko

In Absprache mit der Begleitkommission sowie mit den anderen Teilprojekten wurde die Anzahl der qualitativen Teilkriterien stark reduziert. Folgende Qualitätsteilkriterien wurden begründet verworfen:

- A2: Verkehrsorientierung
Die Verkehrsorientierung dürfte mit der Auslastung bzw. der Verkehrsqualität korrelieren. Wo viel Verkehr ist, dürften die Strassen verkehrsorientiert sein und umgekehrt. Eine Analyse der Verkehrsorientierung würde daher wenig Zusatzinformationen bringen.
- A3: Zustand Strasseninfrastruktur
Der Zustand der Strasseninfrastruktur ist in der Schweiz ausserordentlich gut. Selbst wenn einzelne Strassenabschnitte einen unzureichenden Zustand aufweisen, kann davon ausgegangen werden, dass dieser in den folgenden Jahren verbessert wird. Im Gegensatz zum Veloverkehr (z.B. Schlaglöcher) ist der Strassenzustand aus Sicht Erschliessung für den MIV von untergeordneter Bedeutung.
- C1: Unfallrisiko
Die Verkehrssicherheit ist zweifellos ein wichtiges Thema. Aus Sicht der Erschliessung dürfte für den MIV das Unfallrisiko jedoch von geringerer Bedeutung sein. Die Fahrzeuglenkenden dürften – wiederum im Gegensatz zum Veloverkehr – kaum Standorte aus Sicherheitsüberlegungen meiden.

Für die Auslastung und Verkehrsqualität werden drei verschiedene Verfahren vorgeschlagen (vgl. Kapitel 4.2). Die Parkierungsteilkriterien «Öffentliches Parkfeldangebot» und «Privates Parkfeldangebot» sind zu einem Teilkriterium mit mehreren Indikatoren zusammengefasst (vgl. Kapitel 4.3), wobei nur die öffentlich zugänglichen Parkfelder berücksichtigt werden, ohne Differenzierung nach Eigentümer.

4.2 Methodik Verkehrsqualität

4.2.1 Einleitung

Die Verkehrsqualität wird als qualitative Ergänzung zum Kapazitätsindex (Kapitel 3.2) gesehen, da der Kapazitätsindex die Auslastung der Strecken nicht berücksichtigt und damit

nur das Angebot beschreibt. Der qualitative Indikator «Verkehrsqualität» berücksichtigt ergänzend das vorherrschende Verkehrsaufkommen, sprich die Nachfrage. Da die Verkehrsqualität erfahrungsgemäss sehr *subjektiv* wahrgenommen wird, ist für diesen Indikator – selbst wenn es sich um einen qualitativen handelt – die Objektivierbarkeit entscheidend.

In Kapitel 2.1 wurde einerseits erwähnt, dass in Städten die Knoten die Kapazität definieren und andererseits, dass FCD eine immer höhere Abdeckung hat. Deswegen werden, um die Verkehrsqualität im Umfeld eines Standorts objektiv abzuschätzen, im Folgenden zwei knotenbasierte und ein datengestütztes Verfahren vorgestellt. Die knotenbasierten Verfahren bewerten den Standort an die geltenden Normen angelehnt anhand der Verkehrsqualitätsstufe (VQS) und das datengestützte Verfahren auf Basis von im Netz akkumulierten Verspätungen.

4.2.2 Knotenbasierte Verfahren

Einleitung

Die knotenbasierten Verfahren für die Abschätzung der Verkehrsqualität sind vor allem für städtische Standorte interessant, da in städtischen Netzwerken die Kapazität durch die Knoten bestimmt wird [5]. Es wird eine erhebungsbasierte und eine Floating-Car-Data-basierte Variante vorgestellt.

Bei den knotenbasierten Verfahren wird für die im direkten Umfeld des betrachteten Standorts liegenden Knoten – die eine relevante Verkehrsbelastung aufweisen und für die Erschliessung des Standorts relevant sind – die *Verkehrsqualität* erhoben.

Die aktuell gültigen 20 281 n. Die knotenbasierten Verfahren basieren daher auf der Idee, die Wartezeiten an den relevanten Knoten stichprobenartig zu erheben bzw. mit Hilfe von Floating-Car Data abzuschätzen und dann auf Basis der geltenden Normen zu *beurteilen*. Die Verkehrsqualität wird für verschiedene Knotentypen unterschiedlich bestimmt:

LSA

Gemäss VSS-Norm 40 023a ist zur Bestimmung der Verkehrsqualität für jeden Fahrstreifen die mittlere Wartezeit zu berechnen. Die VQS wird durch den Fahrstreifen mit der höchsten mittleren Wartezeit bestimmt. Die mittlere Wartezeit ist abhängig von der Umlaufzeit, dem Grünzeitanteil des Fahrstreifens und der Verkehrsstärke des Fahrstreifens. Kritische Vorkommnisse, wie die Blockierung der Zufahrten zu den Fahrstreifen durch Rückstau eines anderen Fahrstreifens und ausreichende Länge der Vorsortierbereiche sind bereits in den mittleren Wartezeiten berücksichtigt.

Kreisverkehr

Gemäss VSS-Norm 40 024a ist zur Bestimmung der VQS für jeden Arm die mittlere Wartezeit zu bestimmen, wobei die höchste Wartezeit dann die VQS bestimmt. Die mittlere Wartezeit ist beim Kreisverkehr abhängig von der Anzahl einfahrender Fahrzeuge, der Anzahl Fahrzeuge auf der Kreisfahrbahn, welche von den einfahrenden Fahrzeugen berücksichtigt werden müssen und den querenden Fussgängern. Ausserdem ist die Einhaltung der Kapazität der Ausfahrten leistungsbestimmend.

Vorfahrtsknoten

Gemäss VSS-Norm 40 022 ist zur Bestimmung der VQS für jeden Strom die mittlere Wartezeit zu bestimmen. Die höchste Wartezeit und die kleinste Belastungsreserve bestimmen dann die VQS. Um die Konsistenz mit den anderen Knotenformen zu gewährleisten, wird auch hier die Wartezeit erhoben. Es wäre allerdings auch die Erhebung der Belastungsreserve denkbar gewesen.

Vorgehen

Die ersten vier und der letzte Schritt des Vorgehens sind bei den beiden knotenbasierten Verfahren gleich. Die Schritte fünf und sechs werden nur für die erhebungsorientierte durchgeführt (vgl. Abb. 73).



Abb. 73 Prozess der knotenbasierten Erhebungen

In *Schritt 1* werden die relevanten Knoten bestimmt: Es sind diejenigen Knoten zu betrachten, die für die Erschliessung des Standorts benutzt werden und die Wartezeiten aufweisen, welche bei einer Leistungsfähigkeitsbewertung zu einer VQS schlechter als D führen könnten (vgl. Tab. 13). Es werden Knoten im direkten Umfeld, welches mit etwa drei Minuten MIV-Fahrzeit definiert ist, betrachtet. Je nach Standort können drei Minuten MIV-Fahrzeit unterschiedliche räumliche Entfernungen bedeuten, da die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit in Städten variiert [37].

In *Schritt 2* wird die für das Netz am Standort relevante Spitzenstunde definiert, in der die Erhebung der Verkehrsqualität durchgeführt werden soll. Um dies zu prüfen, können die Daten einer nahe gelegenen Zählstelle konsultiert werden. Hierbei ist die Stunde mit der höchsten Querschnittsbelastung zu wählen. Falls keine Zählstellendaten verfügbar sind, können Daten zur Verkehrsauslastung von Internetanbietern wie z.B. Google Maps verwendet werden.

In *Schritt 3* werden für jeden relevanten Knoten die Ströme ausgewählt, welche für die Erschliessung des Gebiets relevant sind. Damit sind diejenigen Ströme gemeint, die in die Strasse zum Gebiet einbiegen oder vom Gebiet weggehen. Das Beispiel in Abb. 74 zeigt auf, nach welcher Logik dies geschehen kann.

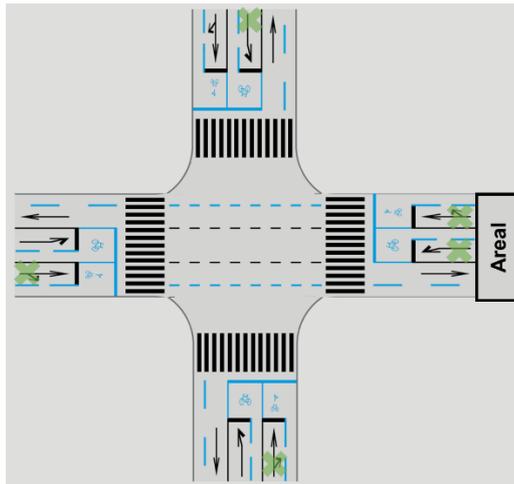


Abb. 74 Beispiel der für das Gebiet relevanten Ströme, mit grünen Kreuzen markiert (eigene Darstellung auf Basis von [38])

Danach wird in *Schritt 4* der Strom mit der vermutlich grössten Wartezeit (massgebender Strom) detektiert. Die Selektion des Fahrstreifens mit der wahrscheinlich grössten Wartezeit kann vom Schreibtisch aus mit Hilfe der Verkehrsbelastung von Internetanbietern wie z.B. Google Maps erfolgen. Vor Ort soll diese Vorauswahl verifiziert werden.

Der im Folgenden beschriebene fünfte und sechste Schritt ist lediglich für die *erhebungsbasierte Variante* relevant.

In *Schritt 5* wird zunächst überprüft, ob die Verkehrsbelastung dem üblichen Aufkommen entspricht. Wenn sich eine Verkehrszählstelle in der Nähe befindet, kann dies durch eine kurze händische Zählung erfolgen, die dann mit den Zähldaten abgeglichen wird. Wenn keine Verkehrszählstelle in der Nähe ist, sollte an mehreren Tagen zur gleichen Uhrzeit erhoben werden, sodass sichergestellt werden kann, dass es sich um einen Tag mit üblichem Verkehrsaufkommen handelt.

Für den selektierten Strom wird in *Schritt 6* die mittlere Wartezeit pro Fahrzeug für mindestens 10 Minuten lang erhoben. Die Wartezeit pro Fahrzeug wird vom Stillstand oder bei hohem Verkehrsaufkommen ab dem Zeitpunkt der Geschwindigkeitsreduktion aufgrund auftretenden Rückstaus, bis zum Losfahrmoment definiert. Bei stark ausgelasteten Knoten ist die Erhebung aller Fahrzeuge nicht möglich, weswegen die Wartezeit stichprobenartig für ausgewählte Fahrzeuge ermittelt werden soll. Hierbei ist es wichtig, dass die Fahrzeuge so ausgewählt werden, dass die Verteilung der Ankünfte am Knoten gewissenhaft repräsentiert ist. Die Ergebnisse für alle Knoten werden gemittelt und am Ende gerundet.

Für die erhebungsbasierte Variante wird in *Schritt 7* mit Hilfe der über alle erhobenen Fahrzeuge gemittelte Wartezeit die VQS definiert (vgl. Tab. 13). Eine qualitative Beschreibung, die bei der Klassierung hilft, kann in Anhang II.1 nachgelesen werden.

Tab. 13 Grundlage für Ermittlung der Verkehrsqualitätsstufen verschiedener Knotenformen

VQS	LSA (VSS 40 023a)	Vorfahrtsknoten (VSS 40 022)	Kreisverkehr (VSS 40 024a)
	mittl. Wartezeit [s]	mittl. Wartezeit [s]	mittl. Wartezeit [s]
A	≤ 20	≤ 10	≤ 10
B	≤ 35	≤ 15	≤ 20
C	≤ 50	≤ 25	≤ 30
D	≤ 70	≤ 45	≤ 45
E	≤ 100	> 45 und kleinste Belastungsreserve <100	> 45
F	> 100	kleinste Belastungsreserve <0	> 45 und Zufluss grösser als Kapazität.

Für die Floating-Car-Data-basierte Variante wird die VQS der Zu- und Abfahrtsstrecken von Floating-Car-Daten abgeleitet und nicht vor Ort erhoben. Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurde das Online-Angebot von Google Maps getestet. Die Daten können aber auch von einem anderen (kommerziellen) Anbieter (bspw. HERE oder TomTom) bezogen werden. In Google Maps wird die Verkehrsqualität (bezeichnet als «Verkehrslage») für die wichtigsten Strassen in Abhängigkeit von der Auslastung bzw. Google Maps-Nutzenden, die auf den Strassen verkehren, in vier Kategorien unterteilt, denen jeweils eine Farbe zugeordnet ist. Die auf Basis einer längeren Zeitreihe erstellten Kategorien reichen von grün (fliessend) bis dunkelrot (stockend). Die schlechteste auftretende Kategorie von den für das Gebiet relevanten Strömen wird mit Hilfe von Tab. 14 in eine VQS umgerechnet (Schritt 7).

Tab. 14 Umwandlung Google-Kategorien in VQS⁹

VQS	Google Kategorie
A	1 (fliessend)
B	1 (fliessend)
C	2 (eher fliessend)
D	3 (eher stockend)
E	4 (stockend)
F	4 (stockend)

Das Vorgehen soll anhand eines Beispiels illustriert werden. Nehmen wir an, dass Zufahrtsstrecke 2 und 3 in Abb. 75 für das Gebiet relevant sind (festgelegt im Schritt 1 des Vorgehens). Demnach würde Zufahrtsstrecke 2, die in die dritte Kategorie (rot: eher stockend) fällt gemäss Tab. 14 zu einer VQS D Klassifikation für den Knoten führen.

⁹ Die Umwandlung der Google-Kategorien in VQS erfolgte auf Basis der qualitativen Beschreibungen der VQS (vgl. Abb. 98, Abb. 99 und Abb. 100)



Abb. 75 Beispiel knotenbasiertes Verfahren Knoten Seebahn-/Zweierstrasse Stadt Zürich (Google)

4.2.3 Datengestütztes Verfahren (Modell)

Das datengestützte Verfahren für die Bewertung der Verkehrsqualität konzentriert sich auf die Auslastung der *Strecken*. Diese sind zwar im städtischen Kontext nicht direkt relevant für die Bewertung der Verkehrsqualität, es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich die schlechten Verkehrsqualitäten an Knoten auf die zulaufenden Strecken auswirken. Eine breite, datenbasierte Auswertung der Reisezeiten lässt demnach Rückschlüsse auf die Verkehrsqualität zu. Dieses Verfahren bietet sich aufgrund von diversen vorhandenen Datengrundlagen und einer objektiven und reproduzierbaren Methodik an. Es existieren öffentliche Datenquellen, wie das NPVM, welche die Reisezeiten von Strecken beschreiben. Zudem bieten private Anbieter entsprechende Daten zum Kauf an (z.B. HERE, TomTom oder Google).

Die Methodik sieht vor, das Verhältnis zwischen der tatsächlich gefahrenen Reisezeit und der Freeflow-Reisezeit im Umfeld des zu evaluierenden Standorts zu bestimmen. Dies soll, wie bei den knotenbasierten Verfahren (Kapitel 4.2.2), für die relevante Spitzenstunde durchgeführt werden.

Analog zum Kapazitätsindex werden die Strecken im Nahbereich evaluiert. Um die Vergleichbarkeit mit den knotenbasierten Methoden zu gewährleisten, wird jedoch nur der 3-Minuten-Isochronenbereich ausgewertet. Die Isochronen werden im unbelasteten Netz berechnet. Der Verkehrsflussindikator (VFI) wird dann wie folgt berechnet:

$$VFI = \frac{\sum t_{akt}}{\sum t_0} [\%]$$

Der Verkehrsflussindikator lässt sich auf Basis verschiedener Datenquellen bestimmen. Es würde sich anbieten, analog zu den quantitativen Indikatoren das NPVM als Basis für die Reisezeiten zu nutzen, da es eine kostenlose und bereits vorhandene Datengrundlage darstellt. Die anderen Dienste sind kostenpflichtig und die Daten müssten bestellt und noch für die Anwendung prozessiert werden. Darüber hinaus ist die Erstellung des NPVM transparent dokumentiert, was nicht für alle Datengrundlagen privater Anbieter der Fall ist.

4.2.4 Beispielanwendung

Verkehrsqualität

Die drei vorgestellten Verfahren zur Erhebung der Verkehrsqualität wurden für die Fallbeispiele (knotenbasierte Verfahren) bzw. die erweiterten Fallbeispiele (datengestütztes Verfahren) testweise angewendet. Um den Aufwand der Erhebung in Grenzen zu halten, wurde auf die Plausibilisierung der Verkehrsmenge am Erhebungstag verzichtet. Die Ergebnisse werden im Folgenden verglichen.

Knotenbasierte Verfahren

Entwicklungsgebiet Binz

Als Perimeter für die Erhebung der Verkehrsqualität wird die 3-Minuten-Isochrone verwendet (vgl. Abb.5). Anschliessend werden die für die Erschliessung des Arels relevanten Knoten ausgewählt. Gemeint sind damit grössere Knoten im Umfeld, die den Verkehr vom übergeordneten Strassennetz (z.B. HVS oder RVS) zum Standort führen. Für den Standort Binz sind es die Knoten Birmensdorfer-/Talwiesenstrasse, Birmensdorfer-/Zweierstrasse, Zurlindenstrasse/Schlossgasse und Halden-/Uetlibergstrasse (vgl. Abb. 76). Diese Knoten wurden gewählt, da diese bei der Zu-/Wegfahrt vom Fallbeispielgebiet je nach Quell-/Ziel Himmelsrichtung genutzt werden.



Abb. 76 Relevante Knoten für die Erschliessung des Standorts Binz

Anschliessend wird für jeden der vier ausgewählten Knoten eruiert, welcher Strom für die Erschliessung des betrachteten Arels relevant ist. Für den vorliegenden Fall sind es die orange oder rot markierten Verkehrsbeziehungen in Abb. 77. Die Erhebung soll zum massgebenden Zeitpunkt stattfinden. Dieser ergibt sich aus einer Zählstellenauswertung (DAV, Z221) in Standortnähe und zeigt für den vorliegenden Fall an, dass die Abendspitzenstunde massgebend ist. Erhoben werden muss pro Knoten nur der massgebende Strom. Vor Ort kann durch Beobachtung des Knotens festgestellt werden, welche der relevanten Ströme massgebend sind. Es sind dies die Ströme mit den höchsten Wartezeiten am Knoten. In Abb. 77 sind die massgebenden Ströme für den Standort Binz rot markiert.

