



Forschungspaket Gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten – Velo- und Fussverkehr (TP4)

Qualités de desserte globale: Projet 4 "mobilité piétonne et cycliste"

Integrated Traffic Coverage Quality: Project 4 "pedestrian and bicycle traffic"

Lajo AG
Raphaël Fuhrer
Annina Breu
Martin Kalberer

movaplan Mobilitätsstrategien GmbH
Stephan Erne

büro widmer
Thomas Buhl
Thomas Klink

Forschungsprojekt VPT_20_04D_01 auf Antrag der Arbeitsgruppe Verkehrsplanung und -technik (VPT)

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)



Forschungspaket Gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten – Velo- und Fussverkehr (TP4)

Qualités de desserte globale: Projet 4 "mobilité piétonne et cycliste"

Integrated Traffic Coverage Quality: Project 4 "pedestrian and bicycle traffic"

Lajo AG
Raphaël Fuhrer
Annina Breu
Martin Kalberer

movaplan Mobilitätsstrategien GmbH
Stephan Erne

büro widmer
Thomas Buhl
Thomas Klink

Forschungsprojekt VPT_20_04D_01 auf Antrag der Arbeitsgruppe Verkehrsplanung und -technik (VPT)

Juni 2024

1767

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Stephan Erne (ewp / movaplan GmbH)

Mitglieder

Stephan Erne (ewp / movaplan GmbH)

Raphaël Fuhrer (ewp)

Annina Breu (ewp)

Martin Kalberer (ewp)

Thomas Buhl (büro widmer)

Thomas Klink (büro widmer)

Begleitkommission

Präsidentin

Aline Renard (Transitec)

Mitglieder

Miriam Hauser (Kanton Aargau)

Karl Vogel (Stadt Bern)

Urs Walter (ASTRA)

Benoît Ziegler (mrs partner)

Michael van Eggermond (fhnw)

Antragsteller

Arbeitsgruppe Verkehrsplanung und -technik (VPT)

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	7
	Résumé	11
	Summary	15
1	Einleitung	19
1.1	Ausgangslage und Ziele	19
1.1.1	Forschungspaket	19
1.1.2	Teilprojekt Fuss- und Veloverkehr	20
1.2	Methodisches Konzept und Rahmenbedingungen	20
1.2.1	Forschungspaket	20
1.2.2	Teilprojekt Fuss- und Veloverkehr	22
1.3	Vorgehen und Berichtsaufbau	23
2	Literatur	25
2.1	Definition walkability und bikeability	25
2.2	Relevante Variablen walkability/bikeability	26
2.2.1	Veloverkehr: Relevante Variablen	26
2.2.2	Fussverkehr: Relevante Variablen	29
2.3	Kostendistanzen	33
2.3.1	Veloverkehr: Ermittlung der Gewichtungparameter	33
2.3.2	Fussverkehr: Ermittlung der Gewichtungparameter	35
2.4	Zentralität (statt Kapazitätsindex)	36
2.5	Erreichbarkeitsmasse	37
2.5.1	Einteilung des Raums in Zonen und intrazonaler Raumwiderstand	38
2.5.2	Auswahl des Erreichbarkeitsmodells und Gewichtungsparmeters	38
2.5.3	Bestimmung der Zählinheit von Möglichkeiten im Raum	39
2.5.4	Passende Definition des Raumwiderstandes	39
2.6	Berechnungsperimeter	39
2.7	Unterscheidung nach Nutzenden-Gruppen	41
2.7.1	Veloverkehr: Alltags- und Pendlerverkehr	41
2.7.2	Veloverkehr: Velo und E-Bike	41
2.7.3	Fussverkehr	41
2.8	Qualitative Kriterien	43
2.8.1	Allgemein	43
2.8.2	Veloverkehr: Mögliche Kriterien	43
2.8.3	Fussverkehr: Mögliche Kriterien	46
2.9	Hauptkenntnisse aus der Literaturanalyse	50
2.10	Nötiges Datenmaterial	50
3	Grundsätze der Methodik	51
3.1	Grundsätzliche Überlegungen	51
3.2	Gemeinsame Grundsätze	51
3.2.1	Unterscheidung quantitative vs. qualitative Aspekte	52
3.2.2	Perimeter	52
3.2.3	Quantitative Kriterien: Attributierung der Verkehrsnetze	55
3.2.4	Qualitative Kriterien: Typen von Indikatoren	55
3.3	Daten	56
3.3.1	Datenlage	56
3.3.2	Benötigte Daten	57
4	Methode Veloverkehr	59
4.1	Quantitative Bewertung: Kostendistanzen	59

4.1.1	Verfügbarkeit und Aufbereitung Daten	59
4.1.2	Gradientenkosten.....	60
4.1.3	Infrastrukturkosten	63
4.1.4	Unfallrisikokosten.....	65
4.1.5	Umgebungsnutzen.....	66
4.1.6	Plausibilisierung Kostenelemente	66
4.2	Quantitative Bewertung: Kenngrössen	69
4.2.1	Zentralität	69
4.2.2	Erreichbarkeit.....	69
4.2.3	Klassenbildung für quantitative Bewertungsgrössen	70
4.3	Qualitative Bewertung.....	71
4.3.1	Auswahl Kriterien und Bewertungsskala	71
4.3.2	V1 - Veloverkehrsführung an Knoten.....	74
4.3.3	V2 - Veloabstellplätze	75
4.3.4	V3 - Gefahrenstellen für den Veloverkehr	77
5	Methode Fussverkehr.....	81
5.1	Quantitative Bewertung: Verzicht	81
5.2	Qualitative Bewertung.....	82
5.2.1	Auswahl Kriterien und Bewertungsskala	82
5.2.2	F1 – Qualität Fussverkehrsverbindungen an Knoten	85
5.2.3	F2 – Führung Fussverkehr entlang Strassen	86
5.2.4	F3 - Umfeld- und Aufenthaltsqualität	86
5.2.5	F4 - Orientierung.....	87
5.2.6	F5 – Sicherheit.....	88
6	Fallbeispiele	91
6.1	Fallbeispiel Zürich Binz	91
6.1.1	Beschreibung Gebiet	91
6.1.2	Quantitative Bewertung Veloverkehr	92
6.1.3	Qualitative Bewertung Fuss- und Veloverkehr	93
6.2	Fallbeispiel Genève Route de Saint-Julien.....	94
6.2.1	Beschreibung Gebiet	94
6.2.2	Quantitative Bewertung Veloverkehr	94
6.2.3	Qualitative Bewertung Fuss- und Veloverkehr	95
6.3	Fallbeispiel Marthalen-Schilling	97
6.3.1	Beschreibung Gebiet	97
6.3.2	Quantitative Bewertung Veloverkehr	97
6.3.3	Qualitative Bewertung Fuss und Veloverkehr.....	99
6.4	Fallbeispiel Crans-Montana	100
6.4.1	Beschreibung Gebiet	100
6.4.2	Quantitative Bewertung Veloverkehr	100
6.4.3	Qualitative Bewertung Fuss- und Veloverkehr	102
6.5	Quantitative Kriterien: Ergebnisse und Erkenntnisse	103
6.6	Qualitative Kriterien: Ergebnisse und Erkenntnisse	105
7	Synthese	107
7.1	Erreichte Erkenntnisse.....	107
7.2	Anwendungen, Daten, Empfehlungen	108
7.3	Kritik und Ausblick.....	108
7.3.1	Forschungsbedarf	108
7.3.2	Daten.....	109
	Anhänge.....	111
	Glossar.....	143
	Literaturverzeichnis.....	144
	Projektabschluss	148

Zusammenfassung

Ausgangslage, Ziele und Vorgehen

Das vorliegende Teilprojekt ist Teil des Forschungspaketes «Gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten». Mit diesem Forschungspaket wurden Methoden entwickelt, um die Erschliessungsqualitäten der verschiedenen Verkehrsmittel und Fortbewegungsarten für einen bestimmten Standort aufeinander abgestimmt zu beurteilen. Das vorliegende Forschungsprojekt umfasst die Entwicklung von Methoden für den Fuss- und Veloverkehr, um die folgenden Ziele zu erreichen:

- Definition einer praxistauglichen Methodik zur Bestimmung der Erschliessungsgüten für den Fuss- und Veloverkehr (FVV) unter Anwendung von qualitativen Indikatoren beim Fussverkehr und von qualitativen und quantitativen Indikatoren beim Veloverkehr
- Erarbeitung einer quantitativen Methodik zur Quantifizierung der Erreichbarkeit und zur Beschreibung eines Kapazitätsindex für den Veloverkehr
- Überführung der Methodik in zwei separate Normentwürfe als Teil eines künftigen Normenpaketes

Bei der Durchführung des Forschungsprojektes wurde folgendes Vorgehen angewandt:

- Mit einer Literaturanalyse (Kapitel 2) wurden bekannte Ansätze zur Beurteilung der Erschliessungsqualität von Fuss- und Veloverkehr zusammengetragen und bewertet. Dabei wurden zweckmässige Variablen zur Bewertung der *walkability* und *bikeability* identifiziert, aber auch methodische Aspekte wie die räumliche Abgrenzung, die Differenzierung nach Nutzendengruppen und die erforderlichen Daten diskutiert.
- Basierend auf der Literaturanalyse wurden Grundsätze der Methodik (Kapitel 3) hergeleitet, welche für beide Verkehrsmittel gleichermassen gelten. Zudem wurde auf den Umgang mit der sich verändernden Datenverfügbarkeit eingegangen.
- Die Methodik zur Beurteilung der Erschliessungsqualität für den Veloverkehr (Kapitel 1) gliedert sich in drei Teile: Für die quantitativen Kriterien war zuerst eine Methode zu entwickeln, um die Velonetze aufgrund ihres Netzwerkwiderstandes umfassend zu attribuieren. Anschliessend waren die im Grundlagenbericht (VSS 2011/106) vorgeschlagenen quantitativen Kenngrössen zu überprüfen und zu verfeinern. Schliesslich wurden qualitative Kriterien als Ergänzung der quantitativen Grössen auf Basis der Vorschläge im Grundlagenbericht weiterentwickelt und verfeinert.
- Bei der Erarbeitung der Methodik für den Fussverkehr (Kapitel 1) wurde überprüft, ob der Verzicht auf eine quantitative Beurteilung gemäss Grundlagenbericht zum jetzigen Zeitpunkt richtig ist. Nach der Bestätigung fokussierte die Methodik auf die Validierung und Verfeinerung der im Grundlagenbericht vorgeschlagenen qualitativen Kriterien.
- Mit dem Test der entwickelten Methoden an vier Fallbeispielen (Kapitel 1) wurde die Anwendbarkeit der Erschliessungsqualitäten nachgewiesen.
- Abschliessend wurden die Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt und die Anwendungsmöglichkeiten erörtert und Empfehlungen zum weiteren Forschungsbedarf und für eine Verbesserung der Datenverfügbarkeit abgegeben (Kapitel 1).

Methodisches Konzept

Herausfordernd für die Bestimmung von einheitlichen Erschliessungsqualitäten für den Fuss- und Veloverkehr sind insbesondere die folgenden Aspekte:

- Beschränkte Forschungslage hinsichtlich der einheitlichen Quantifizierung der von Verkehrsteilnehmenden wahrgenommenen Qualität von Fuss- und Veloverkehrnetzen
- Viele relevante Qualitätsmerkmale lassen sich nur bedingt generalisieren (individuelle Präferenzen) oder quantifizieren

- Kaum flächendeckende Datensätze mit hinsichtlich Qualitätsmerkmalen attribuierten Netzen vorhanden

Aufgrund dieser Herausforderungen sollen die zu entwickelnden Methoden den folgenden Ansprüchen gerecht werden:

- Geeignet, um massgebende Charakteristika des FVV abzudecken
- Vergleichbar mit anderen Verkehrsmitteln
- Aufwärtskompatibel hinsichtlich der Verfügbarkeit der Daten
- Flächendeckend umsetzbar trotz schwieriger Datenlage
- Praxisgerecht, d.h. insbesondere mit vernünftigen Aufwand anwendbar

Aufgrund dieser grundlegenden Überlegungen wurde das methodische Konzept für den Veloverkehr entwickelt (Abb.1). Das grundlegende Konzept für den Fussverkehr ist identisch, aufgrund des vorgegebenen Budgetrahmens, der heutigen Datenlage und den beschränkten Kenntnissen zu den Wirkungszusammenhängen soll die Erschliessungsqualität beim Fussverkehr aber vorerst nur anhand der qualitativen Kriterien bewertet werden.

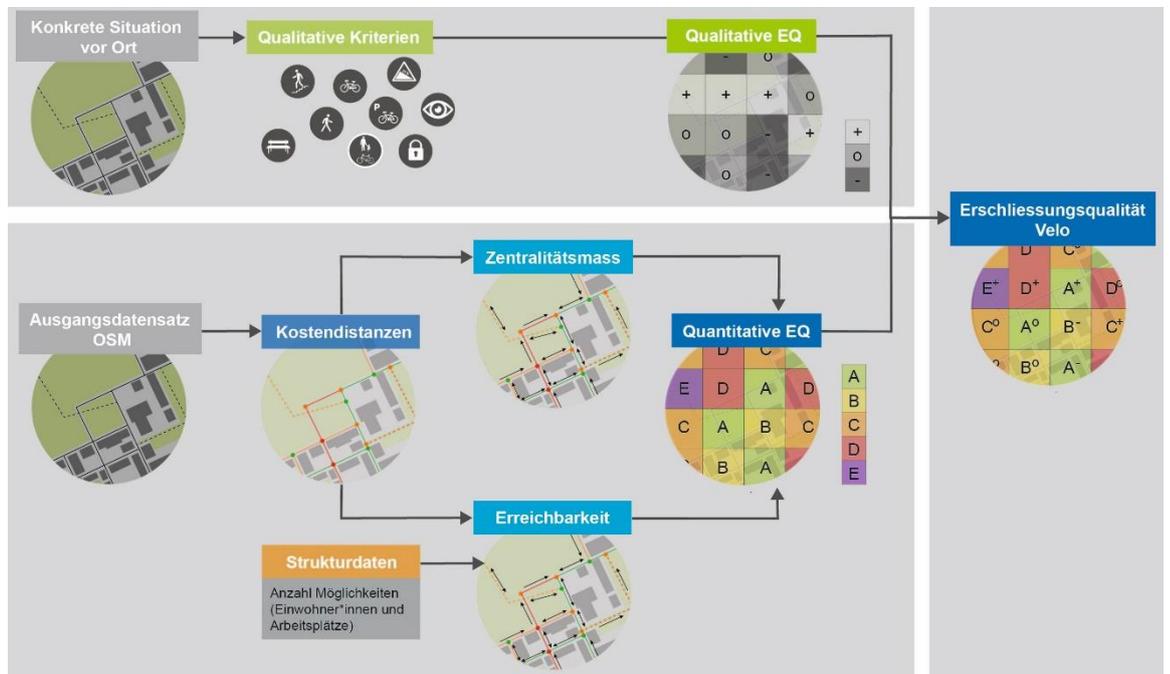


Abb.1 Methodik Erschliessungsqualität Fuss- und Veloverkehr

Methodik Veloverkehr

Für die **quantitativen Erschliessungsqualitäten** des Veloverkehrs wird das für das Velo zugängliche Netz im Umfeld eines Areals (Radius von 3.85 km, entspricht mittlerer Etappenlänge Veloverkehr) attribuiert, so dass die Widerstände der einzelnen Routen abgebildet werden können. Diese Widerstände entsprechen der Auslastung bzw. der Reisezeit im belasteten Netz beim MIV oder der Taktichte und den Zu-/ Abgangszeiten beim ÖV. Analog zu den anderen Verkehrsmitteln fliessen diese Widerstände in die empfundene Reisezeit ein. Als methodischer Ansatz wurde dazu das Prinzip der **Kostendistanzen** gewählt. Dabei werden verschiedene Kostenelemente (Topographie, Qualität der Veloinfrastruktur, Unfallrisiko, Umgebungsqualität) zu einem Faktor kombiniert, mit welchem die Horizontal-distanz auf einer bestimmten Strecke multipliziert wird.

Als Datengrundlage für die Abbildung des Netzes wird OpenStreetMap vorgeschlagen, einerseits wegen seiner detaillierten Netzabbildung (auch grenzüberschreitend), andererseits wegen der teilweise bereits enthaltenen Attributierung der einzelnen Strecken für den

Veloverkehr. Mit der vorgesehenen Etablierung schweizweit einheitlicher Datengrundlagen (Verkehrsnetz CH) zu Velonetzen können künftig diese für die Attributierung verwendet werden. Mit dem attribuierten Netz wurden anschliessend Methoden für die Bestimmung der quantitativen Kenngrössen für den Veloverkehr entwickelt:

- Die **Zentralität** beschreibt, wie gut ein Areal (bzw. die angrenzenden Knoten) ins umliegende Veloverkehrsnetz eingebunden ist. Diese Kenngrösse ist ausschliesslich angebotsorientiert und bildet Dichte und Struktur des Netzes im (nahen) Umfeld ab.
- Die **Erreichbarkeit** beschreibt, wie viele Möglichkeiten vom jeweiligen Areal mit welchem (zeitlichem) Aufwand erreicht werden können. Diese Kenngrösse verknüpft das Verkehrsangebot mit der Dichte und Verteilung von Bevölkerung und Arbeitsplätzen im (auch weiteren) Umfeld.

Für die **qualitative Erschliessungsqualität** wurde der Vorschlag für den Kriterienraster aus dem Grundlagenbericht anhand der Literaturanalyse überprüft. Zudem wurden Kriterien gestrichen, die bereits in den Kostendistanzen und damit bei der quantitativen Erschliessungsqualität berücksichtigt werden. Daraus resultierend wurden für die folgenden Kriterien konkrete Beurteilungsraster definiert:

- V1 Qualität Velonetz: Veloverkehrsführung an Knoten
- V2 Veloabstellplätze
- V3 Gefahrenstellen im Veloverkehr

Die qualitative Beurteilung für den Velo- und Fussverkehr soll in einem Perimeter in fussläufiger Distanz um das Areal erfolgen. Für die Beurteilung der qualitativen Kriterien wurden eine Standardmethode und eine vereinfachte Methode beschrieben.

Methodik Fussverkehr

Die Erschliessungsqualität für den Fussverkehr wird bis auf Weiteres ausschliesslich mittels **qualitativer Kriterien** beurteilt. Dazu sind entsprechend mehr Kriterien erforderlich, wobei auch für den Fussverkehr der Vorschlag aus dem Grundlagenbericht anhand der Literaturanalyse überprüft wurde. Daraus resultierend wurden für die folgenden Kriterien konkrete Beurteilungsraster definiert:

- F1 Qualität Fussnetz an Knoten
- F2 Qualität Fussnetz an Strecken mit hohem DTV
- F3 Umfeld- und Aufenthaltsqualität
- F4 Orientierung
- F5 Sicherheit

Der Perimeter sowie die Differenzierung nach Standardmethode und vereinfachter Methode sind identisch zum Veloverkehr.

Test an Fallbeispielen und Fazit

Der Test der beschriebenen Methoden an den vier Fallbeispielen (Zürich-Binz, Genève Route de St-Julien, Marthalen-Schilling, Crans-Montana) zeigt, dass die Erschliessungsqualität für den Fuss- und Veloverkehr damit grundsätzlich gut beurteilt werden kann. Gleichzeitig bestätigt sich ein erheblicher Bedarf an zusätzlicher Grundlagenforschung, insbesondere zur Validierung der Kostendistanzen für den Veloverkehr (die bisher nur an wenigen Fallbeispielen und vorwiegend in dichten urbanen Räumen überprüft werden konnten) und zur Erarbeitung vergleichbarer Kostendistanzen für den Fussverkehr, damit auch für dieses Verkehrsmittel quantitative Erschliessungsqualitäten ermittelt werden und so eine vollständige Integration in die gesamtverkehrlichen Erschliessungsqualitäten er-

reicht werden kann. Zudem erfordert die Beurteilung der quantitativen Erschliessungsqualitäten belastbare und flächendeckende Datensätze zu den für die Kostenelemente relevanten Attributen, insbesondere zur Qualität der Infrastruktur.

Résumé

Situation initiale, objectifs et procédure

Le présent sous-projet fait partie du paquet de recherche "Qualité globale de desserte". Ce paquet de recherche a pour objet de développer des méthodes permettant d'évaluer de manière coordonnée les qualités de desserte des différents moyens de transport et modes de déplacement pour un site donné. Le présent projet de recherche comprend le développement de méthodes pour les piétons et cyclistes afin d'atteindre les objectifs suivants:

- Définition d'une méthodologie pratique pour déterminer les qualités de desserte pour la mobilité douce (MD) en utilisant des indicateurs qualitatifs pour les piétons et des indicateurs qualitatifs et quantitatifs pour les cyclistes.
- Elaboration d'une méthodologie quantifier l'accessibilité et décrire un indice de capacité pour le trafic cycliste.
- Transformation de la méthodologie en deux ébauches de normes faisant partie d'un futur ensemble de normes pour les Qualités globales de la desserte.

La procédure suivante a été utilisée pour la réalisation du projet de recherche :

- Une analyse bibliographique (chapitre 2) a permis de rassembler et d'évaluer les approches connues pour évaluer la qualité de l'accessibilité pour les piétons et les cyclistes. Les variables appropriées pour l'évaluation de la walkability et de la bikeability ont été identifiées. Les aspects méthodologiques tels que la délimitation spatiale, la différenciation par groupes d'usagers et les données nécessaires ont également été discutés.
- Sur la base de l'analyse de la littérature, des principes méthodologiques (chapitre 3) ont été déduits, qui s'appliquent de la même manière aux deux moyens de transport. En outre, la gestion de l'évolution de la disponibilité des données a été abordée.
- La méthodologie d'évaluation de la qualité des aménagements pour les cyclistes (chapitre 1) se divise en trois parties : Pour les critères quantitatifs, il s'agissait tout d'abord de développer une méthode permettant d'attribuer une valeur globale aux réseaux cyclables en fonction de leur résistance. Ensuite, les paramètres quantitatifs proposés dans le rapport de base (VSS 2011/106) ont été vérifiés et affinés. Enfin, des critères qualitatifs ont été développés et affinés en complément des valeurs quantitatives sur la base des propositions du rapport de base.
- Lors de l'élaboration de la méthodologie pour la mobilité piétonne (chapitre 1), il a été vérifié si le renoncement d'une évaluation quantitative selon le rapport de base était correct. Après la confirmation, la méthodologie se concentrait sur la consolidation et l'affinement des critères qualitatifs proposés dans le rapport de base.
- L'applicabilité des qualités de desserte a été démontrée par le test des méthodes développées sur quatre exemples de cas (chapitre 1).
- Enfin, les conclusions du projet de recherche et les possibilités d'application ont été discutées et des recommandations ont été formulées sur les besoins de recherche supplémentaires et sur l'amélioration de la disponibilité des données (chapitre 1).

Approche méthodologique

La détermination de qualités de desserte uniformes pour les piétons et les cyclistes pose des défis particuliers en raison des aspects suivants :

- La recherche existante est limitée en ce qui concerne la quantification uniforme de la qualité des réseaux piétons et cyclables telle qu'elle est perçue par les usagers de la route.
- De nombreux critères de qualité pertinents ne peuvent à peine être généralisés (préférences individuelles) ou quantifiés.
- Il n'existe guère de jeux de données couvrant l'ensemble du territoire et comportant des réseaux attribués en fonction des caractéristiques de qualité.

En raison de ces défis, les méthodes à développer doivent répondre aux exigences suivantes :

- Convient pour couvrir les caractéristiques déterminantes de la mobilité douce
- Comparables à d'autres moyens de transport
- Compatibles avec la disponibilité des données
- Applicable sur l'ensemble du territoire malgré la difficulté des données disponibles
- Adapté à la pratique, c'est-à-dire applicable avec un effort raisonnable

Le concept méthodologique pour le trafic cycliste a été développé sur la base de ces réflexions fondamentales (fig.1). Le concept de base pour la mobilité piétonne est identique, mais en raison du cadre budgétaire donné, de la situation actuelle des données et des connaissances limitées sur les relations de cause à effet, la qualité de desserte pour la mobilité piétonne ne doit être évaluée dans un premier temps que sur la base des critères qualitatifs.

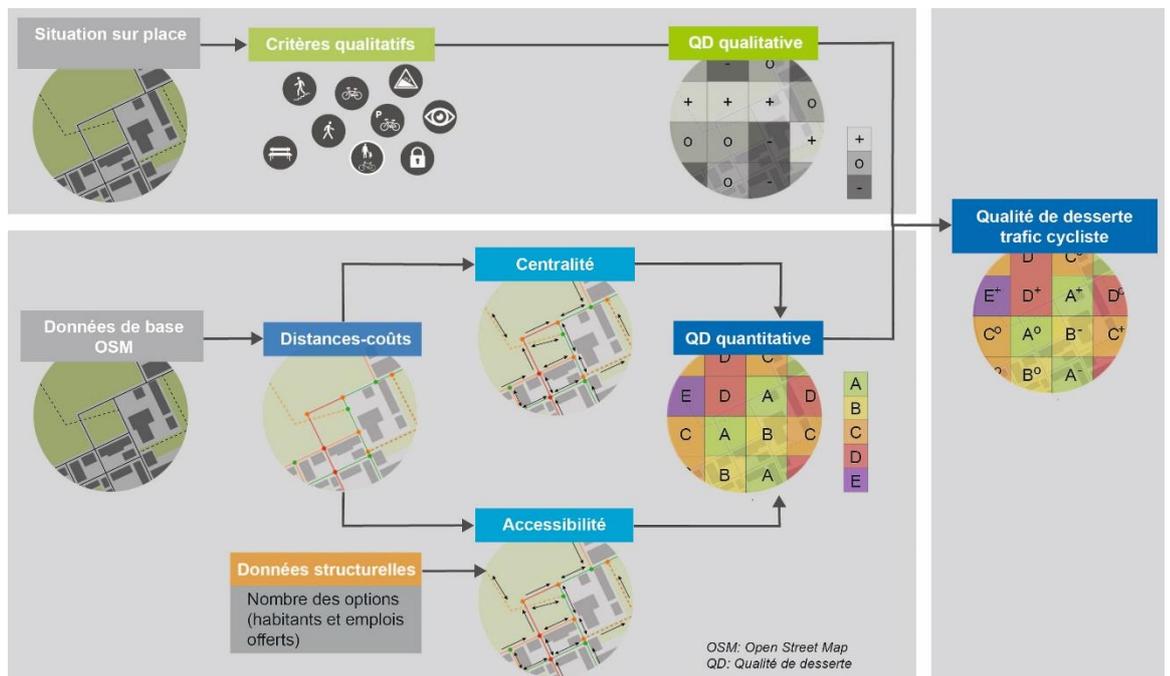


Abb.2 Méthodologie pour la qualité de desserte de la mobilité douce

Méthodologie pour le trafic cycliste

Afin de calculer les **qualités de desserte quantitatives** du trafic cycliste, le réseau accessible aux vélos dans les environs d'un site (rayon de 3,85 km, correspondant à une longueur d'étape moyenne pour le trafic cycliste) doit être attribué, de sorte que les résistances des différents itinéraires puissent être représentées. Ces résistances correspondent à la charge ou au temps de trajet sur le réseau chargé pour le trafic individuel motorisé ou à la densité de la cadence et à l'accessibilité pour le transport public. Comme pour les autres moyens de transport, ces résistances sont prises en compte dans le temps de trajet ressenti. Le principe des **distances-coûts** a été choisi comme approche méthodologique. Différents éléments de coûts (topographie, qualité de l'infrastructure cyclable, risque d'accident, qualité de l'environnement) sont combinés en un facteur par lequel la distance horizontale est multipliée sur un trajet donné.

OpenStreetMap est proposé comme base de données pour la représentation du réseau, d'une part en raison de sa représentation détaillée du réseau (également au niveau transfrontalier), d'autre part en raison de l'attribution des différents trajets pour le trafic cycliste qui y est déjà partiellement contenue. Avec l'établissement prévu de bases de données uniformes pour toute la Suisse (Réseau des transports CH) concernant les réseaux cyclables, celles-ci pourront être utilisées à l'avenir pour l'attribution. Avec le réseau attribué,

des méthodes ont ensuite été développées pour déterminer les deux indicateurs quantitatifs du trafic cycliste :

- **La centralité** décrit la qualité de l'intégration d'un site (ou des nœuds adjacents) dans le réseau cyclable environnant. Cet indicateur est exclusivement axé sur l'offre et reflète la densité et la structure du réseau dans l'environnement (proche).
- **L'accessibilité** décrit le nombre de possibilités pouvant être atteintes à partir d'un site donné et en combien de temps. Cet indicateur met en relation l'offre de transport avec la densité et la répartition de la population et des emplois dans les environs (même lointains).

Pour les critères qualitatifs de la qualité de desserte, le cadre de critères proposé dans le rapport de base a été vérifiée à l'aide de l'analyse bibliographique. En outre, les critères déjà pris en compte dans les distances-coûts et donc dans la qualité de desserte quantitative ont été supprimés. Des cadres d'évaluation concrètes ont ainsi été définies pour les critères suivants :

- V1 Qualité du réseau cyclable : gestion du trafic cycliste aux carrefours
- V2 Places de stationnement pour vélos
- V3 Endroits dangereux pour les cyclistes

L'évaluation qualitative pour le trafic cycliste et piéton doit être effectuée dans un périmètre à distance de marche autour du site. Une méthode standard et une méthode simplifiée ont été décrites pour l'évaluation des critères qualitatifs.

Méthodologie pour la mobilité piétonne

Jusqu'à nouvel ordre, la qualité de l'accessibilité pour les piétons est évaluée exclusivement à l'aide de critères qualitatifs. Pour ce faire, il est nécessaire de disposer d'un plus grand nombre de critères. La proposition pour le cadre de critères du rapport de base était également vérifiée à l'aide de l'analyse bibliographique. Sur cette base, des cadres d'évaluation concrètes ont été définies pour les critères suivants :

- F1 Qualité du réseau piéton aux carrefours
- F2 Qualité du réseau piéton sur les tronçons à fort charge de trafic (TJM)
- F3 Qualité de l'environnement et du séjour
- F4 Orientation
- F5 Sécurité

Le périmètre ainsi que la différenciation entre la méthode standard et la méthode simplifiée sont identiques à ceux du trafic cycliste.

Test sur des exemples de cas et conclusion

Le test des méthodes décrites sur les quatre exemples de cas (Zurich-Binz, Genève Route de St-Julien, Marthalen-Schilling, Crans-Montana) montre qu' en principe les qualités de la desserte pour les piétons et les cyclistes peuvent être bien évaluée. En même temps, il se confirme que des recherches fondamentales supplémentaires sont nécessaires, notamment pour valider les distances-coûts pour le trafic cycliste (qui n'ont pu être vérifiées jusqu'à présent que sur quelques exemples de cas et principalement dans des espaces urbains denses) et pour élaborer des distances-coûts comparables pour le trafic piéton, afin de déterminer également des qualités de desserte quantitatives pour ce moyen de transport et d'atteindre ainsi une intégration complète dans les qualités de desserte globales. En outre, l'évaluation des qualités quantitatives de desserte demande des données fiables pour les éléments de coûts, qui couvrent l'ensemble du territoire et tous les attributs pertinents, en particulier sur la qualité de l'infrastructure.

Summary

Initial situation, objectives and procedure

The present sub-project is part of the research package "Integrated Traffic Coverage Quality". With this research package, methods were developed to assess the accessibility qualities of the various means of transport and modes of travel for a specific location in a coordinated manner. The present research project comprises the development of methods for pedestrian and bicycle traffic in order to achieve the following objectives:

- Definition of a practical methodology to determine the traffic coverage for walking and cycling using qualitative indicators for walking resp. qualitative and quantitative indicators for cycling.
- Development of a quantitative methodology to quantify accessibility and to describe a capacity index for bicycle traffic.
- Transfer of the methodology into two separate drafts of standard as part of a future package of standards.

The following procedure was used to carry out the research project:

- A literature review (chapter 2) was used to compile and evaluate known approaches for assessing the accessibility quality and the coverage of pedestrian and bicycle traffic. Appropriate variables for the assessment of walkability and bikeability were identified. Methodological aspects such as spatial delimitation, differentiation according to user groups and the required data were discussed as well.
- Based on the literature analysis, principles of the methodology applying to both means of transport were derived (chapter 3). In addition, the handling of the changing data availability was discussed.
- The methodology for assessing the quality of accessibility for cycling (chapter 1) is divided into three parts: First, a method had to be developed to comprehensively attribute the bicycle networks based on their network resistance in order to calculate quantitative criteria. Subsequently, the quantitative parameters proposed in the basic research project (VSS 2011/106) were to be checked and refined. Finally, qualitative criteria as a supplement to the quantitative parameters were further developed and refined on the basis of the proposals in the basic report.
- In the development of the methodology for pedestrian traffic (chapter 1), the decision to abstain from a quantitative assessment according to the basic research project was verified. After confirmation, the methodology focused on the validation and refinement of the qualitative criteria proposed in the basic research project.
- The applicability of the methodology was verified by testing the developed methods on four case studies (chapter 1).
- Finally, the findings from the research project and the possible applications were discussed and recommendations were made on the need for further research and for improving the availability of data (chapter 1).