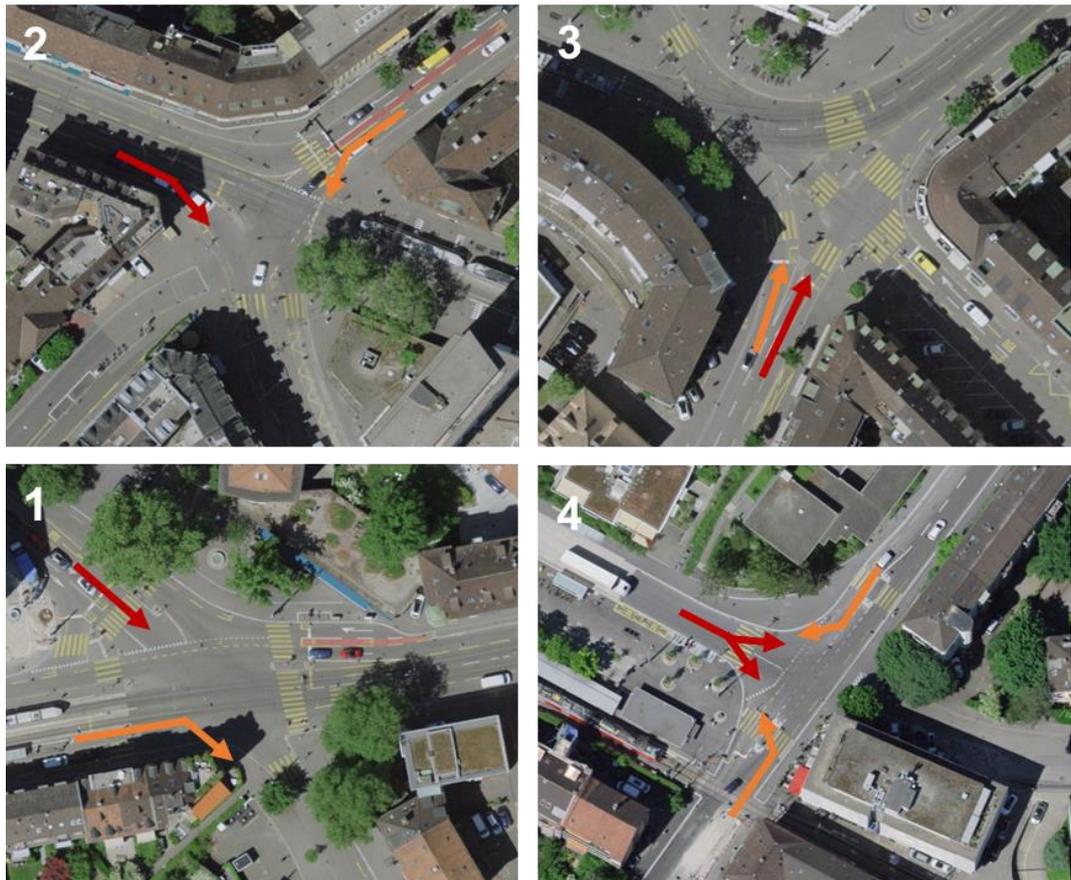


Abb. 77 Relevante (orange und rot) und massgebende (rot) Ströme für die Erschliessung des Standorts Binz

Vor Ort wird die mittlere Wartezeit für jeden massgebenden Strom während mindestens 10 Minuten ermittelt. Die Wartezeit pro Fahrzeug wird vom Stillstand oder bei hohem Verkehrsaufkommen ab dem Zeitpunkt der Geschwindigkeitsreduktion bis zum Losfahrmoment definiert. Bei stark ausgelasteten Knoten ist die Erhebung aller Fahrzeuge nicht möglich, weswegen die Wartezeit stichprobenartig für ausgewählte Fahrzeuge zu ermitteln ist. Für das Fallbeispiel ergeben sich mittlere Wartezeiten gemäss Tab. 15.

Als Alternative wird auch die Verkehrsqualität gemäss Google Maps bestimmt. Für die massgebenden Ströme zeigt sich überall eine «eher fließende» Verkehrslage (Abb. 78). Gemäss Tab. 14 ergibt dies eine VQS C.

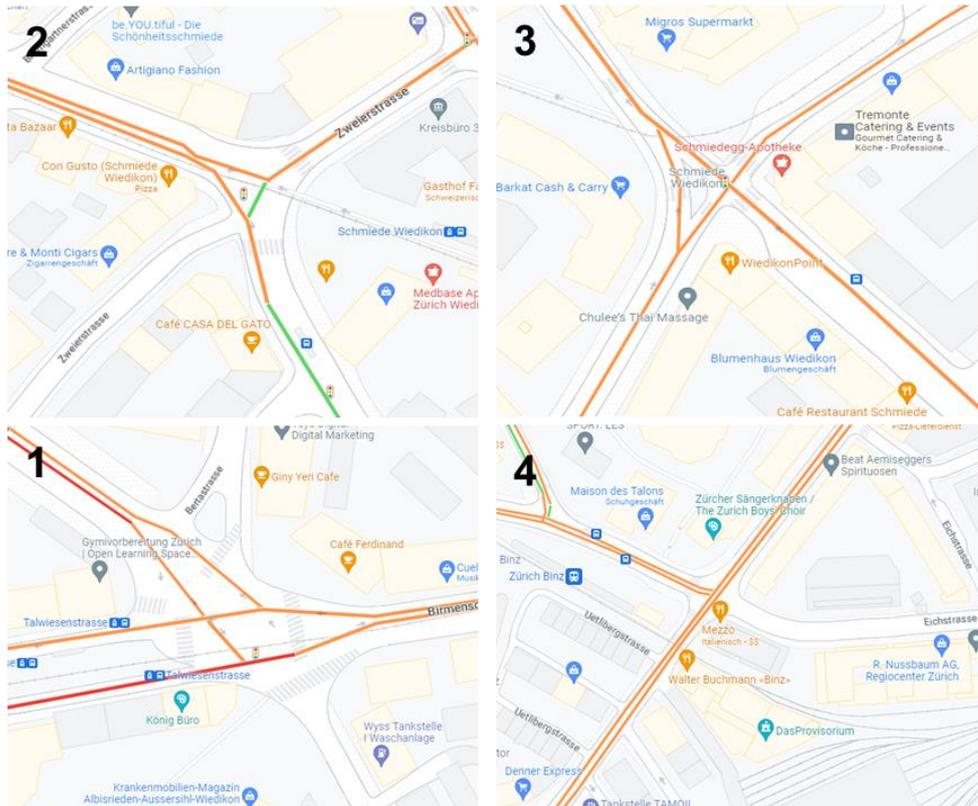


Abb. 78 Verkehrslage an den Zuflussstrecken der relevanten Knoten des Standorts Binz gemäss Google Maps (Normale Verkehrslage, Donnerstag 17:30 Uhr)

Tab. 15 Ergebnisse knotenbasierte Verfahren Entwicklungsgebiet Binz

		Birmensdorfer-/ Talwiesenstrasse	Birmensdorfer-/ Zweierstrasse	Zurlinden-/ Schlossgasse	Halden-/ Uetlibergstrasse
Erhebung	Erhobener Strom	Nordwest geradeaus	West geradeaus	Süd geradeaus	West beide
	Typ	LSA	LSA	LSA	Vorfahrt
	mittl. Wartezeit	71s	47s	41s	3s
	VQS	E	C	C	A
Google [VQS]		C	C	C	C

Entwicklungsschwerpunkt Marthalen

Für den Standort Marthalen sind die Knoten Seebe-/Ruedelfingerstr. und Stations-/Ruedelfingerstr. für die Erhebung der Verkehrsqualität relevant (vgl. Abb. 79).

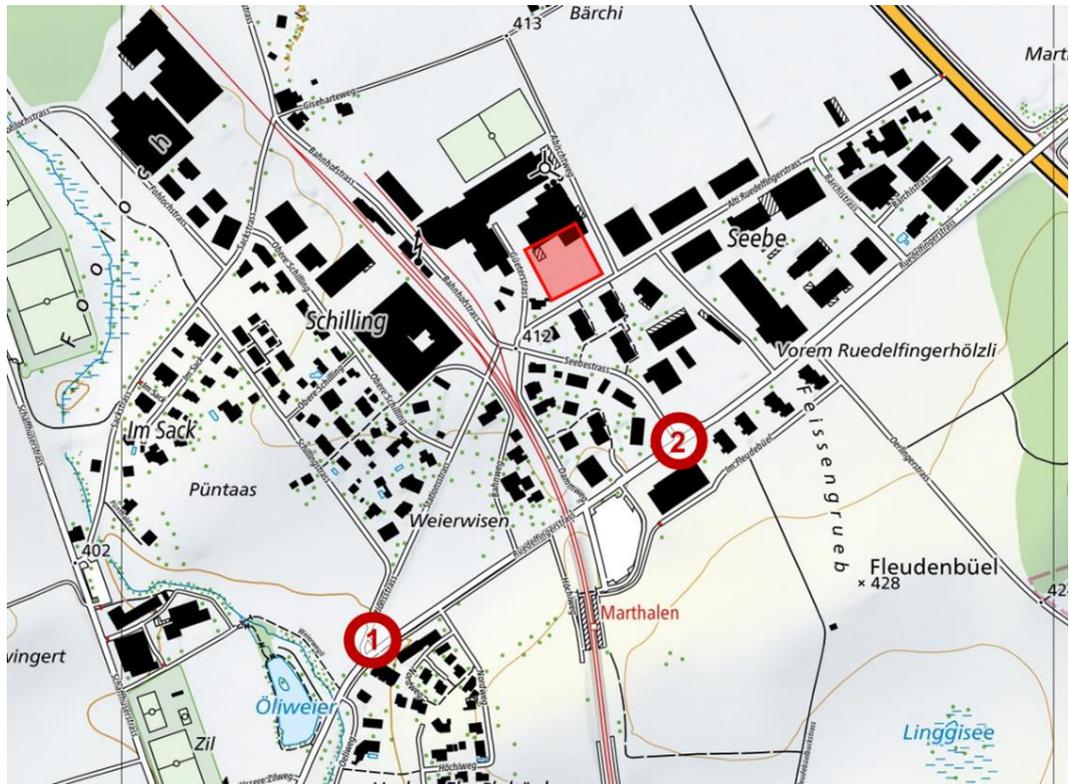


Abb. 79 Relevante Knoten für die Erschliessung des Standorts Marthalen-Schilling

Der massgebende Zeitpunkt (Abendspitzenstunde) der Erhebung wird mit einer nahe gelegenen kantonalen Messtelle (Nr. 593) bestimmt. Die für die Erschliessung des betrachteten Areals relevanten Ströme und die davon massgebenden sind in Abb. 80 dargestellt.

Vor Ort wird die mittlere Wartezeit für jeden massgebenden Strom ermittelt, was in den Werten in Tab. 16 resultiert.



Abb. 80 Relevante (orange und rot) und massgebende (rot) Ströme für die Erschliessung des Standorts Marthalen-Schilling

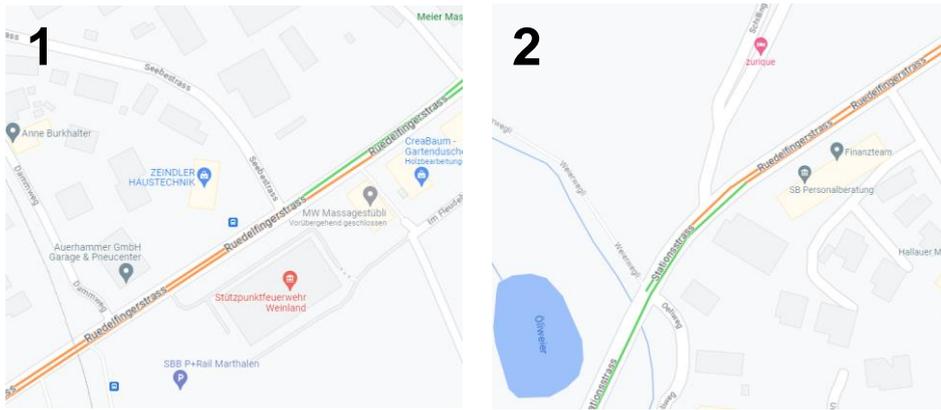


Abb. 81 Verkehrslage an den Zuflussstrecken der relevanten Knoten des Standorts Marthalen-Schilling gemäss Google Maps (Normale Verkehrslage, Donnerstag 17:30 Uhr)

Als Alternative wird auch hier die Verkehrsqualität gemäss Google Maps bestimmt. Für die massgebenden Ströme zeigt sich überall eine «eher fließende» Verkehrslage. Gemäss Tab. 14 ergibt dies eine VQS C.

Tab. 16 Ergebnisse knotenbasierte Verfahren Entwicklungsschwerpunkt Marthalen

	Seebe-/Ruedelfingerstr.	Stations-/Ruedelfingerstr.
Erhebung	Erhobener Strom	Nord beide
	Typ	Vorfahrt
	mittl. Wartezeit,	1s
	VQS	A
Google [VQS]		C

Entwicklungsschwerpunkt Route de Saint-Julien

Für den Standort Route de Saint-Julien sind die LSA-Knoten Route de Saint-Julien/ Pont - du-Centenaire und Route de Saint-Julien/ Route de la Galaise sowie der Kreisels Trèfle-Blanc für die Erhebung der Verkehrsqualität relevant (vgl. Abb. 82).

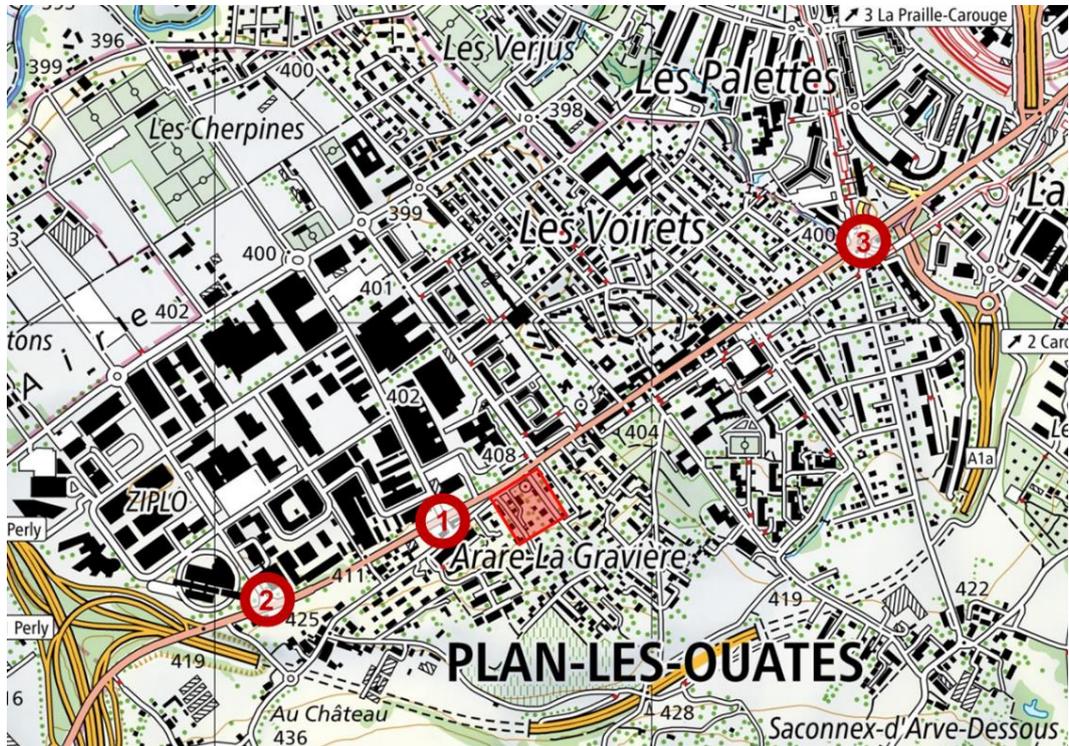


Abb. 82 Relevante Knoten für die Erschliessung des Standorts Route de Saint-Julien

Der massgebende Zeitpunkt (Abendspitzenstunde) der Erhebung wird mit einer nahe gelegenen kantonalen Messtelle (Nr. 262) bestimmt. Die für die Erschliessung des betrachteten Areals relevanten Ströme und die davon massgebenden sind in Abb. 83 dargestellt. Da beim Kreisels für jede Zufahrt alle Relationen möglich sind, wurde vor Ort festgestellt, welche Zufahrt (vgl. Abb. 84) für den Standort massgebend ist.

Vor Ort wird die mittlere Wartezeit für jeden massgebenden Strom ermittelt, was in den Werten in Tab. 17 resultiert.

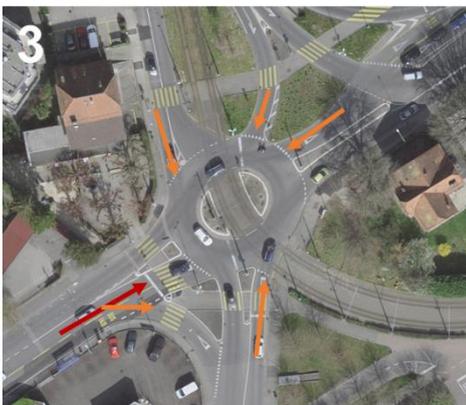


Abb. 83 Relevante (orange und rot) und massgebende (rot) Ströme für die Erschliessung des Standorts Route de Saint-Julien

Als Alternative wird auch hier die Verkehrsqualität gemäss Google Maps bestimmt. Für die massgebenden Ströme an den LSA-Knoten lässt sich eine «eher fliessende» Verkehrslage und am Kreisell eine eher stockende Verkehrslage feststellen. Gemäss Tab. 14 ergibt dies eine VQS C bzw. D.

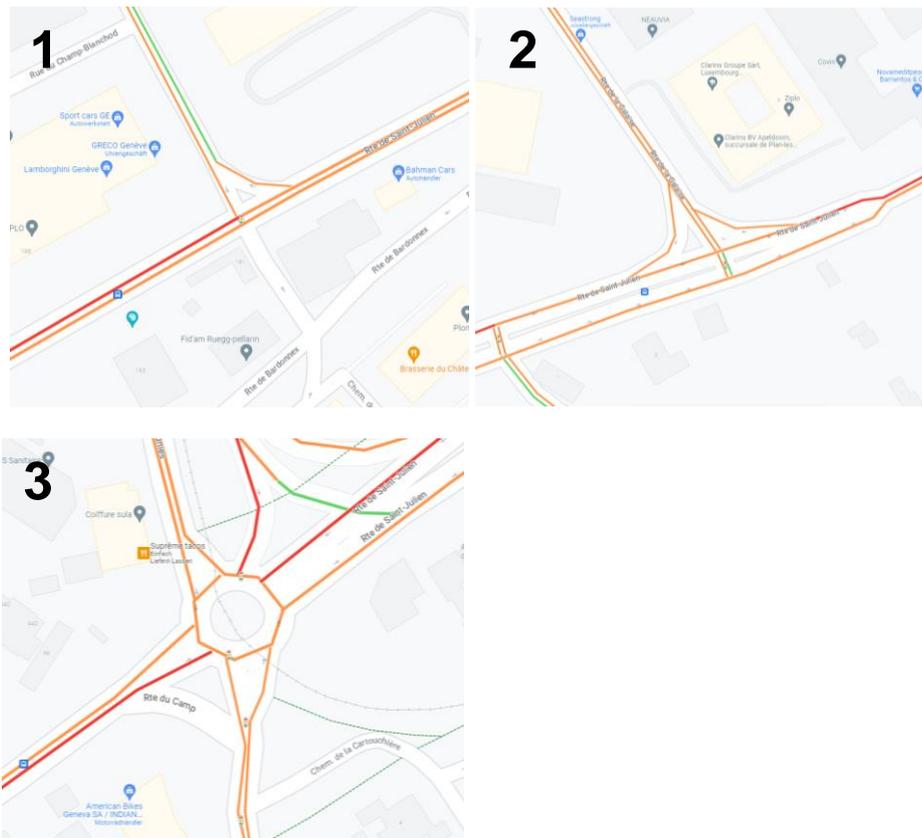


Abb. 84 Verkehrslage an den Zuflussstrecken der relevanten Knoten des Standorts Route de Saint-Julien gemäss Google Maps (Normale Verkehrslage, Dienstag 17:30 Uhr)

Tab. 17 Ergebnisse knotenbasierte Verfahren Entwicklungsschwerpunkt Route de Saint-Julien

		1. Rte de Saint-Julien/ Pont -du-Centenaire	2. Rte de Saint-Julien/ Rte de la Galaise	3. Kreisell Trèfle-Blanc
Erhebung	Erhobener Strom	nordost geradeaus	nordost geradeaus	südost
	Typ	LSA	LSA	Kreisell
	mittl. Wartezeit	22s	164s	32s
	VQS	B	F	D
	Google [VQS]	C	C	D

Crans(-Montana) Dorfzentrum

Für den Standort Crans(-Montana) sind die Kreisel Rue Centrale/ Route du Rawyl, Rue Centrale/ Route Touristique und Route du Rawyl/ Route de Vermala für die Erhebung der Verkehrsqualität relevant (vgl. Abb. 85).

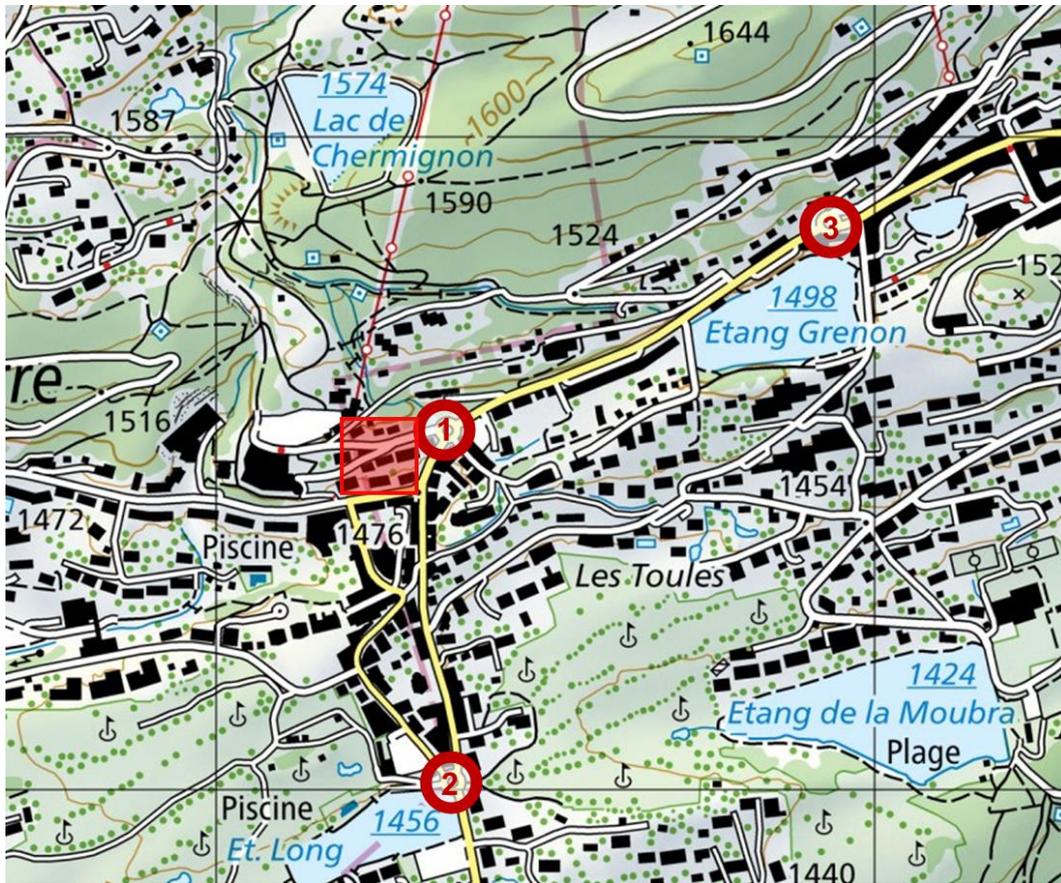


Abb. 85 Relevante Knoten für die Erschließung des Standorts Crans(-Montana)

Da für Crans (-Montana) keine Zählraten zur Verfügung standen, wurde der massgebende Zeitpunkt (Abendspitzenstunde) der Erhebung mit der Verkehrslage aus Google Maps bestimmt. Die für die Erschließung des betrachteten Areals relevanten Ströme und die davon massgebenden sind in Abb. 86 dargestellt. Da beim Kreiseln für jede Zufahrt alle Relationen möglich sind, wurde vor Ort festgestellt, welche Zufahrt (vgl. Abb. 87) für den Standort massgebend ist.

Vor Ort wird die mittlere Wartezeit für jeden massgebenden Strom ermittelt, was in den Werten in Tab. 18 resultiert.

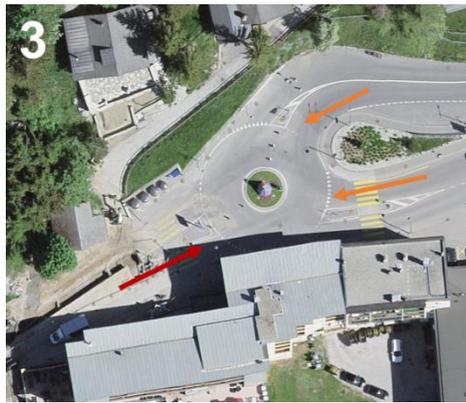
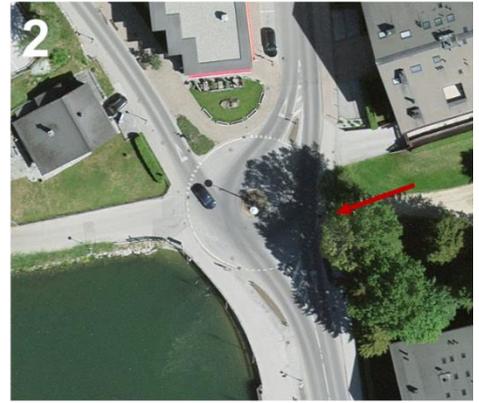


Abb. 86 Relevante (orange und rot) und massgebende (rot) Ströme für die Erschliessung des Standorts Crans(-Montana)

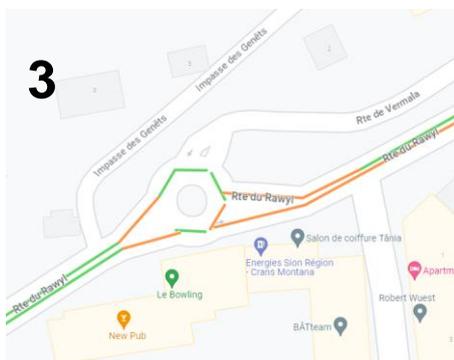


Abb. 87 Verkehrslage an den Zuflussstrecken der relevanten Knoten des Standorts Crans(-Montana) gemäss Google Maps (Normale Verkehrslage, Freitag 17:00 Uhr)

Als Alternative wird auch hier die Verkehrsqualität gemäss Google Maps bestimmt. Für die massgebenden Ströme zeigt sich überall eine «eher fliessende» Verkehrslage. Gemäss Tab. 14 ergibt dies eine VQS C.

Tab. 18 Ergebnisse knotenbasierte Verfahren Crans(-Montana)

		Kreisel Rue Centrale/ Rte du Rawyl	Kreisel Rue Centrale/ Rte Touristique	Kreisel Rte du Rawyl/ Rte de Vermala
Erhebung	Erhobener Strom	Südwest	Süd	Osten
	Typ	Kreisel	Kreisel	Kreisel
	mittl. Wartezeit	< 1s	< 1s	< 1s
	VQS	A	A	A
Google [VQS]		C	C	C

Für den Fallbeispielstandort Crans(-Montana) gilt es zu beachten, dass es sich um einen Tourismusstandort handelt. Für die Verkehrsqualität sind Tage mit hohem Freizeitverkehr von Relevanz, insbesondere im Winterhalbjahr. Die Erhebung wurde im Frühling 2023 durchgeführt, d.h. in der Zwischensaison. Daher dürfte die Verkehrsqualität zu positiv bewertet sein.

Fazit

Für alle Beispielstandorte weist die Floating-Car-Daten-basierte Methode die gleiche VQS auf, obwohl sich die mittleren Wartezeiten zwischen den Fallbeispielen stark voneinander unterscheiden. So sind beispielsweise in Crans-Montana an allen erhobenen Knoten keine und an den erhobenen Knoten des Fallbeispiels Binz im Schnitt sehr hohe mittlere Wartezeiten vorhanden. Gemäss der auf Google Maps basierten Methode würden demnach alle Fallbeispiele gleich bewertet, was nicht der Realität entspricht. Google Maps scheint Orte mit sehr guter VQS in der Tendenz zu schlecht zu bewerten und Orte mit schlechter VQS überzubewerten. Auch unter Berücksichtigung der qualitativen Einschätzung auf Basis der Merkmale aus II.1 (Anhang) kann der erhebungsbasierten Methodik eine bessere Bewertung der realen Verhältnisse bescheinigt werden. Die Daten anderer Anbieter von FCD wie HERE oder TomTom wurden nicht ausgewertet, da der hohe damit verbundene Arbeitsaufwand für die Datenaufbereitung nicht im Umfang einer qualitativen Bewertung liegt. Die Auswertung von disaggregierten Daten käme einem quantitativen Indikator gleich.

Datengestütztes Verfahren (NPVM)

Ein Testversuch ergab, dass die Capacity Restraint (CR)-Funktionen im NPVM so parametrisiert sind, dass sie auf dem untergeordneten Netz nicht genug auf die Belastung der Strecken reagieren. So beträgt der VFI, also der kumulierte Fahrzeitverlust, im 3-min-Radius des Fallbeispielorts Binz in der Stadt Zürich in der Abendspitzenstunde nur 18 s (+0.74%). Mit dem kantonalen Verkehrsmodell beträgt der kumulierte Fahrzeitverlust 161 s (+2.6%), was immer noch gering ist, aber deutlich höher als mit dem NPVM ist. Dies lässt sich mit der höheren Genauigkeit von kantonalen Verkehrsmodellen in Bezug auf die Attribuierung des untergeordneten Netzes gut erklären. Dennoch hat nicht jeder Kanton ein eigenes Verkehrsmodell, obschon zumindest regionale Modelle existieren. Ferner ist eine einheitliche Datengrundlage notwendig, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse des Teilkriteriums sicherzustellen. Diese wäre bei Anwendung kantonalen Modelle nicht gegeben, da die kantonalen Modelle unterschiedliche Detaillierungsgrade aufweisen.

Andererseits kann das NPVM trotzdem herangezogen werden, wenn davon ausgegangen wird, dass die niedrigen Verlustzeiten *systematisch* sind, d.h. für das ganze Modellgebiet. Deswegen wurde der VFI für das erweiterte Fallbeispielset (vgl. Kapitel 3.2.6, Schritt 2) berechnet. Die Ergebnisse in Abb. 88 zeigen, dass der VFI zwischen den Fallbeispielen stark variiert, jedoch keine klar benennbaren Gründe für die Variationen gefunden werden

können. So sind zwar für Crans-Montana die nicht existenten bzw. für Marthalen die minimalen Fahrzeitverluste mit der peripheren Lage gut zu begründen, jedoch sind die starken Unterschiede zwischen den in Grossstädten verorteten Standorten Bachgraben, Gaswerkareal, St. Julien und Binz nicht zu erklären. Auch der höhere VFI für Oberriet im Vergleich zu vielen städtischen Standorten lässt sich schwer erklären. Bei genauerer Analyse der Verspätungen konnte festgestellt werden, dass die Verdopplung der Fahrzeit auf einer einzigen Strecke (19 s auf 47 s) etwa ein Drittel (28 s von insgesamt 80 s) der Fahrzeitverluste ausmacht.

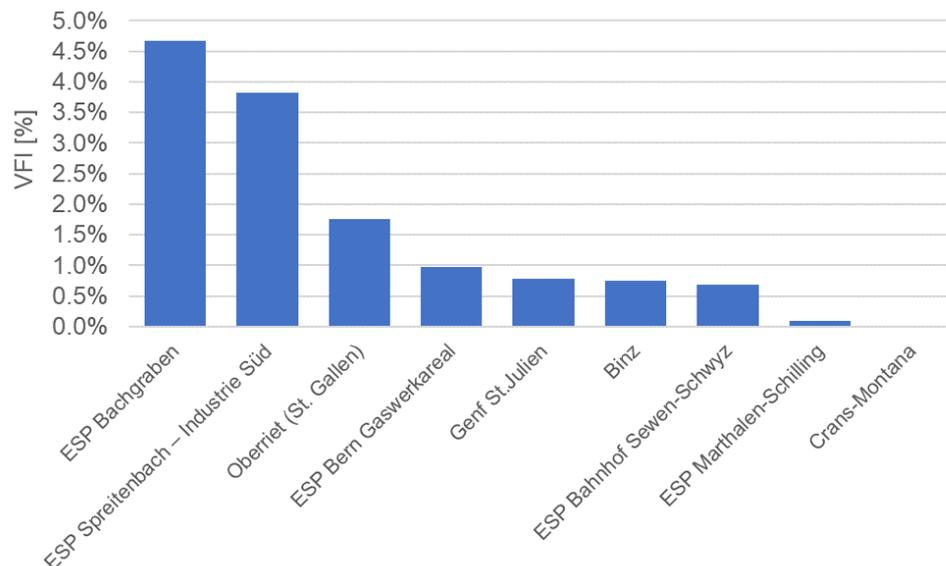


Abb. 88 VFI (prozentualer Fahrzeitverlust) für die (erweiterten) Fallbeispiele

4.2.5 Finale Festlegung der Methode

Auf Basis der durchgeführten Testanwendung schlägt die Forschungsstelle vor, das sich stark an der Logik bestehender Normen orientierende *knotenbasierte Verfahren mit Erhebungen vor Ort* zur Beschreibung der Verkehrsqualität zu verwenden. Es weist gemäss obigen Ausführungen die plausibelsten und differenziertesten Ergebnisse auf. So ist es nicht zu erklären, warum Google Maps für die Strecken an allen Fallbeispielstandorten die gleiche Verkehrsqualität ausweist. Es lässt die Vermutung zu, dass Google keinen absoluten, sondern einen *relativen* Bezugsrahmen verwendet. Demnach können unterschiedliche Standorte nicht miteinander verglichen werden.

Der Verkehrsflussindikator besticht zwar durch seine Automatisierbarkeit, jedoch lässt die Anwendung auf die Fallbeispiele Zweifel an der Verwendbarkeit der Ergebnisse aufkommen. Ausserdem läuft er Gefahr auch Verspätungen mit einzubeziehen, welche den Standort nicht tangieren. Ferner eignet er sich als modellbasierter Ansatz nicht als *qualitativer* Indikator.

4.3 Methodik Parkfeldverfügbarkeit

4.3.1 Einleitung

Die Parkfeldverfügbarkeit stellt eine wesentliche Voraussetzung für die Erschliessung mit dem MIV dar. Wenn bekannt ist, dass vor Ort ausreichend freie Parkfelder zur Verfügung stehen, erhöht sich die Erschliessungsqualität für den MIV, da sowohl Parksuchzeiten als auch Zugangszeiten zum Zielort minimiert werden. Ein gutes Beispiel stellen peripher gelegene Shopping-Center dar, welche oft eine grosse Anzahl kostenfreier Parkfelder bereit halten und so primär mit dem MIV angesteuert werden [39].

Die Art von Parkfeldern¹⁰ kann beispielsweise nach Eigentumsform zwischen privaten und öffentlichen Parkfeldern unterschieden werden. Diese Eigentümerschaft definiert jedoch nicht die Zugänglichkeit, sprich die Nutzbarkeit dieser Parkfelder. So können private Parkfelder auch öffentlich zugänglich sein und (nur) von bestimmten Personengruppen wie Besucherinnen und Besuchern, Kundinnen und Kunden oder Mitarbeitenden benutzt werden (vgl. Abb. 89).



Abb. 89 Unterscheidung von Parkfeldtypen

Für die im Folgenden beschriebene Methodik sollen lediglich *öffentlich zugängliche Parkfelder* berücksichtigt werden, da der Zugang zu Parkfeldern mit privatem Nutzungsrecht oft eingeschränkt sein kann und diese damit auch nicht erhoben werden können. Ausserdem tragen Parkfelder mit privatem Nutzungsrecht nicht zur allgemeinen Verbesserung der Erreichbarkeit eines Standorts bei, sondern nur für deren BesitzerInnen.

Für die Beschreibung der Parkfeldverfügbarkeit konnte keine einheitliche Datengrundlage für die ganze Schweiz gefunden werden. Zwar verfügen einzelne Städte über eine Übersicht ihrer Parkfelder im öffentlichen Besitz (z.B. Stadt Zürich) und es gibt Portale, die eine relativ umfangreiche Übersicht mit öffentlichen und privaten Parkfeldern bieten (z.B. parking.ch), es fehlt jedoch eine zuverlässige und schweizweite Quelle. Zum Auslastungsgrad gibt es derzeit keine öffentlich zugängliche Datengrundlage. Daher wird die Parkfeldverfügbarkeit anhand einer Stichprobenerhebung vor Ort beurteilt.

Um die Parkfeldverfügbarkeit eines Standorts qualitativ abzuschätzen, ist ein Set aus verschiedenen Indikatoren notwendig. Diese lassen sich grob in zwei Kategorien unterteilen:

- **Quantität** – Sind ausreichend Parkfelder für die umliegenden Nutzungen vorhanden, können diese für eine ausreichend lange Zeit genutzt werden und sind diese nicht zu stark ausgelastet?
- **Qualität** – Sind diese Parkfelder in einer angemessenen Entfernung vorhanden oder gibt es wenigstens die Möglichkeit zum Be- und Entladen, können freie Parkfelder leicht aufgefunden werden und sind diese zu einem angemessenen Preis verfügbar?

Eine Möglichkeit, um die ausreichende Quantität zu bestimmen, wäre die Abschätzung des Bedarfs mit Hilfe kommunaler Parkplatzverordnungen oder der VSS-Norm 40 281 (Angebot an Parkfeldern für Personenwagen), welche für verschiedene Nutzungen auf Basis der Bruttogeschossflächen (BGF) und weiterer Kennwerte wie Anzahl Mitarbeitende oder der ÖV-Erschliessungsqualität die Anzahl der benötigten Parkfelder festlegt. Dies wäre ein relativ aufwendiges Verfahren und aus Sicht eines Verkehrsteilnehmenden ist die Anzahl der verfügbaren Parkfelder irrelevant. Es muss nur Folgendes gegeben sein:

- Ein einziges freies Parkfeld muss genügend lange Zeit zur Verfügung stehen und in annehmbarer Zeit gefunden werden können.
- Das freie Parkfeld muss für die Nutzung am richtigen Ort zur Verfügung stehen.

Unter diesen beiden Gesichtspunkten kann die Parkfeldverfügbarkeit mittels folgender Kriterien beschrieben werden:

- Auslastung der relevanten Parkfelder

¹⁰ In diesem Kapitel werden ausschliesslich Parkfelder für den MIV erhoben.

- Räumliche Verteilung der relevanten Parkfelder
- Haltepunkte zum Waren-/Personenwechsel
- Parkleitsystem
- Parkkosten der relevanten Parkfelder

Die Kriterien können jedoch nicht einzeln bewertet und anschliessend aufsummiert bzw. gewichtet werden, sondern sie sind als interagierende Aspekte zu verstehen: Wenn beispielsweise ein Parkleitsystem (PLS) vorhanden ist, ist die Auslastung der Parkfelder weniger relevant, da das PLS die Verkehrsteilnehmenden zum freien Parkfeld führt. Ohne PLS hingegen ist eine geringe Auslastung der Parkfelder entscheidend, weil sie die Parksuchzeit massgebend reduziert und damit die Erschliessungsqualität für den MIV verbessert. Im Folgenden werden die oben aufgeführten Teilaspekte im Detail beschrieben und die Interaktionen aufgezeigt.

4.3.2 Auslastung der relevanten Parkfelder

Die Auslastung der relevanten Parkfelder ist ein wichtiger Indikator für die Erschliessungsqualität. Je geringer die Auslastung, desto höher ist die Anzahl der freien Parkfelder. Damit erhöht sich aus Sicht der Verkehrsteilnehmenden die Wahrscheinlichkeit, dass *mit einer geringen Parksuchzeit* ein Parkfeld gefunden wird. Ebenso ist mit einer geringen Auslastung wahrscheinlicher, dass das gefundene Parkfeld *in der Nähe des Zielpunkts* der Fahrt liegt. Die Auslastung wird erhoben, indem die Anzahl freier Parkfelder durch die Anzahl vorhandener Parkfelder dividiert wird.