Methodological approach

The following aspects are particularly challenging for the determination of integrated traffic coverage qualities for pedestrian and bicycle traffic:

- Limited research with regard to the uniform quantification of the quality of pedestrian and bicycle networks as perceived by different persons.
- Many relevant quality characteristics can hardly be generalised (individual preferences) or only quantified to a limited extent.
- Hardly any available area-wide data sets with quality-attributed networks.

Due to these challenges, the methods to be developed should meet the following requirements:

- Suitable to cover relevant characteristics of walking and biking mobility
- Comparable with other transport modes
- Upward compatible regarding the availability of data
- Can be implemented nationwide despite difficult data situation
- Suitable to be put into practice, i.e. in particular applicable with a reasonable amount of effort

Based on these fundamental considerations, the methodological concept for bicycle traffic was developed (Fig.1). The basic concept for pedestrian traffic is identical, but due to the given budgetary framework, the current data situation and the limited knowledge of the cause-effect relationships, the traffic coverage quality of pedestrian traffic will initially only be assessed on the basis of the qualitative criteria.

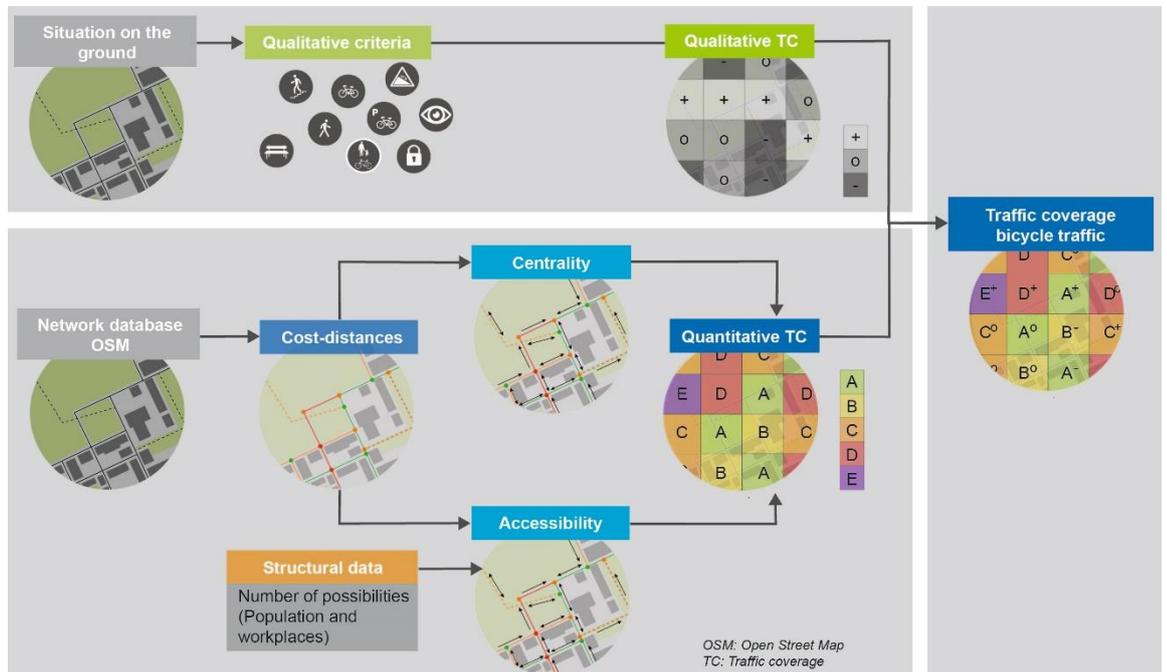


Abb.3 Methodology for the assessment of Traffic Coverage Quality

Methodology for bicycle traffic

For the quantitative traffic coverage qualities of bicycle traffic, the bicycle network in the vicinity of a site (radius of 3.85 km, corresponding to the average stage length of bicycle traffic) is attributed in order to show the costs of the individual routes. These costs correspond to the traffic load or the travel time in a congested net for private transport or the frequency and the access times for public transport. As the other means of transport, these costs have to be included into the perceived travel time. The principle of cost distances was chosen as methodological approach. Various cost elements (topography, quality of the bicycle infrastructure, accident risk, quality of the environment) are combined to form a factor by which the horizontal distance on a given route is multiplied.

OpenStreetMap is proposed as data base for the network, on the one hand because of its detailed network mapping (also cross-border), on the other hand because a lot of links are already attributed regarding the bicycle traffic cost elements. With the planned establishment of uniform data bases for bicycle networks throughout Switzerland (Verkehrsnetz CH), these new data bases can be used for the attribution in the future. The attributed network was then used to develop methods in order to calculate the two quantitative indicators for the bicycle traffic coverage:

- **Centrality** describes how well an area (or the adjacent nodes) is integrated into the surrounding cycling network. This indicator is exclusively supply-oriented and reflects the density and structure of the network in the (near) surroundings.
- **Accessibility** describes how many possibilities can be reached from the respective area with what (time) effort. This indicator links the transport offer with the density and distribution of the population and workplaces in the (wider) surrounding area.

For the qualitative traffic coverage quality, the proposal for the criteria grid from the basic research project was reviewed on the basis of the literature analysis. In addition, those criteria already taken into account in the cost distances (and thus in the quantitative development quality) were eliminated. As a result, concrete assessment matrix were defined for the following criteria:

- V1 Quality of the bicycle network: bicycle routing at nodes
- V2 Bicycle parking spaces
- V3 Dangerous spots for bicycle traffic

The qualitative assessment for bicycle and pedestrian traffic should be carried out in a perimeter within walking distance of the site. For the assessment of the qualitative criteria, a standard method and a simplified method have been described.

Methodology for pedestrian traffic

Until further notice, the quality of accessibility for pedestrians will be assessed exclusively by means of qualitative criteria. Thus the qualitative assessment methodology requires a comparatively greater number of criteria than for bicycle traffic. The proposal from the basic research project was also reviewed for pedestrian traffic on the basis of the literature analysis. As a result, concrete assessment matrix were defined for the following criteria:

- F1 Quality of the pedestrian network at nodes
- F2 Quality of the pedestrian network on routes with a high daily volume of car traffic (DTV)
- F3 Quality of environment and stay
- F4 Orientation
- F5 Safety

The perimeter as well as the differentiation between the standard method and the simplified method are identical to those for bicycle traffic.

Test on case studies and conclusion

The test on four case studies (Zurich-Binz, Genève Route de St-Julien, Marthalen-Schilling, Crans-Montana) shows that the traffic coverage quality for pedestrian and bicycle traffic can basically be assessed well with the developed methods. At the same time, there is a considerable need for additional research, in particular to validate the cost distances for bicycle traffic (which have so far only been verified in a few case studies and mainly in dense urban areas) and to develop comparable cost distances for pedestrian traffic, so that quantitative access qualities can also be determined for this mode of transport and thus pedestrian traffic can be fully integrated into the integrated traffic coverage qualities. In addition, the assessment of the quantitative accessibility qualities requires reliable and comprehensive data sets on the attributes relevant for the cost elements, especially on the quality of the bicycle and pedestrian infrastructure.

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** VSS 2011/106 «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 VSS 2011/106 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 VSS 2011/106 folgendermassen umschreiben: *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.*

Im Initialprojekt zum vorliegenden Forschungspaket (VSS 2017/120) wurde der Forschungsstand aktualisiert. An den grundsätzlichen Aussagen zum Forschungsbedarf hat sich gegenüber dem Grundlagenbericht (VSS 2011/106) nichts geändert. Herausfordernd bezüglich Datengrundlagen bleiben namentlich der Fuss- und Veloverkehr sowie die Angebote auf ausländischem Territorium zur Beschreibung von Erschliessungsqualitäten in Grenzgebieten. Zusammengefasst lauten die **Ziele** des Forschungspaketes gemäss Initialprojekt:

- Überprüfung und Verfeinerung der Methoden aus dem Grundlagenbericht zur Bestimmung der gesamtverkehrlichen Erschliessungsqualitäten
- Überprüfung und Konkretisierung sowohl von quantitativen Kriterien (Kapazitäts- und Erreichbarkeitsindizes) als auch den qualitativen Kriterien (Wertgerüste und zu verwendende Planungsgrundlagen)
- Vertiefende Analysen zur definitiven Festlegung von Parametern einzelner Kriterien, Operationalisierung der einzelnen Kriterien, Prüfung weiterer Datengrundlagen (u.a. auch für Grenzräume) und Festlegung definitiver Skalen und Güteklassenkategorien
- Definition einer praxistauglichen Methodik zur Bestimmung der Erschliessungsgüte mit allen Verkehrsträgern unter Anwendung von quantitativen und qualitativen Indikatoren
- Überführung der Methodik in eine Norm bzw. ein Normenpaket «Gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten».

Wichtiger Hinweis: Das Normenpaket beschreibt in erster Linie die Methodik und definiert die Skalen der Güteklassen (analog der heutigen ÖV-Güteklassen). Die Norm ist aber nicht wertend: z.B. definiert sie keine Erschliessungsstandards für einzelne Raumtypen oder es

wird nicht festgelegt, welche Güteklassen bzw. Erschliessungsqualitäten für welche Nutzungszwecke nötig oder anzustreben sind.

1.1.2 Teilprojekt Fuss- und Veloverkehr

Mit dem vorliegenden Forschungsbericht im Rahmen des Teilprojektes Fuss- und Veloverkehr sollen Methoden entwickelt werden, um die Erschliessungsqualitäten der beiden Verkehrsmittel für Areale und Quartiere künftig einheitlich und abgestimmt auf diejenigen von MIV und ÖV zu bestimmen.

Für den Fuss- und Veloverkehr stellen sich dabei gegenüber den anderen Verkehrsmitteln spezifische Herausforderungen (vgl. SVI 2010/004): Unter den quantitativen Grössen sind Reisezeit bzw. Weglängen zwar ebenfalls relevant, daneben beeinflussen aber vor allem qualitative, oft subjektiv unterschiedlich bewertete Faktoren, ob ein bestimmtes Gebiet von Velofahrenden oder Zufussgehenden als gut erschlossen beurteilt wird. So kann zum Beispiel des subjektive Sicherheitsempfinden (Wie sicher fühle ich mich im öffentlichen Raum?) dazu führen, dass Menschen einen bestimmten Weg bzw. ein Gebiet zu Fuss meiden. Velofahrende werden beispielsweise ein Gebiet eher als erreichbar beurteilen, wenn die Zufahrten sicher, direkt und ohne grosse Steigungen befahren werden können. Diese qualitativen Aspekte müssen in einer methodisch belastbaren, aber praktisch gut anwendbaren Art einbezogen werden, damit Fuss- und Veloverkehr bei der Beurteilung der Erschliessungsqualität eines Gebietes gleichberechtigt und jeweils einzeln für sich einbezogen werden können.

Bis heute sind für den Fuss- und Veloverkehr auch international nur wenige breit anerkannte Definitionen zu den beschriebenen Netzwideständen oder zur Erschliessungsqualität erarbeitet worden. Erste punktuelle Hinweise dazu resultieren aus einem Forschungsauftrag zur systematischen Messung des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Fuss- und Veloverkehr (SVI 2010/004), zudem enthalten die Vollzugshilfen des ASTRA zum Langsamverkehr¹ oder die Netzplanungen inkl. Standards verschiedener Kantone Hinweise zu den relevanten Faktoren der Netzqualität. Darüber hinaus bestehen heute keine Erkenntnisse zu den relevanten Netzwideständen, weshalb diese Aspekte auch in Verkehrsmodellen nicht implementiert werden (wenn der Veloverkehr überhaupt modelliert wird).

Andererseits besteht hinsichtlich Datenlage die Herausforderung, dass bis heute in der Schweiz keine harmonisierten Daten zum Bestand der Fuss- und Veloinfrastruktur (z.B. Netze, Ausbaustandards, Veloparkierung) vorliegen (SVI 2004/090). Allerdings wird die Datenlage sukzessive besser.

1.2 Methodisches Konzept und Rahmenbedingungen

1.2.1 Forschungspaket

In VSS 2011/106 wurde ein zweistufiges Methodikkonzept mit quantitativen und qualitativen Kriterien erarbeitet, 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 (Frick und Foletti, 2023).

¹ z.B. Handbuch Veloverkehr in Kreuzungen (2022), Handbuch Schwachstellenanalyse und Massnahmenplanung Fussverkehr (2019), Handbuch Fusswegnetzplanung (2015), Handbuch Planung von Velorouten (2008), Handbuch Veloparkierung (2008)

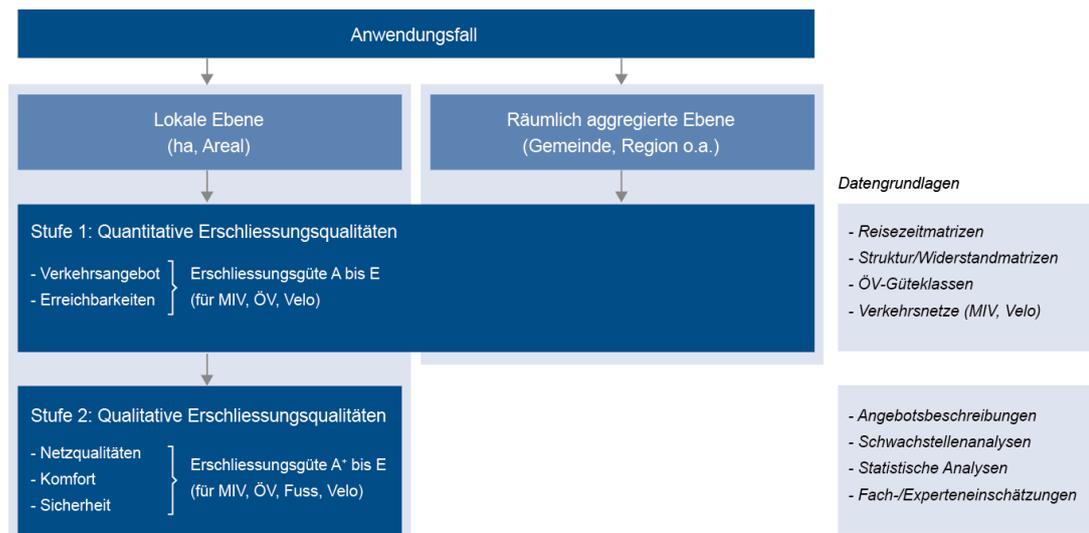


Abb. 4 Generelles Vorgehen zur Erhebung von gesamtverkehrlichen Erschliessungsqualitäten gemäss Grundlagenstudie (VSS 2011/106)

Zu Beginn des Forschungspakets wurden verschiedene Rahmenbedingungen durch das TP1 definiert (Frick und Foletti, 2023). Nachfolgend sind die für das Teilprojekt FVV besonders relevanten Aspekte aufgeführt.

Räumliche und zeitliche Systemgrenzen

- Die Erschliessungsqualitäten müssen in der ganzen Schweiz erhoben werden können (alle Raumtypen, inklusive grenznahe Standorte).
- Die Beschreibung der Kriterien erfolgt für den jeweils verfügbaren Zustand.
- Es ist transparent auszuweisen, welche Einschränkungen bei grenznahen Standorten zu beachten sind (v.a. aufgrund lückenhafter Datengrundlagen im grenznahen Ausland).

Auswahl Erschliessungskriterien

- Die Kriterienauswahl ist Gegenstand des Forschungspakets, d.h. die Auswahl aus der Grundlagenstudie (VSS 2011/106) soll nochmals kritisch hinterfragt werden. Es soll jedoch wenn möglich an den drei Kriteriengruppen festgehalten werden:
 - a) Angebotskriterien: Angebotsdichten (ÖV) sowie Netzdichten (MIV, Velo, Fuss).
 - b) Erreichbarkeitskriterien: Raumwiderstände bzw. Reisezeiten, gewichtet nach Strukturdaten (Bevölkerung/Arbeitsplätze)
 - c) Qualitative Erschliessungskriterien: mit speziellem Fokus auf Zuverlässigkeits- und Komfortaspekte
- Bei den quantitativen Erschliessungskriterien müssen die Datengrundlagen soweit möglich in schweizweit harmonisierter Form vorliegen. Dabei sind vor allem die Parameter und verwendeten Datengrundlagen zu prüfen und die inhaltliche Vergleichbarkeit (und Gleichwertigkeit) zum ÖV und MIV 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 (analog der heutigen ÖV-Güteklassen). Wo bei einzelnen Kriterien eine räumlich differenzierte Herleitung zwingend ist (vor allem bei einzelnen qualitativen Kriterien), ist dies im Wertgerüst zu berücksichtigen).

Datengrundlagen und -aufbereitung

- Die verwendeten Datengrundlagen müssen öffentlich zugänglich, periodisch nachgeführt und transparent dokumentiert sein.
- 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. Wo kantonale oder lokale Informationsgrundlagen notwendig sind, erfolgt die Aufbereitung später anwendungsspezifisch, dabei ist 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).

1.2.2 Teilprojekt Fuss- und Veloverkehr

Für den Fuss- und Veloverkehr waren ergänzend zu den obigen Ausführungen die folgenden methodischen Eckpunkte relevant:

- **Modellierung der Netzwidestände im Veloverkehr**
Eine zentrale Aufgabe der Arbeit ist es, aufbauend auf bekannten Ansätzen eine belastbare Methodik zu entwickeln, um die über die eigentliche Distanz hinausreichenden Widerstände bei der Befahrung einzelner Abschnitte zu modellieren. Damit soll die Lücke zu den entsprechenden Widerständen beim MIV (Reisezeit, Zuverlässigkeit, Parkierungskosten, etc.) und dem ÖV (Reisezeit, Taktintervall, Umsteigehäufigkeit, etc.) geschlossen werden. Dabei sollen die vorgeschlagenen Parameter anhand der vier Fallbeispiele soweit möglich validiert werden.
- **Attributierung von Velonetzen als Basis für quantitative Beurteilung**
Parallel zum vorangehenden Punkt ist zu untersuchen, auf welcher Datenbasis die Veloverkehrsnetze hinsichtlich der modellierten Widerstände attribuiert werden können. Dabei sind sowohl offizielle Datensätze (z.B. von Bund und Kantonen) als auch informelle (z.B. Open Street Map) einzubeziehen.
- **Überprüfung Verzicht auf quantitative Beurteilung Fussverkehr**
Gemäss der Grundlagenforschung (VSS 2011/106) soll auf quantitative Erschliessungsqualitäten für den Fussverkehr verzichtet werden. Diese Schlussfolgerung ist angesichts der Daten- und Forschungslage nachvollziehbar. Die Beschränkung auf qualitative Kriterien kann aber den Fussverkehr gegenüber den anderen Verkehrsmitteln auch marginalisieren oder zumindest die Wahrnehmung beeinträchtigen. Im Rahmen der vorliegenden Forschung wurde deshalb nochmals überprüft, ob der Entscheid angesichts der Datenlage richtig ist.
- **Praxistaugliche Methodik für eine einheitliche qualitative Beurteilung**
Für die Beurteilung von qualitativen Erschliessungskriterien im Fuss- und Veloverkehr sollen aufbauend auf der Grundlagenforschung nachvollziehbare Bewertungsraster definiert werden. Diese sollen die quantitative Erschliessungsqualität ergänzen, Redundanzen sollen vermieden werden. Die Methoden werden an den Fallbeispielen validiert und sollen so weit konkretisiert werden, dass verschiedene qualifizierte Fachpersonen bei einem einzelnen Areal vergleichbare Beurteilungen abgeben würden.
- **Aufwärtskompatibilität hinsichtlich Datenlage**
Zu relevanten Aspekten liegen heute noch keine flächendeckenden Daten vor. Gleich-

zeitig werden die Datensätze in diesem Bereich – auch für qualitative Aspekte – sukzessive erweitert². Die Kriterien sollen demnach so operationalisiert werden, dass sie für in Zukunft vorliegende bessere Datengrundlagen offen sind bzw. diese nutzen können. Das gilt ganz besonders auch für die qualitativen Kriterien. Zudem ist der zunehmenden Verbreitung von E-Bikes Rechnung zu tragen.

1.3 Vorgehen und Berichtsaufbau

Die Grobstruktur des Forschungsprojekts zeigt Abb. 5. 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.

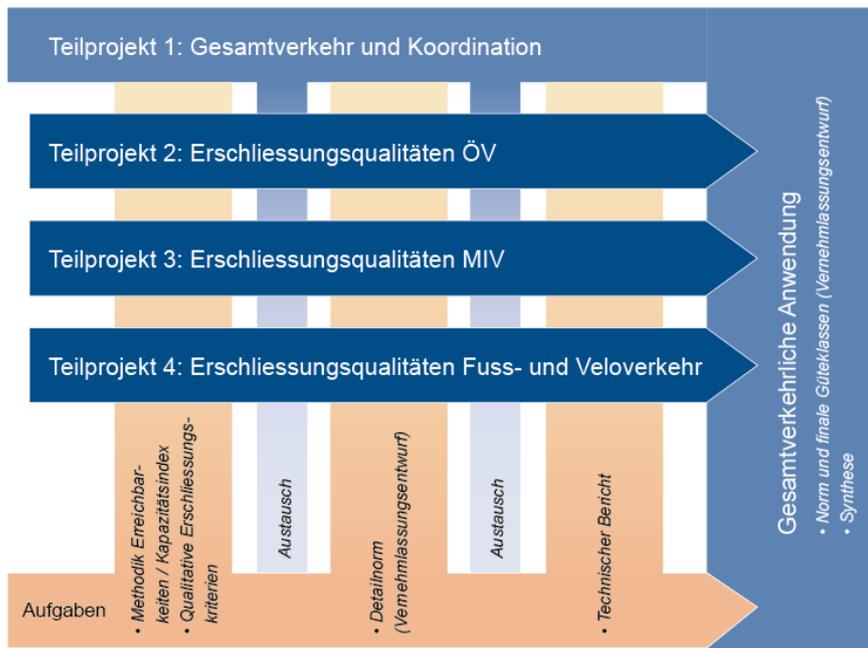


Abb. 5 Struktur Forschungspaket Gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten

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 (Frick und Foletti, 2023). 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 als solche (quantitativ und qualitativ) erfolgte durch die TP ÖV, MIV und 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.

² Zum Beispiel hat der Kanton Zürich als Pilot für das Limmattal eine Erhebung bzw. Befragung zur subjektiven Sicherheit durchgeführt und plant, solche Erhebungen in Zukunft umfassender und regelmässiger durchzuführen.

2 Literatur

Fuss- und Veloverkehr bilden einen wichtigen Pfeiler unserer Mobilität und tragen substantiell zu einer zukunftsgerichteten Mobilität bei. Die beiden Verkehrsarten zeichnen sich dabei durch eine hohe Flexibilität und Verfügbarkeit aus: Die Fortbewegung zu Fuss und mit dem (eigenen oder gemieteten) Velo oder E-Bike ist für die meisten Menschen jederzeit möglich und die Verkehrsteilnehmenden können (sofern ein engmaschiges und sicheres Netz vorhanden ist) ihre Routen ziemlich frei wählen. Diese hohen Freiheitsgrade stellen gleichzeitig eine Herausforderung für die Beurteilung der Erschliessungsqualität dar: Es gibt weniger präzise Messgrössen, die die Erschliessungsqualität bestimmen (wie z.B. Taktichten oder Fahrzeiten im öV oder Kapazitäten im MIV). Gleichzeitig gibt es eine grosse Zahl an Aspekten, die die subjektive Wahrnehmung von Raumwiderständen zu Fuss oder mit dem Velo stark beeinflussen, die sich aber nur bedingt objektivieren lassen und deren Bedeutung sich zwischen einzelnen Verkehrsteilnehmenden auch unterscheiden kann. Vereinfacht gesagt hängt die Erschliessungsqualität des Fuss- und Veloverkehrs primär davon ab, wie tauglich («ability») das umliegende Netz ist, damit ein bestimmtes Individuum das entsprechende Areal aus dem Umfeld erreichen kann. Dagegen spielen Kapazitäten kaum eine Rolle. Trotz dieser grundlegenden Unterschiede soll bei der Entwicklung der Methoden für den Fuss- und Veloverkehr eine Gleichwertigkeit zur Metrik des MIV und ÖV erreicht werden, um die Vergleichbarkeit der Erschliessungsqualität zu gewährleisten.

Ziel dieses Kapitels ist es, die relevante Literatur zu den einzelnen Elementen dieser Forschungsarbeit vorzustellen. Dabei soll den vorangehend genannten Besonderheiten des Fuss- und Veloverkehrs Rechnung getragen werden. Das bedeutet insbesondere, dass in der Literaturanalyse nach Erkenntnissen gesucht wird, wie die vielfältigen relevanten Aspekte quantifiziert oder zumindest einheitlich qualifiziert werden können. Danach richtet sich auch der Aufbau dieses Kapitels:

1. Definition walkability und bikeability
2. Relevante Variablen für walkability bzw. bikeability
3. Kostendistanzen
4. Zentralität (statt Kapazitätsindex)
5. Erreichbarkeit
6. Berechnungsperimeter
7. Unterscheidung nach Nutzer*innen-Gruppen
8. Qualitative Ansätze
9. Daten

2.1 Definition walkability und bikeability

Unter den Begriffen «walkability» und «bikeability» wird in der Fachliteratur im Allgemeinen die Fuss- bzw. Veloverkehrsfreundlichkeit des urbanen Raums verstanden (Reyer et al., 2014). Dieses Mass soll also aufzeigen, wie geeignet und sicher der Strassenraum für die Verkehrsteilnehmenden des jeweiligen Modus ist (Schmid-Querg et al., 2021). Dabei werden verschiedene Variablen gewichtet miteinander verrechnet, um die Freundlichkeit für den Fuss- und Veloverkehr zu beziffern. Zu diesen Variablen gehören meist Daten zur Strasseninfrastruktur, der Erschliessung gewisser Einrichtungen in einem Radius und die Umgebungsqualität (Schwarze, 2015).

Während die Idee der walkability in den letzten Jahren in diversen Studien beispielsweise betreffend Kriterienauswahl und Betrachtungsebene sehr unterschiedlich angewendet wurde, zeigt Kopal (2020) einen neuen Ansatz, wie zumindest eine Makro- und eine Mikrobetrachtung vereint werden könnte. Die Erfassung ist jedoch mit aufwändigen Audits verbunden, bei denen mehrere Personen mitwirken müssen. Die meisten, in Studien verwendeten Methoden basieren auf einem allgemeinen Konzept der Walkability und beinhalten nur wenige Neuerungen oder Ergänzungen. So existieren bisher verschiedene Indizes, von denen sich bisher aber noch keiner auf (inter)nationaler Ebene durchgesetzt hat (Kwauka,

2015). Zu den bekannteren dieser Indizes gehören beispielsweise «Walk Score» (Vale et al., 2016), «Walkability-Index» (Reyer et al., 2014) oder «Perpedes Index» (Kwauka, 2015).

Obwohl sowohl zur walkability als auch zur bikeability bereits seit einigen Jahren geforscht wird (Reyer et al., 2014), beruhen die bisherigen Forschungsergebnisse bis heute mehrheitlich auf Annahmen und stellen mangels Empirie somit primär theoretische Annäherungen dar. Diese Ansätze müssen noch verifiziert werden (Bolten and Caspi, 2021). Ein weiterer Kritikpunkt an diesen Indizes ist, dass ihre Anwendbarkeit bei lückenhafter Datenlage nicht gewährleistet werden kann (Reyer et al., 2014).

Die meisten Forschungsarbeiten zur Ermittlung der walkability und der bikeability stammen aus den USA und weisen Ähnlichkeiten auf in ihrer Methodik oder Variablenwahl. Für die Berechnung der Erschliessungsqualität in der Schweiz muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Forschungsergebnisse aus dem US-Amerikanischen Raum nur bedingt direkt auf den europäischen Raum übertragen werden können (Reyer et al., 2014): Europäische Städte weisen oft ein dichteres und komplexeres Strassennetz auf als amerikanische Städte. Ausserdem müssen auch verschiedene kulturelle Unterschiede wie Haustypologien, der öffentliche Raum als sozialer Ort (Sicherheit usw.) oder die Velo- und Autoverfügbarkeit berücksichtigt werden.

Insbesondere der Fussverkehr und die dafür relevanten Variablen fanden in der Forschung bisher noch zu wenig quantitative Beachtung oder der Fussverkehr wurde gar nicht als eigener Verkehrsmodus berücksichtigt (Kopal, 2020).

2.2 Relevante Variablen walkability/bikeability

In Anlehnung an den Grundlagenbericht zur Erschliessungsqualität (Frick et al., 2015) werden die relevanten Variablen sowohl für den Fuss- als auch den Veloverkehr in qualitative oder quantitative Variablen unterteilt. Quantitative Variablen beruhen auf grossflächig vorliegenden Datengrundlagen. Daten zu den nicht quantifizierbaren Qualitätsmerkmalen liegen nicht flächendeckend vor und ihre Operationalisierung ist relativ aufwändig. Daher sind qualitative Variablen für die Beurteilung auf lokaler Standortebene vorgesehen. Es ist allerdings sehr wohl möglich, einzelne Variablen zur Qualität auch quantitativ zu modellieren (z.B. der Umgebungsnutzen mittels Grünfläche in m²). Nachfolgend werden vorerst alle für die quantitativen Kriterien – d.h. für die walkability bzw. bikeability – denkbaren Variablen gemäss Literatur zusammengestellt. Teilweise werden einzelne Variablen auch als mögliche qualitative Kriterien in Betracht gezogen und erscheinen dort nochmals (vgl. Kapitel 2.8). Die aufgrund aller Erwägungen vorgenommene Zuteilung zu den quantitativen und qualitativen Methoden wird bei der Entwicklung der Methodik beschrieben (vgl. Kapitel 4 und 5)

2.2.1 Veloverkehr: Relevante Variablen

Die für die Ermittlung von quantitativen Erschliessungsqualitäten des Veloverkehrs relevanten Variablen bauen auf dem Grundlagenbericht des Forschungsprojekts VSS 2011/106 auf.

In nachfolgender Tabelle werden die in der Literaturanalyse identifizierten Grössen dargestellt. Neben der Relevanz wird dabei auch die heutige sowie die voraussichtliche künftige Datenverfügbarkeit in der Schweiz (flächendeckend und einfach zugänglich) eingeschätzt. Dies ist deshalb wichtig, weil Variablen für die quantitativen Methoden schweizweit zur Verfügung stehen müssen, während qualitative Datensätze eher punktuell und arealspezifisch berücksichtigt werden können, was auch eine Nacherhebung im Rahmen der Anwendung der Methode erlaubt.