Grundsätzlich berücksichtigt werden die öffentlich zugänglichen Parkfelder in einem Umkreis von ca. 200 m, was ungefähr drei Gehminuten entspricht. Je nach Grösse des Standorts und lokalen Gegebenheiten, kann die mit der Erhebung beauftragte Person den Umkreis auch begründet anpassen, denn der Suchradius ist fachlich nicht klar zu definieren: So sollen gemäss der Parkplatzverordnung der Stadt Zürich die Parkfelder für Besucherinnen und Besucher bzw. Kundinnen und Kunden innerhalb von 150 m erstellt werden. In anderen Studien [40], [41] werden auch grössere Entfernungen für Parkfelder als adäquat ausgewiesen. 200 m scheinen jedoch eine Distanz zu sein, die im Rahmen einer Begehung noch gut erhoben werden kann.

Für die Bestimmung der Auslastung gilt es zu beachten, dass nicht jedes freie Parkfeld im oben beschriebenen Perimeter relevant ist. Ob ein Parkfeld für einen Verkehrsteilnehmenden in Frage kommt, ist von der Nutzung und vom Parkregime abhängig: Für die Erledigung des Wocheneinkaufs kann eine maximale Parkdauer von einer Stunde ausreichend sein. Für einen Theaterbesuch hingegen kommt ein Parkfeld mit einer maximalen Parkdauer von einer Stunde nicht in Frage. Daraus folgt, dass bei der Erhebung der Auslastung folgende zwei Aspekte berücksichtigt werden müssen:

- Nutzung
- maximale Parkdauer

Überlagern sich an einem Standort mehrere Nutzungen, so ist für die Erhebung der Parkfeldverfügbarkeit die *dominierende* Nutzung zu bestimmen. Als dominierende Nutzung gilt die Nutzung mit dem grössten Parkfeldbedarf (grobe fachliche Abschätzung, abgeleitet aus der BGF, die wiederum aus der Anzahl der Etagen und der Grundfläche angenähert werden kann¹¹). Sind bei der Mischnutzung zwei Nutzungen in etwa gleichbedeutend, so ist die im Folgenden beschriebene Erhebung für beide Nutzungen durchzuführen und das Ergebnis anschliessend zu mitteln. Bei mehr als zwei Nutzungen sind maximal die zwei wichtigsten zu berücksichtigen.

¹¹ So kann es sein, dass ein Grossteil der BGF zwar Wohnnutzung ist, jedoch sind für diese im Vergleich zu Einzelhandelsnutzungen eher wenige öffentlich zugängliche Parkfelder notwendig.

Ob ein Parkfeld bei der Ermittlung der Auslastung berücksichtigt wird, hängt davon ab, ob die zulässige maximale Parkdauer für die jeweilige Nutzung ausreichend ist. Da sich die Aufenthaltsdauer je nach Nutzung unterscheidet, soll für die am Standort vorhandene Nutzung die durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Besucher und Besucherinnen abgeschätzt werden. Als Hilfe dient die in einem VSS-Forschungsprojekt erarbeitete Grundlage (vgl. Tab. 19) zu nutzungsspezifischen typischen Aufenthaltszeiten. Für die Besucherinnen und Besucher von Wohnnutzungen weist dieses Forschungsprojekt keine typischen Aufenthaltszeiten aus. Es wird vorgeschlagen, für diese Nutzung von einer Aufenthaltsdauer von zwei bis vier Stunden auszugehen.

Tab. 19 Durchschnittliche Aufenthaltsdauer in Minuten für verschiedene Nutzungen [42]

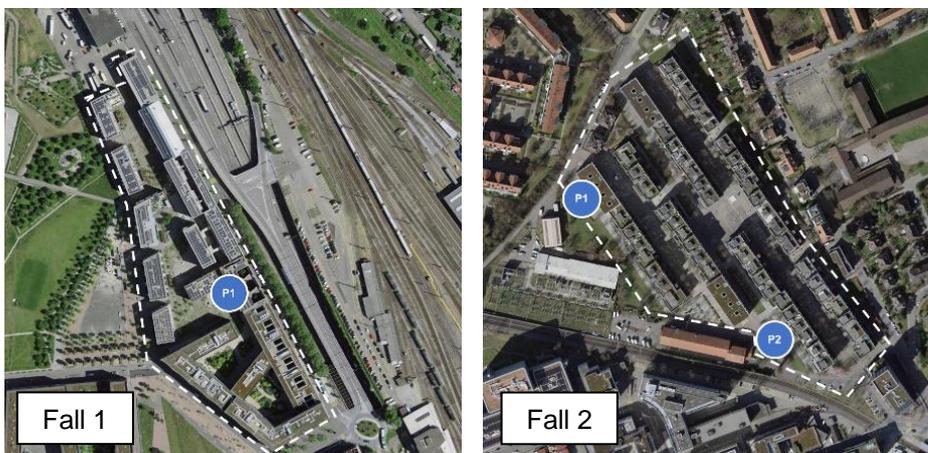
Dienstleistung	Einzelhandel	Bildung	Spital	Besuchen (Wohnen)
180	40	210	180	180

Bei der Erhebung der Auslastung werden nur diejenigen Parkfelder berücksichtigt, welche die Parkzeitanforderungen der *dominierenden Nutzung* abdecken.

Die Auslastung der Parkfelder schwankt stark nach Tageszeit, da es keine Gleichverteilung der Fahrten über den gesamten Tag gibt. Deshalb ist der massgebende Zeitpunkt der Auslastungserhebung der Parkfelder zu bestimmen. Dieser soll gemäss VSS-Norm 40 004 (Erhebungen beim Parkieren) abhängig von der Nutzung sein. Wenn es sich um einen Standort mit Detailhändlern der Bekleidungsbranche handelt, ist es nicht zielführend, die Auslastung zwischen 8 und 9 Uhr morgens zu erheben, da diese Geschäfte um diese Uhrzeit i.d.R. noch geschlossen sind. Es wird vorgeschlagen, dass der Erhebungszeitpunkt standortspezifisch mit Hilfe der Tagesganglinien für verschiedene Nutzungen auf Basis der VSS-Norm 40 283 (Verkehrsaufkommen von parkieranlagen von Nicht-Wohnnutzungen, Abb. 2-19, Attribut: Total) und für Besucher von Wohnnutzungen den aus dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr abgeleiteten Ganglinien aus dem Forschungsprojekt «Nachhaltige Ansätze zur Parkraumplanung» (noch in Bearbeitung), bestimmt wird.

4.3.3 Verteilung

Neben der Auslastung der Parkfelder ist auch deren Verteilung relevant: Je nachdem wie die Parkfelder verteilt sind, erhöht oder verringert sich die Wahrscheinlichkeit, dass bei hoher Auslastung trotzdem ein freies Parkfeld in der Nähe des Zielpunkts gefunden wird. Bei einer *dispersen* Verteilung der Parkfelder ist die Wahrscheinlichkeit für das Auffinden eines freien Parkfeldes tendenziell geringer als bei einer *zentralen* Verteilung der Parkfelder. In Abb. 90 sind die verschiedenen Formen der Verteilung illustriert.



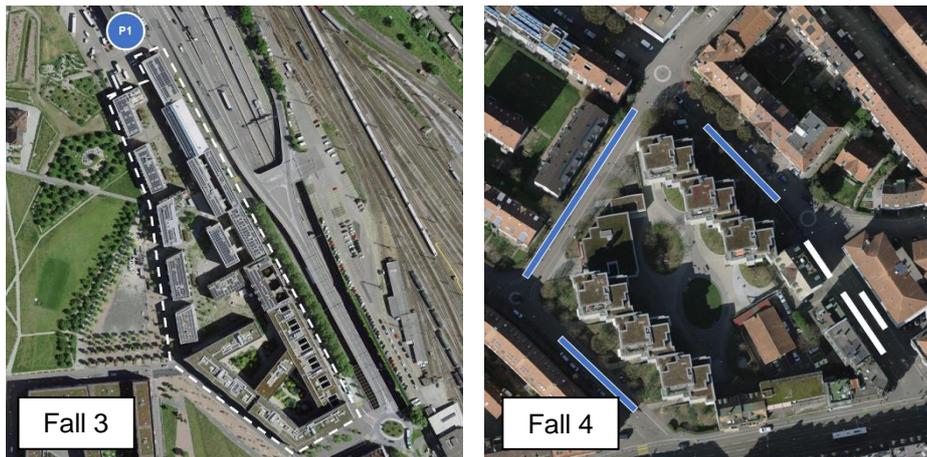


Abb. 90 Arten der Verteilung von Parkfeldern: zentral nah (Fall 1 und 2), zentral fern (Fall 3 links), dispers mit Parkfeldern der blauen und weissen Zone (Fall 4)

Eine zentral nahe Verteilung bedeutet, dass das öffentlich zugängliche Parkfeldangebot an einem oder mehreren zentralen Orten auf dem Areal verortet ist und der Abstand zu den Gebäudeeingängen nah ist. In Fall 1 in obiger Abbildung ist das Parkfeldangebot in der Mitte des Areals angeordnet, sodass alle Gebäudeeingänge nah erreichbar sind. Hingegen ist in Fall 3 das Parkfeldangebot an einem Rand des Areals peripher gelegen. Dies führt dazu, dass das Parkfeldangebot für viele Gebäudeeingänge im Süden fern ist. Eine disperse Verteilung des Parkfeldangebots bedeutet, dass an vielen verschiedenen Orten auf dem Areal und um das Areal herum Parkfelder sind. Wie im Fall 4 zu sehen ist, führt dies dazu, dass alle Gebäudeeingänge in der Nähe eines Parkfeldes liegen.

4.3.4 Haltepunkte

Haltepunkte an den Gebäudeeingängen (Zielpunkten) ermöglichen das Ein- und Ausladen bzw. Aussteigen im Fall von Personen der Fahrzeuge, sodass der (Transport-) Weg vom Parkfeld zum Zielpunkt vermieden wird. Wenn solche Haltepunkte vorhanden sind, führt dies dazu, dass ein zum Zielpunkt nahe gelegenes Parkfeld weniger wichtig ist und damit auch die Frage weniger wichtig ist, ob die Verteilung der Parkfelder zentral oder dispers ist.



Abb. 91 Beispiel eines Haltepunkts vor einem Gebäudeeingang

4.3.5 Parkleitsystem

Parkleitsysteme führen die Fahrzeuglenkenden zu einem freien Parkfeld. Es gibt verschiedene Stufen von Parkleitsystemen. Die einfachste Variante zeigt mit Schildern den Weg zu einem Parkfeld an. Weiter fortgeschrittene Systeme geben zusätzlich zeitaktuell an, wie viele Parkfelder noch frei sind (Abb. 92). Somit führen PLS dazu, dass freie Parkfelder schneller gefunden werden. Dies hat zur Folge, dass eine hohe Auslastung der Parkfelder die Erschliessungsqualität in einem geringeren Masse verringert. Für die Beurteilung der Erschliessungsqualität muss fallweise entschieden werden, ob das vorhandene PLS ausreichend ist, um eine hohe Auslastung der Parkfelder auszugleichen.



Abb. 92 Beispiel für ein Parkleitsystem (Quelle: stadt-zuerich.ch)

4.3.6 Parkkosten

Die Berücksichtigung von Parkkosten wurde sowohl in der Begleitkommission als auch teilprojektübergreifend sehr kontrovers diskutiert. Hohe Parkkosten machen einen Standort zweifelsohne weniger attraktiv für den MIV. So versuchen bestimmte Nutzungen oft mit attraktiven Parkgebühren Kunden und Kundinnen, die mit dem MIV anreisen, anzulocken. Um dies in die Erschliessungsgüte einfließen zu lassen, wird erhoben, wie teuer die durchschnittliche Parkgebühr für zweistündiges Parkieren ist. Es wird die Parkdauer von zwei Stunden erhoben, da eine Parkdauer von unter einer Stunde für wenige Nutzungen interessant ist (vgl. Tab. 19). Wenn Parkfelder nur für eine Stunde benutzt werden können, dann werden sie für die Parkkostenberechnung nicht berücksichtigt. Gibt es verschiedene Tarife, wird das gewichtete Mittel berechnet. Parkierungskosten werden *nachgelagert* berücksichtigt. In einem ersten Schritt wird die Erschliessungsgüte anhand der Kriterien Auslastung, Verteilung, Haltepunkt und PLS bestimmt (vgl. Abb. 93 in Kapitel 4.4.2). Im Anschluss wird die Beurteilung aufgrund der Parkkosten *angepasst* (vgl. Tab. 22 in Kapitel 4.4.2).

4.4 Festsetzung Wertprofil

In Abstimmung mit den anderen Teilprojekten wird für jedes Teilkriterium ein fünfstufiges Wertprofil mit folgenden Kategorien festgelegt: gut – eher gut – neutral – eher schlecht – schlecht.

4.4.1 Verkehrsqualität

Das Wertprofil für den Indikator Verkehrsqualität ist in Tab. 20 aufgeführt. Das Teilkriterium Verkehrsqualität verwendet grösstenteils die Verkehrsqualitätsstufen als Bewertungskriterium. Demnach soll auch das Wertesystem anhand der Abstufungen der VQS hergeleitet werden. In den meisten Kantonen werden VQS bis Kategorie D akzeptiert. Demnach wird entschieden, VQS A bis D die Werte «gut» bis «eher schlecht» zuzuordnen und bei Erreichung der VQS E und F die Bewertung «schlecht» zu sprechen.

Tab. 20 Wertesystem des Teilkriteriums Verkehrsqualität

Bewertung	Verkehrsqualitätsstufe
gut	VQS A
eher gut	VQS B
neutral	VQS C
eher schlecht	VQS D
schlecht	VQS E oder F

Basierend auf Tab. 20 kann die Tab. 13 in Kapitel 4.2.2 wie folgt ergänzt werden:

Tab. 21 Bewertungsraster Verkehrsqualität

LSA	Vorfahrtsknoten	Kreisverkehr	Wertprofil
mittlere Wartezeit [s]	mittlere Wartezeit [s]	mittlere Wartezeit [s]	
> 70	> 45	> 45	schlecht
50...70	25...45	30...45	eher schlecht
35...50	15...25	20...30	neutral
20...35	10...15	10...20	eher gut
≤ 20	≤ 10	≤ 10	gut

Die Gesamtbewertung für den Standort wird durch Mittelung der Wertprofile aller Knoten erlangt, indem die Wertprofile in Zahlen umgerechnet werden: «gut» = 1, «eher gut» = 2, «neutral» = 3, «eher schlecht» = 4 und «schlecht» = 5. Dies unterliegt der Annahme, dass alle Knoten in etwa gleich wichtig sind. Diese Annahme ist zulässig, da nur relevante Knoten betrachtet werden. Für die Erschliessung untergeordnete Knoten werden vernachlässigt.

4.4.2 Parkfeldverfügbarkeit

Um die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Aspekten der Parkfeldverfügbarkeit zu berücksichtigen, wurde ein Baumdiagramm entworfen, welches aus dem Zusammenspiel dieser Aspekte eine Gesamtbewertung möglich macht (Abb. 93).

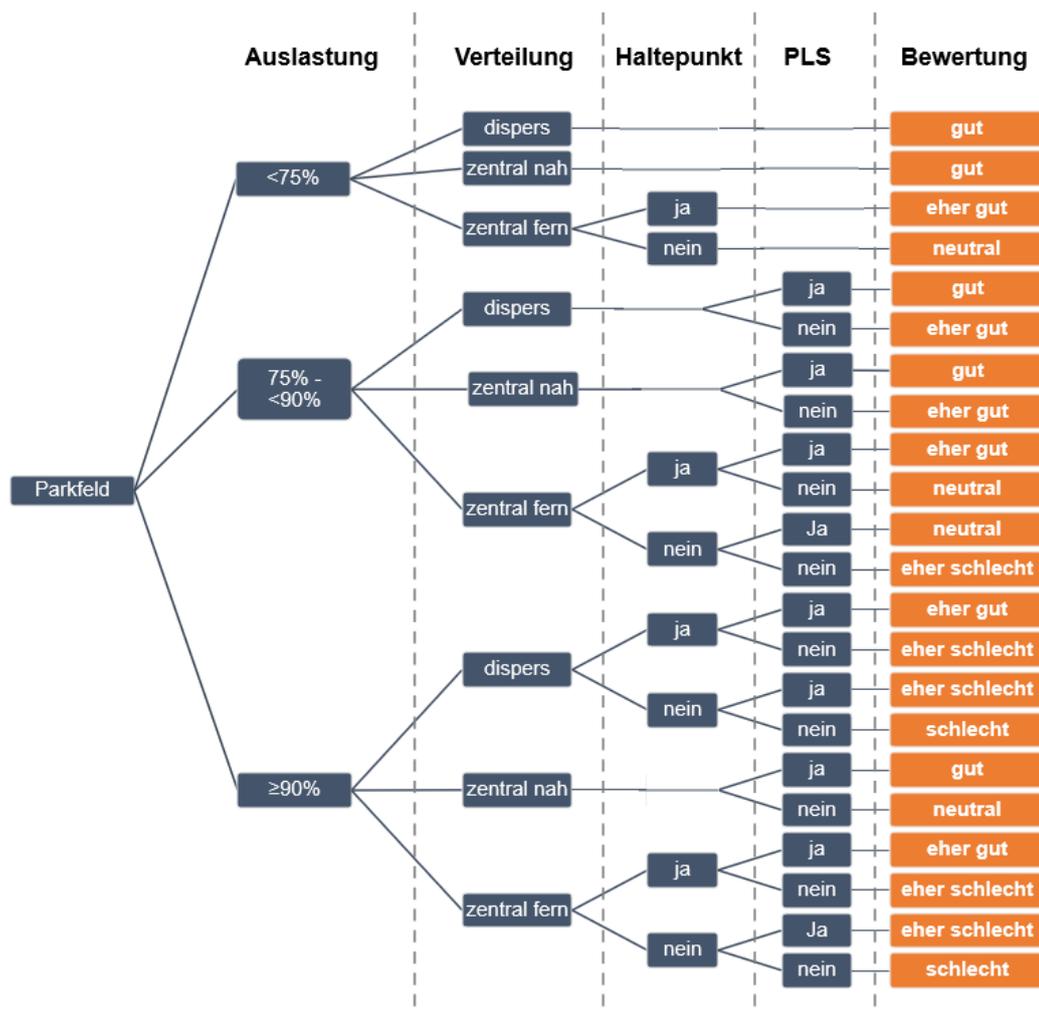


Abb. 93 Wertesystem des Teilkriteriums Parkfeldverfügbarkeit

Die Parkkosten werden nachgelagert berücksichtigt. Hierfür wird anhand Tab. 22 überprüft, ob die Parkkosten des betrachteten Areals mehr als 30% über dem Durchschnitt der zugehörigen Gemeindetypologie liegen. Sollte es unterschiedliche Preise geben, wird mit der Parkfeldanzahl ein gewichteter Mittelpreis berechnet. Trifft dies zu, wird die Bewertung gemäss Abb. 93 um eine Stufe herabgesetzt. Für die Bestimmung des Gemeindedurchschnitts wird einerseits die Gemeindetypologie¹² der Gemeinde und andererseits die Lage des Areals innerhalb der Gemeinde herangezogen. Eine Anpassung der Bewertung erfolgt nur nach unten. D.h. günstige Parkkosten erhöhen die Erschliessungsgüte nicht, hohe Parkkosten hingegen verringern die Güte um eine Stufe.

¹² [Gemeindetypologie 2012 mit 9 Kategorien \[Politische Gemeinden\] \(admin.ch\)](#)

Tab. 22 Parkkosten¹³ für 2-stündiges Parken je Gemeindetypologie und Lage in CHF

Kat.	Gemeindetypologie	Zentrale Lage	periphere Lage
A	Städtische Gemeinde einer grossen Agglomeration	3.10	1.40
B	Städtische Gemeinde einer mittelgrossen Agglomeration	3.70	1.90
C	Städtische Gemeinde einer kleinen oder ausserhalb einer Agglomeration Periurbane und ländliche Gemeinden	2.60	1.70

Da die Berücksichtigung der Parkkosten erst nach der Erhebung der Fallbeispiele (vgl. Kapitel 4.5) unmittelbar vor Projektabschluss in die Methode aufgenommen wurde, konnte dieser Teil der Methode nicht in der Praxis getestet werden.

4.5 Beispielanwendung

4.5.1 Entwicklungsgebiet Binz

Verkehrsqualität

Die Berechnung der mittleren Wartezeit wurde bereits im Rahmen der Methodenentwicklung bestimmt (vgl. Tab. 15 in Kapitel 4.2.4). Für diesen Standort ist die ASP massgebend. Die mittlere Wartezeit wird anhand des Bewertungsrasters in Tab. 21 für jeden Knoten separat in ein Wertprofil übersetzt, wobei der Knotentyp beachtet wird.

Tab. 23 Wertprofil Beispielanwendung Binz

Knoten	Birmensdorfer-/ Zweierstrasse	Zurlinden-/ Schlossgasse	Birmensdorfer-/ Talwiesenstrasse	Halden-/ Uetlibergstrasse
Knotentyp	LSA	LSA	LSA	Vorfahrt
Wertprofil	schlecht	schlecht	neutral	gut

Die Gesamtbewertung für den Standort wird durch Mittelung der Wertprofile aller Knoten erlangt. Daraus ergibt sich für den Standort Binz in Bezug auf die Verkehrsqualität eine neutrale Bewertung: $\frac{5+3+3+1}{4} = 3$.

Parkfeldverfügbarkeit

Für die Erhebung der Parkfeldverfügbarkeit werden die öffentlich zugänglichen Parkfelder im Umkreis von 200 m um den betrachteten Standort berücksichtigt. Erhoben werden nur Parkfelder, die für die dominierende Nutzung relevant sind. Der betrachtete Teil des Entwicklungsgebiets Binz ist ein nahezu reiner Wohnstandort, d.h. der Besucherverkehr ist massgebend. Gemäss Tab. 19 in Kapitel 4.3.2 ist die durchschnittliche Aufenthaltsdauer für die Nutzung «Besuchen» 180 Minuten. D.h. es sind für die Erhebung nur Parkfelder mit einer Mindestparkdauer von 180 Minuten zu berücksichtigen.

Der Erhebungszeitpunkt leitet sich ebenfalls aus der dominierenden Nutzung ab. Da das Entwicklungsgebiet Binz in erster Linie ein Wohnstandort ist, ist die Auslastung der Parkfelder gemäss Kapitel 4.3.2 abends zwischen 21 und 22 Uhr bzw. am Wochenende zu erheben, da dann die meisten parkenden Besucher zu erwarten sind und somit die Auslastung am höchsten ist.

¹³ Preisüberwacher 2022. Marktbeobachtung Parkgebühren, Basis für das Wertesystem in Anhang II.2.

Die Erhebung vor Ort ergibt für die relevanten Parkfelder zum massgebenden Erhebungszeitpunkt eine Auslastung von 55%. Das Areal verfügt über zwei zentrale Besucherparkierungsanlagen, es gibt jedoch im Norden und Osten des Areals weitere Parkfelder in der blauen Zone. Daher wird die Verteilung der Parkfelder als «dispers» angenommen. Haltepunkte vor den Gebäudeeingängen und ein PLS sind nicht vorhanden. Der gewichtete Mittelpreis der Parkfelder liegt unter der Grenze.

Das Wertprofil der Parkfeldverfügbarkeit ergibt sich, indem anhand der vier Teilkriterien Auslastung, Verteilung, Haltepunkte und PLS das untenstehende Baumdiagramm durchlaufen wird. Daraus ergibt sich für den Standort Binz in Bezug auf die Parkfeldverfügbarkeit eine «gute» Bewertung.

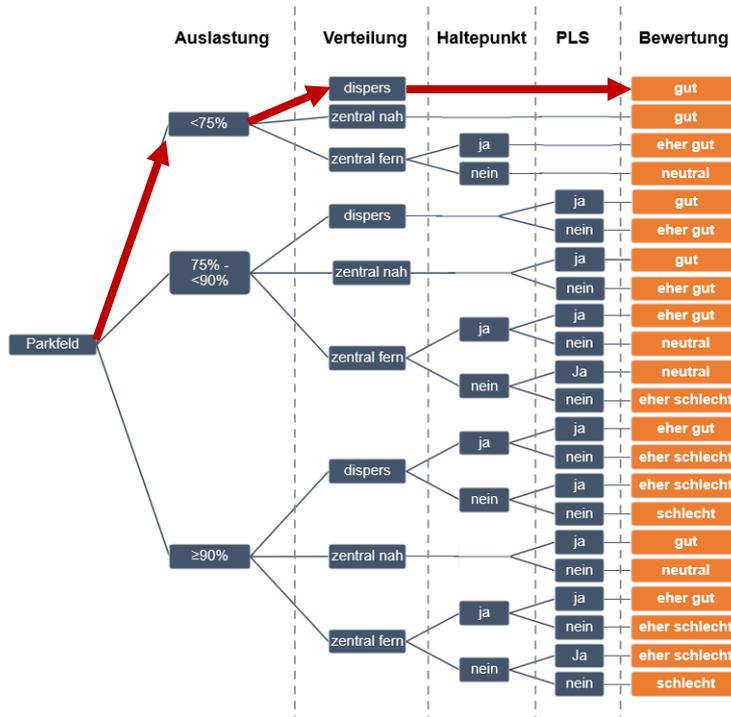


Abb. 94 Bestimmung Werteprofil für Entwicklungsgebiet Binz

4.5.2 Entwicklungsschwerpunkt Marthalen

Verkehrsqualität

Die Berechnung der mittleren Wartezeit wurde bereits im Rahmen der Methodenentwicklung bestimmt (vgl. Tab. 16 in Kapitel 4.2.4). Die ASP ist auch für dieses Beispiel massgebend. Die mittlere Wartezeit wird anhand des Bewertungsrasters in Tab. 21 für jeden Knoten separat in ein Wertprofil übersetzt.

Tab. 24 Wertprofil Beispielanwendung Binz

Knoten	Seebe-/Ruedelfingerstr.	Stations-/Ruedelfingerstr.
Knotentyp	Vorfahrt	Vorfahrt
Wertprofil	gut	gut

Die Gesamtbewertung für den Standort wird durch Mittelung der Wertprofile aller Knoten erlangt. Da beide Knoten das gleiche Wertprofil aufweisen, erübrigt sich dieser Schritt. Es ergibt sich für den Standort Marthalen in Bezug auf die Verkehrsqualität eine gute Bewertung.

Parkfeldverfügbarkeit

Für die Erhebung der Parkfeldverfügbarkeit werden die öffentlich zugänglichen Parkfelder im Umkreis von 200 m um den betrachteten Standort berücksichtigt. Erhoben werden nur Parkfelder, die für die dominierende Nutzung relevant sind. Der Entwicklungsschwerpunkt Marthalen ist ein Fachmarktstandort (Landi). Gemäss Tab. 19 in Kapitel 4.3.2 ist die durchschnittliche Aufenthaltsdauer für die Nutzung «Einzelhandel» 40 Minuten. D.h. es sind für die Erhebung nur Parkfelder mit einer Mindestparkdauer von 40 Minuten zu berücksichtigen. Der Erhebungszeitpunkt kann aus der Norm VSS 40 283 abgeleitet werden: Die Auslastung der Parkfelder ist an einem Samstag zwischen 15 und 16 Uhr zu erwarten.

Die Erhebung vor Ort ergibt für die relevanten Parkfelder zum massgebenden Erhebungszeitpunkt eine Auslastung von 36%. Die Verteilung der Parkfelder ist «zentral nah». Auch hier gibt es weder einen Haltepunkt noch ein PLS. Alle Parkfelder sind kostenlos.

Das Wertprofil der Parkfeldverfügbarkeit ergibt sich, indem anhand der vier Teilkriterien Auslastung, Verteilung, Haltepunkte und PLS das untenstehende Baumdiagramm durchlaufen wird. Daraus ergibt sich für den Standort Marthalen in Bezug auf die Parkfeldverfügbarkeit eine gute Bewertung.

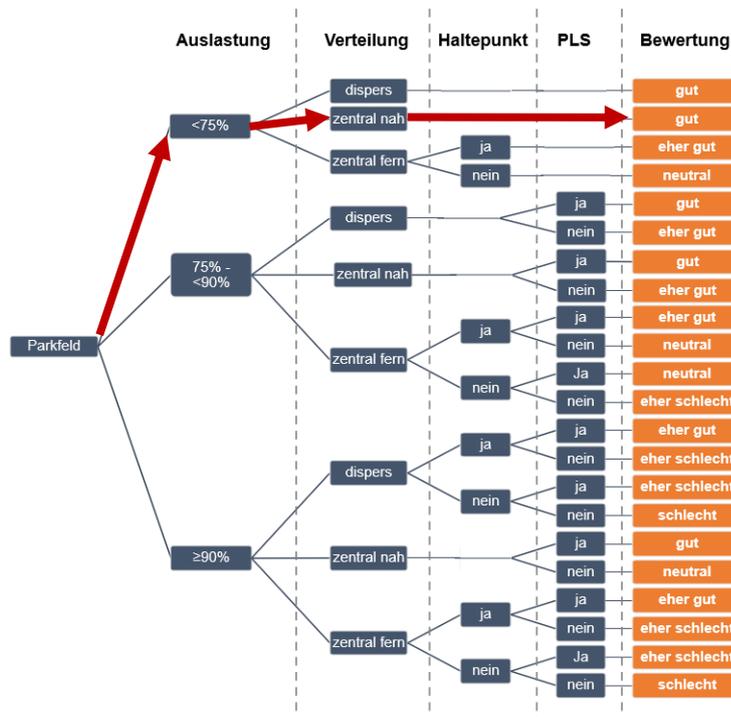


Abb. 95 Bestimmung Werteprofil für Entwicklungsschwerpunkt Marthalen

4.5.3 Entwicklungsschwerpunkt Route de Saint-Julien

Verkehrsqualität

Die Berechnung der mittleren Wartezeit wurde bereits im Rahmen der Methodenentwicklung bestimmt (vgl. Tab. 17 in Kapitel 4.2.4). Für diesen Standort ist die ASP massgebend. Die mittlere Wartezeit wird anhand des Bewertungsrasters in Tab. 21 für jeden Knoten separat in ein Wertprofil übersetzt, wobei der Knotentyp beachtet wird.

Tab. 25 Wertprofil Beispielanwendung Route de Saint-Julien

Knoten	Rte de Saint-Julien/ Pont -du-Centenaire	Rte de Saint-Julien/ Rte de la Galaise	Kreisel Tréfle-Blanc
--------	---	---	-------------------------

Knotentyp	LSA	LSA	Kreisel
Wertprofil	eher gut	schlecht	eher schlecht

Die Gesamtbewertung für den Standort wird durch Mittelung der Wertprofile aller Knoten erlangt. Daraus ergibt sich für den Standort Route de Saint-Julien in Bezug auf die Verkehrsqualität eine eher schlechte Bewertung: $\frac{2+4+5}{3} = 4$.

Parkfeldverfügbarkeit

Für die Erhebung der Parkfeldverfügbarkeit werden die öffentlich zugänglichen Parkfelder im Umkreis von 200 m um den betrachteten Standort berücksichtigt. Erhoben werden nur Parkfelder, die für die dominierende Nutzung relevant sind. Der Entwicklungsschwerpunkt Route de Saint-Julien ist ein reiner Wohnstandort. Gemäss Tab. 19 in Kapitel 4.3.2 ist die durchschnittliche Aufenthaltsdauer für die Nutzung «Besuchen» 180 Minuten. D.h. es sind für die Erhebung nur Parkfelder mit einer Mindestparkdauer von 180 Minuten zu berücksichtigen.

Der Erhebungszeitpunkt leitet sich ebenfalls aus der dominierenden Nutzung ab. Da der Entwicklungsschwerpunkt Route de Saint-Julien in erster Linie ein Wohnstandort ist, ist die Auslastung der Parkfelder gemäss Kapitel 4.3.2 abends zwischen 21 und 22 Uhr bzw. am Wochenende zu erheben, da dann die meisten parkenden Besucher zu erwarten sind und somit die Auslastung am höchsten ist.

Da das Areal und ein grosser Teil des Umfelds aus Einfamilienhäusern mit grossen Grundstücken und privaten Strassen und Zufahrten besteht, wurden nur wenige explizit ausgewiesene Parkfelder erhoben. Diese befanden sich in der Chemin du Pont-du-Centenaire und der Route de Bardonnex. Die ca. 60 relevanten Parkfelder weisen zum massgebenden Erhebungszeitpunkt eine Auslastung von 69% auf. Der gewichtete Mittelpreis der Parkfelder liegt unter der Grenze.

Die Verteilung der Parkfelder wird als «zentral fern» bestimmt, da es nur in der Nähe des Geschosswohnungsbaus öffentlich zugängliche Parkfelder gibt. Haltepunkte vor den Gebäudeeingängen sind vorhanden, ein PLS jedoch nicht.

Das Wertprofil der Parkfeldverfügbarkeit ergibt sich, indem anhand der vier Teilkriterien Auslastung, Verteilung, Haltepunkte und PLS das untenstehende Baumdiagramm durchlaufen wird. Daraus ergibt sich für den Standort Route de St. Julien in Bezug auf die Parkfeldverfügbarkeit eine «eher gute» Bewertung.

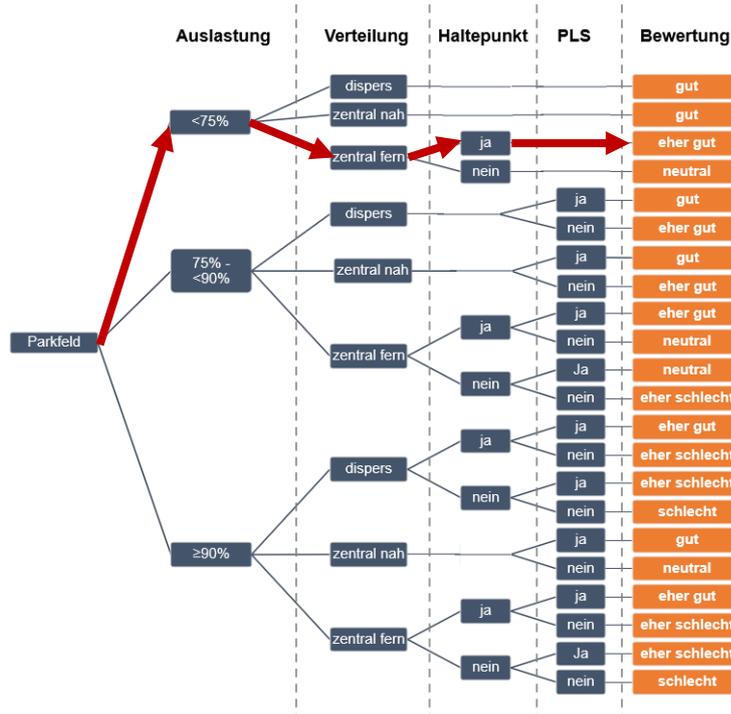


Abb. 96 Bestimmung Werteprofil für Entwicklungsschwerpunkt Route de Saint-Julien

4.5.4 Crans(-Montana) Dorfzentrum

Verkehrsqualität

Die Berechnung der mittleren Wartezeit wurde bereits im Rahmen der Methodenentwicklung bestimmt (vgl. Tab. 18 in Kapitel 4.2.4). Für diesen Standort ist die ASP massgebend. Die mittlere Wartezeit wird anhand des Bewertungsrasters in Tab. 21 für jeden Knoten separat in ein Wertprofil übersetzt, wobei der Knotentyp beachtet wird.

Tab. 26 Wertprofil Beispielanwendung Crans(-Montana)

Knoten	Rue Centrale/ Rte du Rawyl	Rue Centrale/ Rte Touristique	Rte du Rawyl/ Rte de Vermala
Knotentyp	Kreisel	Kreisel	Kreisel
Wertprofil	gut	gut	gut

Die Gesamtbewertung für den Standort wird durch Mittelung der Wertprofile aller Knoten erlangt. Da beide Knoten das gleiche Wertprofil aufweisen, erübrigt sich dieser Schritt. Es ergibt sich für den Standort *Crans(-Montana)* in Bezug auf die Verkehrsqualität eine gute Bewertung.

Parkfeldverfügbarkeit

Für die Erhebung der Parkfeldverfügbarkeit werden die öffentlich zugänglichen Parkfelder im Umkreis von 200 m um den betrachteten Standort berücksichtigt. Erhoben werden nur Parkfelder, die für die dominierende Nutzung relevant sind. Das Gebiet im Dorfzentrum von Crans (-Montana) weist verschiedene Nutzungen auf, wobei der Supermarkt von der Fläche am relevantesten ist. Gemäss Tab. 19 in Kapitel 4.3.2 ist die durchschnittliche Aufenthaltsdauer für die Nutzung «Einzelhandel» 40 Minuten. D.h. es sind für die Erhebung nur Parkfelder mit einer Mindestparkdauer von 40 Minuten zu berücksichtigen.

Der Erhebungszeitpunkt leitet sich ebenfalls aus der dominierenden Nutzung ab. Da das Dorfzentrum Crans(-Montana) in erster Linie ein Einzelhandelsstandort ist, müsste die Auslastung der Parkfelder gemäss VSS 40 283 eigentlich an einem Samstag zwischen 15 und 16 Uhr erhoben werden. Da jedoch die Verkehrsqualität wochentags ermittelt wird, wurde aufgrund der langen Anreise für die Erhebung die Auslastung der Parkfelder zur Zeit mit dem zweithöchsten Aufkommen (freitags zwischen 16 und 17 Uhr) erhoben. So konnte die Spitzenstunde direkt im Anschluss erhoben werden.

Die Erhebung vor Ort ergibt für die relevanten Parkfelder zum massgebenden Erhebungszeitpunkt eine Auslastung von 24%. Die Parkfelder sind dispers in und um das Dorfzentrum verteilt. Ausserdem ist ein PLS mit Anzeige der verfügbaren Parkfelder vorhanden. Haltepunkte vor den Gebäudeeingängen sind nicht vorhanden. Der gewichtete Mittelpreis der Parkfelder liegt unter der Grenze.

Das Wertprofil der Parkfeldverfügbarkeit ergibt sich, indem anhand der vier Teilkriterien Auslastung, Verteilung, Haltepunkte und PLS das untenstehende Baumdiagramm durchlaufen wird. Daraus ergibt sich für den Standort Crans (-Montana) in Bezug auf die Parkfeldverfügbarkeit eine «gute» Bewertung.