Tab. 1 Bikeability: Mögliche Variablen für die Erschliessungsqualität des Veloverkehrs sowie Einschätzung zu deren Relevanz und Verfügbarkeit im Schweizer Kontext

Parameter	Quelle	Bemerkung	Einschätzung Relevanz	Datenverfügbarkeit heute; Erwartete Entwicklung d. Datenverfügbarkeit
Veloinfrastruktur	(Gehring, 2017) (Grigore, 2018) (Jonietz and Timpf, 2012)	Primär Strecken, sekundär Knoten	hoch	Lückenhaft – gut; Gut
	(Grigore, 2018) (McNeil, 2011)	Mindestbreiten gemäss VSS-Norm, diverse kantonale Standards. Aktuelle Planungsstandards und markierte Realität stimmen oft nicht überein, plötzliche Verengungen	mittel – hoch	Kaum vorhanden; Lückenhaft
	(Frick et al., 2015) (McNeil, 2011)	Möglicherweise Hinweise aus Erhaltungsmanagement	mittel	Nicht vorhanden; Lückenhaft
	(Gehring, 2017) (Jonietz and Timpf, 2012)		mittel	Kaum vorhanden; Lückenhaft – gut
	(Frick et al., 2015)	Velo kann in der Regel auch ohne Abstellplätze abgestellt werden	mittel	Lückenhaft; Lückenhaft – gut
Strassenlayout	(Gehring, 2017) (McNeil, 2011)	Neben der reinen Markierung ist auch die Signalisation entscheidend (z. B. indirektes Linksabbiegen an Kreuzungen), die jedoch nicht aus einem Luftbild sichtbar ist	hoch	Kaum vorhanden; Lückenhaft
	(Grigore, 2018) (McNeil, 2011)	Kann teilweise durch Infos zum Netz abgeleitet werden ohne direkt verfügbare Daten	mittel	Lückenhaft; Lückenhaft – gut
	(Frick et al., 2015)	Kreisel können Sicherheit für Velo reduzieren (insbesondere bei ungünstiger Geometrie)	hoch	Nicht vorhanden; Lückenhaft
	(Frick et al., 2015)	Intuitive Orientierung der Veloverbindungen, subsidiär geeignete Signalisation	tief	Lückenhaft; Lückenhaft
	(Gehring, 2017) (Grigore, 2018) (McNeil, 2011)	DTV < 3'000 braucht keine Trennung von MIV (ASTRA 2008); Exponentielle Kostenfunktion mit AADT (Grigore, 2018)	hoch	Gut; Gut
Verkehr	(Frick et al., 2015) (Grigore, 2018) (McNeil, 2011)	Hohe Geschwindigkeiten negativ, Verkehrsberuhigung mit positiven Effekten auf Velo Bei Geschwindigkeiten unter 30 km/h braucht es keine Trennung von MIV (ASTRA 2008)	mittel – hoch	Gut; Gut
	(Grigore, 2018) (McNeil, 2011)	Speziell relevant für Linksabbiegebeziehungen (Grigore 2018)	mittel	Lückenhaft; Gut
	(Frick et al., 2015) (Gehring, 2017) (Jonietz and Timpf, 2012)	Für Velos erlaubte Infrastruktur und deren Topologie	hoch	Lückenhaft – gut; Gut

			mittel	Lückenhaft; Lückenhaft – gut
Velonetzlücken	(Frick et al., 2015)	Bestehende Schwachstellenanalysen in vielen Kantonen	-	-
Minimierung der zu überbrückenden Disparität	(Jonietz and Timpf, 2012)	Sehr ähnlich zu hoher Konnektivität / Netzdichte	-	-
Topographie	(Gehring, 2017) (Grigore, 2018) (Jonietz and Timpf, 2012)(Hermanns, 2019)	Positives Gefälle steigert Kosten. Bei Grigore (2018) existieren auch negative Kosten (leicht negatives Gefälle). In Europa setzen einige Leitfäden eine Grenze bei 6%, jedoch ist die Schwelle oft abhängig von der Länge des steilen Abschnitts.	hoch	Gut; Gut
	(Frick et al., 2015) (Gehring, 2017) (Grigore, 2018) (Jonietz and Timpf, 2012)	Kühlender Effekt. Wohlbefinden. Wichtigkeit je nach Saison.	mittel – hoch	Gut; Gut
Umgebung	(Jonietz and Timpf, 2012)	Dichte Siedlungsstrukturen	tief	Gut; Gut
	(Jonietz and Timpf, 2012)	Gemischte Landnutzung	tief – mittel	Gut; Gut
Sicherheit	(Frick et al., 2015)	Subjektives Sicherheitsempfinden	hoch	Nicht vorhanden; Nicht vorhanden
	(Grigore et al., 2018)	Konkrete Unfallrisiken	mittel – hoch	Lückenhaft; Lückenhaft

2.2.2 Fussverkehr: Relevante Variablen

Obwohl die meisten bekannten Studien grundsätzlich denselben Ansatz der walkability verfolgen, verwenden sie unterschiedliche Anzahlen und Arten von Variablen (Asadi-Shekari et al., 2014). Gibt es bei der bikeability keine etablierte Methode, so ist dies bei der walkability noch viel weniger der Fall.

Grundsätzlich sind die Rahmenbedingungen ähnlich zum Veloverkehr: Die Fussverkehrstauglichkeit lässt sich rein qualitativ oder quantitativ bestimmen. Bisher ist kein vollständig quantitativer Ansatz bekannt (Kopal, 2020). Insbesondere die subjektive Wahrnehmung des Raumes im Fussverkehr ist noch zu wenig quantitativ beschrieben (Reyer et al., 2014). Eine weitere generelle Schwierigkeit ist die Wahl der adäquaten Ebene – sowohl eine grossräumige wie eine kleinräumige Betrachtung haben ihre Vorteile (Kopal, 2020), stehen aber beide im Konflikt mit der dafür notwendigen Datenverfügbarkeit. Häufig müssen die Attribute deshalb durch Begehung der konkreten Strecken ermittelt werden (Erath et al., 2016)

Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die in der Fachliteratur aufgeführten relevanten Variablen für die Beurteilung der Erschliessungsqualität des Fussverkehrs. Neben der Relevanz wird dabei auch die heutige sowie die voraussichtliche künftige Datenverfügbarkeit in der Schweiz (flächendeckend und einfach zugänglich) eingeschätzt.

Tab. 2 Walkability: Mögliche Variablen für die Erschliessungsqualität des Fussverkehrs sowie Einschätzung zu deren Relevanz und Verfügbarkeit im Schweizer Kontext

Variable	Literatur	Information	Einschätzung Relevanz	Datenverfügbarkeit heute; erwartete Entwicklung
Gehgeschwindigkeit	(Schwarze, 2015)	Gehgeschwindigkeit 14-65 Jahre: 5.4 km/h; >65 4.5 km/h	Information	Information
Querungszeiten / Wartezeiten Kreuzungen	(Schwarze, 2015)		mittel – hoch	Nicht verfügbar; Nicht verfügbar - lückenhaft
Strassenüberquerung	(Millington et al., 2009) (Erath et al., 2016)	Angebot zur sicheren Strassenüberquerung (Verfügbarkeit, geeignete Positionierung)	hoch	Lückenhaft; Lückenhaft – gut
Strassenmobilität	(Asadi-Shekari et al., 2014) (Tran et al., 2017)	Sitzmöglichkeiten sind besonders für Personen mit eingeschränkter Mobilität relevant	tief	Nicht verfügbar; Lückenhaft
Wegtyp	(Millington et al., 2009) (Schwarze, 2015)	Kategorie der Strecke gemäss Hierarchie (z.B. OpenStreetMap Attribut «highway»), sagt nur sehr grob etwas zur Eignung aus.	mittel	Gut; Gut
Wegbreite	(Millington et al., 2009) (Erath et al., 2016)		mittel – hoch	Kaum vorhanden; Teilweise verfügbar
Belag und Zustand	(Asadi-Shekari et al., 2014) (Millington et al., 2009) (Schwarze, 2015) (Erath et al., 2016)	Informationen allenfalls über Erhaltungsmanagement verfügbar	mittel	Nicht verfügbar; Lückenhaft
Räumliche Trennung Gehweg	(Asadi-Shekari et al., 2014) (Tran et al., 2017) (Erath et al., 2016)	Räumliche Trennung: Grünbereich, Pflanztröge, Pfosten. Nicht als räumliche Trennung gelten in der Regel; niveaugleich, nur Trottoirkante.	mittel	Lückenhaft; Lückenhaft – gut
Fussverkehrsaufkommen / Kapazität	(Asadi-Shekari et al., 2014) (Erath et al., 2016)	Höchstens punktuell relevant, z.B. für Bahnhöfe oder Einkaufsstrassen, aber nicht bei Strassen	tief	Nicht verfügbar; Lückenhaft
Hindernisse im Gehbereich	(Millington et al., 2009) (Schwarze, 2015) (Erath et al., 2016)		mittel	Nicht verfügbar; Lückenhaft
Barrierefreiheit	(Tran et al., 2017) (Erath et al., 2016)	Mit Umsetzung BehiG sinkt Relevanz; für Personen mit eingeschränkter Mobilität gesondert zu betrachten	mittel	Nicht verfügbar; Lückenhaft

Fussweginfrastruktur

Strassenart	(Tran et al., 2017)	Sagt nur sehr grob etwas zur Eignung aus, andere Variablen sind präziser	tief	Gut; Gut
Geschwindigkeit MIV	(Asadi-Shekari et al., 2014) (Tran et al., 2017)	ggf. Überschneidung mit Parametern wie Emissionen und Sicherheitsempfinden	mittel	Gut; Gut
Anzahl MIV-Fahrs Spuren / Spurbild	(Asadi-Shekari et al., 2014) (Kwauka, 2015) (Erath et al., 2016)	Auswirkungen auf Querungszeiten, Querungsmöglichkeiten	mittel	Lückenhaft; Gut
Kapazität	(Schwarze, 2015)	Sagt nur sehr grob etwas zur Eignung aus, andere Variablen sind präziser	tief	Lückenhaft; Gut
Verkehrsstärke	(Schwarze, 2015)	Als Ausgangsvariable für diverse andere	hoch	Gut; Gut
Anteil verkehrsberuhigter Strassen	(Asadi-Shekari et al., 2014) (Millington et al., 2009)		hoch	Gut; Gut
Anknüpfungen / Konnektivität	(Millington et al., 2009)		hoch	Lückenhaft – gut; Gut
Kantenlänge	(Schwarze, 2015)		hoch	Gut; Gut
Direktheit	(Millington et al., 2009) (Erath et al., 2016)	<i>Diese Variablen betreffen alle die Durchgängigkeit des Netzes</i>	hoch	Gut; Gut
Kreuzungsdichte	(Millington et al., 2009) (Tran et al., 2017)		hoch	Gut; Gut
Zusammenhängende FV-Infrastruktur	(Asadi-Shekari et al., 2014) (Erath et al., 2016)		hoch	Lückenhaft – gut; Gut
Topographie	(Asadi-Shekari et al., 2014) (Millington et al., 2009) (Schwarze, 2015)	Neben der eigentlichen Steigung ist vor allem auch die Form der Überwindung (Rampe vs. Treppe) relevant; somit Auswirkungen auf Variable Hindernisfreiheit	hoch	Gut; Gut
Umgebung	(Asadi-Shekari et al., 2014) (Millington et al., 2009) (Schwarze, 2015) (Erath et al., 2016)	Stark kontextabhängiger Wert – muss über verschiedene Parameter hergeleitet werden	mittel	Nicht verfügbar; Nicht verfügbar – lückenhaft
Bodenbedeckung und Begrünung	(Millington et al., 2009) (Erath et al., 2016)	Analog Velo: Kühlender Effekt, Wohlbefinden. Wichtigkeit saisonal schwankend.	hoch	Gut; Gut
Zugang zu Möglichkeiten des alltäglichen Lebens	(Millington et al., 2009)	Einkaufsmöglichkeiten, Erholungsmöglichkeiten, Parks, Haltestellen	mittel	Lückenhaft; Gut

Flächennutzungsmix	(Tran et al., 2017) (Erath et al., 2016)	Diversität der Flächennutzungen. Gibt nur groben Hinweis, entscheidend ist Zugänglichkeit	tief - mittel	Lückenhaft; Gut
	(Tran et al., 2017)	Dichte alleine bewirkt noch keine Vielfalt	tief	Lückenhaft; Gut
	(Millington et al., 2009) (Erath et al., 2016)	Korreliert stark mit Verkehrsstärke	mittel	Lückenhaft; Gut
	(Tran et al., 2017)	Gibt nur groben Hinweis, entscheidend ist Zugänglichkeit	tief	Nicht verfügbar; Lückenhaft
Unfallgeschehen	(Kwauka, 2015) (Millington et al., 2009)	Verbundvariable, u.a. mit Verkehrsstärke, Anzahl Spuren, Querungshilfen, Anzahl Unfälle usw.; hohe Dunkelziffer als Herausforderung	mittel – hoch	Lückenhaft; Lückenhaft
	(Asadi-Shekari et al., 2014) (Millington et al., 2009) (Schwarze, 2015)	Beleuchtung, Überwachung, Heckenhöhe und Sicherheitsgefühl	mittel – hoch	Nicht verfügbar; Nicht verfügbar
	(Millington et al., 2009) (Erath et al., 2016)	Ausleuchtung, soziale Kontrolle etc.	mittel – hoch	Nicht verfügbar; Lückenhaft
Subjektives Sicherheitsempfinden	(Asadi-Shekari et al., 2014) (Kwauka, 2015)	Überschneidet sich ggf. mit anderen Variablen, für angebotsseitige Grössen wie Erreichbarkeit / Erschliessungsqualität wenig aussagekräftig	tief	Gut; Gut

Sicherheit

Var

2.3 Kostendistanzen

Wie schon im Grundlagenbericht des Forschungsprojekts VSS 2011/106 (Frick et al., 2015) vorgeschlagen, wird für die Ermittlung quantitativer Erschliessungsqualitäten ein «Kostendistanz-Ansatz» verwendet. Das bedeutet, dass den jeweiligen Streckensegmenten im Fuss- und Veloverkehr gemäss ihren Qualitätseigenschaften nichtmonetäre Kosten- bzw. Widerstandswerte zugewiesen werden, die das bestehende Netz repräsentieren. Dabei wird davon ausgegangen, dass für die Verkehrsteilnehmenden im FVV anstrengende, unangenehme oder unsichere Strasseneigenschaften zu hohen Widerständen führen, während angenehme Eigenschaften zu einer Verringerung dieser Widerstände führen. Häberli et al. (2002) haben diese Annahme mithilfe einer mündlichen Umfrage in den Gemeinden Burgdorf und Kirchberg sowie mithilfe einer Analyse bestehender Literatur zur Thematik bestätigt. Gemäss dieser Analyse erhöht sich die Akzeptanz für längere Wege oder Velofahrten in Abhängigkeit von räumlichen Qualitäten, aber auch von Massnahmen im Bereich Marketing/Kommunikation und Fragen zum Planungs- und Realisierungsprozess. Für die vorliegende Arbeit relevant sind die physischen Aspekte (Infrastruktur, Umfeld). Dabei beeinflusst die Velo- und Fussverkehrsfreundlichkeit des Strassenraums die von Personen wahrgenommene zurückgelegte Distanz (vgl. Abb.6).

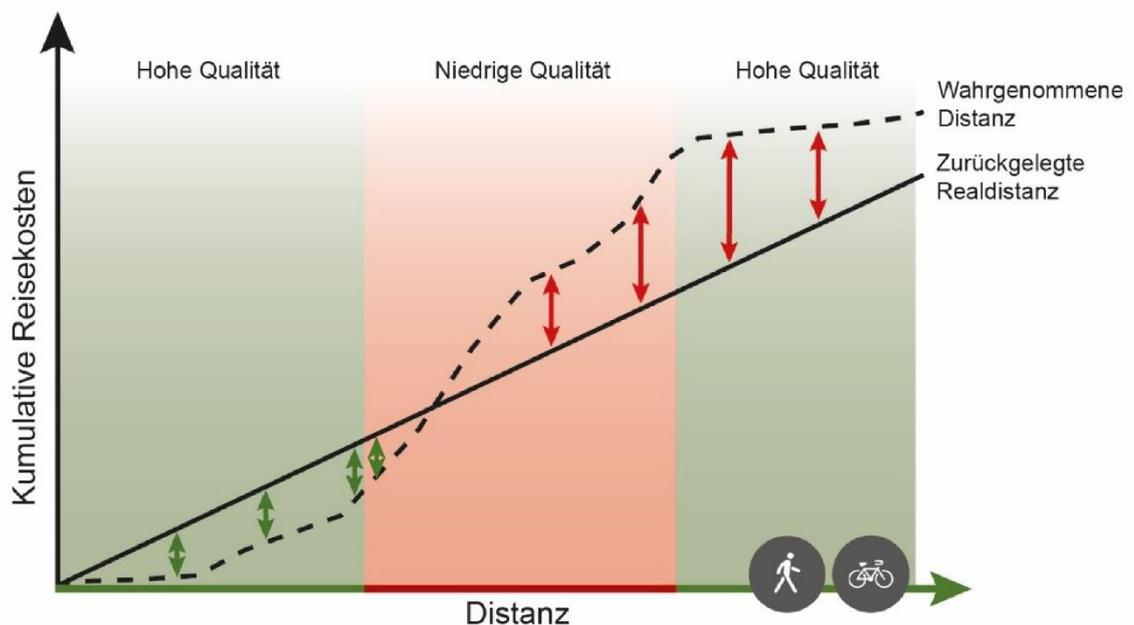


Abb.6 Verhältnis der wahrgenommenen Distanz zur Realdistanz (eigene Abbildung nach Grigore, 2018); grüne Pfeile: Verringerung der wahrgenommenen Distanz dank angenehmer Streckeneigenschaften; rote Pfeile: Verlängerung der wahrgenommenen Distanz wegen unangenehmen Streckeneigenschaften

Diese Kostendistanzen werden in verschiedenen Studien unterschiedlich berechnet, beispielsweise durch Addition oder Multiplikation verschiedener einzelner Kostenfaktoren. Einen genaueren Überblick über die verschiedenen Ansätze im Fuss- und Veloverkehr geben die folgenden zwei Unterkapitel.

2.3.1 Veloverkehr: Ermittlung der Gewichtungparameter

Im Veloverkehr existiert bisher noch keine universal anerkannte, einheitliche Gewichtung der Variablen für die Berechnung der Bikeability über Kostendistanzen. In Studien werden sowohl additive als auch multiplikative Indexierungen angewandt. Sehr wenige Studien validieren die jeweiligen Modelle durch GPS-Routenwahl-Daten oder Umfragen und müssen als rein theoretische Modelle entsprechend vorsichtig behandelt werden.

Ansatz mit additivem Kostenmultiplikator gemäss Grigore (2018)

Die Arbeit von Grigore (2018) ist die einzige bekannte Arbeit zu Kostendistanzen aus der Schweiz, bei welcher die theoretischen Überlegungen an konkreten Fallbeispielen validiert wurden. In dieser Arbeit wurde für den Kostenmultiplikator M_s eine additive Formulierung verwendet:

$$M_s = C_{Gr} + C_{Inf} + C_{Hz} - B_{Env}$$

Mit M_s = Kostenmultiplikator für ein Strassensegment, C_{Gr} = Gradientenkosten, C_{Inf} = Infrastrukturkosten, C_{Hz} = Unfallrisikokosten, B_{Env} = Umgebungsnutzen

Die additive Form trägt dem Umstand Rechnung, dass sich die Eigenschaften modulartig zusammensetzen. Die verschiedenen Kosten (oder Nutzen) basieren auf der Annahme, dass Velofahrende Umwege in Kauf nehmen, um gewisse Streckenabschnitte zu umfahren oder zu nutzen. So verlängern starke Steigungen oder unsichere Streckenabschnitte die in Kapitel 2.3 eingeführte wahrgenommene Distanz, während angenehme Strecken diese verkürzen. Der Faktor für die Infrastrukturkosten geht vom Basiswert 1 aus. Bei den übrigen Elementen beträgt der Basiswert 0. Ein Multiplikator von 1 entspricht demnach einer ebenen Strecke mit guter Infrastruktur (Begegnungszone, Velostreifen > 1.80 m breit) und ohne Umgebungsnutzen oder explizite Unfallrisiken. Die euklidische Distanz entspricht in diesem Fall genau der wahrgenommenen Distanz. Die Werte der Gradientenkosten, Infrastrukturkosten, Unfallkosten und des Umgebungsnutzens wurden in dieser Studie an der Stadt Basel kalibriert und werden nicht zusätzlich unterschiedlich gewichtet. Nachfolgend werden die in der Arbeit verwendeten Kostenelemente kurz beschrieben.

Steigungen und Gefälle haben einen grossen Einfluss auf die Geschwindigkeit, den Komfort und die Sicherheit von Velofahrenden (u.a. Broach et al., 2012). So führen Steigungen zu höheren **Gradientenkosten**, wobei die Kosten überproportional zur Steigung ansteigen, da dies eine grössere Anstrengung für die Velofahrenden bedeutet. Leichtes Gefälle führt im Veloverkehr sogar zu leicht negativen Gradientenkosten, da die Fortbewegung weniger körperliche Anstrengung bedingt. Allerdings führen starke Gefälle wiederum zu positiven Gradientenkosten, da sich das grosse Gefälle negativ auf die Verkehrssicherheit der Velofahrenden auswirkt. Diese Kostenfunktion der Gradientenkosten ist plausibel erklärt, wurde bis heute allerdings nicht weiter erforscht und damit auch nicht validiert.

Die **Infrastrukturkosten** setzen sich aus Autoverkehrsaufkommen, Veloweg- und Radstreifenbreiten, Knotengestaltung wie auch der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zusammen. Basierend auf diesen Charaktereigenschaften werden Strassenabschnitten durch entweder geschwindigkeitsabhängige Kostenfunktionen oder konstante Werte Infrastrukturkosten zugewiesen.

Die **Unfallrisikokosten** lassen sich primär über das Vorhandensein von Tramschienen oder Parkplätze entlang der Strasse in Kombination mit weiteren Umständen ableiten. Das Vorhandensein dieser Elemente auf der Strasse in Kombination mit starkem Gefälle oder hohem Verkehrsaufkommen erhöht die erwarteten Unfallkosten für die Velofahrenden. Für die unterschiedlichen Kombinationen werden jeweils konstante Unfallrisikokostenwerte angenommen.

Da angenehme Umgebungen die wahrgenommene zurückgelegte Distanz von Velofahrenden verkürzen können, wird ein **Umgebungsnutzen** berechnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass Velofahrende Wasser- oder Vegetationsflächen im Umfeld als angenehm empfinden und dass dadurch die wahrgenommene Distanz verkürzt wird.

Ansatz mit multiplikativem Kostenmultiplikator gemäss VSS 2011/106

Im Grundlagenbericht des Forschungsprojekts VSS 2011/106 (Frick et al., 2015) wird der Kostenmultiplikator wie folgt berechnet:

$$K = \text{Grundkosten} * f_{\text{Objektart}} * f_{\text{Belagsart}} * f_{\text{Stufe}} * f_{\text{Kunstabauten}}$$

Der Kostenmultiplikator setzt sich also aus dem Produkt der Grundkosten und mehreren Variablen zu Charaktereigenschaften der Strasseninfrastruktur zusammen. Er wird als Zeitbedarf für die Überwindung einer Distanz (s/100m) für die einzelnen Streckenabschnitte berechnet. Die Grundkosten leiten sich dabei von der Standardgeschwindigkeit für das Velo ab und betragen 20s/100m. Nachfolgend werden die in der Arbeit verwendeten Kostenelemente kurz beschrieben.

- Für Streckenabschnitte wird die **Objektart** nach Streckentyp und Strassenbreite unterschieden. Den jeweiligen Objektarten wird jeweils ein konstanter Kostenfaktor zugewiesen.
- Bei der **Belagsart** wird jeweils nur für Naturbelage ein Faktor von > 1 definiert.
- Für zu überwindende Höhendifferenzen werden Gradienten in acht **Stufen** unterteilt. Diesen wird jeweils pro Stufe ein konstanter Kostenfaktor zugeteilt. Für negative und positive Stufenwerte werden jeweils symmetrische Faktoren angewandt.
- Für **Kunstabauten** werden jeweils nur Treppen berücksichtigt, die für Velofahrende ein sehr unangenehmes Hindernis darstellen.

Gegenüberstellung der beiden Ansätze

Der Kostenmultiplikator von Grigore (2018) deckt praktisch alle Variablen ab, die gemäss Literaturanalyse relevant sind und für welche gleichzeitig die Datenlage über die gesamte Schweiz genügend verlässlich vorliegen (vgl. Kapitel 2.2.1). Einzig die Konnektivität ist nicht als Element enthalten, allerdings lässt sich dieser Aspekt auch besser über die konkreten Erschliessungsgütemasse abdecken (vgl. Kapitel 0). Der Ansatz aus VSS 2011/106 deckt ebenfalls relevante Aspekte ab, allerdings fehlt der Umgebungsnutzen, zudem ist mit der Belagsart ein wenig relevantes Element enthalten.

Für die Berechnung der Erschliessungsqualität ist aber nicht nur die Wahl der relevanten Variablen zentral, sondern auch deren relative Gewichtung. So scheint eine direkte Übernahme von Gewichtungsfaktoren aus beliebigen Fallbeispielen nicht zielführend, weil sie nicht aufeinander abgestimmt und zudem aus dem Kontext gerissen sind. Übernommene Gewichtungsparameter müssen plausibilisiert und validiert werden. Im Fall des beschriebenen Ansatzes der Kostendistanzen von Grigore (2018), geprüft an der Stadt Basel, ist dies der Fall. Die additive Form dieses Ansatzes passt zudem gut zur Funktionsweise im Fuss- und Veloverkehr, bei dem sich die Eigenschaften modulartig ergänzen. Deshalb wird in der vorliegenden Arbeit basierend auf diesem Ansatz gearbeitet.

2.3.2 Fussverkehr: Ermittlung der Gewichtungparameter

Die Gewichtung der für die Kostendistanzen relevanten Parameter im Fussverkehr ist bisher praktisch nicht erforscht. In verschiedenen Studien wie beispielsweise (Reyer et al., 2014), (Millington et al., 2009) oder (Vale et al., 2016) werden die unterschiedlichen, zur Berechnung der Walkability relevanten Parameter des Fussverkehrs arbiträr miteinander verrechnet. Aufgrund der ungenügenden Datenlage konnten die berechneten Werte jeweils nicht validiert werden. Dieser Befund dürfte auch die Schweiz gelten, wie die Analyse der Datenverfügbarkeit für die relevanten Variablen gemäss Kapitel 2.2.2 zeigt.

Der Grundlagenbericht des Forschungsprojekts VSS 2011/106 (Frick et al., 2015) enthält die einzige bekannte Methodik zur Ermittlung der Kostendistanzen für den Fussverkehr. Dabei wurde analog zum Veloverkehr ein Multiplikator entwickelt, um die Gesamtkosten zu berechnen:

$$K = \text{Grundkosten} * f_{\text{Objektart}} * f_{\text{Belagsart}} * f_{\text{Stufe}} * f_{\text{Kunstabauten}}$$

Der Kostenmultiplikator setzt sich wie beim Veloverkehr aus dem Produkt der Grundkosten und mehreren Variablen zu Charaktereigenschaften der Strasseninfrastruktur zusammen. Er wird ebenfalls als Zeitbedarf für die Überwindung einer Distanz in s/100m für die Streckenabschnitte berechnet. Die Grundkosten leiten sich dabei von der Standardgeschwindigkeit für den Fussverkehr ab und betragen 80s/100m. Nachfolgend werden die einzelnen Kostenelemente kurz beschrieben.

- Für Streckenabschnitte wird die **Objektart** nach Streckentyp und Strassenbreite unterschieden. Den jeweiligen Objektarten wird jeweils ein konstanter Kostenfaktor zugewiesen.
- Bei der **Belagsart** wird im Fussverkehr nicht zwischen verschiedenen Typen unterschieden und für alle Arten jeweils ein Faktor von 1 angenommen.
- Für zu überwindende Höhendifferenzen werden Gradienten in acht **Stufen** unterteilt. Diesen wird jeweils pro Stufe ein konstanter Kostenfaktor zugeteilt. Für negative und positive Stufenwerte werden jeweils symmetrische Faktoren angewandt. Grosse Höhenunterschiede führen jeweils zu hohen Faktoren im Fussverkehr.
- Für **Kunstabauten** werden jeweils nur Treppen berücksichtigt. Da diese Überwindung der Höhendifferenz für den Fussverkehr bereits im Parameter «Stufe» berücksichtigt wird, beträgt der Faktor für Zufussgehenden hier 1.

Beurteilung des vorhandenen Ansatzes gemäss VSS 2011/109

Der Kostenmultiplikator gemäss VSS 2011/109 enthält mehrere relevante Kostenelemente gemäss Kapitel 2.2.2. Allerdings wurden die einzelnen Variablen im Rahmen dieser Arbeit nicht an einer ausreichend grossen Stichprobe überprüft und sind deshalb nicht validiert. Die Zusammenstellung der Datenverfügbarkeit gemäss Kapitel 2.2.2 zeigt zudem, dass heute für viele relevante Aspekte keine ausreichende Datenbasis vorhanden ist, welche eine Validierung dieser Kostenelemente überhaupt erlauben würde.

Aufgrund der durchgeführten Recherche existiert demnach in der Fachliteratur **bisher keine universal anerkannte Herleitung** eines Kostenmultiplikators bzw. einzelner Variablenwerte für die Erschliessungsqualität im Fussverkehr. Die vorliegende Arbeit verzichtet folglich auf Kostendistanzen im Fussverkehr. Dazu muss zunächst mehr Grundlagenforschung unternommen werden.

2.4 Zentralität (statt Kapazitätsindex)

Gemäss Grundlagenbericht soll als zweites quantitatives Mass neben der Erreichbarkeit für alle Verkehrsmittel ein Kapazitätsindex hergeleitet werden. Darunter werden neben der eigentlichen Kapazität (Leistungsfähigkeit) auch Dichtemasse wie im MIV die Netzdichte oder im ÖV die Angebotsdichte verstanden. Beide Angaben sind für den Fuss- und Veloverkehr wenig relevant bzw. nicht geeignet.

In der Erschliessungsqualität des Fuss- und Veloverkehrs spielen dagegen die Durchgängigkeit und Direktheit eine zentrale Rolle, wie auch Kapitel 2.2 zeigt. Infrastrukturangebote für den Fuss- und Veloverkehr büssen demnach entscheidend an Qualität ein, wenn sie Lücken aufweisen oder so schlecht liegen, dass sie nicht benutzt werden.

Die dem FVV so inhärente Eigenschaft der Direktheit bzw. Umwegempfindlichkeit kann am besten über ein Zentralitätsmass abgebildet werden. Die Idee der Zentralität basiert auf der Berechnung der kürzesten Wege zwischen verschiedenen Gebieten und einer räumlichen Analyse, welches Muster der kürzesten Wege sich im betrachteten Netz zeigt. Damit kann bestimmt werden, welche Zentralität ein einzelner Knoten in einem ganzen Netz aufweist. Das Netz wird dazu in eine Abfolge von Kanten (Strecken) und Knoten unterteilt. Ein Knoten liegt überall dort, wo sich entweder ein Attribut der Strecke ändert oder sich die Strecke verzweigt oder endet.

Eine anerkannte Form unter verschiedenen möglichen Zentralitätsmassen ist die *betweenness centrality* (Brandes, 2008). In einem ersten Schritt werden dabei die kürzesten Wege von jedem Knoten zu jedem anderen Knoten berechnet. In einem zweiten Schritt wird pro Knoten untersucht, wie viele kürzeste Wege über ihn führen. Je höher diese Zahl ausfällt, umso zentraler liegt der Knoten im Netz. Ein Knoten mit einem hohen Wert liegt gut ins Netz eingebettet und bietet dem FVV gute/direkte/schnelle Verbindungen. Die folgende *Abb. 7* zeigt dieses Prinzip für ein einfaches Netz.

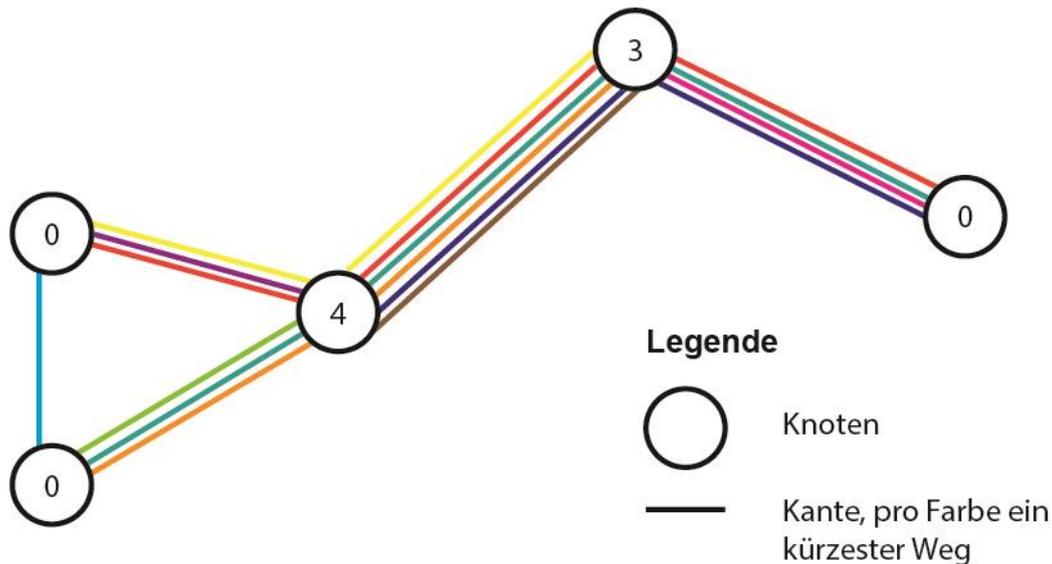


Abb. 7 Zentralitätsprinzip: Die Zahlen weisen auf die Anzahl der Knoten durchlaufende kürzeste Wege hin. Je höher die Zahl, desto höher die Zentralität.