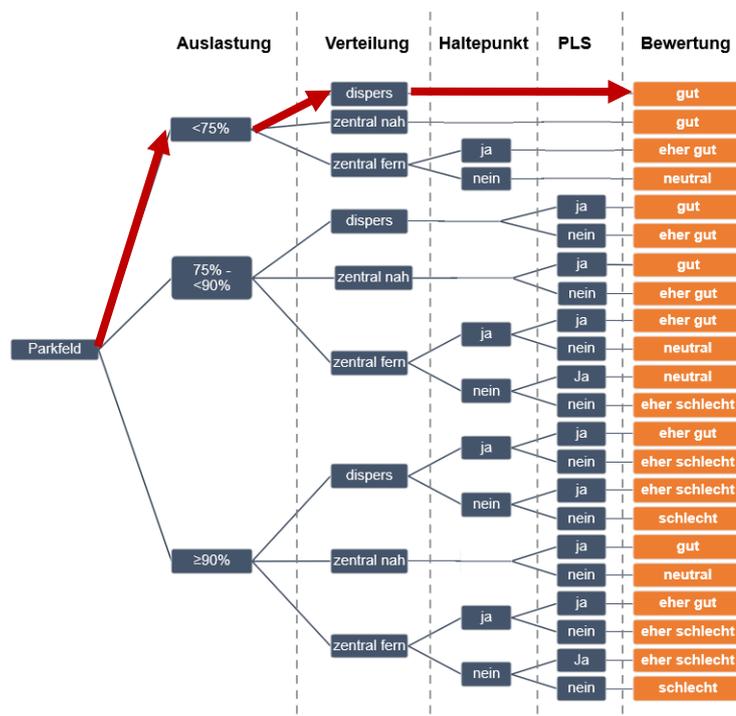


Abb. 97 Bestimmung Werteprofil für Crans(-Montana) Dorfzentrum

Für den Fallbeispielstandort Crans(-Montana) gilt es – wie bereits bei der Verkehrsqualität erwähnt – zu beachten, dass es sich um einen Tourismusstandort handelt. Für die Parkfeldverfügbarkeit sind Tage mit hohem Freizeitverkehr von Relevanz, insbesondere im Winterhalbjahr. Die Erhebung wurde im Frühling 2023 durchgeführt, d.h. in der Zwischensaison. Daher dürfte die Parkfeldverfügbarkeit zu positiv bewertet sein.

5 Folgerungen und weiterer Forschungsbedarf

5.1 Quantitative Erschliessungskriterien

Bereits im Grundlagenbericht VSS 2011/106 [11] konnten die Bedürfnisse bzw. Erwartungen der Planungspraxis und die methodischen Ansätze (und Grenzen) zur Beschreibung von gesamtverkehrlichen Erschliessungskriterien an einem Standort aufgezeigt werden. In Bezug auf den MIV wurden für die Stufe 1 des zweistufigen Vorgehens die beiden Indikatoren «Kapazitätsindex» und «Erreichbarkeitsindex» entwickelt. In der vorliegenden Forschungsarbeit konnten beide Indikatoren unter Wahrung der Praxistauglichkeit weiter verfeinert und optimiert werden. Insbesondere die Anforderung der Praxistauglichkeit hat oft dazu geführt, dass im Zweifel die einfachere bzw. «verständlichere» Methode gewählt wurde.

Der **Kapazitätsindex** aus dem Grundlagenbericht [11] wurde wie folgt weiterentwickelt: Verschiedene Varianten wurden evaluiert und schliesslich ein isochronenbasierter differenzierter Ansatz vorgeschlagen. Damit kann den unterschiedlichen Netzhierarchien und -dichten entsprochen werden. Zentrale Datengrundlage ist das NPVM. Ein spezielles Augenmerk musste hier den grenznahen Standorten bzw. der Verwendbarkeit von ausländischen Netzinformationen gewidmet werden. Auch hierzu konnte ein pragmatischer methodischer Ansatz zur Vergleichbarkeit entwickelt werden. In der Bearbeitung hat insbesondere folgender Aspekt zu Diskussionen geführt: Beim Kapazitätsindex handelt es sich um eine kapazitätsgewichtete Strassennetzdichte im Umfeld des Standortareals ohne Berücksichtigung der Auslastung. Die Tatsache, dass die tatsächlich vorhandene Verkehrsnachfrage unberücksichtigt bleibt und dass dieser Indikator damit nur das Angebot beschreibt, kann die Aussagekraft schmälern. Die Analogie zur ÖV-Gütekategorie, die ebenfalls nur das Angebot und nicht die Auslastung beschreibt, ist nur bedingt zulässig: Während im MIV hohe Auslastungen zu verlängerten Reisezeiten und Zuverlässigkeitseinbussen führen, sind hohe Auslastung im ÖV «nur» als Komforteinbussen wahrzunehmen. Der qualitative Indikator Verkehrsqualität hilft aber, den Kapazitätsindex besser einzuordnen, da er die Auslastung zumindest punktuell berücksichtigt.

In der Dimension **Erreichbarkeit** wurde für den MIV eine mit der ÖV-Modellierung vergleichbare Methodik entwickelt. Die Parameter der Raumwiderstandsfunktionen wurden optimiert. Zentrale Datengrundlage ist das NPVM. Die Methodenentwicklung hat bei folgenden Aspekten zu Diskussionen geführt und wären in einer weiteren Bearbeitung ggf. zu verifizieren:

Die Auflösung der Erreichbarkeitsberechnung wurde auf Verkehrsmodellzonen statt der viel feineren Hektarraster festgelegt. Damit wird eine deutliche Genauigkeitseinbusse in Kauf genommen und ebenso eine potenzielle MAUP-Problematik (vgl. Kapitel 3.3.2). Mit immer leistungsfähiger werdenden Rechnern würde die Berechnung auf Hektarrasterebene mit immer weniger Rechenzeit verbunden sein. Dennoch ist die gröbere Auflösung aus Sicht Forschungsstelle gerechtfertigt. Es wurde aufgezeigt, dass eine feinere Auflösung auf Hektarrasterebene im Kontext dieses Projekts und der beabsichtigten Anwendung nicht zwingend eine grössere Genauigkeit mit sich bringt: Werden die Erreichbarkeitsindizes in Klassen eingeteilt, wie dies für die Güteklassen geschieht (vgl. Kapitel 3.4), ist die Klassenzuteilung der Hektarrasterpunkte wenig differenziert. Die Hektarrasterpunkte, die innerhalb einer Verkehrsmodellzone liegen, gehören weitestgehend zur selben Güteklasse. Es ist zwar zu erwarten, dass mit zunehmender Auflösung der Grundlagendaten – wie beispielweise der Reisezeiten – auch die Differenzierung auf Hektarrasterebene zunehmen würde, doch aus Sicht der Praxistauglichkeit ist diese feinere Auflösung kaum zu rechtfertigen.

Zu grossen Diskussionen sowohl in der BK als auch bei der Forschungsstelle hat die Wahl der betrachteten Zeit für die Erreichbarkeitsberechnung geführt. Die Idee, die Wahl der betrachteten Zeit (Hauptverkehrszeit, Nebenverkehrszeit etc.) von der jeweiligen Nutzung am betrachteten Standort abhängig zu machen, wurde wieder verworfen. Gründe dafür

waren neben der Wahl einer einfachen Methode zur Wahrung der Praxistauglichkeit auch der Anspruch, die Methoden für alle Verkehrsmittel möglichst konsistent zu halten. Eine Differenzierung nur beim MIV wäre diesem Anspruch nicht gerecht geworden. Nicht geprüft wurde, ob eine solche Differenzierung unter Berücksichtigung der Auflösung und der Kategoriengrenzen (Güteklassen) im Endergebnis zeichnen würde.

Die Beschreibung des Potenzials für die Erreichbarkeitsberechnung wurde ebenfalls kontrovers diskutiert. Sowohl im Grundlagenbericht als auch bei der Berechnung der Erreichbarkeiten des ARE werden Strukturdaten (Einwohner und Arbeitsplätze) als Metrik für das Potenzial verwendet. In der vorliegenden Forschungsarbeit wurde als Alternative die Verkehrserzeugung gemäss NPVM als Metrik für das Potenzial geprüft. Idee hinter diesem Wechsel war einerseits, dass damit auch verkehrsentensive Einrichtungen mit wenig Strukturdaten besser abgebildet werden und andererseits, dass die Problematik von schwierig zu beschaffenden Auslandsdaten (insb. Arbeitsplätze) umgangen werden kann. Beide Argumente haben zwar ihre Berechtigung, sind aber auch durchaus kritisch zu beurteilen. Die Verkehrserzeugung im NPVM fusst auf zahlreichen Annahmen und ist daher als eine unsichere Grösse zu betrachten, während die Strukturdaten erhoben werden und damit als belastbare Grundlagen gelten können. Ob der Vorteil in Bezug auf verkehrsentensive Einrichtungen die Unsicherheit in den Grundlagen aufwiegt, darf hinterfragt werden. Dass mit der Verkehrserzeugung als Potenzial die Problematik der Auslandsdaten nicht ganz so gut gelöst werden kann wie erhofft, zeigt die komplexe und aufwändige Berechnung (vgl. Kapitel 3.3.3) und der Vergleich mit den Strukturdaten aus dem Ausland gemäss Verkehrsperspektiven 2050. Daher wurde von der Forschungsstelle vorgeschlagen, das Potenzial mit der bewährten Methodik «Einwohner und Arbeitsplätze» zu berechnen. Im Laufe des weiteren Normierungsprozesses müsste diese Fragestellung nochmals vertieft diskutiert werden.

In Bezug auf den Raumwiderstand bzw. der angesetzten Reisezeit für die Berechnung der Erreichbarkeit wurde in Abstimmung mit den Studien zu den anderen Verkehrsmitteln, insbesondere dem Veloverkehr, die «empfundene Reisezeit» gewählt. Diese ist in der Verkehrsmodellierung definiert und etabliert und wurde daher ohne Anpassungen für die Berechnung der Erreichbarkeit übernommen. Zu Diskussionen geführt hat die Umsteigestrafe von rund sieben Minuten pro Umsteigevorgang unabhängig davon, ob in der Stadt das Tram gewechselt wird oder an einem grossen Bahnhof mit Gepäck das Perron gewechselt werden muss. Diesbezüglich sieht die Forschungsstelle weiteren Forschungsbedarf, der allerdings unabhängig vom weiteren Normierungsprozess erfolgen sollte. In diesem Zusammenhang zu Diskussionen geführt hat die Frage nach der «empfundenen Reisezeit» im MIV, ohne diese weiter zu vertiefen.

5.2 Qualitative Erschliessungskriterien

Ergänzende qualitative Erschliessungskriterien in Stufe 2 sind für eine Gesamtsicht der Erschliessungsqualitäten notwendig. Die Qualitäten des Strassenverkehrs sind wichtige Ergänzungen zu den quantitativen Kriterien.

Die Zahl der qualitativen Kriterien für den MIV aus dem Grundlagenbericht [11] wurde im Laufe der Bearbeitung auf die zwei wichtigsten reduziert: Verkehrsqualität und Parkfeldverfügbarkeit. Der Zustand Strasseninfrastruktur und das Unfallrisiko wurden im Schweizer Kontext als für die Erschliessungsgüte irrelevant erachtet. Der Verkehrsorientierung wurde eine starke Korrelation mit der Verkehrsqualität attestiert und daher vernachlässigt.

Die Schwierigkeit besteht in der einheitlichen und objektiven Operationalisierung von qualitativen Erschliessungskriterien, insbesondere bei der Verkehrsqualität, der erfahrungsgemäss sehr subjektiv wahrgenommen wird. Mit den vorgeschlagenen Wertgerüsten wird versucht, den beurteilenden Personen einen möglichst klaren Rahmen vorzugeben. Zudem wird wo möglich auf vorhandene nationale Normen oder ähnliche Quellen abgestützt. Die weitere Objektivierung der Wertgerüste bei den qualitativen Erschliessungskriterien ist als dynamischer Prozess zu verstehen. Ausserdem stellte bei der Konzeption der Methodik die Abwägung zwischen Genauigkeit und Robustheit sowie dem Erhebungsaufwand eine grosse Herausforderung dar. Die Anwendung im Rahmen der Fallbeispiele hat gezeigt,

dass Lokalkenntnisse zur Konzeption der Erhebung der qualitativen Erschliessungskriterien von Vorteil sind. Die dargestellte Methodik ist jedoch so ausgelegt, dass sich diese mit Hilfe vielseitiger öffentlicher und privater Datenquellen im Rahmen einer Bildschirmrecherche angeeignet werden können. Eine gute Vorbereitung der Begehung ist unerlässlich.

Die Datengrundlagen zur Beurteilung der **Verkehrsqualität** werden grundsätzlich immer besser. Aber die modellbasierte Herleitung liefert zurzeit nur für Strecken, aber nicht für Knoten brauchbare Daten zur Verkehrsqualität. Zudem hat ein Test mit dem Layer «Verkehrslage» von Google Maps widersprüchliche Resultate geliefert. Ausserdem ist eine Abstützung auf einen privaten Anbieter im Rahmen einer nationalen Norm nicht zweckmässig. Deshalb wird hier eine lokale Erhebung vorgeschlagen.

Zur **Parkfeldverfügbarkeit** öffentlich zugänglicher Parkfelder liegen ebenfalls noch keine schweizweiten Datengrundlagen vor. Hier konnte ein Kriterienbaum entwickelt werden, mit welchem vor Ort eine möglichst objektive Beurteilung möglich ist. Zu Diskussionen geführt hat bei der Beurteilung der Parkfeldverfügbarkeit vor allem die Frage nach der Berücksichtigung von Parkkosten. Sie sind relevant, wenn es darum geht, die Attraktivität eines Standortes zu beurteilen. Hohe Parkkosten dürften dort verlangt werden, wo der Parkdruck und damit die Zahlungsbereitschaft sehr hoch ist. Gleichzeitig stehen Parkkosten auch in Korrelation mit der Auslastung der Parkfelder: Hohe Parkkosten führen zu geringerer Auslastung und umgekehrt. Die Berücksichtigung beider Aspekte könnte als eine inkonsistente Bewertung aufgefasst werden: Einerseits wird eine geringe Auslastung positiv bewertet, andererseits aber werden hohe Parkkosten, die zu einer positiv bewerteten niedrigen Auslastung führen können, wiederum negativ bewertet. Trotz Uneinigkeit sowohl in der BK als auch teilprojektübergreifend, wurde vorgeschlagen, die Parkkosten zu berücksichtigen. Im Laufe des weiteren Normierungsprozesses müsste diese Fragestellung nochmals diskutiert werden. Ab welcher Auslastung der Parkfelder die Verfügbarkeit im Baumdiagramm positiv bewertet wird, ist nicht wissenschaftlich hergeleitet, sondern in einem Expertenworkshop festgelegt worden. Neue Studien, die sich mit der Parksuchzeit beschäftigen¹⁴ könnten hier empirische Grundlagen liefern. Dass lediglich öffentlich zugängliche Parkfelder analysiert werden, ist eine Limitierung der Methode. Damit wird ignoriert, dass für Personen, welche beispielsweise das private Nutzungsrecht eines Mitarbeiterparkplatzes haben, die Erschliessungsqualität möglicherweise höher liegt. Gleiches gilt für Einfamilienhausquartiere, wo auf den Privatgrundstücken ausreichend Platz für Besucherinnen und Besucher ist.

Die Erhebung für die Fallbeispiele hat die Wichtigkeit des richtigen Erhebungszeitpunktes gezeigt. Der Tourismusstandort Crans(-Montana) beispielweise wurde ausserhalb der Hochsaison erhoben, was zu einer vermutlich zu guten Parkfeldverfügbarkeit geführt hat. Gleichzeitig ist es in der Praxis nicht immer möglich, den optimalen Zeitpunkt abzuwarten. Neben Saisonalität gilt dies auch wegen langer Anreisen. Der optimale Erhebungszeitpunkt für die Verkehrsqualität ist in der Regel nicht identisch mit demjenigen der Parkfeldverfügbarkeit. In der Praxis wird man bestrebt sein, die beiden Erhebungen möglichst kompakt durchzuführen. Es wird sich zeigen müssen, welche Abweichungen vom optimalen Erhebungszeitpunkt zulässig sind und wie mit allfälligen Verzerrungen umzugehen ist.

Ebenfalls den qualitativen Indikatoren eigen ist, dass sie nur den aktuellen Zustand beschreiben können, nicht aber geplante zukünftige Zustände. Für die Beschreibung künftiger Zustände gilt es, eine Reihe von Annahmen zu treffen – oder auf die qualitativen Indikatoren zu verzichten.

Die qualitativen Erschliessungskriterien werden separat dargestellt, d.h. sie führen nicht zu einer Veränderung der quantitativen Güteklassen (z.B. Veränderung um eine Güteklasse bei guten bzw. schlechten qualitativen Erschliessungsqualitäten). In diesem Zusammenhang kritisch hinterfragt werden kann das Verhältnis vom beträchtlichen Aufwand für die Beschreibung der qualitativen Kriterien (mehrere Erhebungen vor Ort zwecks Repräsentativität) zu deren Relevanz. Die vorgeschlagenen Methoden zur Beschreibung der qualitati-

¹⁴ z.B. die Studie Start2Park an der Frankfurt University of Applied Science, geleitet von Prof. Dr. Tobias Hagen

ven Erschliessungsgüte haben zum Ziel, objektive Aussagen treffen zu können. Vereinfachungen wie beispielsweise die Reduktion der Erhebungszeit oder -orte führen dazu, dass die Aussagekraft schwindet. Aus Sicht der Forschungsstelle sind Vereinfachungen nicht zweckmässig. Im Zweifel ist daher auf die Erhebung der qualitativen Indikatoren ganz zu verzichten.

Literaturverzeichnis

Dokumentation

-
- [1] SVI (2003), „**Ermittlung der intermodalen Leistungsfähigkeit bei lichtsignalgeregelten Knoten**“, zugegriffen: 13. Juli 2023. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.mobilservice.ch/admin/data/files/news_section_file/file/36/svi-forschungsbericht-\(zusammenfassung;-sprache-de-und-fr\).pdf?lm=1418801029](https://www.mobilservice.ch/admin/data/files/news_section_file/file/36/svi-forschungsbericht-(zusammenfassung;-sprache-de-und-fr).pdf?lm=1418801029)
-
- [2] ASTRA (2016), „**Net Cap: Intermodale Strecken-/Linien- und Netzleistungsfähigkeit**“
-
- [3] T. Erdelić, T. Carić, M. Erdelić, L. Tišljarić, A. Turković, und N. Jelušić (2021), „**Estimating congestion zones and travel time indexes based on the floating car data**“, Computers, Environment and Urban Systems, Bd. 87, S. 101604, doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2021.101604.
-
- [4] A. Sunderrajan, V. Viswanathan, W. Cai, und A. Knoll (2016), „**Traffic State Estimation Using Floating Car Data**“, Procedia Computer Science, Bd. 80, S. 2008–2018, doi: 10.1016/j.procs.2016.05.521.
-
- [5] W. Schnabel und D. Lohse (1997), „**Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung: Verkehrstechnik**“, Bd. 1. Verlag für Bauwesen.
-
- [6] H. Kleinewefers (2010), „**Standort und Raumstruktur: Einige grundlegende Modelle der Raumwirtschaftstheorie**“, Review of Economics, Bd. 61, Nr. 2, S. 125–155.
-
- [7] D. M. Levinson und H. Wu (2020), „**Towards a general theory of access, Journal of Transport and Land Use**“, Bd. 13, Nr. 1, Art. Nr. 1, doi: 10.5198/jtlu.2020.1660.
-
- [8] G. Weisbrod, C. Duncan, und S. J. Moses (2014), „**Evolving Connection of Transit, Agglomeration, and Growth of High-Technology Business Clusters**“, Transportation Research Record, Bd. 2452, Nr. 1, S. 11–18, doi: 10.3141/2452-02.
-
- [9] B. für R. ARE (2010), „**Erschliessung und Erreichbarkeit in der Schweiz mit dem öffentlichen Verkehr und dem motorisierten Individualverkehr – Grundlagenbericht**“.
-
- [10] BAK (2007), „**Die Erreichbarkeit als Standortfaktor Fakten und Analysen zur Erreichbarkeit der Nordschweiz**“.
-
- [11] VSS (2015), „**Normierte gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten - Grundlagenbericht**“.
-
- [12] ASTRA (2023), „**Gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten - Synthesebericht**“.
-
- [13] R. Moritzi (2023), „**Das grösste Parkingportal der Schweiz**“, <https://www.parking.ch/> (zugegriffen 1. Mai 2023).
-
- [14] E. G. Mantouka, P. Fafoutellis, und E. I. Vlahogianni (2021), „**Deep survival analysis of searching for on-street parking in urban areas**“, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Bd. 128, S. 103173, doi: 10.1016/j.trc.2021.103173.
-
- [15] J. N. van Ommeren, D. Wentink, und P. Rietveld (2012), „**Empirical evidence on cruising for parking**“, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Bd. 46, Nr. 1, S. 123–130, doi: 10.1016/j.tra.2011.09.011.
-
- [16] L. Montini, A. Horni, N. Rieser-Schüssler, und K. W. Axhausen, „**Searching for Parking in GPS Data**“, gehalten auf der 12th Swiss Transport Research Conference (STRC 2012), 12th Swiss Transport Research Conference (STRC 2012), 2012. Zugegriffen: 1. Mai 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/58493>
-
- [17] T. Hagen, L. König, und L. Saki (2022), „**start2park – Parksuche erfassen, verstehen und prognostizieren**“.
-
- [18] M. Madelin, C. Grasland, H. Mathian, L. Sanders, und J.-M. Vincent (2009), „**Das MAUP: Modifiable Areal Unit-Problem oder Fortschritt?**“
-
- [19] P. Apparicio, M. Abdelmajid, M. Riva, und R. Shearmur (2008), „**Comparing alternative approaches to measuring the geographical accessibility of urban health services: Distance types and aggregation-error issues**“, International Journal of Health Geographics, Bd. 7, Nr. 1, S. 7, doi: 10.1186/1476-072X-7-7.
-
- [20] ARE (2022), „**Erreichbarkeit**“, <https://www.are.admin.ch/are/de/home/raumentwicklung-und-raumplanung/grundlagen-und-daten/raumb Beobachtung/verkehr-energie/erreichbarkeit.html> (zugegriffen 18. Oktober 2022).
-
- [21] ARE (2020), „**Nationales Personenverkehrsmodell**“, <https://www.are.admin.ch/are/de/home/verkehr-und-infrastruktur/grundlagen-und-daten/verkehrsmodellierung/nationales-personenverkehrsmodell.html> (zugegriffen 27. Februar 2023).
-
- [22] D. Mwititi (2022), „**Random Forest Regression: When Does It Fail and Why?**“, <https://neptune.ai/blog/random-forest-regression-when-does-it-fail-and-why> (zugegriffen 27. Februar 2023).
-

-
- [23] T. Hengl (2021), „**Extrapolation is tough for trees (tree-based learners), combining learners of different type makes...**“, <https://medium.com/nerd-for-tech/extrapolation-is-tough-for-trees-tree-based-learners-combining-learners-of-different-type-makes-659187a6f58d> (zugegriffen 27. Februar 2023).
-
- [24] T. Hengl, M. Nussbaum, M. N. Wright, G. B. M. Heuvelink, und B. Gräler (2018), „**Random forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables**“, *PeerJ*, Bd. 6, S. e5518, doi: 10.7717/peerj.5518.
-
- [25] D. O'Sullivan und D. J. Unwin (2010), „**The Pitfalls and Potential of Spatial Data, in Geographic Information Analysis**“, John Wiley & Sons, Ltd, S. 33–54. doi: 10.1002/9780470549094.ch2.
-
- [26] F. Batista e Silva, H. Poelman, und L. Dijkstra (2021), „**The JRC-GEOSTAT 2018: a novel small-area population estimation for Europe**“.
-
- [27] G. James, D. Witten, T. Hastie, und R. Tibshirani (2013), „**An Introduction to Statistical Learning**“, Bd. 103. in *Springer Texts in Statistics*, vol. 103. New York, NY: Springer. doi: 10.1007/978-1-4614-7138-7.
-
- [28] V. Rodriguez-Galiano, M. Sanchez-Castillo, M. Chica-Olmo, und M. Chica-Rivas (2015), „Machine learning predictive models for mineral prospectivity: An evaluation of neural networks, random forest, regression trees and support vector machines“, *Ore Geology Reviews*, Bd. 71, S. 804–818, doi: 10.1016/j.oregeorev.2015.01.001.
-
- [29] StatSoft (2023), „**Overfitting (Überanpassung)**“, <https://www.statsoft.de/glossary/O/Overfitting.htm> (zugegriffen 26. Februar 2023).
-
- [30] ARE (2022), „**Verkehrsperspektiven 2050**“, <https://www.are.admin.ch/are/de/home/verkehr-und-infrastruktur/grundlagen-und-daten/verkehrsperspektiven2050.html> (zugegriffen 26. Februar 2023).
-
- [31] C. Hesse, S. Bohne, C. Evangelinos, und R. Püschel (2012), „**Erreichbarkeitsmessung: Theoretische Konzepte und empirische Anwendungen, Diskussionsbeiträge aus dem Institut für Wirtschaft und Verkehr**“, Working Paper 3/2012. Zugegriffen: 4. November 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/handle/10419/57627>
-
- [32] J. Pooler (1987), „**Measuring geographical accessibility: a review of current approaches and problems in the use of population potentials**“, *Geoforum*, Bd. 18, Nr. 3, S. 269–289, doi: 10.1016/0016-7185(87)90012-1.
-
- [33] K. W. Axhausen und L. Hurni (2005), „**Zeitkarten Schweiz 1950 - 2000**“, ETH Zurich, Report. doi: 10.3929/ethz-a-005231332.
-
- [34] B. P. Bhatta und O. I. Larsen (2011), „**Are intrazonal trips ignorable?**“, *Transport Policy*, Bd. 18, Nr. 1, S. 13–22, doi: 10.1016/j.tranpol.2010.04.004.
-
- [35] M. M. Venigalla, A. Chatterjee, und M. S. Bronzini (1999), „**A specialized equilibrium assignment algorithm for air quality modeling**“, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Bd. 4, Nr. 1, S. 29–44, doi: 10.1016/S1361-9209(98)00022-4.
-
- [36] A. Justen (2021), „**Berechnung der Kenngrößen ÖV im NPVM**“.
-
- [37] M. Iacono, K. Krizek, und A. M. El-Geneidy (2008), „**Access to Destinations: How Close is Close Enough? Estimating Accurate Distance Decay Functions for Multiple Modes and Different Purposes**“, Minnesota Department of Transportation, Report. Zugegriffen: 18. Oktober 2022. [Online]. Verfügbar unter: <http://conservancy.umn.edu/handle/11299/151329>
-
- [38] L. Rühli (2019), „**Schneller zu Fuss?**“, *Avenir Suisse*. <https://www.avenir-suisse.ch/schneller-zu-fuss/> (zugegriffen 27. Oktober 2022).
-
- [39] ASTRA (2021), „**Veloverkehr in Kreuzungen**“.
-
- [40] W. Ronse, K. Boussauw, und D. Lauwers (2015), „**Shopping Centre Siting and Modal Choice in Belgium: A Destination-Based Analysis, European Planning Studies**“, Bd. 23, Nr. 11, S. 2275–2291, doi: 10.1080/09654313.2014.965132.
-
- [41] M. S. Smith und T. A. Butcher (2008), „**How Far Should Parkers Have to Walk?**“, *Parking*, Bd. 47, Nr. 4, Zugegriffen: 20. Oktober 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://trid.trb.org/view/859431>
-
- [42] I. Benenson, K. Martens, und S. Birfir (2008), „**PARKAGENT: An agent-based model of parking in the city**“, *Computers, Environment and Urban Systems*, Bd. 32, Nr. 6, S. 431–439, doi: 10.1016/j.compenvurb-sys.2008.09.011.
-
- [43] P. Marti, E. Kim, R. Laimberger, S. Guillaume-Gentil, und S. Frechet (2009), „**Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen**“, Nr. 1305, Zugegriffen: 20. Oktober 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://trid.trb.org/view/1142936>
-
- [44] TomTom (2022), „**Traffic Stats API FAQ | Traffic Stats**“, <https://developer.tomtom.com/traffic-stats/documentation/product-information/faq> (zugegriffen 18. Oktober 2022).
-
- [45] WBF (2022), „**Extreme Unterschiede bei den Parkgebühren**“, [Online]. Verfügbar unter: https://blog.preisueberwacher.ch/file.axd?file=/2022/NL/NL_3/Newsletter_03_22_d.pdf
-

Anhänge

I	Quantitative Erschließungskriterien.....	134
I.1	Functional Road Classes.....	134
II	Qualitative Erschließungskriterien.....	135
II.1	Beschrieb Verkehrsqualitätsstufen	135
II.2	Parkkosten Grundlage Wertesystem	137

I Quantitative Erschliessungskriterien

I.1 Functional Road Classes

Tab. 27 Beschreibung der Functional Road Classes [43]

FRC Klasse	Strassentyp Kurzbeschreibung	Beschreibung
0	Autobahnen	Alle Strassen, die offiziell als Autobahnen ausgewiesen sind.
1	Hauptverkehrsstrassen mit geringerer Bedeutung als Autobahnen	Alle Strassen mit hoher Bedeutung, die jedoch nicht offiziell als Autobahnen ausgewiesen sind und die Teil einer Verbindung sind, die für den internationalen und nationalen Verkehr und Transport genutzt wird.
2	Sonstige Hauptverkehrsstrassen	Alle Strassen, die dem Verkehr zwischen verschiedenen benachbarten Regionen eines Landes dienen.
3	Nebenstrassen	Alle Strassen, die dem Verkehr zwischen verschiedenen Teilen derselben Region dienen.
4	Lokale Verbindungsstrassen	Alle Strassen, die alle Siedlungen oder Teile (Norden, Süden, Osten, Westen und Zentrum) einer Siedlung erschliessen.
5	Lokale Strassen von hoher Bedeutung	Alle lokalen Strassen, die die Hauptverbindungen in einer Siedlung darstellen. Dies sind die Strassen, auf denen wichtiger Durchgangsverkehr möglich ist, z. B.: Hauptverkehrsstrassen in Vorstädten, Industriegebieten oder Wohngebieten, eine Landstrasse, deren einzige Funktion die Verbindung zu einem Nationalpark oder einer wichtigen Touristenattraktion ist.
6	Gemeindestrassen	Alle Strassen, die dem Verkehr innerhalb eines Siedlungsteils dienen, oder Strassen von geringerer Verbindungsbedeutung in einem ländlichen Gebiet.
7	Ortsstrassen von untergeordneter Bedeutung	Alle Strassen, die nur eine Zielfunktion haben, z. B. Sackgassen, Strassen innerhalb eines Wohngebiets, Alleen: schmale Strassen zwischen Gebäuden, in einem Park oder Garten.
8	Sonstige Strassen	Alle anderen Strassen, die für ein Navigationssystem weniger wichtig sind: ein Pfad: eine Strasse, die zu klein ist, um mit einem PW befahren zu werden, Fahrrad- oder Fusswege, die speziell als solche angelegt sind, Treppen, Fussgängertunnel, Fussgängerbrücke, Gassen, die für das Befahren mit einem PW zu schmal sind.

II Qualitative Erschliessungskriterien

II.1 Beschrieb Verkehrsqualitätsstufen

Verkehrsqualitätsstufen für den Individualverkehr an Knoten mit Lichtsignalanlage in Anlehnung an [17] <i>Degrés du niveau de service du trafic individuel pour des carrefours avec installations de feux de circulation en référence à [17]</i>			
Verkehrsqualitätsstufe <i>Degré du niveau de service</i>	Verkehrsqualität <i>Niveau de service</i>	Merkmale des Verkehrsablaufs <i>Caractéristiques de l'écoulement de la circulation</i>	Mittlere Wartezeit <i>Temps d'attente moyen</i> w_m [s]
A	Sehr gut <i>Très bon</i>	In der Regel kann der Knoten ungehindert passiert werden. Die mittleren Wartezeiten sind sehr kurz. <i>En règle générale, le carrefour peut être traversé sans gêne. Les temps d'attente moyens sont très courts.</i>	≤ 20
B	Gut <i>Bon</i>	Alle während der Rotzeit eintreffenden Fahrzeuge können während der nachfolgenden Grünzeit den Knoten passieren. Die mittleren Wartezeiten sind kurz. <i>Tous les véhicules arrivant au rouge peuvent traverser le carrefour pendant le temps vert suivant. Les temps d'attente moyens sont courts.</i>	≤ 35
C	Zufriedenstellend <i>Satisfaisant</i>	Nahezu alle während der Rotzeit eintreffenden Fahrzeuge können während der nachfolgenden Grünzeit den Knoten passieren. Die mittleren Wartezeiten sind spürbar. Im Mittel tritt nur geringer Rückstau bei Grün-Ende auf. <i>Presque tous les véhicules arrivant au rouge peuvent traverser le carrefour pendant le temps vert suivant. Les temps d'attente moyens sont perceptibles. En moyenne, il n'y a qu'une petite file d'attente à la fin du vert.</i>	≤ 50
D	Ausreichend <i>Suffisant</i>	In der Knotenzufahrt ist ständiger Rückstau vorhanden. Die mittleren Wartezeiten sind beträchtlich. Der Verkehrsablauf ist noch stabil. <i>Dans l'accès du carrefour il y a toujours une file d'attente. Les temps d'attente moyens sont considérables. L'écoulement de la circulation est encore stable.</i>	≤ 70
E	Mangelhaft <i>Insuffisant</i>	In der Knotenzufahrt wächst der Rückstau allmählich an. Die mittleren Wartezeiten sind sehr gross. Die Kapazität wird erreicht. <i>La file d'attente dans l'accès au carrefour augmente graduellement. Les temps d'attente moyens sont très longs. La capacité est atteinte.</i>	≤ 100
F	Völlig ungenügend <i>Totalement insuffisant</i>	Die Nachfrage ist grösser als die Kapazität. Die Fahrzeuge müssen mehrmals vorrücken. Der Rückstau wächst stetig. Die mittleren Wartezeiten sind extrem gross. Der Knoten ist überlastet. <i>La demande est plus grande que la capacité. Les véhicules doivent avancer plusieurs fois. La file d'attente augmente en permanence. Les temps d'attente moyens sont extrêmement longs. Le carrefour est surchargé.</i>	> 100

Abb. 98 Verkehrsqualitätsstufen für den Individualverkehr an Knoten mit LSA

Qualitätsstufe	Mittlere Wartezeit w [s]	Beurteilung des Verkehrszustandes	
A	< 10	sehr gut	Ausgezeichnete Verkehrsqualität. Höchstens geringe Zeitverluste. Die Mehrzahl der Fahrzeuge muss in der Regel nicht warten.
B	10–15	sehr gut	Gute Verkehrsbedingungen. Geringe Beeinflussung der untergeordneten Ströme durch die vortrittsberechtigten Ströme. Die Wartezeiten sind tolerierbar.
C	15–25	gut	Befriedigende Qualität. Deutliche Beeinflussung der untergeordneten Ströme durch die vortrittsberechtigten Ströme. Spürbarer Anstieg der Wartezeit. Bildung von Stau, der aber bezüglich zeitlicher Dauer und räumlicher Ausdehnung keine nennenswerte Beeinträchtigung darstellt.
D	25–45	ausreichend	Ausreichende Verkehrsqualität. Auslastung nahe bei der zulässigen Belastung. Behinderungen in Form von Haltevorgängen. Stabilität der Verkehrssituation hinsichtlich Stau und Wartezeiten.
E	> 45	kritisch	Mangelhafte Qualität des Verkehrszustandes. Übergang vom stabilen in den instabilen Verkehrszustand. Geringe Zunahmen der Verkehrsbelastungen führen zu stark ansteigenden Wartezeiten und Staulängen. Kein Stauabbau. Stark streuende Wartezeiten. Der Verkehr kann knapp bewältigt werden. Die Sicherheit nimmt deutlich ab.
F	–	–	Völlig ungenügender Zustand (Überlastung). Anzahl der zufließenden Fahrzeuge grösser als die Leistungsfähigkeit. Lange, wachsende Kolonnen und hohe Wartezeiten. Weitere Reduktion der Sicherheit.

Abb. 99 Verkehrsqualitätsstufen für den Individualverkehr an Vorfahrtsknoten

Verkehrsqualitätsstufen für den Individualverkehr an Knoten mit Kreisverkehr gemäss [12] <i>Degrés du niveau de service du trafic individuel pour des carrefours giratoires selon [12]</i>				
Verkehrsqualitätsstufe <i>Degré du niveau de service</i>	Verkehrsqualität <i>Niveau de service</i>	Verkehrsablauf <i>Écoulement de la circulation</i>	Merkmale <i>Caractéristiques</i>	Mittlere Wartezeit <i>Temps d'attente moyen [s]</i>
A	Sehr gut <i>Très bon</i>	Nahezu ungehindert <i>A peu près sans gêne</i>	Mehrzahl der Motorfahrzeuge ohne Wartezeit (nur etwa 5 s Orientierungszeit); kein Rückstau <i>Pas de temps d'attente pour la majorité des véhicules automobiles (seulement environ 5 s de temps d'orientation); aucune file d'attente</i>	≤ 10
B	Gut <i>Bon</i>	Nur in geringem Mass behindert <i>Seulement faiblement gênés</i>	Wartezeit hinnehmbar; kaum Rückstau <i>Temps d'attente acceptables; guère de files d'attente</i>	≤ 20
C	Zufriedenstellend <i>Satisfaisant</i>	Häufige Beeinflussung durch vortrittsberechtigte Motorfahrzeuge <i>Influence fréquente des véhicules automobiles prioritaires</i>	Wartezeiten wachsen spürbar an; kleinerer Rückstau <i>Augmentation sensible des temps d'attente; petites files d'attente</i>	≤ 30
D	Ausreichend <i>Suffisant</i>	Alle Motorfahrzeuge müssen Behinderungen hinnehmen <i>Tous les véhicules automobiles doivent supporter des gênes</i>	Z. T. hohe Wartezeiten für einzelne Motorfahrzeuge; vorübergehend längerer Rückstau, der abgebaut werden kann <i>Temps d'attente partiellement élevés pour certains véhicules automobiles; longues files d'attente temporaires qui peuvent se résorber</i>	≤ 45
E	Mangelhaft <i>Insuffisant</i>	Ständige Behinderungen mit zeitweiliger Überlastung <i>Gênes permanentes avec surcharge temporaire</i>	Sehr lange und stark streuende Wartezeiten; kein Abbau des z.T. sehr langen Rückstaus <i>Temps d'attente très longs et fortement variables; pas de diminution des files d'attente en partie très longues</i>	> 45
F	Völlig ungenügend <i>Totalement insuffisant</i>	Überlastung während ganzer Stunde (Zufluss grösser als Kapazität) <i>Débit excédentaire de la durée d'une heure (flux d'entrée supérieur à la capacité)</i>	Sehr lange Wartezeiten; kein Abbau des sehr langen Rückstaus <i>Temps d'attente très longs; pas de diminution des très longues files d'attente</i>	Keine Angabe <i>Aucune indication</i>

Abb. 100 Verkehrsqualitätsstufen für den Individualverkehr an Knoten mit Kreisverkehr