Die so ermittelten Werte müssen eingeordnet werden. Bolten und Caspi (2021) wenden das Konzept Zentralität im Kontext des Fuss- und Veloverkehrs an und verwenden dabei folgenden Ansatz: Sie berechnen zunächst für jedes Netzelement den Idealzustand und betrachten anschliessend die Abweichung, die die berechnete Zentralität ausweist. Mögliche Idealzustände könnten sein: Das MIV-Netz unter der Annahme, der FVV könnte es wie der MIV brauchen. Weiter ist auch der Durchschnitt der Zentralität aller anderen Knoten im Betrachtungsperimeter denkbar oder der Durchschnitt der Gemeinde oder gar der Schweizer Durchschnitt. Allerdings wäre dazu ein vollständig attribuiertes Netz des in Betracht gezogenen Perimeters nötig.

2.5 Erreichbarkeitsmasse

Das Konzept der Erreichbarkeit geht zurück auf Hansen's Gravitationsmodell aus dem Jahr 1959. Seither ist eine Vielzahl an weiteren Formulierungen dieses Modellansatzes dazugekommen. Der Begriff Erreichbarkeit kann auch durch Lagegunst ersetzt werden und gibt an, wie gut ein Ort bezüglich erreichbarer Möglichkeiten im Raum liegt. Unter Möglichkeiten ist eine zählbare Einheit zu verstehen, zum Beispiel Anzahl Personen, Arbeitsplätze oder Restaurants. Unabhängig der konkreten Formulierung ist die Grundidee jeweils identisch. Der Erreichbarkeitswert A wird für einen Punkt i im Raum berechnet. Dabei werden alle Möglichkeiten O im Raum $j = 1 \dots n$ summiert, wobei sie mit dem erforderlichen Aufwand (Raumwiderstand, c_{ij}) gewichtet werden, sie vom Punkt i aus zu erreichen. Gut erreichbare Möglichkeiten zählen mehr, schlecht erreichbare – also nur mit hohem Aufwand zu erreichende – Möglichkeiten zählen weniger. Schliesslich wird mit $e^{-\beta}$ gewichtet, wie diese so berechneten Summen aus Sicht der Gesellschaft einzuschätzen sind. Der Faktor β widerspiegelt dabei die Bereitschaft, für das Nutzen von weiter entfernten Möglichkeiten zu reisen. Diese Überlegungen fasst die folgende, auf dem Gravitationsmodell basierende Gleichung mathematisch zusammen.

$$A_i = \sum_j O_j \times e^{-\beta c_{ij}}$$

Um ein Erreichbarkeitsmass zu bestimmen, sind also folgende Ausgangsdaten nötig:

1. Eine adäquate Einteilung des Raums in Zonen

2. Eine passende Wahl der Formulierung des Modells
3. Eine Zähleinheit der Möglichkeiten
4. Eine passende Definition des Raumwiderstandes
5. Eine passende Wahl des Gewichtungsparmeters β

Ein kritischer Aspekt bei der Ermittlung von Erreichbarkeiten ist der Umgang mit Randeffekten. Erreichbarkeitswerte diskriminieren Zonen, die am Rand des Modellperimeters liegen. Wenn man wie bei einem zu beurteilenden Areal nur eine einzige und zudem eher zentral gelegene Zone anschaut, ist dies weniger bedeutend. Wenn jedoch innerhalb eines grösseren Raums (z.B. der gesamten Schweiz) alle Zonen betrachtet und miteinander verglichen werden, fallen Randeffekte ins Gewicht. Darauf ist bei der Perimeterabgrenzung des verwendeten Modells zu achten.

Ein zweiter kritischer Aspekt betrifft die intrazonalen Möglichkeiten: Klassischerweise wird der Erreichbarkeitswert einer Zone zum grössten Teil von den Möglichkeiten vor Ort bzw. in unmittelbarer Nähe bestimmt und alle Möglichkeiten in weiter entfernten Zonen fallen weniger ins Gewicht, da sie nur mit Aufwand zu erreichen sind. Dabei ist der Umgang mit den Möglichkeiten in unmittelbarer Nähe des betrachteten Areals zu klären, der innerhalb derselben Zone liegt. Auch der Zugang zu diesen Möglichkeiten vor Ort ist mit einem gewissen, wenn auch geringen Aufwand verbunden. Dieser Aufwand ist jedoch nicht mit der im Erreichbarkeitsmodell verwendeten Definition des Raumwiderstandes messbar, weil es modelltechnisch keinen Weg zwischen dem betrachteten Areal und dem entsprechenden Zielort gibt (beide liegen innerhalb derselben Zone). Das ist besonders kritisch, wenn die Zonen für das Verkehrsmittel eher gross gewählt werden, weil in diesem Fall relativ viele potenzielle Möglichkeiten innerhalb derselben Zone liegen. Es gibt zwei Ansätze, mit diesem Umstand umzugehen: 1. Man lässt den Anteil, der aus der Zone vor Ort kommt, weg. 2. Man verrechnet die Möglichkeiten auch vor Ort mit einem zu bestimmenden minimalen Aufwandswert. Darauf wird in der Folge eingegangen.

2.5.1 Einteilung des Raums in Zonen und intrazonaler Raumwiderstand

Eine gute Möglichkeit, keine Verzerrungen durch die Wahl von Form und Grösse der Zone zu produzieren, ist ein einheitliches, möglichst feinmaschiges Raster. Der Grundlagenbericht schlägt ein quadratisches Hektarraster vor. Diese kleinräumige Zonierung hat den Nachteil, dass damit viele Zonen entstehen und damit die Rechenzeit schnell zunimmt. Da im FVV jedoch ein überschaubarer Perimeter reicht (vgl. Kapitel 2.6), ist diese Zonierung dennoch zweckmässig.

Die oben angesprochene Frage des intrazonalen Raumwiderstands wird durch die kleine Fläche der Zone entschärft. Um den Raumwiderstand innerhalb einer Zone dennoch abbilden zu können, kann ein konstant angenommener Umwegfaktor Netz vs. Luftlinie herangezogen werden, gemäss dem der intrazonale Raumwiderstand modelliert wird (Killer et al., 2013).

2.5.2 Auswahl des Erreichbarkeitsmodells und Gewichtungsparmeters

Zentral ist die Auswahl des Grundmodells bzw. der dabei verwendeten Parameter. Es bestehen im Kontext des FVV gemäss Schwarze (2015) drei Optionen für das Grundmodell.

- Reiseaufwandindikatoren: Hier wird von den Möglichkeiten im Raum her gedacht. Es wird zunächst ein Soll an Versorgung definiert, zum Beispiel wie viele und/oder welche Arbeitsplätze, Schulen, Spitäler ein Mensch üblicherweise erreichen sollte. Anschliessend wird für jede Zone berechnet, zu welchen mittleren Reisekosten die vorab bestimmten Möglichkeiten erreichbar sind. Die Gleichung in Kapitel 2.5 müsste also so angepasst werden, dass O_j in aufsteigender Distanz zum betrachteten Areal so lang gezählt wird, solange die festgelegte Auswahl an Möglichkeiten noch nicht erreicht ist.
- Kumulationsindikatoren: Hier wird von der Theorie des konstanten Reisezeitbudgets ausgegangen. Das heisst, Menschen versuchen nicht ihre Reisezeit zu minimieren, sondern die Möglichkeiten innerhalb ihres Reisezeitbudgets zu optimieren. Es wird zunächst eine Obergrenze des Raumwiderstandes festgelegt, zum Beispiel 10 min.

Anschliessend wird für jede Zone berechnet, wie viele Möglichkeiten innerhalb dieses Reisezeitbudgets erreichbar sind. Die Gleichung in Kapitel 2.5 müsste also so angepasst werden, dass nur diejenigen O_j gezählt werden, die innerhalb der festgelegten Obergrenze des Raumwiderstandes erreicht werden können.

- Potenzialindikatoren: Hier wird von der Theorie der Nutzenmaximierung ausgegangen. Menschen möchten möglichst viele Möglichkeiten zu minimalem Aufwand erreichen, wobei eine gewisse Sättigung angenommen wird. Es wird zunächst die Gewichtungsfunktion (Abbildung der Sättigung bzw. der Trägheit, unterwegs zu sein) geschätzt. Anschliessend wird für jede Zone berechnet, wie viele Möglichkeiten zu welchem Aufwand erreichbar sind. Dies entspricht der Gleichung in Kapitel 2.5, wobei weitere Varianten denkbar sind.

Der letzte Ansatz mit den Potenzialindikatoren ist für den Kontext dieser Arbeit am besten geeignet. Allerdings stellt sich die Frage einer geeigneten Auswahl des Parameters β . Gemäss einer Auswertung durch Schwarze (2015) sind die absoluten Werte im Kontext des FVV grösser als im Kontext von MIV und ÖV, wobei dies auch stark vom Verkehrszweck und vom kulturellen Kontext abhängt. Bei Verkehrszwecken und kulturellen Kontexten, in denen längere Wege akzeptiert werden, ist der absolute Wert entsprechend kleiner. Zum Beispiel ist für den Einkaufsverkehr in den USA ein kleinerer absoluter Wert zu erwarten als für die gleiche Situation in Europa, da in den USA Einkaufsgelegenheiten im Siedlungsgebiet schlechter verteilt sind als in Europa. Die Wahl dieses Parameters muss situativ begründet werden. Um berechnete Erreichbarkeiten miteinander vergleichen zu können, muss durchgehend derselbe Parameter gewählt werden.

2.5.3 Bestimmung der Zähleinheit von Möglichkeiten im Raum

Gemäss Grundlagenbericht (Frick et al., 2015) sind für die Ermittlung der quantitativen Erschliessungsqualitäten als Möglichkeiten die Bevölkerung und die Beschäftigten relevant, wobei letztere nur zur Hälfte zählen. Dies wird in dieser Arbeit so übernommen.

2.5.4 Passende Definition des Raumwiderstandes

Der Raumwiderstand zu den einzelnen Möglichkeiten entspricht den Kostendistanzen, vgl. Kapitel 2.3. Diese Kostendistanzen können als generalisierte Reisekosten angesehen werden, da im FVV die monetären Kosten nicht relevant sind und sie ein Längenelement und somit indirekt auch ein Zeitelement enthalten.

2.6 Berechnungsperimeter

Für die Ermittlung der Erreichbarkeit ist der massgebende Perimeter methodisch grundsätzlich uneingeschränkt und höchstens durch die Rechnerkapazitäten oder die räumlichen Grenzen des verwendeten Verkehrsmodells abhängig. Der geringe Einfluss weit entfernter Möglichkeiten wird durch die exponentielle Formulierung des Potenzialansatzes automatisch erreicht.

Für die Ermittlung des Zentralitätsindex empfiehlt sich dagegen ein klar abgegrenzter, einheitlicher Berechnungsperimeter, damit die angestrebte Aussage (wie zentral liegt ein Areal bzw. die angrenzenden Knoten im umliegenden Wegenetz) für alle betrachteten Areale einheitlich abgeleitet werden kann. Der Grundlagenbericht des Forschungsprojekts VSS 2011/106 (Frick et al., 2015) schlägt für den darin favorisierten «Kapazitätsindex Velo» vor, die gewichtete Velonetzdicke innerhalb eines Kreises mit 1 km Radius um das Areal zu berechnen. Dieser Ansatz kann grundsätzlich auch für den in der vorliegenden Forschung favorisierten Zentralitätsindex angewandt werden.

Bei diesem Radius gilt es allerdings zu beachten, dass zwischen der euklidischen und der realen Distanz oft ein erheblicher Unterschied besteht. Dabei fällt die euklidische Distanz meist erheblich kürzer aus als die auf der Netztopologie basierende Distanz. So beeinflussen unüberwindbare Barrieren oder auch die Struktur des Strassen- und Wegenetzes bzw. der umliegenden Bebauung das Einzugsgebiet eines Standorts stark.

Da sowohl der Fuss- als auch der Veloverkehr sehr sensibel auf Umwege und die damit einhergehende Verlängerung von Wegen reagieren, ist die Berücksichtigung der gewählten, von Velofahrenden und Zufussgehenden zurückgelegten Distanz von grosser Bedeutung (Sigrist et al., 2015)(Capirone et al., 2008).

Anstelle eines räumlich fixen Betrachtungsradius schlägt McNeil einen «reisezeit-basierten» Betrachtungsradius vor. Zur Ermittlung der Velonetzdicke eines Standorts soll also das mit dem Velo in einer bestimmten Zeitdauer erreichbare Einzugsgebiet berücksichtigt werden. McNeil schlägt dafür eine Dauer von 20 Minuten vor, mit der Begründung, dass die im Mittel von Velofahrenden zurückgelegte Luftliniendistanz rund 2.5 km umfasst, wofür diese durchschnittlich 20 Minuten benötigen (McNeil, 2011). Während Reyer et al. (2014) einen maximalen Suchradius von 2 km verwenden, schlagen Bolten und Caspi (2021) eine maximale Reisedistanz von ca. 400m Fussweg oder aber einen reisezeitbasierten Radius vor (Abb.8).



Abb.8 Der Unterschied zwischen fixem Radius Luftlinie (links), einem topologischen Ausschneiden von Segmenten (Mitte) und einem reisezeitbasierten Perimeter (rechts); (Bolten and Caspi, 2021)

McNeils Untersuchung wurde in Portland, Oregon, einer Stadt mit einem mehrheitlich rechtwinkligen Strassennetz durchgeführt. Nichtsdestotrotz kann dieser Ansatz auch auf das Schweizer Strassennetz übertragen werden.

Tab. 2 gibt einen Überblick über den Durchschnitt, respektive Median der Etappenlängen und -dauern für den Fuss- und Veloverkehr aus dem Mikrozensus 2015³ (Perret et al., 2017), wobei der Median nur visuell ermittelt werden konnte.

Tab. 2 Eigenschaften Etappen des Fuss- und Veloverkehrs (Perret et al., 2017)

Modus	Durchschnittliche Etappendauer [min]	Durchschnittliche Etappenlänge [km]	Median Etappenlänge [km]	Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]
Fussverkehr	14.3	0.9	0.4	4.7
Velo	16.5	3.3	1.5	13.3
E-Bike	15.5	4.4	2.0	17.0

Für die Berechnung der Erschliessungsqualität durch den Fuss- und Veloverkehr ist ein netz- und reisezeitbasierter Betrachtungsradius zielführend und wird in dieser Arbeit so basierend auf dem Mikrozensus 2015 verwendet. Von Interesse ist einerseits der Durchschnitt und andererseits der Median, die beide in Tab. 2 aufgeführt sind und deren Verwendung in Kapitel 3.2.2 beschrieben wird.

³ Die Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr von 2021 lagen erst kurz vor Abschluss der vorliegenden Arbeit vor und konnten deshalb nicht mehr berücksichtigt werden.

2.7 Unterscheidung nach Nutzenden-Gruppen

In der bestehenden Literatur werden teilweise verschiedene Nutzer*innengruppen unterschieden, sowohl im Fuss- wie auch im Veloverkehr. Allerdings ist die Einteilung uneinheitlich. Nachfolgend ein kurzer Überblick.

2.7.1 Veloverkehr: Alltags- und Pendlerverkehr

In der bestehenden Literatur besteht zur Unterscheidung von Personengruppen im Veloverkehr bisher wenig konsistentes Zahlenmaterial. Insbesondere zur Unterscheidung des Alltags- und Pendlerverkehrs von Velofahrer*innen in diesem Punkt wurde sehr wenig geforscht (Grigore, 2018).

In einer Studie wird angenommen, dass pendelnde Velofahrer*innen zu weniger Umwegen bereit sind als Velofahrende in ihrer Freizeit. Im Pendelverkehr nehmen Velofahrer*innen gemäss (Broach et al., 2012) so einen um maximal 11% längeren Weg gegenüber der direkten Route in Kauf. Als Grund dafür wird angegeben, dass die Umgebungsqualität für Pendelnde von geringerer Relevanz sein könnte als für Velofahrer*innen im Alltag, da sie ein schnelles Erreichen ihres Zielortes anstreben.

Diese Differenzierung setzt jedoch voraus, genaue Angaben über die Verkehrszwecke im Veloverkehr auf den untersuchten Strecken zu haben. Liegen solche Daten nicht vor, ist eine Differenzierung nicht sinnvoll.

2.7.2 Veloverkehr: Velo und E-Bike

Auch zu den unterschiedlichen Bedürfnissen und Charakteristika von klassischen Velofahrenden und E-Bike-Nutzenden existiert bisher nur sehr wenig quantitative Forschung. Der Forschungsbedarf zur Unterscheidung der beiden Gruppen wurde in der Fachliteratur allerdings erkannt, denn einige der beobachteten Eigenschaften der zwei Mobilitätsgruppen wirken sich stark auf deren räumliche Fahrmuster aus (Schwarze, 2015).

So gelten für Verkehrsteilnehmende mit einem E-Bike vermutlich andere Gradientenkosten als für Velofahrende (Frick et al., 2015). Aufgrund der motorisierten Unterstützung können mit dem E-Bike grössere Steigungen mit wenig Anstrengung überwunden werden, während Velofahrende auf diese Höhenunterschiede mit einer höheren Umwegbereitschaft reagieren. Durch die höhere Geschwindigkeit der E-Bikes und der dadurch längeren, im gleichen Zeitraum zurücklegbaren Strecken im Vergleich zum Velo ist es auch denkbar, dass mit einem E-Bike grössere Umwege in Kauf genommen werden (Grigore, 2018), weil ein solcher Umweg prozentual bei insgesamt längeren Wegen weniger ins Gewicht fällt. Insbesondere weil E-Bikes andere Personengruppen ansprechen als das Velo, ist zukünftig mit einem wachsenden Potenzial – und somit einer steigenden Bedeutung von Elektro-Velos zu rechnen (Schwarze, 2015).

Zur Berechnung der Erschliessungsqualität des Veloverkehrs muss festgelegt werden, ob im Veloverkehr eine Unterscheidung zwischen Velos und E-Bikes gemacht wird, und in welchen Punkten sich die zwei Verkehrsmittel unterscheiden. Des Weiteren ist relevant, welchen Anteil am Gesamtveloverkehr die beiden Gruppen ausmachen, oder aber, ob das E-Bike nicht als separater Modus, sondern als Unterart des Velos gesehen wird.

2.7.3 Fussverkehr

Auch in der bestehenden Fachliteratur zum Fussverkehr wird kaum eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Personengruppen gemacht. Zufussgehende werden als Gruppe mit homogenen Bedürfnissen an die Strasseninfrastruktur und mit gleicher Mobilitäts-, beziehungsweise Bewegungsfähigkeit dargestellt (Asadi-Shekari et al., 2014). In der Realität

unterscheidet sich die Bewegungsfähigkeit verschiedener Personengruppen dennoch stark.

Die zurückgelegten Fusswege für Personen mit eingeschränkter Mobilität (PEM) sind im Vergleich zu jenen von Personen ohne Einschränkung deutlich kürzer, oder das erreichbare Gebiet unterscheidet sich aufgrund von unüberwindbaren Hindernissen für verschiedene Personengruppen. So entstehen für verschiedene Personengruppen im Fussverkehr unterschiedliche Reisekosten, die nicht generalisiert werden sollten (Bolten and Caspi, 2021).

Obwohl sich die Fachliteratur einig ist, dass eine Berücksichtigung von verschiedenen Personengruppen im Fussverkehr (insbesondere von PEM) zentral ist, existieren zum heutigen Zeitpunkt noch sehr wenig konkrete Zahlen zu diesem Thema. Der Konsens ist, dass nur durch die Unterscheidung verschiedener Personenprofile die jeweiligen Charakteristika und Bedürfnisse der jeweiligen Personengruppe an die Strasseninfrastruktur berücksichtigt werden können. Übersetzt bedeutet dies differenzierte Kostenfunktionen für die Reisekosten (Bolten and Caspi, 2021). Verschiedene weitere Studien legen nahe, dass eine Generalisierung aller Zufussgehenden nicht zielführend ist. So wird mehr Forschung benötigt, um zu eruieren, welche Strassenfaktoren die Fussgängerfreundlichkeit massgeblich beeinflussen, und wie sich diese Auswirkungen zwischen verschiedenen Personengruppen unterscheiden (Asadi-Shekari et al., 2014).

Da die bestehende Forschung zur Berücksichtigung verschiedener Personengruppen im Fussverkehr noch sehr lückenhaft ist, besteht bisher auch noch keine universell anerkannte Definition von PEM oder derer Mobilitätsbedürfnisse (Asadi-Shekari et al., 2014). Entsprechend besteht keine Basis, welche die verschiedenen Anforderungen an die Fussverkehrsinfrastruktur konsistent und umfassend mit den möglichen Profilen verschiedener Personengruppen in Relation bringt.

Zur Berechnung der Erschliessungsqualität des Fussverkehrs muss vorab definiert werden, ob eine Unterscheidung von verschiedenen Personenprofilen als zielführend erachtet wird, und welchen Anteil am Gesamtfussverkehr jede Gruppe ausmachen soll. Zentral sind ausserdem die jeweiligen Variablen, die die Mobilität der Personengruppen massgeblich beeinflussen.

2.8 Qualitative Kriterien

2.8.1 Allgemein

Ergänzend zu den in den Abschnitten 2.3.1 und 2.3.2 beschriebenen quantitativen Kriterien sollen qualitative Kriterien zur Beurteilung der Erschliessungsqualität zur Hilfe gezogen werden. Diese sollen Einflüsse auf die Erschliessungsqualität abdecken, welche nicht mithilfe bestehender Datengrundlagen und quantitativen Methoden zu beurteilen sind, aber dennoch eine grosse Auswirkung auf die Erschliessungsqualität haben (Frick et al., 2015).

Meist leiten sich qualitative Kriterien aus Attraktivitätskriterien ab, welche Aspekte wie das Sicherheitsgefühl oder das Wohlbefinden abbilden. In den meisten Fällen ist die Beurteilung qualitativer Kriterien zudem nur in einem lokalen Perimeter sinnvoll. Die Bestimmung qualitativer Kriterien auf sehr grosser oder sogar nationaler Ebene würde einen sehr grossen Aufwand nach sich ziehen. Die Erhebung qualitativer Daten bedarf deshalb neben verschiedener Planungsgrundlagen immer auch der Einschätzung und Erfahrung von Expert*innen und Fachstellen (Frick et al., 2015).

Im Folgenden werden Ansätze und Kernaussagen aus der bestehenden Literatur zusammengetragen und erläutert.

2.8.2 Veloverkehr: Mögliche Kriterien

In einem ASTRA-Handbuch werden drei Hauptvariablen zur Beschreibung qualitativer Aspekte der Erschliessungsqualität beschrieben (Capirone et al., 2008). Bei diesen drei Kriterien handelt es sich um die Netzqualität, den Komfort und die Sicherheit. Die Netzqualität bestimmt, inwiefern ein lückenloses, den Bedürfnissen der Nutzenden entsprechendes Netzwerk an Wegen und Strassen besteht. Zudem wird betrachtet, inwiefern verkehrsberuhigende Massnahmen bestehen. Der Komfort untersucht die Dichte, die Umgebungsgestaltung sowie den Zusammenhang der Netzwerke. Die Variable der Sicherheit setzt sich hauptsächlich aus dem objektiven Unfallgeschehen sowie dem subjektiven Sicherheitsempfinden zusammen (Capirone et al., 2008). Zudem wird die Bedeutung von Objektivität und Transparenz im Umgang mit qualitativen Kriterien betont. Zielkonflikte zwischen qualitativen und quantitativen Kriterien sind, wenn immer möglich, auszuweisen. Eine räumliche Aggregation sei zu vermeiden, wenn mit qualitativen Kriterien gearbeitet wird.

Qualitative Kriterien werden in den vorhandenen Grundlagen in der Regel auf einer Skala mit 3, 5 oder 7 Abstufungen benotet. Damit werden die einzelnen Kriterien einheitlich operationalisiert und zumindest grob vergleichbar gemacht. Kriteriensets sind in verschiedenen nationalen Planungs- und Normierungsgrundlagen enthalten (z.B. (Sigrist et al., 2015); (SchweizMobil, 2022); (Sigrist and Rothenbühler, 2008); SN 640060; SN 640070; SN 640560). In der nachfolgenden Tabelle werden die darin enthaltenen, für den Veloverkehr relevanten qualitativen Kriterien strukturiert und es werden analog zu den quantitativen Kriterien die Relevanz und die Datenverfügbarkeit erläutert. Die Verfügbarkeit an schweizweit einheitlichen, vollständigen Daten ist bei den qualitativen Kriterien zwar etwas weniger wichtig als bei den quantitativen, da die Bewertung lokal und anhand der Expertise von Fachpersonen erfolgen muss. Dennoch können vorhandene einheitliche Datensätze genutzt werden, um die fachlichen Beurteilungen zu objektivieren und effizienter und vergleichbarer zu gestalten.

Tab. 4 Relevante qualitative Variablen für den Veloverkehr

Variable	Literatur	Bemerkung	Einschätzung Relevanz	Datenverfügbarkeit heute; erwartete Entwicklung
Qualität Velonetz	(Sigris et al., 2015) (Schwarze, 2015)	Dieses Kriterium wird durch das quantitative Element der Infrastrukturkosten im Rahmen der Kostentendenzen abgedeckt.	hoch	Lückenhaft; lückenhaft
Verkehrsbelastung	(Sigris et al., 2015), (Sigris and Rothenbühler, 2008)	Dieses Kriterium wird durch das quantitative Element der Infrastrukturkosten im Rahmen der Kostentendenzen abgedeckt.	mittel	Lückenhaft; gut
Direktheit	(Millington et al., 2009), (Sigris et al., 2015)	Eine geringe Maschenweite (<400m) weist auf hohe Direktheit hin. Kleine Differenzen zwischen der realen Distanz sowie der Distanz der Luftlinie sind ebenfalls ein Indikator für eine hohe Direktheit. Dieses Kriterium wird durch das quantitative Mass der Zentralität abgedeckt.	hoch	Gut; gut
Orientierung	(Sigris et al., 2015)	Ausschlaggebend für gute Orientierung ist die Signalisation im Strassenraum.	mittel	Kein GIS-Datensatz vorhanden, muss vor Ort erhoben werden.
Verkehrsfluss	(Sigris et al., 2015) (Tran et al., 2017)	Günstige Geometrien, wie zum Beispiel lange gerade Linien führen zu einem guten Veloverkehrsfluss. Hindernisse, bzw. Anhalte- und Abbremszwänge führen hingegen zu einem schlechten Verkehrsfluss.	mittel	Muss basierend auf Maschenweite etc. abgeschätzt werden.
ÖV-Zugang	(Sigris et al., 2015)	Attraktivität des Angebots an Abstellplätzen für Velos um ÖV-Knoten. Generell Linienführung für Velos um ÖV-Knotenpunkte.	tief	Muss vor Ort erhoben werden.
Velobstellplätze	(Sigris et al., 2015)	Attraktivität des Angebots an Abstellplätzen für Velos im Strassenraum.	hoch	Muss vor Ort erhoben werden.
Familienfreundlichkeit	(Schmid-Querg et al., 2021) (Schwarze, 2015)	Das Kriterium der Familienfreundlichkeit setzt sich aus verschiedenen anderen Kriterien zusammen.	tief	Abhängig von den anderen Kriterien.
Status des Veloverkehrs	(Schmid-Querg et al., 2021)	Erhoben mittels Online-Umfrage	tief	Keine Daten verfügbar, mittels Befragungen zu erheben.
Stellung des Velos	Spezifisch für Velos ausgelegte Infrastruktur (Schmid-Querg et al., 2021)	Erhoben mittels Online-Umfrage; Kriterium wird durch das quantitative Element der Infrastrukturkosten im Rahmen der Kostentendenzen abgedeckt.	hoch	Gut; gut.

Sicherheit	Unfallrisiko	(Millington et al., 2009), (Sigrist et al., 2015), (Schmid-Querg et al., 2021)	Dieses Kriterium wird durch das quantitative Element der Unfallrisikokosten im Rahmen der Kostendistanzen abgedeckt.	hoch	Lückenhaft; lückenhaft
	Sicherheitsempfinden	(Sigrist et al., 2015), (Schmid-Querg et al., 2021)	Dieses Kriterium wird teilweise durch das quantitative Element der Unfallrisikokosten im Rahmen der Kostendistanzen abgedeckt. Eine tiefe MIV-Belastung zeigt einen positiven Effekt auf das Sicherheitsempfinden. Eine gut erfassbare Veloverkehrsführung sowie eine gute Oberfläche erhöhen das Sicherheitsempfinden ebenfalls.	hoch	Lückenhaft; lückenhaft Muss vor Ort erhoben werden.
Umfeld / Erlebnis	Nähe zu Routenthema	(Sigrist and Rothenbühler, 2008)	Primär im Freizeitverkehr ein Kriterium. Zum Beispiel die Führung einer Route entlang eines Flussess. GIS-Analyse nötig.	tief	Gut; gut
	Ruhe	(Sigrist and Rothenbühler, 2008)	Was den Autoärm angeht, wird dieses Kriterium über die Infrastrukturkosten (DTV) abgebildet. Weitere Lärmquellen müssen qualitativ abgeschätzt werden.	mittel	Gut; gut Muss vor Ort erhoben werden.
	Intaktheit von Siedlungsbereich	(Sigrist and Rothenbühler, 2008)	Keine genaueren Erläuterungen zu Erhebung	tief	Muss vor Ort oder aus Luftbildern erhoben werden.
	Nähe zu Wasser	(Sigrist and Rothenbühler, 2008)	Dieses Kriterium wird durch das quantitative Element des Umgebungsnutzens im Rahmen der Kostendistanzen abgedeckt.	mittel	Keine Datengrundlage verfügbar, jedoch relativ einfach selber zu bestimmen mithilfe von spezifischen Karten.
	Aussicht	(Sigrist and Rothenbühler, 2008)	Primär im Freizeitverkehr ein Kriterium.	tief	Muss vor Ort erhoben werden.
	Attraktivität und Wirtschaftlichkeit von Architektur und Infrastruktur	(Sigrist and Rothenbühler, 2008)	Keine genaueren Erläuterungen zu Erhebung	tief	Muss vor Ort erhoben werden.
	Monotonie / Gleichförmigkeit des Strassenraumes	(Sigrist and Rothenbühler, 2008)	Keine genaueren Erläuterungen zu Erhebung	tief	Muss vor Ort erhoben werden.
	Abwechslung (z.B. zwischen Siedlung und offener Landschaft)	(Sigrist and Rothenbühler, 2008)	Primär im Freizeitverkehr ein Kriterium. Gis-Analyse nötig.	tief	Gut; gut
	Intaktheit von Naturlandschaft	(Millington et al., 2009)(Sigrist and Rothenbühler, 2008)	Dieses Kriterium wird indirekt durch das quantitative Kriterium des Umgebungsnutzens abgedeckt.	mittel	Keine Datengrundlage verfügbar. Bewertung von Expert*in oder Befragung nötig.

2.8.3 Fussverkehr: Mögliche Kriterien

Auch für Netze und Infrastrukturen des Fussverkehrs sind analog zum Veloverkehr in verschiedenen Schweizer Studien und Handbüchern Kriterien definiert. Beispielsweise haben das Bundesamt für Strassen und der Verband Fussverkehr Schweiz im Handbuch für Fusswegnetzplanung Kriterien für gute Fusswege definiert (Sigrist et al., 2015).

Eine internationale Studie, welche sich mit der Ermittlung qualitativer Einflüsse auf die Erschliessung des öffentlichen Raumes für Zufussgehende beschäftigt, wurde von Asadi-Shekari et al. (2014) verfasst. Als Untersuchungsperimeter dient der Campus der Universiti Teknologi Malaysia (Technische Universität Malaysien). In ihrer Studie haben Asadi-Shekari et al. (2014) insgesamt 27 Indikatoren bestimmt, welche der Untersuchung qualitativer Einflüsse auf den 'Pedestrian Level of Service (PLOS)' dienen. Millington et al. (2009) untersuchten die Walkability, wobei neben quantitativen auch qualitative Aspekte überprüft wurden. Diese Studie wurde im Kontext von Schottland erarbeitet. Die Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf den schweizerischen Kontext ist bei beiden Untersuchungen kritisch zu betrachten. Dennoch werden die Kriterien im Sinne einer breiten Auslegung nachfolgend miteinbezogen.

In nachfolgender Tabelle sind alle Variablen aus der nationalen sowie internationalen Literatur zusammengefasst und bezüglich deren Relevanz für die qualitative Beurteilung des Fussverkehrs bewertet.

Tab. 5 Relevante qualitative Variablen für den Fussverkehr

Variable	Literatur	Bemerkung	Einschätzung Relevanz	Datenverfügbarkeit heute; erwartete Entwicklung
Qualität Fussnetz	(Sigrist et al., 2015), (Schwaiz, 2015)	Unter anderem wird eine Gehgeschwindigkeit für Personen im Alter 14-65 Jahre von 5.4km/h; und für >65 Jahre von 4.5km/h berichtet. Sehr umfassende Variable, muss aufgeteilt werden.	hoch	Vergleiche Einschätzung der Teilvariablen.
Verkehrsberuhigung	(Sigrist et al., 2015)	Ein hoher Anteil an verkehrsberuhigten Strassen erhöht die Attraktivität eines Fussnetzes.	mittel	Gut; gut (quantitativ möglich: Kostendistanz)
Diagonale Verbindungen	(Sigrist et al., 2015)	Diagonale Verbindungen erhöhen die Dichte und verkürzen die Wegdistanzen.	mittel	Gut; gut (quantitativ möglich: Zentralität)
Direktheit	(Sigrist et al., 2015)	Eine geringe Maschenweite (<100m) und eine grosse Auswahl an Wahlmöglichkeiten sind Indikatoren von der hohen Direktheit eines Netzes.	hoch	Gut; gut (quantitativ möglich: Zentralität)
Wartezeiten an LSA	(Sigrist et al., 2015)	Lange Wartezeiten bei LSA machen den Fussverkehr weniger attraktiv. Interessant wären die Zeitverluste generell an Knoten.	hoch	Lückenhaft: muss vor Ort erhoben werden, allenfalls digital erhaltbar; lückenhaft: evtl. quantitativ möglich: Kostendistanzen (Knoten)
Oberflächenbelag	(Sigrist et al., 2015), (Millington et al., 2009)	Harthebeläge sind besser geeignet als weiche Beläge für hohe Nutzungsintensitäten.	mittel	Lückenhaft: muss vor Ort erhoben werden, allenfalls digital erhaltbar; gut (quantitativ möglich: Kostendistanzen)
Breite der Gehwege	(Sigrist et al., 2015)	Hohe Gehwegbreiten erhöhen die Sicherheit der Zufussgehenden und die Aufenthaltsqualität.	hoch	Lückenhaft: muss vor Ort erhoben werden, allenfalls digital erhaltbar; gut (quantitativ möglich: Kostendistanzen)

Netzqualität

Gehwege auf beiden Seiten der Strasse	(Asadi-Shekari et al., 2014)	Erhoben durch Analyse von 20 verschiedenen Strassenrichtlinien verschiedener Länder.	mittel	Gut; gut (quantitativ möglich: Kostendistanz)
	(Sigrist et al., 2015)	Besonders wichtig für PEM. Es ist nach dem Behindertengleichstellungsgesetzes zu handeln.	hoch	Lückenhaft: muss vor Ort erhoben werden, allenfalls digital erhältlich; gut (quantitativ möglich: Kostendistanzen)
	(Sigrist et al., 2015), (Asadi-Shekari et al., 2014), (Schwarze, 2015)	Die Orientierung in einem Netz wird ausgezeichnet durch eine gute Signalisation und eine intuitive Führung des Netzes.	hoch	Muss vor Ort erhoben werden (intuitive Führung)
	(Millington et al., 2009), (Tran et al., 2017), (Millington et al., 2009)	Einkaufsmöglichkeiten, Behörden (Polizei etc.), Erholungsmöglichkeiten etc.	mittel	Lückenhaft; gut (quantitativ möglich: Erreichbarkeit)
	(Millington et al., 2009)	Welche ÖV-Anlagen sind vorhanden, respektive erschlossen?	tief	Lückenhaft; gut (quantitativ möglich: Erreichbarkeit)
Komfort	(Sigrist et al., 2015)	Möglichst zu vermeiden und wenn nicht zu umgehen, dann ist mit Rampen zu arbeiten.	hoch	Gut; gut (quantitativ möglich: Kostendistanz)
	(Millington et al., 2009)(Sigrist et al., 2015)	Grosse Sichtweiten, sichere Querungsmöglichkeiten und tiefe Geschwindigkeitsbegrenzungen für den MIV führen zu einem tieferen Unfallrisiko.	hoch	Gut; gut (quantitativ möglich: Kostendistanz)
Sicherheit	(Sigrist et al., 2015)	Beeinflusst durch bauliche und betriebliche Gestaltung von öffentlichen Anlagen. Hohe Dunkelziffer vermutet; wird besser durch Sicherheitsempfinden generell approximiert.	tief	Lückenhaft; lückenhaft
	(Sigrist et al., 2015), (Millington et al., 2009)	Eine hohe Einsehbarkeit, hohe Beleubarkeit (soziale Kontrolle) und gute Beleuchtungsverhältnisse führen zu einem hohen Sicherheitsempfinden.	hoch	Lückenhaft: muss vor Ort erhoben werden; lückenhaft: muss vor Ort erhoben werden, allenfalls digital erhältlich.
	(Sigrist et al., 2015)	Das ist eine Sammelvariable: eine tiefe MIV-Beleuchtung sowie erträgliche Lärm- und Luftbelastungen, eine hohe Erlebnisqualität sowie Grünräume fördern die Umfeld- und Aufenthaltsqualität.	hoch	Vergleiche Einschätzung der Teilvariablen.
Umfeld / Ergebnis	(Sigrist et al., 2015)		hoch	

Strassenmobiliar, Sitzgelegenheit	(Asadi-Shekari et al., 2014)	Erhoben durch Analyse von 20 verschiedenen Strassenrichtlinien verschiedener Länder.	tief	Lückenhaft: muss vor Ort erhoben werden, allenfalls digital erhältlich; gut (quantitativ möglich: Kostendistanzen)
Trinkbrunnen	(Asadi-Shekari et al., 2014)	Erhoben durch Analyse von 20 verschiedenen Strassenrichtlinien verschiedener Länder.	tief	Lückenhaft: muss vor Ort erhoben werden, allenfalls digital erhältlich; gut (quantitativ möglich: Kostendistanzen)
Beleuchtung	(Asadi-Shekari et al., 2014)	Erhoben durch Analyse von 20 verschiedenen Strassenrichtlinien verschiedener Länder.	hoch	Lückenhaft: muss vor Ort erhoben werden, allenfalls digital erhältlich; gut (quantitativ möglich: Kostendistanzen).
Markierungen	(Asadi-Shekari et al., 2014)	Erhoben durch Analyse von 20 verschiedenen Strassenrichtlinien verschiedener Länder.	tief	Lückenhaft; lückenhaft
Landschaft, Aussicht	(Asadi-Shekari et al., 2014), (Millington et al., 2009)	Ist primär im Freizeitverkehr relevant.	tief	Muss vor Ort erhoben werden, allenfalls GIS-Auswertungen.
Attraktivität von Architektur und Infrastruktur	(Millington et al., 2009)	Gebäudetypen und deren Attraktivität	tief	Muss vor Ort erhoben werden, allenfalls GIS-Auswertungen.
Bäume, Gestaltung des Strassenraumes, Parks	(Millington et al., 2009)	Deckt Gestaltung sowie klimatische Aspekte ab.	hoch	Lückenhaft: muss vor Ort erhoben werden, allenfalls digital erhältlich; gut (quantitativ möglich: Kostendistanzen)
Parkplätze	(Millington et al., 2009)	Parkplätze im Fussverkehrsbereich behindern die Zirkulation und sind negativ für die Sicherheit.	mittel	Lückenhaft: muss vor Ort erhoben werden, allenfalls digital erhältlich; gut (quantitativ möglich: Kostendistanzen)
Anzahl Fahrbahnen	(Asadi-Shekari et al., 2014)	Wäre eine gute Proxyvariable für die Querbarkeit und den Lärm.	tief	Gut; gut (quantitativ möglich: Kostendistanz)

2.9 Haupterkenntnisse aus der Literaturanalyse

Die bisherige Literaturanalyse hat verschiedene Quellen aus verschiedenen räumlichen Kontexten untersucht. Sowohl die Literatur zum Veloverkehr als auch die Literatur zum Fussverkehr haben die Gemeinsamkeit, dass sie auf die Qualität von Verkehrsinfrastruktur eingehen und Methoden beschreiben, wie Qualität gemessen und verglichen werden kann. Zwar beschreiben die bisher erwähnten Kriterien und Variablen die Qualität des Angebots an Verkehrsinfrastruktur, dies bedeutet aber nicht, dass es sich deshalb automatisch um qualitative Variablen handelt. Entscheidend für die Zuschreibung der Attribute 'qualitativ' oder 'quantitativ' ist nicht zwingend die Aussage einer Variablen, sondern deren Handhabung. Zum Beispiel lassen sich mittels Kostendistanzen auch qualitative Variablen quantitativ beschreiben. Eine grosse Anzahl der hier aufgeführten Variablen werden in dieser Forschungsarbeit quantitativ und nicht qualitativ verwendet (vgl. Kapitel 3).

2.10 Nötiges Datenmaterial

Neben der inhaltlichen Auseinandersetzung ist auch die Frage nach den benötigten Daten und deren Aufbereitung zentral für die Entwicklung einer Methode zur Bewertung der Erschliessungsqualität im FVV. Die Literaturlauswertung zeigt, dass üblicherweise Daten auf Basis von Umfragen, Beobachtungen/Begehungen, Videoaufnahmen, Simulationen oder Regressionsanalysen erhoben (Asadi-Shekari et al., 2014) werden. Fragebögen, Walk-Audits oder GIS-Analysen sind weitere Möglichkeiten Indikatoren auf die Erschliessungsqualität für den Velo- und Fussverkehr zu ermitteln. Die Autorinnen und Autoren der ausgewerteten Literatur zeigen weiter auf, dass die gewählte Erhebungsmethode stark von den angestrebten Aussagen abhängt. Zudem lässt sich der dafür nötige Aufwand entscheidend über die Wahl eines geeigneten Perimeters steuern.

Im Vergleich zu den in der Literatur – vornehmlich aus dem angelsächsischen Raum – verwendeten Datengrundlagen muss die Datenlage für den Fuss- und Veloverkehr in der Schweiz als generell mangelhaft eingestuft werden. Das ist noch deutlicher der Fall, wenn auch die Wechselwirkung zwischen qualitativen Kriterien berücksichtigt werden soll, wie dies Bolten und Caspi (2021) tun. In der Schweiz kann dafür auf bessere Umfalldaten zurückgegriffen werden.

3 Grundsätze der Methodik

3.1 Grundsätzliche Überlegungen

Die vorgeschlagene Methodik für die Erschliessungsqualitäten FVV baut auf der vorangehenden Literaturanalyse und der Grundlagenforschung VSS 2011/106 auf. Die zentrale Herausforderung besteht darin, für die beiden Verkehrsmittel neben der reinen Reisezeit eine passende Attributierung der Angebotsqualitäten zu definieren, wie sie für den ÖV (Taktintervall, Umsteigehäufigkeit, Reisekosten etc.) und den MIV (Zuverlässigkeit, Parkplatzverfügbarkeit etc.) schon seit längerem fundiert vorliegt. Neben den methodischen Aspekten spielt dabei die oft noch schmale, aber künftig bessere Datenverfügbarkeit eine wichtige Rolle. Insbesondere für die quantitativen Erschliessungsqualitäten sind schweizweit einheitliche, verlässliche Datensätze erforderlich, die heute noch nicht durchgehend vorhanden sind. Da die Datenqualität laufend zunimmt, sieht die Methodik die Unterteilung in Ideal-, Normal- und Minimalfall vor. Was heute Idealfall ist, das heisst mit mehr Aufwand in der Datenaufbereitung verbunden ist, kann morgen mit besseren Daten der Normalfall sein. Diese Aufwärtskompatibilität zieht sich im gewählten Ansatz durch und trägt dem Umstand Rechnung, dass die vorgeschlagene Methodik mit der Datenentwicklung kontinuierlich verfeinert werden kann (und nicht ständig grundsätzlich angepasst werden muss).

Die nachfolgend beschriebene Methodik für die beiden Verkehrsmittel soll demnach die folgenden Eigenschaften aufweisen:

- Geeignet, um massgebende Charakteristika des FVV abzudecken
- Vergleichbar mit anderen Verkehrsmitteln
- Aufwärtskompatibel hinsichtlich der Verfügbarkeit der Daten
- Flächendeckend umsetzbar trotz schwieriger Datenlage
- Praxisgerecht, d.h. insbesondere mit vernünftigem Aufwand anwendbar

Wie im Grundlagenbericht des Forschungsprojekts VSS 2011/106 (Frick et al., 2015) vorgesehen, soll die Erreichbarkeitsqualität aller Verkehrsmittel und damit auch des Fuss- und Veloverkehrs in einem zweistufigen Ansatz mit qualitativen und quantitativen Kriterien beschrieben werden. Dabei sollen die quantitativen Kriterien auf einer 5-stufigen Skala von A bis E ähnlich der bisher bekannten Erschliessungsgüte des ÖV bewertet werden. Diese quantitativen Erschliessungsqualitäten sollen in einem schweizweit einheitlich generierten Datensatz dargestellt werden können. Die qualitativen Kriterien sollen für einen bestimmten Perimeter durch qualifizierte Fachpersonen analysiert und bewertet werden. Dazu ist eine fachlich belastbare Methodik notwendig, die gleichzeitig auf die dünne Datenbasis Rücksicht nimmt und trotzdem mit vertretbarem Aufwand angewandt werden kann.

3.2 Gemeinsame Grundsätze

Nachfolgende Grafik verdeutlicht den grundsätzlichen Aufbau der Methodik am Beispiel Veloverkehr. Fuss- und Veloverkehr haben verschiedene Gemeinsamkeiten, gleichzeitig auch spezifische Eigenheiten. Für beide Verkehrsmittel wird jeweils separat eine Methodik für die qualitativen und quantitativen Erschliessungsqualitäten geprüft. Wo möglich und sinnvoll, wurden dieselben Ansätze und Überlegungen für beide Verkehrsmittel angewandt. Das gilt insbesondere für die Struktur und einzelne Indikatoren der qualitativen Erschliessungsqualitäten.

Im vorliegenden Kapitel 3 werden gemeinsame Grundsätze für die zu entwickelnden Methoden über beide Verkehrsmittel sowie die Datenlage beschrieben, bevor in den Kapiteln 3 und 4 die spezifischen Methoden separat erörtert werden.

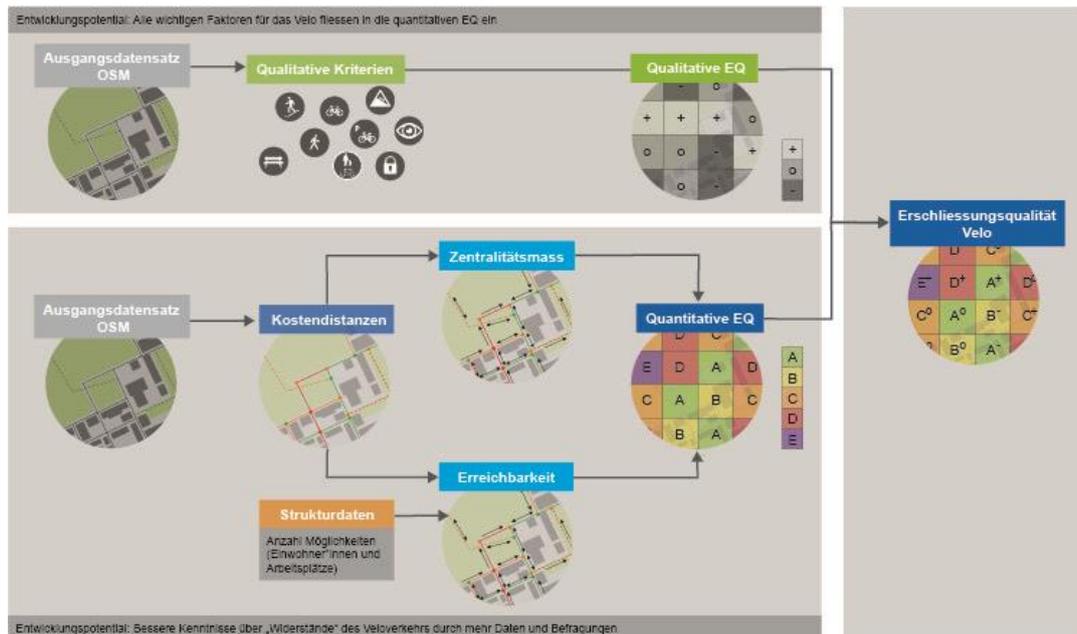


Abb.9 Methodik Erschliessungsqualität Fuss- und Veloverkehr

3.2.1 Unterscheidung quantitative vs. qualitative Aspekte

Bei der Entwicklung der Methodik wurde darauf geachtet, die verschiedenen Attribute jeweils nur in einer der beiden Teilmethoden (quantitativ/qualitativ) einzubinden. Insbesondere beim Veloverkehr wurde dabei versucht, möglichst viele Attribute in den quantitativen Teil zu integrieren, damit diese Teilgrösse analog zum MIV und zum ÖV eine hohe Aussagekraft erreicht. Die Aufteilung der einzelnen Attribute erfolgte dabei nach den folgenden Grundsätzen:

- **Quantitativ:** Die Information liegt heute (oder in Zukunft) so vor, dass sie automatisch ausgewertet werden kann. Die Information hat eine klare Einheit, die sich verrechnen und somit in einen aussagekräftigen Wert übersetzen lässt. Klassisch bzw. unmittelbar: DTV (# Fhzge) oder Breite eines Velostreifens (m); Operationalisiert als Proxy-Grösse: Stadtklima in m² Grün- und Gewässerfläche
- **Qualitativ:** Die Information liegt heute und wohl auch in Zukunft nicht so vor, dass sie automatisch ausgewertet werden kann. Die Information muss, oft im Einzelfall, in den planerischen Kontext gesetzt und interpretiert werden für eine Aussage. Beispiel: # Velo-PP für # Nutzungen im Umfeld oder Sichtweiten

3.2.2 Perimeter

Für alle Bewertungen zur Erschliessungsgüte im Fuss- und Veloverkehr ist ein Betrachtungsperimeter nötig. Dabei kommt der gemäss Literaturrecherche am besten geeignete Ansatz eines auf der Reiseweite basierenden Perimeters zur Anwendung (vgl. Kapitel 2.6). Als Eingangsgrössen werden die Werte gemäss letztem Mikrozensus Verkehr und Mobilität gemäss *Tab. 2* verwendet. Es braucht je einen Betrachtungsperimeter für den Veloverkehr und für den Fussverkehr sowie je einen für die qualitativen und quantitativen Bewertungen. Da die vorgeschlagene Methode vorerst keine Kostendistanzen und damit keine quantitative Bewertung im Fussverkehr vorsieht, und da die qualitativen Kriterien für den Fuss- und Veloverkehr mittels einer gemeinsamen Begehung erfolgen soll, müssen die folgenden beiden Perimeter definiert werden:

- Perimeter für die quantitative Erschliessungsqualität des Veloverkehrs
- Perimeter für die qualitative Erschliessungsqualität des Fuss- und Veloverkehrs

Der **Perimeter für die quantitative Erschliessungsqualität des Veloverkehrs** entspricht dem Netzausschnitt, den man erhält, wenn man vom Zentrum des Areal aus dem Netz in alle Richtungen (360°) entlang jedem Netzelement bis zur Länge der durchschnittlichen Etappenlänge fährt. Für diesen Wert wird der ungewichtete Durchschnitt von Velo und E-Velo verwendet, was 3.85 km entspricht. Das Resultat ist ein Polygon des Netzes, das ab Areal in alle Richtungen so weit reicht wie in der Schweiz eine durchschnittliche Etappe mit dem Velo oder E-Velo lang ist. Dabei sollen alle für das Velo befahrbaren Strecken in die Beurteilung einbezogen werden, die vom betrachteten Areal aus innerhalb der mittleren Fahrdistanz erreicht werden können.

Der **Perimeter für die qualitative Bewertung des Fuss- und Veloverkehrs** soll kleinräumiger sein und orientiert sich an den Schweizer Etappenlängen im Fussverkehr. Dabei werden der Mittel- sowie der Medianwert herangezogen (siehe *Tab. 2*). Die Unterscheidung zwischen der durchschnittlichen Etappenlänge von Zufussgehenden in der Schweiz und dem Median der Etappenlängen von Zufussgehenden in der Schweiz erlaubt eine Differenzierung der Bewertung: Einzelne Kriterien sollen für das nähere (Median der Etappenlängen), andere auch für das etwas weiträumigere Umfeld (durchschnittliche Etappenlänge) des Areal bewertet werden. Dazu wird mit euklidischen Radien gearbeitet. Insbesondere im städtischen Kontext kann jedoch kaum der direkten Luftlinie gefolgt werden, da verschiedenste Hindernisse wie zum Beispiel Häuser, Grünflächen oder Verkehrswege umgangen werden müssen. Um aus den oben erwähnten Etappenlängen die relevanten Perimeterradien zu berechnen, werden deshalb die realen Etappendistanzen durch einen üblichen Umwegfaktor von 1.3 dividiert (Killer et al., 2013). Somit ergeben sich für den engeren Perimeter (Median) 300 m und für den weiteren Perimeter 700 m. Diese Radien werden dabei ab den Aussengrenzen des betrachteten Areal gemessen, so dass der Perimeter als diejenige Fläche definiert wird, die sich aus dem Areal selbst und einem umhüllenden Puffer mit den oben erwähnten Abständen ergibt. Innerhalb dieses Perimeters werden die zu beurteilenden Netzelemente ausgewählt: Die für die Beurteilung relevanten Achsen, Referenzpunkte im Raum sowie wichtige Knoten für den Fuss- und Veloverkehr werden vorab bestimmt. Die qualitative Beurteilung konzentriert sich dann je nach Kriterium auf die ausgewählten Netzelemente. Damit kann der Aufwand beschränkt und trotzdem eine repräsentative, verlässliche qualitative Beurteilung erreicht werden.

Nachfolgende *Abb. 10* zeigt das Vorgehen exemplarisch am Beispiel Zürich-Binz auf. Innerhalb des 700m-Puffers werden die wichtigsten Ziel- und Quellpunkte (grün) des Fuss- und des kleinräumigen Veloverkehrs festgelegt. Hierbei handelt es sich um Plätze, Gebäude oder Verkehrsinfrastrukturen, welche wichtige Anhaltspunkte des öffentlichen Raumes darstellen wie zum Beispiel Bahnhöfe, Einkaufszentren oder Schulen. Weiter werden Kreuzungen (orange) bezeichnet, welche sowohl für den Fuss-, als auch den Veloverkehr von grosser Bedeutung sind. Ausgewählt werden insbesondere übergeordnete Kreuzungen mit hohem Aufkommen des motorisierten Verkehrs (im urbanen Raum oft mit Lichtsignalanlagen gesteuert), über welche wichtige Wegebeziehungen des Fuss- und Veloverkehrs verlaufen. Schliesslich werden innerhalb des Perimeters mindestens vier und maximal sechs Untersuchungsachsen (violett) festgelegt. Diese widerspiegeln die für den Fuss- und Veloverkehr wichtigsten und damit repräsentativen Wegeverbindungen vom betrachteten Areal zu Ziel- und Quellpunkten innerhalb des Perimeters oder über den Perimeter hinaus (häufig über eine oder mehrere der definierten Kreuzungen). Sie sollen im Rahmen der Beurteilung der qualitativen Kriterien durch qualifizierte Fachplanende begangen werden. Aufgrund der Begrenzung auf maximal sechs Untersuchungsachsen liegen nicht alle Ziel- und Quellpunkte bzw. Kreuzungen auf einer Untersuchungsachse. Diese Ziel- und Quellpunkte (hellgrün) bzw. Kreuzungen (hellorange) ausserhalb der Untersuchungsachsen müssen im Sinne einer effizienten Beurteilung nicht zwingend an einer Begehung vor Ort beurteilt werden, sollen aber aufgrund vorhandener Daten (Verkehrsdaten, Luft- oder Strassenraumbilder, Netzplanungen, vorhandene Schwachstellenanalysen, Unfallgeschehen) dennoch grob beurteilt und in die Gesamtbewertung einbezogen werden.

Abb. 11 zeigt einen direkten Vergleich der beiden beschriebenen Perimeter für das Beispiel Zürich-Binz. Es wird deutlich, dass der Perimeter für die quantitative Erschliessungsqualität des Veloverkehrs relativ weit gefasst ist und weite Teile der Stadt Zürich umfasst. Der Perimeter für die qualitative Beurteilung beschränkt sich dagegen auf das umliegende Quartier.

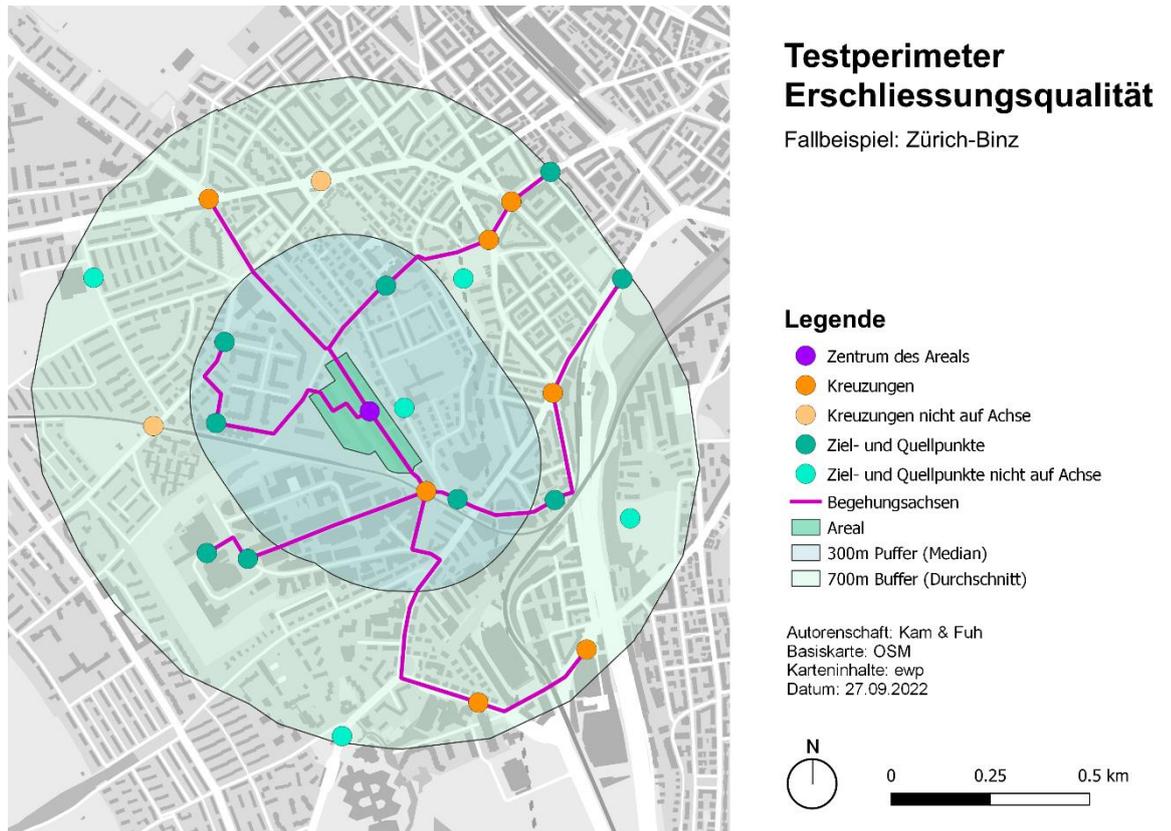


Abb.10 Begehungskarte für den Untersuchungsperimeter Zürich-Binz

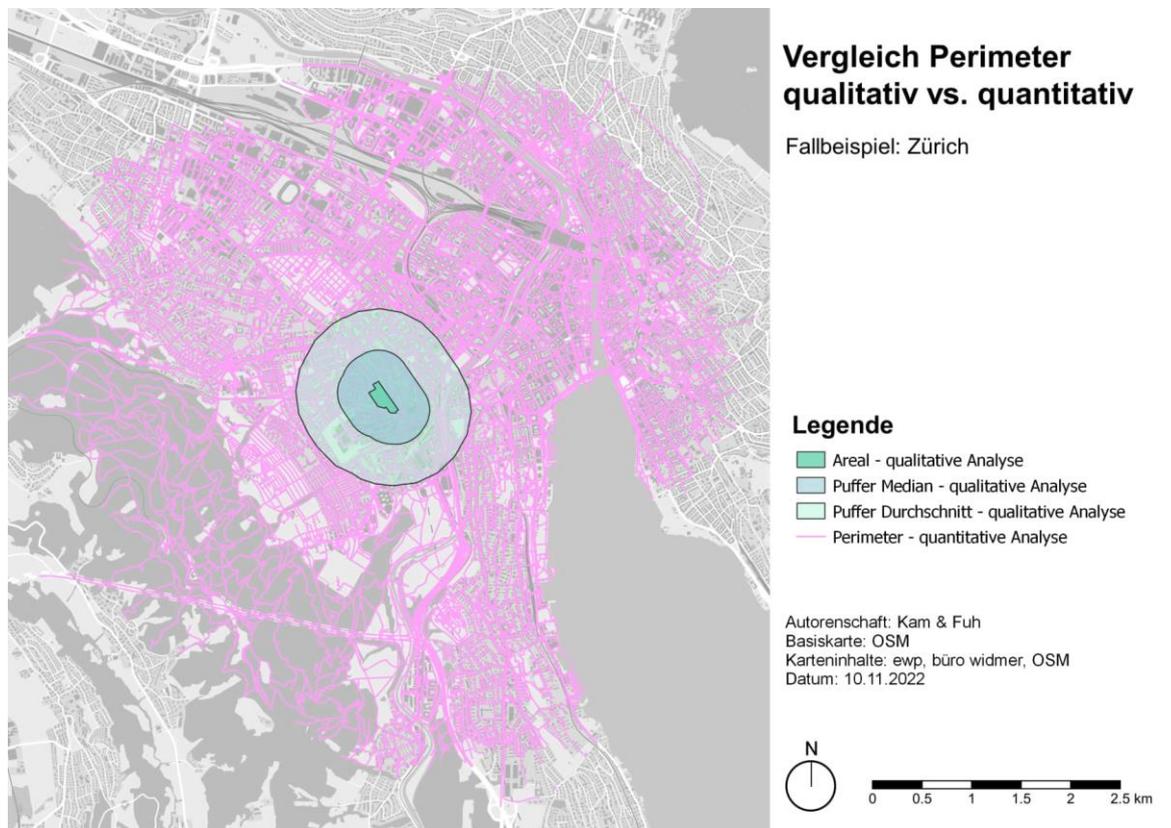


Abb.11 Vergleich der Ausdehnung der Perimeter für die qualitative und quantitative Bewertung für das Beispiel Zürich-Binz

3.2.3 Quantitative Kriterien: Attributierung der Verkehrsnetze

Um quantitative Erschliessungsqualitäten zu bestimmen, müssen die Ausprägungen verschiedener Verbindungen bzw. deren Netzwidestände einheitlich quantifiziert werden. Für den MIV gibt es dazu bereits eine erprobte Praxis mit den Parametern, wie sie in Verkehrsmodellen verwendet werden (Reisezeit, Zuverlässigkeit, Fahrtkosten), ebenso für den ÖV (zusätzlich auch noch Taktichte, Zu-/Abgangszeit, Umsteigehäufigkeit). Sollen quantitative Erschliessungsqualitäten für den Fuss- und Veloverkehr bestimmt werden, müssen auch deren Netze bzgl. ihrer Qualität bzw. den damit verbundenen Raumwideständen bewertet werden. Im Gegensatz zu den anderen beiden Verkehrsmitteln gibt es dazu heute praktisch keine Erfahrungen.

Für eine konsistente verkehrsmittelgerechte Attributierung der Netze sind einheitliche Daten zentral. Als Datenbasis für die Netzattributierung werden primär die Daten von Open Street Map (OSM) herangezogen, weil diese Daten ein nahezu vollständiges Netz der öffentlich zugänglichen Fuss- und Veloverkehrsverbindungen enthalten und für Anwendungen frei zugänglich sind. Für die Attributierung selbst wird der Ansatz mit Kostendistanzen aufbauend auf Grigore (2018) verwendet. Dieser sieht vor, dass die Länge jedes Streckenabschnittes des betrachteten Netzes mit einem Kostenmultiplikator korrigiert wird. Dieser Kostenmultiplikator widerspiegelt die für das jeweilige Verkehrsmittel relevanten Widestände wie z.B. Steigungen, ungenügende Infrastrukturen, gefährliche Abschnitte. Das Gedankenmodell dahinter ist, dass eine Strecke mit mehr Wideständen von den Verkehrsteilnehmenden als länger wahrgenommen wird (Logik Vermeidungskosten: Umwegbereitschaft, um eine bestimmte Situation zu vermeiden) als eine Strecke mit gleicher euklidischer Länge, auf der keine solche Widestände auftreten. Der Kostenmultiplikator wird dabei additiv gemäss folgender Formel definiert:

$$M_s = C_{Gr} + C_{Inf} + C_{Hz} - B_{Env}$$

- M_s = Kostenmultiplikator für Strassensegmente
- C_{Gr} = Gradientenkosten (Steignungsverhältnisse bzw. Topographie)
- C_{Inf} = Infrastrukturkosten (Qualität der Velo- bzw. Fussverkehrsinfrastruktur)
- C_{Hz} = Unfallrisikokosten
- B_{Env} = Umgebungsnutzen (immer positiv, deshalb negative Kosten)

Der Faktor für die Infrastrukturkosten geht vom Basiswert 1 aus. Bei den übrigen Elementen beträgt der Basiswert 0. Bei den Gradientenkosten sind sowohl positive wie auch negative Werte möglich, bei den Unfallrisikokosten und dem Umgebungsnutzen nur positive Werte. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in seiner Einfachheit und der Aufwärtskompatibilität: Die Einflüsse der einzelnen Widestände lassen sich transparent und jeweils einzeln abbilden. Falls der Multiplikator um weitere Widestände ergänzt werden kann bzw. soll (z.B. aufgrund neuer fachlicher Erkenntnisse oder einer besseren Datenlage), können diese einfach additiv hinzugefügt werden.