II.2 Parkkosten Grundlage Wertesystem

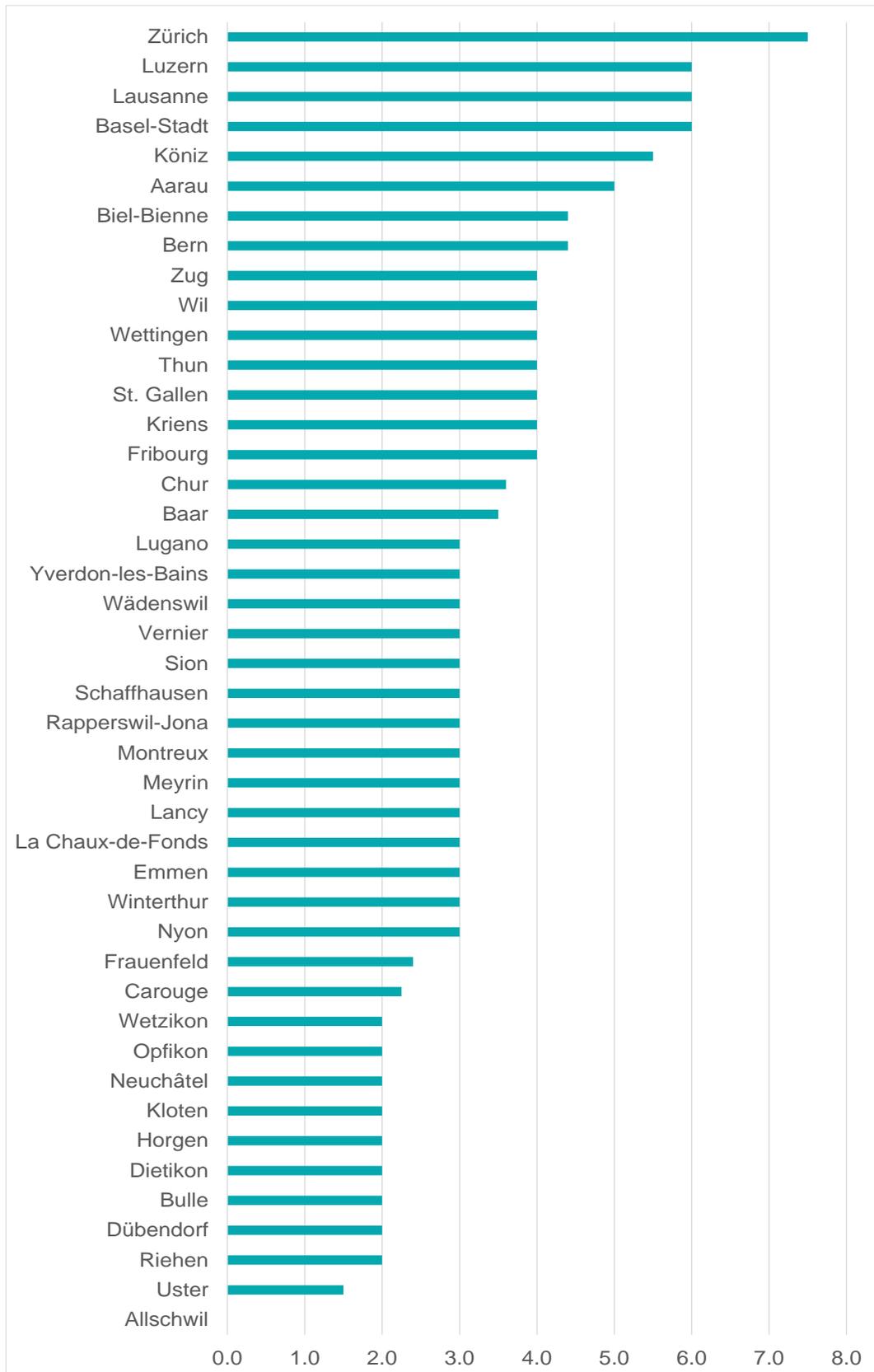


Abb. 101 Kosten für zweistündiges Parkieren in zentraler Lage in CHF in verschiedenen Schweizer Städten [44]

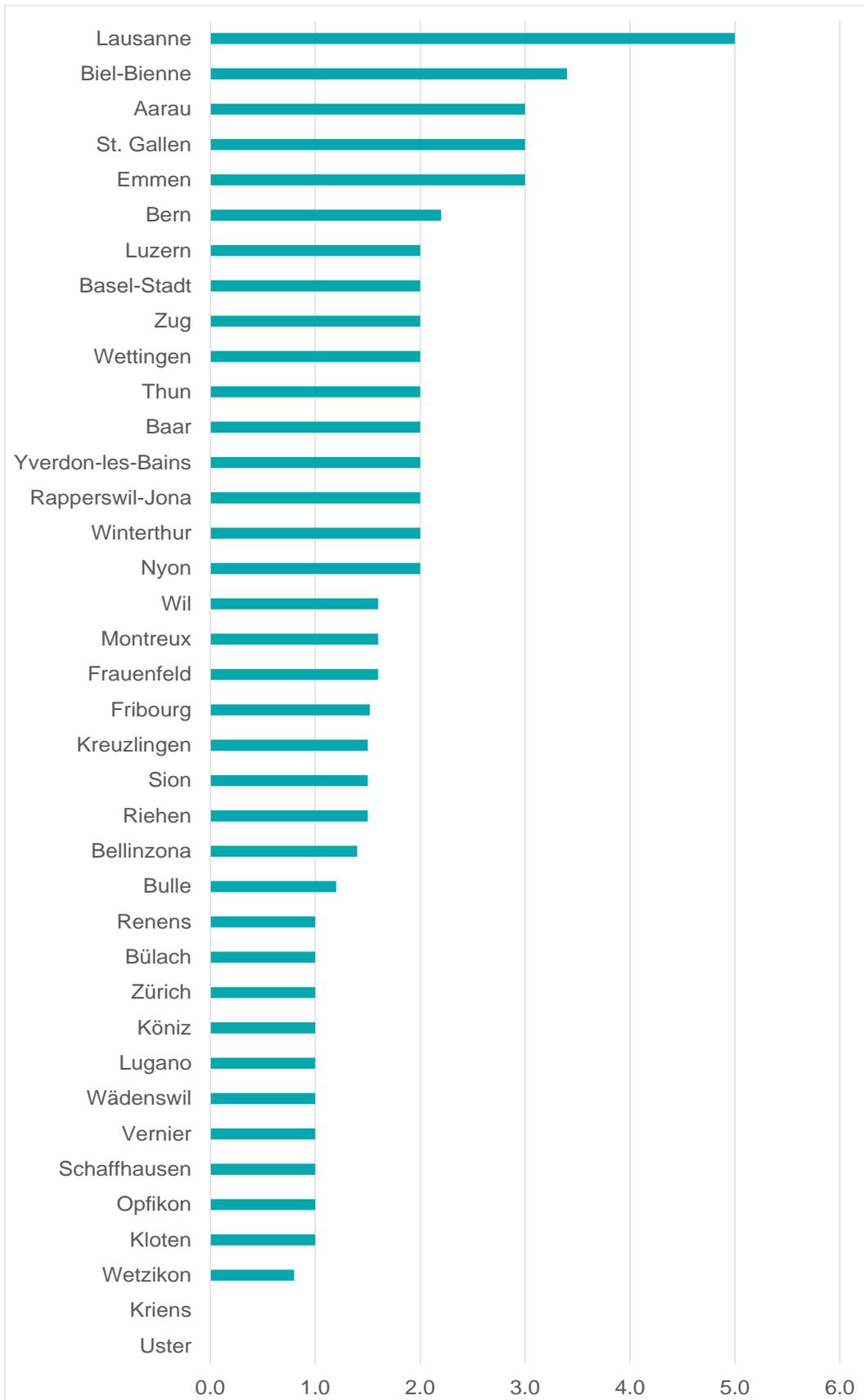


Abb. 102 Kosten für zweistündiges Parkieren in peripherer Lage in CHF in verschiedenen Schweizer Städten [44]

Glossar

Begriff	Bedeutung
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
BGF	Bruttogeschossfläche
CR-Funktion	Capacity-Restraint-Function oder Kapazitäts-Restriktions-Funktion; Funktion, der den Zusammenhang zwischen tatsächlich gefahrener Geschwindigkeit und Auslastung in einem Verkehrsmodell beschreibt.
Distance-Decay-Funktion	Raumwiderstandsfunktion; sie gibt an, wie stark das Potenzial eines Standorts aufgrund der generalisierten Reisezeit (oder auch Wegkosten) zu diesem Standort bei der Berechnung der Erreichbarkeit gewichtet wird.
DWV	durchschnittlicher Werktagesverkehr
ESP	Entwicklungsschwerpunkt
FCD	Floating Car Data; bezeichnet einen Systemvorschlag mit Daten, die aus einem Fahrzeug heraus generiert werden, welches aktuell am Verkehrsgeschehen teilnimmt. Ein Datensatz beinhaltet zumindest den Zeitstempel sowie die aktuellen Ortskoordinaten.
FD	Fundamentaldiagramm; es stellt die Variablen Verkehrsfluss q [Fz/h], Verkehrsdichte k [Fz/km] und mittlere Geschwindigkeit v_m [km/h] gegenüber und lässt auf dieser Basis Aussagen zur Kapazität einer Strasse zu.
FRC	Functional Road Class; sie definiert die Bedeutung einer Strasse innerhalb des Verkehrsnetzes. Hieraus leitet sich die Rolle einer Strasse bei der Bewältigung des Verkehrsflusses durch ein Strassennetz ab.
GTFS	General Transit Feed Specification; mit GTFS wird ein gemeinsames Format für Fahrpläne für öffentliche Verkehrsmittel und zugehörige geografische Informationen definiert.
HAFAS	HaCon Fahrplan-Auskunfts-System
Isochrone	Verbindungsline aller Punkte, die von einem Ausgangspunkt aus in der gleichen Zeit erreichbar sind.
KI	Kapazitätsindex
Korrelation	Zusammenhang zwischen zwei statistischen Variablen
Kreuzvalidierung	Kreuzvalidierung ist eine Vorgehensweise zur Bewertung der Leistung eines Algorithmus beim maschinellen Lernen. Mit neuen Datensätzen, die nicht für das Training des Modells genutzt wurden, wird die Güte der Vorhersage geprüft.
LSA	Lichtsignalanlage
MAUP	Modifiable Areal Unit Problem
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MS	mobilité spatiale; die MS-Regionen werden insbesondere als mikroregionale Zwischenebene für zahlreiche wissenschaftliche und regionalpolitische Zwecke verwendet
MZMV	Mikrozensus Mobilität und Verkehr
NPVM	Nationales Personenverkehrsmodell
OSM	Open Street Map
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PLS	Parkleitsystem
Prädiktor	auch unabhängige Variable; ist in der Statistik eine Variable bzw. ein Merkmal, das man dazu nutzt, eine andere Variable (abhängige Variable) vorherzusagen.
R^2	Bestimmtheitsmass; es gibt an, wie gut die durch ein Regressionsmodell vorhergesagten Werte mit den tatsächlichen Beobachtungen übereinstimmen. Ein $R^2 = 1$ entspricht einer perfekten Übereinstimmung.
Random Forest	Ensemble-Verfahren in der statistischen Modellierung, das die Ergebnisse einer Reihe unkorrelierter Entscheidungs- bzw. Regressionsbäume kombiniert. Die Idee hinter Ensemble-Verfahren ist, dass gleichzeitig mehrere Modelle mit den gleichen Daten trainiert und anschliessend die Modellergebnisse gemittelt werden. Dabei ist

	Voraussetzung, dass die verschiedenen Modelle unkorreliert sind, damit die Modellfehler unabhängig bleiben.
Raumwiderstand	Der Raumwiderstand gibt an, zu welchem Mass ein erreichbares Potenzial j gewichtet wird und damit wie stark das Potenzial j in die Erreichbarkeit eines Standorts i einfliesst. Um den Raumwiderstand zu bestimmen, werden zwei Angaben benötigt: die Reisezeit t und die Distance-Decay-Funktion.
rechtsschief	Bei rechtsschiefen (identisch mit dem Begriff linkssteil) Verteilungen ist der Modus (= häufigster Wert) kleiner als der Erwartungswert.
nRMSE	Normalized Root Mean Squared Error; Mass, um die Abweichung zwischen Modell und Realität zu beschreiben. Durch Normierung wird das Mass auf den Wertebereich 0 bis 1 eingegrenzt. Ein perfektes Modell weist einen nRMSE von 0 auf.
Streckenkapazität	Die Streckenkapazität gibt die maximale Anzahl Fahrzeuge an, die eine Strecke über einen bestimmten Zeiteinheit befahren können. Für die Berechnung des Kapazitätsindex' werden Streckenkapazitäten gemäss NPVM herangezogen.
SVI	Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten
v_0	Geschwindigkeiten im unbelasteten Netz
Verkehrserzeugung	Anzahl der Wege, die in einer Verkehrsmodellzone pro Zeiteinheit (i.d.R. Stunde oder Tag) entstehen (Quellverkehr) oder von einer Verkehrsmodellzone angezogen wird (Zielverkehr).
Verkehrsfluss	Verkehrsfluss umfasst die Menge an Verkehr, die auf einem gegebenen Abschnitt einer Strasse zu einem bestimmten Zeitpunkt fliesst
Verkehrsmodellzone	Kleinste räumliche Einheit, in der in einem makroskopischen Verkehrsmodell die Verkehrserzeugung und -anziehung abgebildet wird.
VQS	Verkehrsqualitätsstufe
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 7.7.2023

Grunddaten

Projekt-Nr.: VPT_20_04C_01

Projekttitel: Forschungspaket Gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten – TP Motorisierter Individualverkehr

Enddatum: 31.12.2023

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

In Grundlagenbericht VSS 2011/106 wurde ein zweistufiges Methodikkonzept mit quantitativen und qualitativen Kriterien für die Beschreibung von Erschliessungsqualitäten eines Standortes oder eines Gebietes erarbeitet. Dieses Konzept wurde im vorliegenden Forschungsprojekt weiter vertieft und konkretisiert.

Der Kapazitätsindex wurde eingeführt, um die Erschliessung eines Standorts oder eines Gebiets verkehrstechnisch zu quantifizieren. Er wurde als eine kapazitätsgewichtete Strassennetzdicke im Umfeld des Standortareals definiert. Nach Erprobung verschiedener Methoden wurde eine Definition für den Index vorgeschlagen und schweizweit berechnet.

Der Erreichbarkeitsindex stellt die verkehrstechnische Quantifizierung der erreichbaren Möglichkeiten eines Standorts oder eines Gebiets dar. Verschiedene Aspekte wie räumliche Auflösung, Potenzial und Raumwiderstand wurden eingehend untersucht und eine finale Methode vorgeschlagen und schweizweit berechnet.

Für die Herleitung von Güteklassen auf Basis des Kapazitätsindex' und des Erreichbarkeitsindex' wurden verschiedene Methoden getestet (linear, logarithmisch, natural breaks), auf einer Schweizer Karte visualisiert und eine Kategorisierung vorgeschlagen.

Ergänzend wurden Erhebungsmethoden für zwei qualitative Indikatoren erarbeitet: Verkehrsfluss und Parkfeldverfügbarkeit als wichtige Kenngrößen der Erschliessungsqualität. Die Anwendung der Fallbeispiele haben Hinweise auf Limitationen und weiteren Forschungsbedarf geliefert.

Neben dem Forschungsbericht, der die durchgeführten Arbeiten und Methoden umfassend beschreibt, wurde ein Normenentwurf erarbeitet.



Zielerreichung:

Die zu Beginn gesteckten Ziele konnten erreicht werden. Die Methodik aus dem Grundlagenbericht wurde verfeinert, anhand von Fallbeispielen getestet und teilprojektübergreifend abgestimmt. Die Methodik erlaubt es Anwenderinnen und Anwendern, mit den quantitativen Indikatoren "Kapazitätsindex" und "Erreichbarkeitsindex" die Erschliessungsgüte eines Standortes schweizweit vergleichbar zu berechnen. Die methodischen Hinweise zur Erhebung der qualitativen Indikatoren "Verkehrsfluss" und "Parkfeldverfügbarkeit" vor Ort liefern ergänzende Informationen als Wertprofil.

Folgerungen und Empfehlungen:

Mit dieser Forschungsarbeit wurde eine Grundlage dafür geschaffen, dass gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten schweizweit einheitlich berechnet werden können. Aufbauend auf der entwickelten Methode wurde ein Normenentwurf erstellt.

Gewisse methodische Entscheide sind spät im Projektverlauf gefallen und haben zu teilweise offenen Fragen geführt (z.B. die Frage nach dem Potenzial für die Erreichbarkeit), die noch abschliessend geklärt werden müssen. Bei anderen Punkten wie beispielsweise der Kategoriengrenzen der Güteklassen empfiehlt die Forschungsstelle im Hinblick auf den Normierungsprozess die Diskussion noch breiter zu führen, damit die Entscheide besser abgestützt sind. Teilprojektübergreifend ist zu klären, in welcher Form die quantitativen Grundlagen der künftigen Anwenderschaft zur Verfügung gestellt werden. Ebenfalls teilprojektübergreifend ist die Bedeutung der qualitativen Indikatoren gemessen am Erhebungsaufwand zu schärfen.

Publikationen:

B. Tasnádý, J. Hess, M. Sieber, A. Bühlmann (2023): Gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten – TP Motorisierter Individualverkehr, Schlussbericht Forschungsprojekt VPT_20_04C_01

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Tasnádý Vorname: Bence

Amt, Firma, Institut: EBP Schweiz AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die Forschungsstelle hat die Ziele der Forschungsarbeit vollständig erfüllt. Es steht nun eine Methodik zur Beurteilung der MIV-Erschliessungsqualität zur Verfügung, die schweizweit angewendet werden kann. Die Kombination von quantitative und qualitativen Indikatoren ermöglicht eine räumlich umfassende Beurteilung, welche sowohl die räumliche Lagegunst als auch lokale Faktoren wie die Netzauslastung zur massgebenden Tageszeit sowie das Parkierungsangebot berücksichtigt.

Basierend auf den Erkenntnissen der Forschungsarbeit wurde ein Normentwurf entwickelt, anhand dessen Planende die MIV-Erschliessungsqualität mit vertretbarem Aufwand selbstständig beziffern und beschreiben können.

Umsetzung:

Die Bearbeitung der Forschungsfragen erfolgte umfassend und zielführend. Es wurden verschiedene Methoden zur Beschreibung der Erschliessungsqualität entwickelt und getestet. Dabei wurde jeweils gut nachvollziehbar dargestellt, aus welchen Gründen gewisse Methoden zwar geprüft aber für den Normierungsprozess nicht weiterverfolgt worden sind.

Die Zusammenarbeit mit der Begleitkommission (BK) war durchgehend konstruktiv und fruchtbar. Über den gesamte Projektdauer wurden die von Seiten der BK eingebrachten Überlegungen immer als relevante Beiträge zur Forschungsarbeit angesehen. Falls nötig, konnte jeweils im Rahmen der BK-Sitzungen ein Konsens zwischen Forschungsstelle und BK bezüglich der in der Forschungsarbeit zu entwickelnden Methodik und deren konkreten Umsetzung gefunden werden.

weitergehender Forschungsbedarf:

Der weitergehende Forschungsbedarf ist im Bericht adäquat dokumentiert. Für die Anwendbarkeit der Projektergebnisse in der Praxis ist es wichtig, dass die Daten zur den quantitativen Indikatoren "Kapazitätsindex" und "Erreichbarkeitsindex" für Anwendende der Norm digital verfügbar gemacht werden.

Einfluss auf Normenwerk:

Der Normentwurf ergänzt das Normenwerk um den Aspekt der MIV-Erschliessungsqualität zu dem es bisher keine Norm gegeben hat. Der Normentwurf erfolgte in Abstimmung mit Normentwürfen zur Erschliessungsqualität für die Verkehrsmittel ÖV, Velo und den Fussverkehr, die im Rahmen er im Rahmen des Gesamtprojekts erarbeiteten wurden.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Hasler

Vorname: Christian

Amt, Firma, Institut: Tiefbauamt Stadt St.Gallen

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