3.2.4 Qualitative Kriterien: Typen von Indikatoren

Bei den qualitativen Kriterien werden sowohl beim Fuss- als auch beim Veloverkehr im Hinblick auf die Operationalisierung drei verschiedene Typen von Indikatoren unterschieden.

- **Typ 1: Quantifizierung anhand vorhandener Datensätze möglich**
Für Indikatoren dieses Typs sind die notwendigen Datensätze bereits verfügbar oder die Informationen sind einfach zu erheben. Die Daten müssen lediglich noch sinnvoll und kontextabhängig klassiert werden.
Beispiel: Die Anzahl an Veloabstellplätzen, welche innerhalb eines bestimmten Areals vorzufinden sind.

- **Typ 2: Quantifizierung möglich, Daten müssen vor Ort erhoben werden**
Für Indikatoren dieses Typs sind die notwendigen Datensätze nicht vorhanden. Die gewünschten Informationen können jedoch durch Fachpersonen erhoben und quantifiziert werden. Dazu ist eine stufengerechte Erhebung dieser Daten nötig. Beispiel: Die Sichtweite von Zufussgehenden bei Überführungen oder Überquerungen von Strassen.
- **Typ 3: Quantifizierung kaum möglich, erfordert fundierte Einschätzung**
Für Indikatoren dieses Typs lassen sich die notwendigen Informationen kaum oder nur sehr schwer quantifizieren. Zur Bewertung eines qualitativen Aspektes vom Typ 3 ist deshalb eine planerische Einschätzung durch eine Fachperson nötig. Beispiel: Die Führung von Zufussgehenden an einem komplexen Knotenpunkt, zum Beispiel beim Central in Zürich.

Grundsätzlich sind die Kriterien prioritär mittels Indikatoren vom Typ 1 oder ggf. vom Typ 2 zu bewerten, weil die Ergebnisse von quantitativen Bewertungen anhand einer einheitlichen Datenbasis objektiver und damit besser begründ- und vergleichbar sind. Voraussetzungen dafür ist allerdings eine verlässliche und vollständige Datenlage, zudem muss der Indikator geeignet sein, um das angestrebte Kriterium auch wirklich zu beschreiben. Wo diese Voraussetzungen nicht gegeben sind, sind Indikatoren des Typs 3 die bessere Wahl.

3.3 Daten

3.3.1 Datenlage

Die Definitionen der Erschliessungsqualitäten im Fuss- und Veloverkehr sollen die Dynamik bei der Entwicklung der Datenlage berücksichtigen. Die Methoden sollen also mit den heute verfügbaren Daten und Grundlagen angewandt werden können, sie sollen aber auch aufwärtskompatibel sein, so dass zukünftig zusätzlich verfügbare Datensätze relativ einfach in das bestehende Modell eingebaut werden können. Das gilt insbesondere für die quantitativen Indikatoren. Anzustreben ist der Idealfall, in begründeten Fällen kann der Normal- oder gar Minimalfall zur Anwendung kommen.

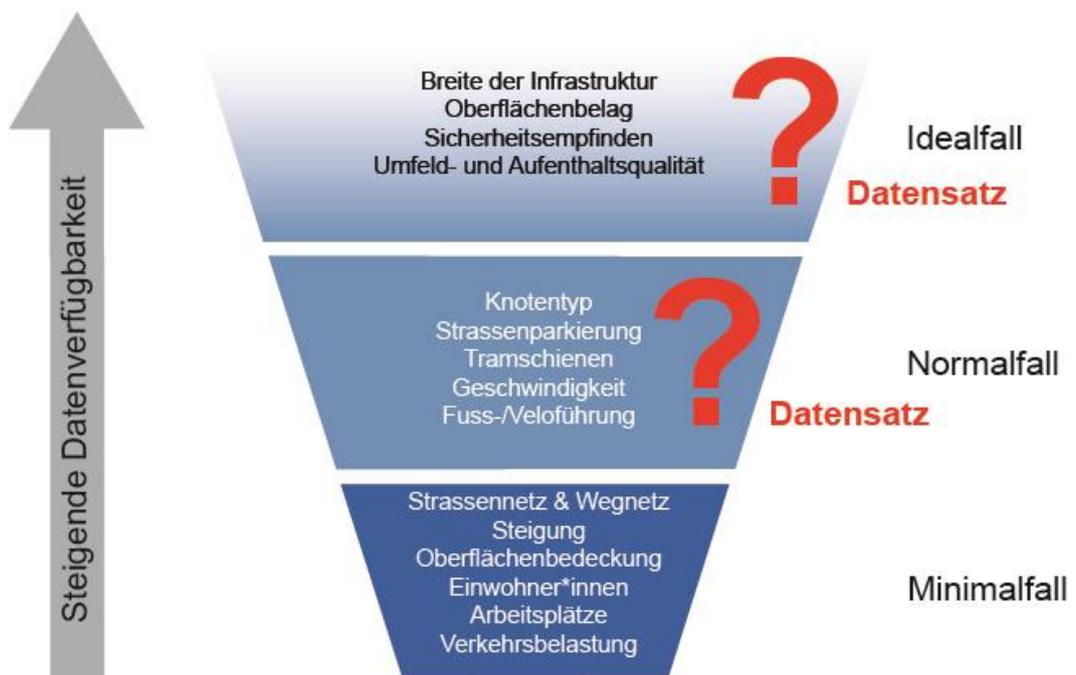


Abb.12 Entwicklung und Anforderungen Datenverfügbarkeit (eigene Darstellung)

3.3.2 Benötigte Daten

Hier werden die heute identifizierten Datengrundlagen dargestellt, die gemäss Kapitel 3.2 in Frage kommen. Nationale Datensätze haben den Vorteil der direkten Vergleichbarkeit. Kantonale und kommunale Datenquellen können jedoch fehlende nationale Quellen ergänzen.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die benötigten Daten und die aktuell zur Verfügung stehenden Grundlagen.

Modus	Variable	Grundlage	Kommentar
F/V	Gradientenkosten	swissALTI3D	Sehr genaue Daten. Kann bei Verschneidung mit Strassennetz zu falschen Gradientenwerten führen. Topographiesprünge durch Brücken, Unterführungen o.Ä. führen zu Verzerrungen.
F/V	Zentralität: Strassen- und Wegnetz, Infrastrukturkosten	OSM	Datensatz verfügt über vollständiges Netz (auch in Grenzgebiet) nach einheitlicher Klassifizierung. Allerdings können falsche Klassifizierungen und Datenlücken zu Problemen führen.
F/V	Umgebungsnutzen	swisstopo, Arealstatistik	
F/V	Umgebungsnutzen	AV Oberflächenbedeckung	
F/V	Erreichbarkeit: Einwohner*innen	BfS, swisstopo	
F/V	Erreichbarkeit: Arbeitsplätze	BfS, swisstopo	In Vollzeitäquivalente
F/V	Kostendistanzen: Verkehrsbelastung (DTV)	Nationales Verkehrsmodell	Allenfalls ergänzt durch feinere, kantonale GVM
F	Lärm, Luftschadstoffe	swisstopo	Allenfalls ergänzt durch feinere, kantonale Daten.
F/V	Breite der Infrastruktur	Kantonale GIS	Nicht auf nationaler Ebene verfügbar. Kantonale GIS zum Erhaltungsmanagement.
V/F	Kostendistanzen: Temporegime	OSM	Informationslücken können vorkommen, häufig ausserhalb des Siedlungsgebiets
V	Kostendistanzen: Tramschienen	swisstopo	Allenfalls ergänzt durch kantonale, kommunale GIS-Datensätze
V	Kostendistanzen: Parkierung auf der Strasse	Parkplatzkataster (kantonale, kommunale)	
F	Unfallsituation	BfS, swisstopo	
F/V	Sicherheitsempfinden	geoinfo.ch & kantonale GIS	
F/V	Fuss-/Veloführung	Kantonale GIS	Bundesgesetz über Velowege sowie Fuss- und Wanderwege verlangen entsprechende Datensätze in den Kantonen
F/V	Breiten	swisstopo	Allenfalls ergänzt durch kantonale, kommunale GIS-Datensätze (Erhaltung, Markierungspläne)
F/V	Netzhierarchie etc.	Mistra	

Auf nationaler Ebene bestehen heute noch erhebliche Lücken bei den für den FVV relevanten Daten. So sind beispielsweise keine konsistenten, offiziellen Datensätze zu Fuss- und Velonetzen oder zur Führungsform des Veloverkehrs (Radstreifen, Radwege, Mischverkehr etc.) vorhanden. Für den Fussverkehr liegen keine konsistenten Datensätze zu spezifischen Anlagen (z.B. Querungen, Treppen etc.) vor. Gleichzeitig werden zunehmend mehr Datensätze auf nationaler Ebene einheitlich zur Verfügung gestellt. Es ist deshalb denkbar, dass einzelne Indikatoren oder Elemente der Kostendistanzen künftig mit neuen Datengrundlagen berechnet werden können.

4 Methode Veloverkehr

Wie oben dargestellt ist die Datenlage für den Veloverkehr auch für quantitative Aussagen heute schon relativ gut, zudem besteht eine bereits geprüfte Methodik für die Bestimmung der Kostendistanzen (Grigore, 2018). Die quantitative Erschliessungsqualität für den Veloverkehr soll deshalb über Kostendistanzen und darauf aufbauend geeignete Kenngrössen für die Erschliessungsqualität beurteilt werden. Für die Ermittlung der Kostendistanzen wird je Strecke ein Faktor definiert. Dieser besteht jedenfalls aus einem Element für die Infrastrukturkosten⁴, welches vom Basiswert 1 ausgeht. Bei den übrigen Elementen beträgt der Basiswert 0. Ein Multiplikator von 1.0 entspricht einer ebenen Strecke mit guter Infrastruktur (Begegnungszone, Velostreifen > 1.80 m breit) und ohne Umgebungsnutzen oder explizite Unfallrisiken. Für die Bestimmung der Kostendistanzen wurden drei Szenarien hinsichtlich Datenverfügbarkeit getestet (vgl. Kapitel 4.1.1): Bei sehr guter Datenverfügbarkeit ist die Aussagekraft der quantitativen Erschliessungsqualität sehr hoch, im Minimalfall bei schlechter Verfügbarkeit immer noch substantiell. Die verbleibenden Aspekte hinsichtlich Erschliessungsqualität für den Veloverkehr werden qualitativ erfasst (vgl. Kapitel 4.3).

Die quantitative Bewertung setzt die Kenntnis voraus, georeferenzierte Daten auszuwerten. Dabei können alle Schritte mit frei zugänglicher Software, zum Beispiel mit QGIS in Ergänzung mit R, mit einem üblichen Computer berechnet werden. Dieses Kapitel 1 leitet die Methode her und zeigt auf, was für Bearbeitungsschritte unternommen werden müssen. Eine detailliertere Beschreibung ist in Anhang I.1.1.1II enthalten.

4.1 Quantitative Bewertung: Kostendistanzen

4.1.1 Verfügbarkeit und Aufbereitung Daten

Um der heute nicht optimalen Datenlage gerecht zu werden, sieht die vorgeschlagene Methode für die Kostendistanzen für den Veloverkehr drei unterschiedlich aufwändige Varianten vor. Wie *Tab. 4* zeigt, umfasst die Minimalvariante die Gradientenkosten, die Infrastrukturkosten und den Umgebungsnutzen. Die Normalvariante beinhaltet zusätzlich Abbiegekosten an Knoten. Dazu muss ein Datensatz mit allen Abbiegepunkten inklusive deren Typisierung vorliegen. Die Idealvariante beinhaltet zusätzlich Unfallrisikokosten im Strassenraum. Sich öffnende Autotüren oder ungünstig geparkte Fahrzeuge stellen hier ein Sicherheitsrisiko für die Velofahrenden dar und verringern ihr Wohlbefinden (Grigore, 2018).

Tab. 4 Varianten der Bearbeitungstiefe für die Kostendistanzen Veloverkehr

	Minimal	Normal	Ideal
Gradientenkosten	✓	✓	✓
Umgebungsnutzen	✓	✓	✓
Infrastrukturkosten	✓	✓	✓
Abbiegekosten an Knoten		✓	✓
Unfallrisikokosten (Parkplätze etc.)			✓

Bei der Aufbereitung der Daten sind die beiden nachfolgenden grundsätzlichen Korrekturen nötig, um die gewünschten Kostendistanzen zu ermitteln. Einzelheiten je Kostenelement folgen im nächsten Kapitel.

⁴ Unter Infrastrukturkosten wird im vorliegenden Bericht in Anlehnung an (Grigore, 2018) der durch die Qualität der Veloinfrastruktur bestimmte Anteil der generalisierten Kosten verstanden und nicht die Kosten für die Erstellung von Verkehrsinfrastrukturen.

- Basisnetz:** Für die Velo- und Fussverkehrsnetze wurde der Datensatz aus Open Street Map (OSM) herangezogen. Dieser Datensatz bildet gegenüber weiteren in Betracht gezogenen Grundlagen (z.B. nationale oder kantonale Verkehrsmodelle) das Veloverkehrsnetz sehr gut ab. Bei der Anwendung in den Testgebieten wurden gleichwohl Datenfehler festgestellt: So gibt es vereinzelte Lücken bei in der Realität durchgehender Veloinfrastruktur. Zum Beispiel sind gewisse für das Velo zugelassene (für den MIV gesperrte) Abbiegeverbindungen auf Kreuzungen nicht erfasst oder Trottoirüberfahrten tauchen im Modell als Lücken auf, obwohl sie in Realität von Velos überfahren werden dürfen. Diese Verzerrung wurde behoben, indem die gemäss OSM für das Velo gesperrten Abschnitte im Modell mit hohen Kostenmultiplikatoren belegt wurden (vgl. I.1.1). So entsteht dennoch ein zusammenhängendes Netz, was wichtig für die Berechnung der Kenngrössen (Zentralität und Erreichbarkeit) ist. Da die beschriebenen Lücken in der Regel sehr kurz sind (Abbiegebeziehungen, Trottoirüberfahrten), wird der Netzwidestand einer gesamten Route nur gering erhöht. Schliesslich sind die OSM-Daten aufgrund der unstrukturierten Nachführung nicht flächendeckend auf dem neuesten Stand. Trotz dieser Nachteile überwiegen die grossen Vorteile eines grundsätzlich realitätsnahen Netzes aber deutlich.
- Gradientenkosten:** Bei der Verschneidung der Datensätze aus dem Höhenmodell mit den Geometrien aus OSM resultierten aufgrund von Inkonsistenzen der Datensätze auf kurzen Abschnitten Höhenversätze und damit unrealistisch hohe Steigungen, welche zu überhöhten Widerständen auf den darüber verlaufenden Verbindungen führten. Um das zu vermeiden, wurde wie folgt vorgegangen: Erstens wurden möglichst homogene Längen für die einzelnen Segmente gebildet, zweitens wurden unrealistisch hohe Werte bei kurzen Segmenten wie Treppen, Rampen usw. im GIS automatisch gefiltert und die Steigung dort auf einem konstanten Maximalwert plafoniert (vgl. Anhang I.1.2).

4.1.2 Gradientenkosten

Mit den Gradientenkosten wird der Einfluss der Topographie (also von Steigungen und Gefälle) auf die Verbindungsqualität des Veloverkehrs abgebildet. Gemäss Grigore (2018) werden die Gradientenkosten nach folgender Funktion modelliert:

$$C_{Gr} = 417 * gr * (gr + 0.04)$$

Der Graph der Funktion in *Abb. 13* zeigt, dass Steigungen immer zu steigenden Kosten für Velofahrende führen. Dagegen führt ein leichtes Gefälle im Veloverkehr zu leicht negativen Gradientenkosten, da die Fortbewegung weniger körperliche Anstrengung bedingt. Allerdings führen starke Gefälle wiederum zu positiven Gradientenkosten, da sich das grosse Gefälle negativ auf das Sicherheitsempfinden der Velofahrenden auswirkt.

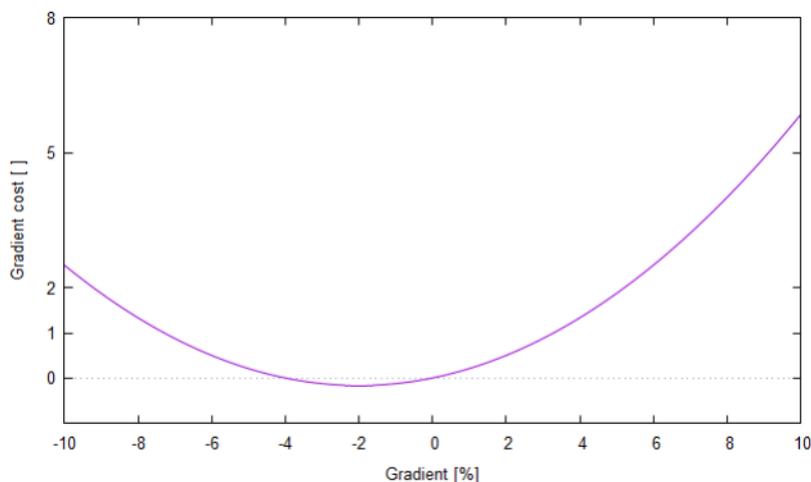


Abb. 13 Funktion der Gradientenkosten (Grigore, 2018)

Die so definierte Funktion bezieht sich auf konventionelle Velos (ohne e-Bike) und basiert auf VSS-Normen und Literatur. Sie wurde im Rahmen der erwähnten Arbeit für ein Testgebiet in der Stadt Basel angewendet und hat dort plausible Resultate produziert. Allerdings zeigte sich im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit, dass die Gradientenkosten bei Anwendung in hügeligerem Terrain im Verhältnis zu den anderen Kostenelementen zu stark ins Gewicht fallen. Um das zu korrigieren, wurde ein Gewichtungsfaktor der Gradientenkosten definiert, der umgekehrt proportional ist zur Hügeligkeit des Perimeters. Das heisst, je höher das mittlere Gefälle der Verbindungen im Perimeter ist, umso kleiner soll das relative Gewicht der Gradientenkosten innerhalb des Multiplikators sein. Basierend auf den vier Testgebieten dieser Studie ergibt sich in etwa ein exponentiell fallender Verlauf für diesen Gewichtsparameter, vgl. *Abb. 14*. Diese Gewichtungen geben für die vier Testgebiete vernünftige Resultate. Der exakte Verlauf muss mit der Anwendung in weiteren Testgebieten verifiziert werden.

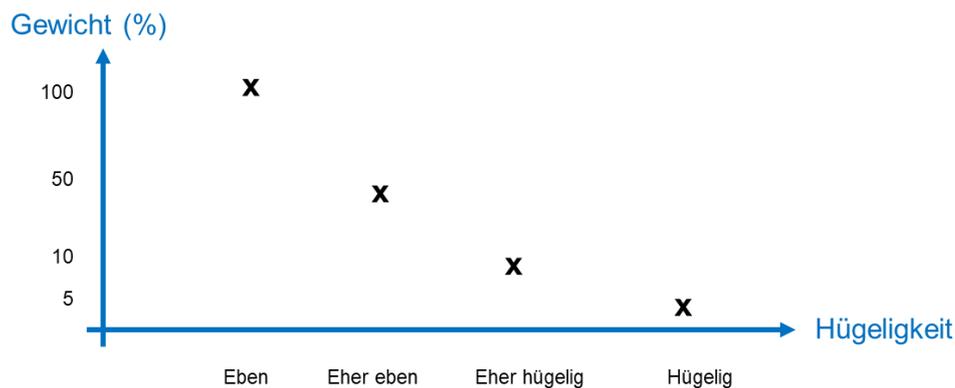


Abb. 14 Gewichtung der Gradientenkosten in Abhängigkeit der Hügeligkeit

Verworfenе Ansätze zum Umgang mit den Gradientenkosten

Die nachfolgenden Ansätze zum Umgang mit den stark überzeichnenden Gradientenkosten wurden im Laufe des Forschungsprojektes ebenfalls geprüft, aber schliesslich begründet verworfen.

1. Gradientenkosten weglassen

Die Steigung kann nicht durch verkehrspolitische Massnahmen beeinflusst werden. Es könnte zudem argumentiert werden, dass Velofahrende informiert sind und die zu befahrende Steigung und das anzutreffende Gefälle bereits in ihre Entscheidung zugunsten des Velos einfließt. Es scheint darum eine Option, das Problem zu lösen, indem die Steigungskosten komplett weggelassen werden. Bei dieser Frage sind folgende Erwägungen basierend auf der Literatur relevant:

- Gemäss der in Kapitel 2 ausgewerteten Literatur werden hügelige Strecken für Freizeitfahrten teilweise explizit gesucht (u.a. Gesundheitsaspekt), allerdings werden auch dann moderate Steigungen gegenüber extremer Steigung bevorzugt. Gemäss den meisten Publikationen mit Fokus Alltagsverkehr werden flache Strecken gegenüber Steigungen von Velofahrenden grundsätzlich bevorzugt.
- Zum Gewicht der Steigung im Vergleich zu anderen Kriterien liegt nur wenig aussagekräftige Literatur vor. Gemäss Menghini et al.(2009) dominiert in der Routenwahl zwar die Länge und der Anteil an guter Veloinfrastruktur, jedoch basiert die Aussage auf einem Raum, in dem eine gewisse Steigung nicht umfahren werden kann. Auch dabei zeigt sich, dass je steiler die Strecke ist, die Strecke weniger gewählt wird.

Die Gradientenkosten ganz wegzulassen ist demnach keine Option, weil die meisten Verkehrsteilnehmenden mit möglichst geringen «Kosten» ans Ziel gelangen möchten. Würden

Gradientenkosten generell ignoriert, würde ein entscheidendes Element in den Kostendistanzen wegfallen. Dadurch würden Routen mit guter Infrastruktur und Umgebung gut abschneiden, die aber in Realität wenig befahren werden, weil sie zu steil sind.

2. Anpassung auf Grund paariger Wege

Da in der Regel Hin- und Rückfahrt gleich seien, könnte argumentiert werden, dass sich Steigung und Gefälle gegenseitig aufheben. Das ist jedoch nur dann richtig, wenn a) keine Aktivitätsketten bestehen (z. Bsp. zu Hause – Arbeit – zu Hause statt zu Hause – Arbeit – Einkauf – zu Hause) und b) die Velofahrenden die Steigung und das Gefälle exakt gleich bewerten. Folgt man dieser Argumentation, wären zwei Optionen denkbar:

- Option a: Kein Einfluss der Steigung auf die Kostendistanz (vgl. Punkt 1)
- Option b: Einfluss von geringen Steigungen auf die Kostendistanz ignorieren. Dafür spricht, dass es möglicherweise erst ab einem bestimmten Gefälle einen Unterschied macht, ob man hoch- oder herunterfährt und der Einfluss auf die empfundene Länge bei moderater Steigung bzw. moderatem Gefälle nicht signifikant ist.

Gemäss Literatur führen Steigungen tatsächlich zu höheren Kosten als Gefälle, was nachvollziehbar ist. Allerdings kann ein starkes Gefälle ebenfalls negative Auswirkungen auf Wohlbefinden und Sicherheit von Velofahrenden haben. Nur kleine Gefälle führen demnach wie oben beschrieben zu positiven Effekten. Die gewählte Funktion gemäss *Abb. 13* stützt sich gemäss (Grigore, 2018) auf Annahmen und die Norm SN 640 060. Gemäss Mikrozensus kommen zudem asymmetrische Aktivitätenketten relativ häufig vor.

Beide Ansätze stellen demnach keine Option dar, weil Velofahrende Steigung und Gefälle grundsätzlich nicht gleich bewerten. Der Anteil von asymmetrischen Aktivitätsketten ist zudem nicht zu vernachlässigen. Dazu kommt, dass es im Moment keine robusten Hinweise gibt, wo ein für die ganze Schweiz korrekter Schwellenwert einer maximalen irrelevanten Steigung zu liegen käme. Damit würde das Problem nur verlagert und das Modell verschlechtert.

3. Löschen von Kanten mit einem Wert höher als ein definierter Schwellenwert

Eine Option wäre schliesslich, Strecken ab einer bestimmten Steigung (z.B. 8 oder 12 %) als nicht befahrbar zu modellieren bzw. aus dem Netz zu löschen. Damit würde das Problem der exponentiell wachsenden und damit dominierenden Gradientenkosten bei höheren Steigungen entschärft.

In der Literatur gibt es zwar Planungswerte zur maximalen Neigung (Hermanns, 2019), allerdings keine empirischen Werte, ab welcher Steigung eine Strecke kaum mehr befahren wird. Vielmehr hängt diese Schwelle von den vorhandenen Alternativen, der Länge der Steigung sowie des Profils der einzelnen Velofahrenden ab. Eine solche Elimination wäre demnach willkürlich und unrealistisch, weil selbst starke Steigungen unter Umständen gewählt werden. Entsprechend stellt dieser Ansatz keine Option dar.

4.1.3 Infrastrukturkosten

Mit den Infrastrukturkosten wird der Einfluss der Veloverkehrsinfrastruktur (also Radwege, Radstreifen, Temporegime MIV auf Mischverkehrsabschnitten) auf die wahrgenommene Qualität und damit auf die Kostendistanzen abgebildet. Dabei lassen sich gemäss Grigore (2018) zwei Ansätze unterscheiden:

- Variable Infrastrukturkostenfaktoren abhängig von Verkehrsmenge MIV
- Fixe Infrastrukturkostenfaktoren für verschiedene Führungsformen des Veloverkehrs

Mit dem ersten Ansatz werden die Infrastrukturkosten basierend auf den Strasseninfrastrukturtypen, Geschwindigkeiten und dem DTV des motorisierten Individualverkehrs berechnet. Dieser Ansatz deckt vor allem Mischverkehrsabschnitte und die Führung auf Velostreifen ab. Dabei ergeben sich die Kostenfaktoren gemäss folgender Funktion:

$$C_{Inf} = f * e^{g * AADT} + h$$

- AADT = Annual Average Daily Traffic = DTV
- Parameter f (Schwellenwert DTV für steigende Kosten), g (Steigung der Kostenfunktion) und h (minimaler Wert bei kleinem DTV) können variiert werden

Nachfolgend sind die Kostenfunktionen und die Graphen für diesen Ansatz dargestellt.

Tab. 5 Kostenfunktionen in Abhängigkeit von Veloinfrastruktur und Verkehrsbelastung nach (Grigore, 2018)

Velo-Infrastruktur-Typ	Kostenfunktion der Veloinfrastruktur
Mischverkehr Velo + motorisierter Verkehr bei 30 km/h	$0.011 \times e^{0.00020 \times DTV} + 0.989$
Mischverkehr Velo + motorisierter Verkehr bei 50 km/h	$0.011 \times e^{0.00025 \times DTV} + 1.280$
Velostreifen (1.5 – 1.8 m) / Busspur bei 30 km/h	$0.011 \times e^{0.00015 \times DTV} + 0.789$
Velostreifen (1.5 – 1.8 m) / Busspur bei 50 km/h	$0.011 \times e^{0.00020 \times DTV} + 0.989$
Velostreifen (< 1.2 m)	$0.011 \times e^{0.00025 \times DTV} + 1.280$

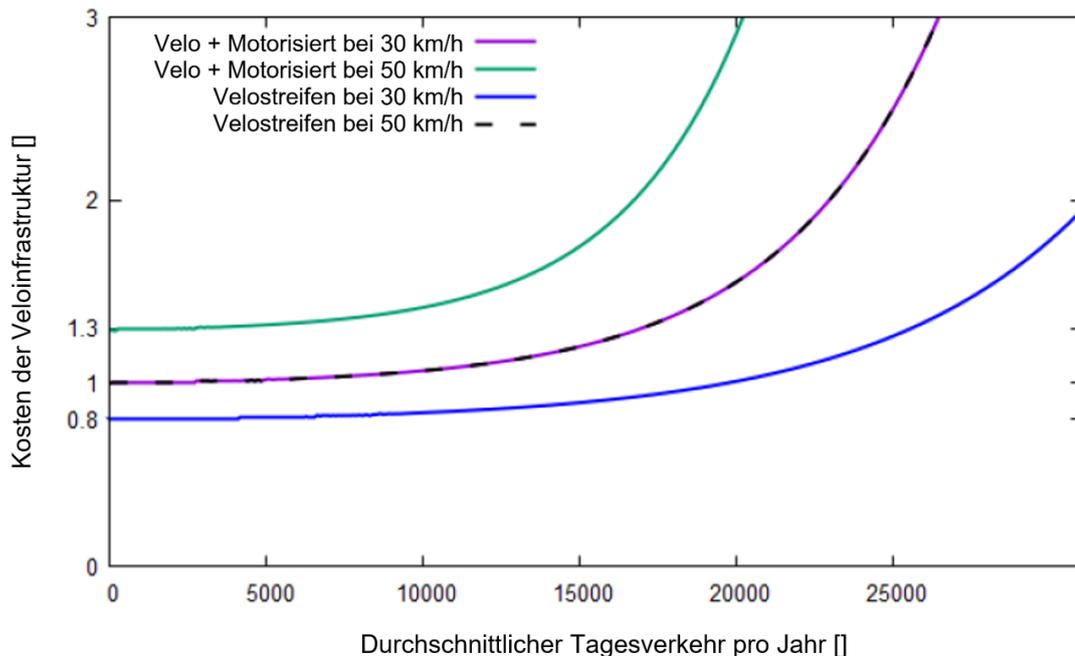


Abb. 15 Kostenfunktionen für unterschiedliche Streckentypen nach Grigore (2018)

Mit dem zweiten Ansatz werden für alle übrigen Führungsformen (v.a. Velowege, kombinierte Fuss-/Velowege, Begegnungszonen, Velostrassen, tlw. Velostreifen) die Kostenfaktoren fix definiert (siehe *Tab. 6*).

Tab. 6 Kostenfunktionen mit konstanten Kosten nach (Grigore, 2018)

	Konstanter Kostenfaktor[]
Mischverkehrsflächen Fuss-/Veloverkehr, kombinierte Fuss-/ Velowege	1
Begegnungszonen (Tempo 20)	1
Velostrasse	0.9
Veloweg von 3.0 m (eine Richtung) oder 3.4 m (beide Richtungen)	0.8
Veloweg von 2.6 – 2.9 m (eine Richtung) oder 2.8 – 3.3 m (beide Richtungen)	0.9
Veloweg < 2.6 m (beide Richtungen) oder 2.8 m (beide Richtungen)	1
Velostreifen von 1.2 – 1.5 m	Gewichteter Durchschnitt zwischen der Funktionen 'Mischverkehr' und 'Velostreifen (1.5-1.8 m)' für jeweils T30/T50 [Tab. 5]
Velostreifen > 1.8 m	1

Die Querschnittsbreiten für die Differenzierung der einzelnen Infrastrukturkostenkategorien gemäss *Tab. 6* orientieren sich u.a. an den Vorgaben gemäss VSS-Normen. Unterdessen bestehen neuere Standards, weshalb Funktionen in Zukunft gegebenenfalls angepasst, respektive validiert werden müssen. Kantone und Städte haben teilweise erweiterte Standards, die die wahrgenommene Qualität zusätzlich erhöhen können (und damit die Kostendistanzen reduzieren). Solche zusätzlichen Kategorien konnten in der vorliegenden Forschung mit Test an nur vier Fallbeispielen nicht validiert werden. Grundsätzlich ist es denkbar und zweckmässig, bei gefestigter kantonaler bzw. kommunaler Praxis zusätzliche Kategorien von Infrastrukturkosten für diese Standards zu definieren. Das ist vor allem dann sinnvoll, wenn Kantone eigene Velostandards definiert haben und diese quantitativ erfassen. Ohnehin empfiehlt es sich auch bei den Infrastrukturkosten, im Nachgang zur vorliegenden Forschung mittels Anwendung in weiteren Testgebieten die Ansätze zu validieren und ggf. zu präzisieren.

Die Bewertung der einzelnen Strecken erfordert eine durchgehende, korrekte Attributierung aller Netzelemente mit der jeweiligen Veloinfrastruktur. Das ist heute noch nicht durchgehend der Fall. So liegen auch in OSM keine Angaben zur Breite von Velostreifen vor. Bis eine solche flächendeckende Attributierung vorliegt, müssen Annahmen getroffen werden (z.B. flächendeckende Attributierung anhand üblicher kantonaler und kommunaler Standards, Vernachlässigung von einzelnen Über- oder Unterschreitungen). Langfristig dürften die Daten deutlich besser werden.

Die Infrastrukturkosten konzentrieren sich aktuell auf Strecken. Für die wahrgenommene Distanz ist der Einfluss von Knoten ebenfalls erheblich. Jedoch fehlen hierzu weitgehend georeferenzierte Grundlagen zur Knotenform und selbst für vorhandene Datensätze ist die präzise Führung des Veloverkehrs in der Regel nicht erfasst, insbesondere bei Lichtsignalanlagen (z.B. separates Vorgrün für Velos, konkrete Fahrbeziehungen über Knoten etc.). Der Einfluss von Knoten auf die Erschliessungsqualität wird deshalb vorerst bei der Ermittlung der quantitativen Erschliessungsqualitäten berücksichtigt; die exakten Eigenheiten fließen in die qualitativen Werte ein. Eine spätere Integration in den quantitativen Teil bleibt aber grundsätzlich möglich und würde sich an folgenden Werten orientieren.

Tab. 7 Kostenfunktionen für unterschiedliche Knotenformen nach Grigore (2018)

Knotentyp	Zusätzliche Kosten als wahrgenommene Distanz für Pendler*innen [m]
Einfacher Knoten (Grundkosten je Knotendurchfahrt)	67
LSA (ausgenommen Rechtsabbiegung)	34
Kosten Stoppstrasse	8
Nicht signalisiert, Linksabzweigung, DTV 5'000 – 10'000 Fzg./Tag	66
Nicht signalisiert, Linksabzweigung, DTV 10'000 – 20'000 Fzg./Tag	220
Nicht signalisiert, Linksabzweigung, DTV > 20'000 Fzg./Tag	885
Nicht signalisiert, Geradeaus, DTV 5'000 – 10'000 Fzg./Tag	66

Nicht signalisiert, Geradeaus, DTV 10'000 – 20'000 Fzg./Tag	94
Nicht signalisiert, Geradeaus, DTV > 20'000 Fzg./Tag	515
Nicht signalisiert, Rechtsabzweigung, DTV > 10'000 Fzg./Tag	61
Quelle: Übernommen von Broach et al. (2012), S. 1736	

4.1.4 Unfallrisikokosten

Unfallrisikokosten beschreiben konkrete Situationen, bei denen sich Velofahrende unwohl fühlen oder Unfälle befürchten müssen. Die Herleitung der Unfallrisikokosten orientiert sich ebenfalls an der Umwegebereitschaft. Dabei liegt die Annahme zu Grunde, dass eine Gefahrensituation eine maximale Umwegebereitschaft von 50% bewirkt (Grigore et al., 2018). Liegen weniger gravierende Situationen vor, sinkt dieser Wert bis auf einen Wert von 20%. Diese Werte beziehen sich auf das jeweilige Infrastrukturelement, das als gefährlich wahrgenommen wird, und zwar über die gesamte Länge des gefährlichen Abschnittes. Zusätzlich nötige Umwege, weil die Alternativroute deutlich länger ist, können mit diesem Ansatz nicht abgebildet werden. Liegen auf einem einzigen Abschnitt mehrere Gefahrenstellen vor, werden die entsprechenden Kostenelemente summiert. Aufgrund dieses additiven Ansatzes ist es auch möglich, nur einzelne Gefahrensituationen quantitativ zu modellieren. Nachfolgend sind die massgebenden Kostenelemente dargestellt.

Tab. 8 Kostenfunktionen für Gefahrensituationen nach Grigore (2018)

Gefahr	Kostenelement Summand C_{Hz} []
Parkplätze parallel zur Fahrtrichtung + Velostreifen näher als 75 cm	0.2
Parkplätze parallel zur Fahrtrichtung + Velostreifen näher als 75 cm + Gradient < -4% oder Gradient > 4%	0.5
Parkplätze parallel zur Fahrtrichtung + Tramschienen näher als 2.65 m	0.3
Parkplätze parallel zur Fahrtrichtung + Tramschienen näher als 2.65 m + Gradient < -4% oder Gradient > 4%	0.5
Parkplätze parallel zur Fahrtrichtung + «Velo + Motorisiert» + Gradient < -4% oder Gradient > 4%	0.3
Parkplätze senkrecht oder schräg zur Fahrtrichtung	0.2
Tram-Kaphaltestelle ohne Infrastrukturmassnahmen für Velo	0.2
Anteil des Schwerverkehrs > 8% des DTV (verkehrsorientierte Strassen)	0.2

Quelle: Grigore (2018): Gewählte Situationen basieren auf Sigrist & Rothenbühler (2008), Seite 37; Pestalozzi & Stäheli (2012), Seiten 8-10; Baker & Schmidt (2017), Seiten 27 und 39. Werte für Kostenmultiplikatoren selbst bestimmt (Grigore, 2018); gegenüber Originalpublikation leicht angepasst (Abstand Parkplätze) sowie weggelassen: 0.2 für «DTV zu hoch für vorhandene Strassenbreite», da zu schwer quantifizierbar je Kontext.

Eine grosse Herausforderung bei diesem Element stellt wiederum die Datenlage dar: Gemäss Tab. 8 erfordert die Ermittlung der Kostenelemente Angaben zu Lage, Anzahl und Ausrichtung von Parkplätzen sowie zu den Distanzen derselben zu Tramschienen oder zu Velostreifen. Diese Aussagen liegen kaum georeferenziert vor. Entsprechend ist es heute noch nicht flächendeckend möglich, dieses Element in die Kostendistanzen aufzunehmen. Für die Stadt Zürich und damit für das Fallbeispiel Zürich-Binz liegt ein besser attribuiertes Netz (Meister et al., 2021) vor, dass die Ermittlung von Kostenelementen für die Autoparkierung im Strassenraum ermöglicht. Beim jetzigen Datenstand wird dennoch empfohlen, diesen Aspekt im Rahmen des qualitativen Teils zu bewerten. Eine spätere Integration in den quantitativen Teil bei besserer Datenlage bleibt aber möglich und wird empfohlen.

4.1.5 Umgebungsnutzen

Im Vergleich zu direkten verkehrsbezogenen Massnahmen spielt die Qualität des angrenzenden Raumes eine etwas weniger grosse Rolle (Häberli et al., 2002). Daher wird der Umgebungsnutzen in der Berechnungsmethodik auch etwas weniger stark gewichtet.

Dennoch ist die Umgebungsqualität relevant: Verschiedene Studien (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) haben gezeigt, dass eine besonders ästhetische oder begrünte Umgebung dazu führt, dass Velofahrende eine gefahrene Distanz als weniger lang wahrnehmen. Der Umgebungsnutzen soll deshalb als (negatives) Kostenelement aufgenommen werden. Dabei wird auf den Einfluss von Grün- und Wasserflächen im Strassenumfeld fokussiert, weil die Daten dazu weitgehend verfügbar sind, die Bedeutung eher noch zunimmt (Stichwort Klimaanpassung) und weil die ästhetische Qualität des Umfeldes nur schwer objektiviert oder gar quantifiziert werden kann.

Berücksichtigt werden Flächen beidseits der Strasse im Umkreis von 10 m um die Strassenmitte⁵. Je grösser der prozentuale Anteil von Grünräumen oder Wasserflächen innerhalb des betrachteten Raumes (gw), desto grösser wird der Umgebungsnutzen für die Velofahrenden (B_{Env}) angenommen.

Die Berechnung erfolgt nach der folgenden Formel:

$$B_{Env} = 0.1 - \left(\frac{0.1}{0.01 + e^{0.05 * gw}} \right)$$

4.1.6 Plausibilisierung Kostenelemente

Die massgebenden Elemente für die Kostendistanzen für Minimal-, Normal- und Idealfall und die daraus resultierenden Kostenmultiplikatoren werden nachfolgend für ausgewählte Strassenräume im Testgebiet Zürich-Binz dargestellt und erläutert.

Minimalfall

Nachfolgend sind die Kostendistanzen und die einzelnen Elemente unter Einbezug von Gradientenkosten, Infrastrukturkosten und Umgebungsnutzen für zwei Strassensituationen dargestellt. Die Topographie ist vergleichbar und sehr günstig (flaches Gelände). Auch der Umgebungsnutzen ist bei beiden Situationen ähnlich, aber eher gering (wenig begrünte Flächen im Strassenraum). Der grosse Unterschied liegt bei den Infrastrukturkosten: Hier schneidet die Grubenstrasse als T30-Zone mit einer Belastung von weniger als 3'000 Autos pro Tag deutlich besser ab als die Situation bei der Einmündung der Eichstrasse in die Uetlibergstrasse. Entsprechend liegt der Kostenmultiplikator bei der Grubenstrasse um gut 10% tiefer, wobei in beiden Situationen ein sehr guter Wert von weniger als 1 erreicht wird.

⁵ Der Grund, warum ab Strassenmitte gemessen wird, ist einer dadurch standardisierten Bearbeitung in einer GIS-Software geschuldet. So kann zwar nie der volle Wert erreicht werden, jedoch werden alle Strassensegmente gleich bearbeitet, wodurch dieser Umstand nicht ins Gewicht fällt.

		
Wert	0.83	0.93
Gradientkosten	Ebene Topographie	Ebene Topographie
Infrastrukturkosten	DTV < 3'000, T30	DTV > 3'000
Umgebungsutzen	gering	gering
	<i>Grubenstrasse</i>	<i>Eichstrasse / Uetlibergstrasse</i>

Abb. 16 Plausibilisierung mit Informationen im Minimalfall, hier geben die Infrastrukturkosten den Ausschlag für einen Unterschied von 10%-Punkte

Normalfall

Werden bei den beiden oben beschriebenen Situationen zusätzlich die Abbiegekosten einbezogen, akzentuieren sich die Unterschiede: Die Kreuzung ist für Velofahrende aufgrund der Abbiegekosten unattraktiver, was sich in einem deutlich höheren Multiplikationsfaktor von 1.19 niederschlägt. Zu beachten ist, dass in der folgenden Abbildung ein anderer Abschnitt der Grubenstrasse, jedoch mit ähnlichen Eigenschaften, bewertet wird.

		
Wert	0.76	1.19
Gradientkosten	Ebene Topographie	Ebene Topographie
Infrastrukturkosten	DTV < 3'000, T30	DTV < 3'000, T30
Umgebungsutzen	gering	gering
Abbiegekosten	gering	Kreuzung
	<i>Grubenstrasse</i>	<i>Eichstrasse / Uetlibergstrasse</i>

Abb.17 Plausibilisierung mit Informationen im Normalfall, hier geben die Abbiegekosten (Infrastrukturkosten an Knoten) den Ausschlag für einen Unterschied von 43%-Punkte

Idealfall

Werden zusätzlich auch noch die Unfallkosten einbezogen, nehmen die Multiplikatoren auf der Grubenstrasse zu, weil die Parkplätze auf der Fahrbahn ein (empfundenes) Sicherheitsrisiko darstellen. Diese Situation wird mit einer Quartierstrasse (Kleinalbis) verglichen, die bzgl. Topographie, Infrastrukturkosten und Abbiegekosten vergleichbar ist, aber einen etwas höheren Umgebungsnutzen und keine Parkierung aufweist. Entsprechend liegt der Multiplikator auf der Quartierstrasse etwas tiefer als auf der Grubenstrasse. Es zeigt sich jedoch auch, dass der Umgebungsnutzen und die Unfallkosten (hier nur Parkierung) wie angestrebt nur schwach ins Gewicht fallen.



Wert	0.94	0.85
Gradientkosten	Ebene Topographie	Ebene Topographie, Quartier
Infrastrukturkosten	DTV < 3'000, T30	DTV unbekannt (0), T20
Umgebungsnutzen	gering	mittel
Abbiegekosten	gering	gering
Unfallkosten	Parkierung auf Fahrbahn	Keine Parkierung
	<i>Grubenstrasse</i>	<i>Kleinalbis</i>

Abb.18 Plausibilisierung mit Informationen im Normalfall, hier geben diverse Kostenelemente den Ausschlag für einen Unterschied von 9%-Punkte

Die Fallbeispiele zeigen, dass der Ansatz grundsätzlich in allen drei Szenarien funktioniert und plausible Resultate ergibt. Die üblichen Werteverteilungen der Kostenfaktoren ändern sich dabei in der Höhe nur wenig, weil die stark streuenden Kostenelemente (Infrastrukturtyp, Topographie) bei allen Szenarien berücksichtigt werden. Der Normalfall und insbesondere der Maximalfall erlauben es aber, mehr und vielfältigere Aspekte zu berücksichtigen und damit die Kostenfaktoren noch differenzierter abzubilden. Um methodische Verzerrungen zu vermeiden, sollten trotz der ähnlichen Wertebereiche bei der Ermittlung der Kostendistanzen für einen bestimmten Perimeter auf dem gesamten Netz dieselben Kostenelemente zugrunde gelegt werden. Die Multiplikatoren und die damit ermittelten Kostendistanzen stellen vorwiegend relative Werte dar, die eine differenzierte Bewertung der Kosten für verschiedene Strassenraumsituationen ermöglichen, was für die Ermittlung der unterschiedlichen Qualitätsstufen völlig ausreicht. Die absolute Aussagekraft ist dagegen gering.

4.2 Quantitative Bewertung: Kenngrössen

Die Kenngrössen für die quantitative Erschliessungsqualität eines Areal für den Veloverkehr leiten sich grundsätzlich aus den Arbeiten im Grundlagenbericht her, werden aber aufgrund der Literaturanalyse verfeinert. Es werden zwei Kenngrössen ermittelt:

- Die **Zentralität** beschreibt, wie gut ein Areal (bzw. die angrenzenden Knoten) ins umliegende Veloverkehrsnetz eingebunden ist. Diese Kenngrösse ist ausschliesslich angebotsorientiert und bildet Dichte und Struktur des Netzes im (nahen) Umfeld ab.
- Die **Erreichbarkeit** beschreibt, wie viele Möglichkeiten vom jeweiligen Areal mit welchem (zeitlichem) Aufwand erreicht werden können. Diese Kenngrösse verknüpft das Verkehrsangebot mit der Dichte und Verteilung von Bevölkerung und Arbeitsplätzen im (auch weiteren) Umfeld.

Bei beiden Kenngrössen wird das jeweils relevante Netz im Perimeter gemäss Kapitel 3.2.2 mittels Kostendistanzen attribuiert. Dazu werden die euklidischen Distanzen der einzelnen Strecken mit den Kostenmultiplikatoren gemäss vorangehendem Kapitel 4.1 multipliziert.

4.2.1 Zentralität

Zur Berechnung der Zentralität wird aufgrund der Literaturanalyse (Kap 2.4) die betweenness centrality innerhalb des Perimeters berechnet. Dazu eignet sich beispielsweise die frei verfügbare Software R mit geeigneten Paketen (zum Beispiel: igraph, sfnetworks). Es werden die kürzesten Wege für alle Beziehungen zwischen allen Knoten im Netz ermittelt, wobei für die Streckenwiderstände der möglichen Wege die ermittelten Kostendistanzen massgebend sind. Eine weitere Gewichtung der Strecken, z.B. ob eine Strecke Element eines Teilrichtplans Velo- oder Fussverkehr ist, wird nicht vorgenommen. Standardmässig berechnet das Paket für alle Knoten einen Wert. Die Rechenzeit auf einem normalen Laptop dauert für ein einzelnes Areal einige Sekunden bis ein paar Minuten (Stand 2022, ermittelt anhand der 4 Fallbeispiele).

Der für das Areal massgebende Wert entspricht dem maximalen Wert aller Knoten auf dem Netz innerhalb des Areals oder in einer Distanz von maximal 50 m um das Areal. Der Knoten kann somit entweder im Areal selbst oder unmittelbar am Areal liegen. Dieses Vorgehen leitet sich von der Überlegung ab, dass der Hauptzugang zum Areal wahrscheinlich dort ist, wo die beste Durchwegung entstehen wird, dass also dieser am besten angebundene Knoten für das ganze Areal massgebend ist.

Wie in Kapitel 2.4 ausgeführt, müssen die generierten Werte eingeordnet werden. Die Werte sind abhängig von der gesamten Anzahl an Knoten, wodurch dichte, urbane Gebiete mit einem feinen Wegenetz per se höher bewertet werden. Einerseits ist das korrekt, weil engmaschige Netze für das Velo in der Regel vorteilhaft sind. Andererseits sollen auch relative Aussagen möglich sein – im Sinne, dass ein bestimmtes Areal zwar per se rural liegt, innerhalb der Region jedoch besser (oder schlechter) abschneidet als alternative Standorte in dieser Region. Eine Normalisierung durch die totale Anzahl Knoten wurde darum verworfen. Eine Korrektur mit dem natürlichen Logarithmus macht aufgrund des exponentiellen Zusammenhangs zwischen der Anzahl Knoten und der Anzahl Verbindungen Sinn und muss vorgenommen werden. Das Resultat ist eine Zahl pro Areal zur Zentralität, üblicherweise im Bereich zwischen 1 und 20.

4.2.2 Erreichbarkeit

Die Grundlagen zur Erreichbarkeit sind im Literaturteil (Kap 2.5) ausgeführt. Basis sind wiederum die kürzesten Wege im Sinne der Kostendistanzen. Nun wird diese Information jedoch mit dem räumlichen Potenzial verbunden. Als Potenzial werden für den Veloverkehr die ständige Wohnbevölkerung plus 50% der Beschäftigten innerhalb einer Hektarzelle herangezogen. Bei den Erreichbarkeiten für den MIV und ÖV werden dagegen die Verkehrsaufkommen je Modellzone verwendet. Das würde für den Veloverkehr aufgrund des feineren Hektarrasters eine Disaggregation erfordern, wobei auch der Umgang mit dem

intrazonalen Verkehrsaufkommen geklärt werden müsste. Den damit verbundenen zusätzlichen Unschärfen steht nur ein geringer Mehrnutzen gegenüber, weshalb darauf verzichtet wird.

Für die Berechnung der Erreichbarkeit wird wie folgt vorgegangen: Der Raum innerhalb des Betrachtungsperimeters für die quantitative Erschliessungsqualität gemäss Kapitel 3.2.2 wird in einen Hektarraster eingeteilt (Raster BfS zu den Strukturdaten). Pro Zone wird das oben definierte Potenzial bestimmt. Vom zu bewertenden Areal aus wird zu jeder Zone der kürzeste Weg (Bestweg-Ansatz, unter Berücksichtigung der Kostendistanzen) identifiziert. Mit den so ermittelten Werten für Verkehrspotenzial und Raumwiderstand für alle anderen Hektaren im Perimeter wird nun mit einem Gravitationsmodell (vgl. Kap 2.5) die Erreichbarkeit des Areals berechnet. Aufwändig erreichbare (also weiter entfernte) Potenziale werden dadurch weniger gewichtet als nähere, einfach erreichbare Potenziale. Bis besser kalibrierte Parameter vorliegen, wird für den Gewichtungssparameter β des Gravitationsmodells ein Wert von 0.2 eingesetzt. Die Anbindung vom Netz zu den Zentren der einzelnen Hektaren (betrachtetes Areal und Zielzonen) erfolgt über den nächstgelegenen Knoten im Netz, das zoneeigene Potenzial wird voll mitberechnet (keine Korrektur zur «Eigenerreichbarkeit»).

Eine Skalierung mit dem natürlichen Logarithmus macht hier ebenfalls Sinn und wird auch bei anderen Anwendungen der Erreichbarkeit angewendet. Das Resultat ist folglich eine Zahl pro Areal zur Erreichbarkeit, üblicherweise im Bereich zwischen 1 und 20.

4.2.3 Klassenbildung für quantitative Bewertungsgrössen

Beim Veloverkehr ergibt sich die spezifische Herausforderung, dass die Werte für Erreichbarkeit und Zentralität im Rahmen der Forschungsarbeit nur für die vier Fallbeispiele ermittelt werden konnten, da bisher keine schweizweiten Datensätze dazu vorliegen (wie z.B. das NPVM für MIV und ÖV). Entsprechend schwierig ist es, auf der Basis von nur vier Werten schweizweit belastbare Schwellenwerte für die Kategorienbildung der beiden Kenngrössen festzulegen. Wie oben beschrieben dürften die üblichen Werte für beide Kenngrössen zwischen 1 und 20 liegen, insbesondere der Wert der Erreichbarkeit dürfte sich aber über die Zeit wandeln, weil er auch von der räumlichen Entwicklung abhängt. Nachfolgender Vorschlag ist entsprechend als Diskussionsgrundlage zu verstehen, welcher bei der späteren schweizweiten Anwendung validiert und feinjustiert werden muss.

Tab. 9 Klassenbildung für quantitative Kenngrössen Veloverkehr

Kategorie	Zentralität: Areal ist eingebettet in...	Erreichbarkeit: Typische Raumstrukturen um das Areal
I	Sehr engmaschiges Velonetz mit einer hohen Knotendichte in einer urbanen Siedlungsstruktur im gesamten Perimeter	Grosse Städte ohne Aussenquartiere, Stadtzentren von mittelgrossen Städten
I ... II	Schwellenwert: ca. 11-12	Schwellenwert: ca. 10-12
II	Sehr engmaschiges Velonetz mit hoher Knotendichte in grossen Teilen des Perimeters oder ziemlich engmaschiges Velonetz mit mittlerer Knotendichte	Aussenquartiere in grossen Städten, zentrumsnahe Quartiere von mittelgrossen Städten, Stadtzentren von kleinen Städten
II ... III	Schwellenwert: ca. 9-10	Schwellenwert: ca. 8-9
III	Ziemlich engmaschiges Velonetz mit mittlerer Knotendichte in grossen Teilen des Perimeters oder Areal liegt an zentraler Lage in einem mässig dichten Netz mit mittlerer Knotendichte	Aussenquartiere von mittelgrossen Städten, zentrumsnahe Quartiere von kleinen Städten, Zentren oder Entwicklungsgebiete von grösseren Gemeinden
III ... IV	Schwellenwert: ca. 5-6	Schwellenwert: ca. 5-6
IV	Zentrale Lage in wenig dichtem, linearem Velonetz mit wenig Knoten in einer ländlichen Siedlungsstruktur	Ortszentren in mittelgrossen ländlichen oder touristischen Gemeinden, Aussenquartiere in kleineren Städten oder grösseren Gemeinden
IV ... V	Schwellenwert: ca. 2-3	Schwellenwert: ca. 2-3
V	Wenig dichtes, lineares Velonetz mit wenig Knoten in einer ländlichen Siedlungsstruktur	Siedlungsgebiete ausserhalb Zentren von mittelgrossen Gemeinden sowie alle kleineren Gemeinden

Die quantitativen Erschliessungsqualitäten ergeben sich (für alle Verkehrsmittel) aus der Überlagerung der Kategorien für die beiden Kenngrössen gemäss nachfolgender Grafik. Für den Veloverkehr wird als Indikator «Angebot / Kapazität» das oben beschriebene Zentritätsmass verwendet.

		Erreichbarkeit				
		I	II	III	IV	V
Angebot / Kapazität	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

Abb. 19 Kategorienbildung Güteklassen für alle Verkehrsmittel (Frick and Foletti, 2023)

4.3 Qualitative Bewertung

Für den Veloverkehr kann – wie in den vorangehenden Unterkapiteln beschrieben – die Erschliessungsqualität bereits heute in einem hohen Masse mittels quantitativer Kriterien beschrieben werden. Die qualitativen Kriterien sollen deshalb auf diejenigen Aspekte fokussieren, die nicht in die Ermittlung der quantitativen Erschliessungsqualität einfließen können, für die Beschreibung der Erschliessungsqualität des Velos aber dennoch relevant sind.

4.3.1 Auswahl Kriterien und Bewertungsskala

Zur Ermittlung der qualitativen Erschliessungskriterien des Veloverkehrs wurden mithilfe der Literatur (siehe Kapitel 2.2.1) die relevanten Kriterien bestimmt. Ziel war es, mithilfe dieser Kriterien ein möglichst ganzheitliches Bild des qualitativen Bereichs zu erlangen. Zudem sollten Doppelspurigkeiten zu den quantitativen Erschliessungsqualitäten vermieden werden. Weiter sollte die Erhebungsmethode möglichst vereinfacht sowie der nötige Zeitaufwand für die Bewertung reduziert werden.

Basis bildete der Vorschlag zu den qualitativen Kriterien aus dem Grundlagenbericht (Frick et al. (2015), Tab. 4 – Qualitative Erschliessungskriterien Veloverkehrsangebot). Gegenüber dieser Liste wurde die Anzahl der Kriterien aufgrund der obigen Überlegungen reduziert. Nachfolgend wird dargestellt, welche Kriterien gegenüber dem Grundlagenbericht aus welchen Gründen weggelassen und welche beibehalten wurden.

Tab. 10 Herleitung der qualitativen Kriterien für den Veloverkehr

Vorschläge Grundlagenbericht	Gestrichene Kriterien bzw. Aspekte	Ausgewählte Kriterien
A1 Qualität Velonetz und Verkehrsbelastung (Veloinfrastruktur und MIV-Belastung auf angrenzenden Strassen)	Veloverkehrsregime und MIV-Belastung entlang Strecken (Teil der quantitativen Methode)	V1 Veloverkehrsführung an Knoten
A2 Netztopologie und Verkehrsfluss (Geometrien und Topographie)	Topographie (Teil der quantitativen Methode), Geometrien (durch Kriterien Veloführung an Knoten sowie Sicherheit abgedeckt)	--
B1 Direktheit und Orientierung (wenig Umwege, hohe Maschendichte, velospezifische Signalisation)	Wenig Umwege und hohe Maschendichte werden in der quantitativen Methode abgedeckt (Zentralität). Die velospezifische Wegweisung wurde begründet weggelassen. ⁶	
B2 Zugang ÖV-Haltestellen und Veloabstellplätze (Abstellplätze um ÖV-Haltestellen, Veloverkehrsregime um ÖV-Haltestellen)	Veloverkehrsregime um ÖV-Haltestellen (spezifischer Fokus auf diese Bereiche zu wenig relevant)	V2 Veloabstellplätze (allgemein, nicht nur auf Angebot an ÖV-Haltestellen bezogen)
C1 Unfallrisiko (keine Velo-Unfallsschwerpunkte, tiefe MIV-Geschwindigkeiten, genügend Sichtweiten, keine Konflikte mit MIV-Parkierung)	Unfallsschwerpunkte mit Beteiligung Veloverkehr (wegen hoher Dunkelziffer von geschätzt 89% und hoher Fallzahl ⁷ (Achermann Stürmer et al., 2021), MIV-Geschwindigkeiten)	V3 Gefahrenstellen im Veloverkehr mit folgenden Teilaspekten: - Tramschienen, Kapthaltestellen, velofreundliche Gleise
C2 Sicherheitsempfinden (einfach erfassbare Veloverkehrsführung, durchgehende Führung an Knoten, tiefe MIV-Belastung)	Durchgehende Führung an Knoten (durch Kriterium Veloverkehrsführung an Knoten abgedeckt), MIV-Belastung (Teil der quantitativen Methode)	- Parkierung Autos im Strassenraum - Materialisierung Oberflächen

Die Auswahl der Kriterien wurde zudem mit dem Handbuch zur Planung von Velorouten des ASTRA (Capirone et al., 2008) abgeglichen. Darin werden insgesamt 9 Qualitätsanforderungen an Velorouten definiert, welche teilweise qualitativ und teilweise quantitativ zu bewerten seien. Die neun Kriterien und ihre Berücksichtigung in den quantitativen und qualitativen Kriterien gemäss vorliegender Arbeit werden folglich aufgelistet:

Tab. 11 Abgleich der qualitativen Kriterien Veloverkehr mit dem Handbuch ASTRA

Qualitätsanforderung Handbuch Planung Velorouten	Abdeckung durch quantitative Erschliessungsqualität	Abdeckung durch qualitatives Kriterium
Fahrfluss	X (Topographie)	V1 (Zeitverluste an Knoten)
Umfeldqualität	X (Verkehrsbelastung MIV, Umgebungsnutzen)	--
Oberfläche	--	V3 (Material. Oberflächen)
Verkehrsregime und -belastung	X (Infrastrukturkosten)	--
Homogenität	--	--
Gefahrenstellen	X (Unfallrisikokosten)	V3 (alle Unterkriterien)
Sicherheitsempfinden	X (Infrastruktur-, Gradientenkosten)	--
Direktheit	X (Zentralität)	--
Erschliessung	X (über Direktheit bzw. Netztopologie)	--

Die Kriterien gemäss Handbuch zur Planung von Velorouten werden somit weitgehend durch die vorgeschlagenen quantitativen und qualitativen Kriterien abgedeckt, bis auf die Homogenität (Führungswechsel), welche sich bei einer netzweiten Betrachtung nur schwer beurteilen lässt, und auf das Sicherheitsempfinden (soziale Sicherheit, Angsträume), welches aber durch die Umfeldqualität zumindest indirekt abgedeckt wird. Das Kriterium V2

⁶ Auf das Kriterium 'Velospezifische Wegweisung' wird verzichtet, weil die starke Verbreitung digitaler Hilfsmittel die Signalisierung im Strassenraum zunehmend überflüssig macht.

⁷ Auf rund 3'000 erfasste Velounfälle kommen rund 30'000 nicht erfasste (Schätzung der Dunkelziffer gemäss Sinusreport liegt bei 89% (Achermann Stürmer et al., 2021). Damit ist die Zuverlässigkeit solcher GIS-Daten schlecht. Hinzu kommt die Problematik der Selbstunfälle (Statistik, Eigenverschulden wird oft nicht angezeigt).

(Veloabstellplätze) wird im Handbuch nicht erwähnt, weil es darin nur um die Planung von Routen geht. Das mit dieser Forschungsarbeit vorgeschlagene Kriterium V2 ist aber kompatibel mit dem ebenfalls vom ASTRA publizierten Handbuch zur Veloparkierung (Sigrist and Rothenbühler, 2008).

Als qualitative Kriterien für den Veloverkehr wurden deshalb festgelegt:

- V1 Veloverkehrsführung an Knoten (Velo-Ampel, indirektes Linksabbiegen, Aufstellfläche, Velo-Furt usw.)
- V2 Veloabstellplätze: Ausreichendes Angebot und Ausstattung
- V3 Gefahrenstellen für den Veloverkehr
 - a) ÖV-Infrastruktur (Tramschienen, Kaphaltestellen)
 - b) Parkierung im Strassenraum
 - c) Materialisierung Oberflächen

Damit die verschiedenen Kriterien, welche zur Bewertung der Erschliessungsqualität herangezogen werden, untereinander vergleichbar sind, wird für alle Kriterien eine Bewertungsskala von 1 (sehr schlechte Bewertung) bis 5 (sehr gute Bewertung) verwendet, die Bewertung ist möglichst ganzzahlig durchzuführen. Mit dieser Beschränkung auf 5 Bewertungsstufen bleibt der qualitative Charakter gewahrt, dennoch ist eine differenzierte Bewertung der einzelnen Kriterien für verschiedene Standorte möglich. Der Bewertungsraster wird jeweils bei den einzelnen Kriterien beschrieben.

Zentral ist die Begehung vor Ort – innerhalb des für die qualitative Bewertung massgebenden Perimeters und insbesondere der festgelegten Achsen sowie Punkte im Raum (vgl. Kapitel 3.2.2). Daneben sind als weitere Quellen insbesondere Open Street Map (OSM), Luftbilder sowie verschiedene georeferenzierte Grundlagen (z.B. Verkehrsdaten, Arealstatistik, etc.) relevant. Dabei gelten folgende Grundsätze.

- Grundsatz 1: Behördliche Grundlagen wie GIS, Luftbilder etc. ergänzen die Begehung vor Ort.
- Grundsatz 2: Die Einschätzung muss durch eine Fachperson durchgeführt werden, da eine planerische Einordnung nötig ist. Neben der Bewertung einzelner Abschnitte und deren Gewichtung zählt der Gesamteindruck der Situation.

Da die Erhebung qualitativer Kriterien sehr aufwändig ist, wird neben dem standardisierten ein vereinfachtes Vorgehen vorgeschlagen. Dabei wird die Bewertung in grösserem Masse mittels Daten statt Begehung durchgeführt. Die folgende Tabelle fasst die beiden möglichen Erhebungsmethoden zusammen.

Tab. 12 Kriterien und Erhebungsräume nach den beiden Methoden		
Kriterien	Standard	Vereinfacht
Veloverkehrsführung an Knoten	Alle vermerkte Knoten 700m	*Alle vermerkte Knoten 700m
Velo-Parkierung	Im und beim Areal	Im und beim Areal
Tramschienen und Kaphaltestellen	*700m Radius	*700m Radius
Autoparkierung im Strassenraum	* \geq T50 700m Radius	* \geq T50 300m Radius
Materialisierung Oberflächen	Achsen 700m	Achsen 300m

* Kriterium kann auch ohne Begehung vor Ort beurteilt werden

4.3.2 V1 - Veloverkehrsführung an Knoten

Ein wichtiger Fokus wird bei der qualitativen Bewertung auf die Führung des Veloverkehrs an Knoten gesetzt, da die Streckenabschnitte bereits im quantitativen Bereich abgedeckt werden. Kreuzungen ist bei der Planung von Veloverkehr besonders grosse Aufmerksamkeit zu schenken, denn hier entstehen gemäss Handbuch zum Veloverkehr in Kreuzungen (Sigrist et al., 2015) bei weitem am meisten Unfälle. Zudem führen ungünstige Veloführungen an Knoten zu grossen Zeitverlusten und/oder zu Umwegen.

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten eine Kreuzung velofreundlich zu gestalten. Je nach Eigenschaft und Kontext sind jedoch bestimmte Ausgestaltungen besser geeignet als andere. Eine sehr gute Grundlage bildet das Handbuch für Veloverkehr in Kreuzungen (Sigrist et al., 2021), weil es einerseits generelle Planungsgrundsätze für die Veloführung an Kreuzungen enthält, andererseits verschiedene gute Lösungen für die verschiedenen Velobeziehungen nach Knotentypen enthält.

Für die Bewertung dieses Kriteriums soll eine Fachperson mithilfe dieses Handbuchs vor Ort beurteilen, inwiefern die heutige Führung des Veloverkehrs den Grundsätzen und vorgeschlagenen Führungsformen entspricht. Dabei wird differenziert nach zwei Aspekten:

- **Führungsform:** Gibt es für kritische Abbiegebeziehungen (v.a. Linksabbieger) eine sichere Veloinfrastruktur (z.B. indirektes Linksabbiegen, Mehrzweckstreifen, etc.)? Sind lichtsignalgesteuerte Knoten auf die Anforderungen des Veloverkehrs ausgerichtet (z.B. eigene Aufstellbereiche mit separaten Zufahrten, Vorgrün etc.)?
- **Ausgestaltung:** Sind die vorhandenen Infrastrukturelemente für den Veloverkehr sicher und attraktiv ausgestaltet (z.B. Breiten Radstreifen, ausreichende Grünzeiten und angemessene Wartezeiten Veloverkehr etc.)

Für die Beurteilung werden je nach Grösse des Areal und Strassennetzdichte im Umfeld rund 5-10 Knoten ausgewählt (vgl. Kapitel 3.2.2). Dabei stehen Knoten im Vordergrund, über welche nach Einschätzung der Fachperson ein grosser Teil des Quell-/Zielveloverkehrs des betrachteten Gebietes verkehrt. Für jeden einzelnen Knoten wird ein einziger Wert bestimmt. Falls verschiedene Veloverkehrsbeziehungen relevant sind und beurteilt werden, ist je Knoten ein Gesamtwert zu bestimmen. Dabei sollen die Bewertungen für die einzelnen Beziehungen ungefähr nach der Bedeutung (Veloverkehrsaufkommen) gewichtet werden.

Die Kriterien der Kohärenz, Direktheit und Attraktivität spielen eine grosse Rolle bezüglich der Qualität des Veloverkehrs in Kreuzungen. Als sehr wichtig wird zudem eine geeignete Führungsform angesehen, entsprechende Hinweise zur Eignung sind ebenfalls im Handbuch Veloverkehr in Kreuzungen in Kapitel 2.5 enthalten.

Nachfolgend werden die verschiedenen Teilkriterien zur Bewertung der Führung des Veloverkehrs an Knoten beschrieben:

- **Kohärenz:** Ausbaustandard der Veloinfrastruktur in der Kreuzung entspricht mindestens demjenigen der zuführenden Strecke und erlaubt Beziehungen in möglichst alle Richtungen.
- **Direktheit:** Unnötige Umwege, Stopps und Steigungen werden vermieden.
- **Attraktivität:** Ausreichende Beleuchtung, Trennung zum MIV und FV, Infrastruktur für das Velo und glatter Oberflächenbelag.
- **Führungsform:** Geeignete Knotenform für den Veloverkehr, verständliche Verkehrsführung, gute Sichtbeziehungen, genügend Raum für Interaktionen zwischen Verkehrsteilnehmenden. Bei LSA zudem geeignete Infrastrukturen für abbiegende Velofahrende, z.B. Velosäcke, indirektes Linksabbiegen etc. (Sigrist et al., 2021)

Mithilfe des Rasters in nachfolgender Tabelle kann aufgrund der einzelnen Bewertungen eine Gesamtbewertung des jeweiligen Knotens ermittelt werden.

Tab. 13 Bewertungsraster Veloverkehrsführung an Knoten

		Anzahl erfüllte Teilkriterien Sicherheit, Kohärenz und Direktheit			
		3 Teilkriterien	2 Teilkriterien	1 Teilkriterium	Kein Teilkriterium
Teilkriterium Führungs- form	gut	5	4	3	2
	schlecht	3	2	1	1

Aus dem Median aller Knotenwerte resultiert die Gesamtnote dieses Kriteriums für das jeweilige Areal.

4.3.3 V2 - Veloabstellplätze

Im Handbuch 'Veloparkierung' des ASTRA werden in Anhang 6.1 nach einzelnen Nutzungstypen differenzierte Richtwerte für die zweckmässige Anzahl an Abstellplätzen beschrieben (Sigrist und Rothenbühler (2008)). Diese sollen für die Bewertung von V2 zugrunde gelegt werden. Dabei geht es nur um diejenigen Abstellplätze, die der Allgemeinheit zugänglich sind, private Abstellplätze einzelner Nutzungen werden nicht bewertet⁸.

Bei der Erhebung sollen nur qualitativ gute Abstellplätze gezählt werden. Konkret müssen folgende Attribute erfüllt sein, damit ein Veloabstellplatz gezählt wird.

- Eindeutige Markierung (keine «wilden» Abstellplätze)
- Möglichst diebstahlsichere Anschliessinfrastruktur
- Lage auf Areal oder unmittelbar angrenzend (in angrenzenden Strassenräumen, ohne Querung einer Strasse vom Areal her erreichbar)
- Öffentlich zugänglich und nicht für eine private Nutzung reserviert

Dieses bestehende Angebot wird anschliessend dem Bedarf gegenübergestellt. Tab. 14 zeigt eine vereinfachte Version der von Sigrist und Rothenbühler (2008) erarbeiteten Methodik zur Berechnung der Anzahl benötigter Abstellplätze. Dabei sind die Nutzungen Wohnen und Arbeiten nicht berücksichtigt, da Abstellplätze in diesem Zusammenhang in der Regel der Allgemeinheit nicht zur Verfügung stehen.

Tab. 14 Anzahl benötigte Veloabstellplätze verschiedener Nutzungen

Nutzung / Funktion	Besucher*innen Kundschaft	Bewohner*innen Mitarbeitende
Dienstleistungsbetriebe		
kundenintensiv	3 Velo-P pro 10 Arbeitsplätze	2 Velo-P pro 10 Arbeitsplätze
wenig Besucherverkehr	0.5 Velo-P pro 10 Arbeitsplätze	
Einkaufen		
Geschäfte des täglichen Bedarfs	2 – 3 Velo-P pro 100 m2 Verkaufsfläche	2 Velo-P pro 10 Arbeitsplätze
sonstige Geschäfte	0.5 - 1 Velo-P pro 100 m2	
Einkaufszentren	1 - 2 Velo-P pro 100 m2 Verkaufsfläche (abhängig vom Nutzungsmix)	
Gewerbe und Industrie		
	0.5 Velo-P pro 10 Arbeitsplätze	2 Velo-P pro 10 Arbeitsplätze

⁸ Grundsätzlich ist eine ausreichende Zahl an Abstellplätzen bei privaten Nutzungen natürlich auch ein wichtiges Qualitätskriterium. Allerdings hängt dieses Angebot stark von den jeweiligen Nutzungen ab, welches sich wandelt. Zudem lässt sich das bestehende Angebot nur schwer ermitteln, weil ein grosser Teil dieser Abstellplätze innerhalb von Gebäuden liegt.

Schulen		
Unterstufe (bis 10 Jahre alt)	1 Velo-P pro Klasse	2 Velo-P pro 10 Lehrkräfte
Mittel- und Oberstufe	5 – 7 Velo-P pro 10 Schüler/innen	
Gymnasien, Berufsschulen (Fach-) Hochschulen	3 – 5 Velo-P pro 10 Schüler/innen	
Restaurants und Hotels		
Restaurants	2 Velo-P pro 10 Sitzplätze	2 Velo-P pro 10 Arbeitsplätze
Hotels	1 Velo-P pro 10 Hotelbetten	
Herbergen, Backpackerhotels	2 Velo-P pro 10 Hotelbetten	
Bahnhöfe, Haltestellen		
Bahnhof Endhaltestelle Tram/Bus	1 – 4 pro 10 Wegreisende	gemäss den übrigen Nutzungen
Haltestelle Tram/Bus	5 Velo-P	
Park&Ride-Anlagen	5 Velo-P pro 100 Auto-P	
Freizeit, Sport und Kultur (Auswahl, detaillierte Liste siehe Kap. 2.8)		
Kino	4 pro 10 Sitzplätze	2 Velo-P pro 10 Arbeitsplätze
Theater	1 pro 10 Sitzplätze	
Museum, Ausstellung	1 pro 100 m2 Ausstellungsfläche	
Bibliothek	3 pro 10 gleichzeitige Besucher/in- nen	
Freibad	5 pro 10 gleichzeitige Besucher/in- nen	2 Velo-P pro 10 Arbeitsplätze
Hallenbad	3 pro 10 gleichzeitige Besucher/in- nen	
Gemischte Nutzung	Bedarf ist für jede Nutzungsart separat zu ermitteln und zu addieren	

Nach der Erhebung der bestehenden Abstellplätze ist zu beurteilen, ob das Angebot an Abstellplätzen dem ermittelten Bedarf entspricht. Zudem wirkt sich auf die Bewertung aus, ob die Abstellplätze mehrheitlich gedeckt und damit witterungsgeschützt sind oder nicht. Das Bewertungsraster ist aus nachfolgender Tabelle ersichtlich.

Tab. 15 Bewertungsraster Veloabstellplätze

		Verhältnis bestehendes Abstellplatzangebot gemessen an Richtwerten			
		≥ 100 %	80-100 %	50-80 %	< 50 %
Witterungs- schutz Abstell- plätze	Gedeckt	5	4	3	2
	Ungedeckt	3	2	2	1

Die vorgeschlagene Methodik ist um die fachliche Einschätzung der bewertenden Person im Sinne einer Gesamtsicht zu ergänzen. So kann zum Beispiel neben der Gegenüberstellung von Angebot und Bedarf auch die heutige Auslastung der Abstellplätze in die Bewertung einfließen, indem die Bewertung reduziert wird, wenn das Angebot offensichtlich nicht der heutigen Nachfrage genügt. Dagegen kann die Bewertung auch erhöht werden, wenn die Auslastung trotz üblichem Veloverkehrsanteil nicht allzu hoch ist, selbst wenn das Angebot nicht den Richtwerten entspricht. Dabei ist es wichtig, saisonale und zeitliche Unterschiede zu berücksichtigen.

4.3.4 V3 - Gefahrenstellen für den Veloverkehr

Wie in Kapitel 4.3.1 erläutert, soll bei der Beurteilung der Gefahrenstellen im Veloverkehr der Fokus auf der Qualität der Infrastruktur und nicht auf den tatsächlichen Unfallzahlen liegen. Damit wird dem angebotsseitigen Charakter der Erschliessungsqualitäten Rechnung getragen. Zudem werden systematische Verzerrungen des Aspektes Unfallhäufigkeit vermieden, wozu neben der relativ hohen Dunkelziffer auch der Einfluss von unsicherer Infrastruktur auf die Veloverkehrsnachfrage zählt⁹.

Die für die Gefahrenstellen des Veloverkehrs relevanten Infrastrukturmerkmale sind sehr vielseitig. Verschiedene wichtige Aspekte werden bereits mit anderen qualitativen Kriterien oder den quantitativen Erschliessungsqualitäten abgedeckt¹⁰ und sollen nicht nochmals bewertet werden, insbesondere wenn die Idealvariante in der quantitativen Bewertung (vgl. Kapitel 4.1.1) angewendet werden kann.

Für die Beurteilung des Kriteriums 'Gefahrenstellen im Veloverkehr' im Rahmen der Erschliessungsqualität werden deshalb die folgenden drei besonders relevanten Teilkriterien ausgewählt:

- ÖV-Infrastruktur (Tramschienen und Kaphaltestellen)
- Parkierung im Strassenraum
- Materialisierung Oberflächen

Die Teilkriterien werden einzeln bewertet, sofern sie für die Strassenzüge im Umfeld des Areals relevant sind. Ist ein Teilkriterium nicht relevant (z.B. weil es keinen strassengebundenen ÖV bzw. keine Tramlinien oder keine Autoparkplätze im Strassenraum entlang der Hauptverkehrsstrassen gibt), wird das Teilkriterium nicht bewertet. Die Gesamtbeurteilung des Kriteriums Gefahrenstellen ergibt sich dann als Durchschnitt über alle relevanten, d.h. bewerteten Teilkriterien.

Teilkriterium «ÖV-Infrastruktur (Tramschienen und Kaphaltestellen)»

Tramschienen und Kaphaltestellen können für Velofahrende Gefahren darstellen. Falls solche ÖV-Infrastrukturen auf Strassen im Umfeld auftreten, wird beurteilt, inwiefern Massnahmen zur Vermeidung von Konflikten mit dem Veloverkehr realisiert wurden. Dabei wird unterschieden zwischen Konflikten mit Tramschienen auf dem gesamten Netz sowie spezifisch bei Kaphaltestellen. Für letztere werden in der Stadt Basel seit 2021 velofreundliche Gleise getestet. Dabei soll eine Gummifüllung verhindern, dass Velofahrende mit dem Rad in der Schiene stecken bleiben und als Folge stürzen. Der bisherige Testverlauf zeigt, dass das System grundsätzlich funktioniert, dass aber noch einige Herausforderungen gelöst werden müssen, bevor das System flächendeckend angewendet werden kann (v.a. Verschleiss, Gefahr von Eisbildung im Winter). Über die definitive Umsetzung wird nach Abschluss der Testphase Ende 2023 entschieden.

Es werden alle Strassenabschnitte innerhalb des Perimeters mit einem Radius von 700 m um das Areal bewertet, welche mit Tramschienen oder Kaphaltestellen ausgestattet sind. Für die Ermittlung des Gesamtwertes werden die Bewertungen für die einzelnen Strassenzüge nach Ermessen der Fachperson qualitativ nach ihrer Bedeutung für den Veloverkehr (Aufkommen) gewichtet.

⁹ So kann eine tiefe Unfallhäufigkeit einerseits auf ein hohes Sicherheitsniveau hinweisen, andererseits aber auch darauf zurückzuführen sein, dass aufgrund eines sehr tiefen Sicherheitsniveaus kaum Velofahrende (oder nur sehr geübte) unterwegs sind.

¹⁰ Zum Beispiel Vorhandensein und Breiten von Radstreifen oder Radwegen als Teil der Kostendistanzen, Führung Veloverkehr an Knoten im Rahmen des Kriteriums V1. In der Maximalvariante sind auch konkrete Unfallrisikokosten (Parkierung, Tramschienen etc.) enthalten; diese Daten liegen jedoch noch nicht flächendeckend vor, weshalb in den meisten Fällen qualitativ gearbeitet werden muss.

Die verschiedenen getroffenen Massnahmen zur Vermeidung von Konflikten zwischen Veloverkehr und Tramschienen bzw. Kaphaltestellen werden wie folgt bewertet:

Tab. 16 Bewertungsraster für den Umgang mit Tramschienen und Kaphaltestellen

		Getroffene Massnahmen im Hinblick auf die Konfliktvermeidung bei...	
		Netz allgemein	Kaphaltestellen
Punktezahl	1	Keine Massnahmen	Keine Massnahmen
	2	Einzelmassnahmen bei Gleisquerungen (Winkel etc.), sonst keine	Keine Massnahmen
	3	Systematische Massnahmen bei ungünstigen Gleisquerungen UND normkonforme Abstände zu Gleisen (= <i>Basismassnahmen</i>)	Schiebe- oder Klapptritte an Tams
	4	Basismassnahmen	Velofreundliches Gleis ODER Veloin-sel/-bypass
	5	Basismassnahmen	Velofreundliches Gleis UND Veloin-sel/-bypass

Teilkriterium «Parkierung im Strassenraum»

Parkplätze, insbesondere parallel oder schräg zur Strasse angeordnete Parkplätze, können eine grosse Gefahr für Velofahrende darstellen. Einerseits bestehen mögliche Konflikte mit zu- bzw. wegfahrenden Fahrzeugen und andererseits können (potentiell) geöffnete Autotüren zu unsicheren Verhältnissen führen. Falls solche Parkplätze im Strassenraum vorhanden sind, wird einerseits das Gefahrenpotential grob beurteilt, andererseits werden vorhandene Massnahmen zur Vermeidung von Konflikten mit dem Veloverkehr in die Bewertung einbezogen.

Ein Sicherheitsrisiko besteht vor allem auf Strassen mit einer Geschwindigkeit des motorisierten Verkehrs von 50 km/h und mehr. In Niedriggeschwindigkeitszonen (Tempo 30 oder Begegnungszonen) können Parkplätze dagegen bei zweckmässiger Anordnung zur Verkehrsberuhigung beitragen und so auch die Sicherheit für den Veloverkehr erhöhen. Es werden also nur Strassen mit einer signalisierten Höchstgeschwindigkeit von mindestens 50 km/h bewertet. Für die Ermittlung des Gesamtwertes werden die Bewertungen für die einzelnen Strassenzüge nach Ermessen der Fachperson qualitativ nach ihrer Bedeutung für den Veloverkehr (Aufkommen) gewichtet.

Die Konflikte mit Parkplätzen im Strassenraum bzw. der Umgang mit solchen Konflikten wird folgendermassen bewertet:

Tab. 17 Bewertungsraster für Parkierung im Strassenraum

		Umgang mit Parkplätzen im Strassenraum
Punktezahl	1	Keine Velomassnahmen, verbreitet besonders gefährliche Situationen vorhanden (Schrägparkierung usw.)
	2	Keine Velomassnahmen, teilweise besonders gefährliche Situationen vorhanden
	3	Keine Velomassnahmen, kaum besonders gefährliche Situationen vorhanden
	4	Mindestabstände gemäss VSS-Norm zur Autoparkierung eingehalten, Konfliktsituationen entschärft
	5	Auf Velovorzugsrouten und generell wichtigen Velorouten sämtliche Autoparkierung im Strassenraum aufgehoben, andernorts Normen erfüllt

Teilkriterium «Materialisierung Oberflächen»

Velorouten sollen möglichst ebene und feine Asphalt- oder Betondeckschichten aufweisen. Dies gilt insbesondere für den Alltagsverkehr. Für den Freizeitverkehr können in beschränkter Masse auch Naturbeläge wie Kies oder Pflastersteine verwendet werden, insbesondere aus Gründen des Natur- und Ortsbildschutzes. Dabei ist auf eine gute Qualität des Deckbelages sowie auf eine wirksame Unterhaltsregelung zu achten (Capirone et al., 2008). Unebenheiten, Schlaglöcher oder Hindernisse (z.B. Absätze) verschlechtern die

Qualität massgeblich. Abschnitte mit solchen Defiziten sind als Naturbelag zu werten, selbst wenn sie grundsätzlich in Beton oder Asphalt ausgeführt sind.

Es werden die Strassenabschnitte entlang der definierten Achsen bewertet. Für die Ermittlung des Gesamtwertes werden die Bewertungen für die einzelnen Strassenzüge nach Ermessen der Fachperson qualitativ nach ihrer Bedeutung für den Veloverkehr (Aufkommen) gewichtet.

Velorouten sollen möglichst ebene und feine Asphalt- oder Betondeckschichten aufweisen. Dabei ist auf eine gute Qualität des Deckbelages sowie auf eine wirksame Unterhaltsregelung zu achten (Capirone et al., 2008). Hierdurch werden Sicherheitsrisiken vermindert und ein hoher Fahrkomfort wird bereitgestellt.

Zur Bewertung werden folgende Mängel betrachtet, welche sich negativ auf das Kriterium der Oberflächenqualität auswirken:

- Unebenheiten und Schlaglöcher
- Hindernisse (z.B. Absätze)
- Naturbelag (z.B. Kies) oder ungeschliffenes Kopfsteinpflaster
- Längsrillen

Für alle Faktoren sind im Handbuch für die Planung von Velorouten (Capirone et al., 2008) Bilder enthalten.

In *Tab. 18* ist das Vorgehen zur Bewertung der Oberflächenqualität dargestellt. Dabei wird ein Mangel für eine bestimmte Strecke nur dann bewertet, wenn er für das Fahrerlebnis prägend ist. Als Grössenordnung gilt, dass die Mängel auf mindestens 25% der Strecke auftreten.

Tab. 18 Bewertungsraster für Materialisierung Oberflächen

Punktezahl	
1	Alle beschriebenen Mängel sind vorhanden.
2	Drei der beschriebenen Mängel sind vorhanden
3	Zwei der beschriebenen Mängel sind vorhanden.
4	Einer der beschriebenen Mängel ist vorhanden.
5	Es sind keine der beschriebenen Mängel vorhanden.

Pro Achse wird der nach Segmentlänge gewichtete Durchschnitt gebildet. Der Median aller Achsen stellt die Gesamtnote dieses Kriteriums für das Gebiet dar.

5 Methode Fussverkehr

Beim Fussverkehr steht die qualitative Bewertung im Zentrum. Heute sind keine standardisierten Daten zugänglich, die eine quantitative Bewertung zulassen würden. Allerdings könnte dies schon bald der Fall sein. Die entwickelte Methode nimmt diesen Gedanken auf.

5.1 Quantitative Bewertung: Verzicht

Gemäss der Grundlagenforschung sind quantitative Erschliessungsqualitäten für den Fussverkehr nicht vorgesehen. Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurde dennoch versucht, den Ansatz mit den Kostendistanzen und den daraus ermittelbaren Kenngrössen (Erreichbarkeit, Zentralitätsmass) für den Veloverkehr auch auf den Fussverkehr zu übertragen. Nachfolgend werden die Erkenntnisse beschrieben.

Übertragbarkeit des Kostendistanzansatzes

Der in Kapitel 3.2.1 beschriebene Ansatz zur Ermittlung von Kostendistanzen als Ansatz zur Attributierung von Strecken und Knoten wurde primär für den Veloverkehr entwickelt und getestet. Grundsätzlich liesse sich der Ansatz auch für den Fussverkehr anwenden. Nachfolgende Abbildung zeigt, dass weitgehend dieselben Kostenkategorien (Gradient, Infrastruktur, Umgebung) mit ähnlichen Attributen herangezogen werden könnten. Da Treppen gerade für mobilitätseingeschränkte Personen (inkl. Personen mit Kinderwagen o.ä.) ein grosses Hindernis darstellen, ist zusätzlich ein Faktor für Treppen zu integrieren. Im Gegenzug sollen auf Unfallrisikokosten verzichtet werden, da diese Sicherheitsaspekte bereits über die Infrastrukturkosten und Umgebungsnutzen abgedeckt sind.

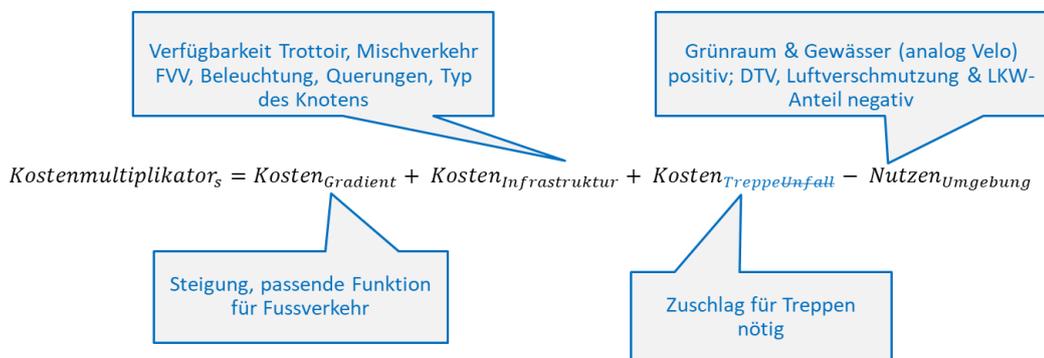


Abb.20 Vorgang zur Ermittlung des Kostenmultiplikators

Für die exakten Werte und die Konsistenz innerhalb der Werte braucht es vertiefte Abklärungen und eine Anwendung an einem genügend grossen Pilotgebiet. Dafür ist eine eigene Forschungsarbeit (mindestens analog Velo: Grigore, 2018) für die Schweiz notwendig.

Datenverfügbarkeit

Im Vergleich zum Veloverkehr sind für die Ermittlung der quantitativen Erschliessungsqualitäten des Fussverkehrs deutlich weniger Daten vorhanden. So fehlen heute beispielsweise durchgehende georeferenzierte Datensätze zu Treppen und auch die vorhandenen Datensätze zu Fusswegnetzen sind oft lückenhaft. Aufgrund der häufigen Querungen von Fusswegen mit (Neben-)Strassen ist eine durchgehend richtige Attributierung der Netze

zudem sehr schwierig. Schliesslich können flächige Netzelemente (z.B. Plätze) aus den bestehenden Datengrundlagen nicht unmittelbar automatisch attribuiert werden.

Eignung der Kenngrössen

Für den Veloverkehr wurden zwei Kenngrössen zur Ermittlung der quantitativen Erschliessungsqualität definiert. Diese eignen sich unterschiedlich für die Übertragung auf den Fussverkehr:

- **Zentralität:** Diese Kenngrösse eignet sich auch für den Fussverkehr. Dies gilt insbesondere, weil der Fussverkehr aufgrund der kürzeren Etappen sehr empfindlich auf Umwege reagiert. So weisen kurze Fusswege gemäss Schwarze (2015) eine grössere Differenz zur Luftlinie auf als längere Fusswege (und damit auch zu Wegen mit anderen Verkehrsmitteln).
- **Erreichbarkeit:** Diese Kenngrösse eignet sich weniger gut für den Fussverkehr. Einerseits ist der massgebende Perimeter zu klein und die Erreichbarkeit lässt sich mit der Körnigkeit der Zonierung in den heute gängigen Verkehrsmodellen der Schweiz noch weniger berechnen als für den Veloverkehr, auch der für den Veloverkehr gut geeignete Hektarraster stösst für den Fussverkehr bereits an Grenzen. Zudem wird der Fussverkehr häufig mit anderen Verkehrsmitteln kombiniert. Eine sinnvolle Erreichbarkeitsgrösse müsste demnach diese intermodalen Wegeketten berücksichtigen, gleichzeitig besteht die Gefahr von Doppelzählungen, weil der Fussverkehrsanteil dieser Wege teilweise bei der Erschliessungsqualität der anderen Verkehrsmittel auch berücksichtigt wird (z.B. Zu-/Abgangszeit beim ÖV).

Aufgrund der fehlenden Grundlagenarbeiten und der ungenügenden Datenlage muss aktuell – wie bereits in der Grundlagenforschung postuliert – auf quantitative Erschliessungsqualitäten für den Fussverkehr verzichtet werden. Gleichzeitig wird festgehalten, dass sich der für den Veloverkehr angewandte Ansatz mit der Attributierung des Netzes über Kostendistanzen grundsätzlich auch für den Fussverkehr eignet. Nach heutigem Stand spricht deshalb nichts dagegen, zu einem späteren Zeitpunkt eine quantitative Bewertungsmethode der Erschliessungsqualität für den Fussverkehr zu entwickeln. Als Kenngrösse würde das Zentralitätsmass im Fokus stehen. Die Erreichbarkeit dagegen ist weniger geeignet. Aus einer gesamtverkehrlichen Optik wäre es sehr wünschenswert, wenn die erforderlichen Vertiefungsarbeiten und die Bereitstellung der nötigen Daten vorangetrieben würden.

5.2 Qualitative Bewertung

Für den Fussverkehr muss die Erschliessungsqualität beim heutigen Stand der Datenverfügbarkeit aus den vorgenannten Gründen rein qualitativ erfolgen. Die Grundsätze sind die gleichen wie beim qualitativen Teil des Veloverkehrs.

5.2.1 Auswahl Kriterien und Bewertungsskala

Zur Ermittlung der Erschliessungsqualität des Fussverkehrs wurden mithilfe der Literatur (siehe Kapitel 2.2.2) die relevanten Kriterien bestimmt. Ziel war es mithilfe dieser Kriterien ein möglichst ganzheitliches Bild des qualitativen Bereichs der Erschliessungsqualität eines Gebietsperimeters abzubilden. Zudem sollte die Erhebungsmethode möglichst vereinfacht sowie der nötige Zeitaufwand für die Bewertung reduziert werden (vgl. *Tab. 21* für den Unterschied zwischen Standard- und vereinfachtem Verfahren).

Basis bildete der Vorschlag zu den qualitativen Kriterien aus dem Grundlagenbericht (Frick et al., 2015), *Tab. 5 – Qualitative Erschliessungskriterien Fussverkehrsangebot*. Gegenüber dieser Liste wurde die Anzahl der Kriterien aufgrund der obigen Erwägungen reduziert. Nachfolgend wird dargestellt, welche Kriterien gegenüber dem Grundlagenbericht aus welchen Gründen weggelassen und welche ausgewählt wurden.

Tab. 19 Herleitung der qualitativen Kriterien für den Fussverkehr

Vorschläge Grundlagenbericht	Gestrichene Kriterien bzw. Aspekte	Ausgewählte Kriterien
A1 Qualität Fussnetz und Verkehrsberuhigung (Anteil beruhigter Strassen, barrierefreie Querungen, wenig Neigungen und Hindernisse, kurze Wartezeiten an LSA, hindernisfreie Oberflächen)	Hindernisfreie Oberflächen (Einfluss auf Qualität nicht eindeutig), Anteil beruhigter Strassen (Ersatz durch Führung entlang stark belasteter Strassen, da relevanter), wenig Längsneigungen (bald quantitativ möglich) und Hindernisse	F1 Qualität Fussverkehrsverbindungen an Knoten (v.a. Verlustzeiten) F2 Führung Fussverkehr entlang Strassen mit folgenden Teilaspekten: - DTV angrenzende Strasse - Trottoirbreite - Querungsdichte
A2 Umfeld- und Aufenthaltsqualität (Strassen mit tiefer MIV-Belastung, Lärm und Luftbelastung, attraktive Grünräume, Erlebnisqualität öffentlicher Raum)	Strassenabschnitte mit tiefer MIV-Belastung (durch Kriterium Führung Fussverkehr entlang Strassen abgedeckt)	F3 Umfeld- und Aufenthaltsqualität mit folgenden Teilaspekten: - Grün-/Gewässerraum - Beschattung - Lärmbelastung - Mobiliar
B1 Direktheit und Orientierung (geringe Maschenweite, intuitive Orientierung, ergänzende Signalisierung)	Geringe Maschenweite (qualitativ schwer bewertbar, wäre Teil der späteren quantitativen Methode)	F4 Orientierung
C1 Unfallrisiko (keine Fuss-Unfallschwerpunkte, sichere Querungen, tiefe MIV-Geschwindigkeiten, genügend Sichtweiten)	MIV-Geschwindigkeiten	F5 Sicherheit mit folgenden Teilaspekten: - Unfallhäufungen FV - Mischverkehr FVV - Sicherheitsempfinden (Belebtheit, Beleuchtung)
C2 Sicherheitsempfinden (soziale Kontrolle, Einsehbarkeit, Ausleuchtung)	Einsehbarkeit (zu tiefe Flughöhe)	

Als qualitative Kriterien für den Fussverkehr wurden deshalb festgelegt:

- F1 Qualität Fussverkehrsverbindungen an Knoten
 - a) Verlustzeiten Fussverkehr an Knoten
 - b) Bauliche Gestaltung des Knotens für den Fussverkehr
- F2 Führung Fussverkehr entlang Strassen
 - a) Trottoirbreite
 - b) Querungsmöglichkeiten
- F3 Umfeld- und Aufenthaltsqualität
Mobiliar (Bänke, Brunnen, etc.), Lärm, Beschattung, Grün- und Wasserraum
- F4 Orientierung
 - a) Intuitive Orientierung
 - b) Ergänzende FG-Weisung
- F5 Sicherheit
 - a) Verkehrssicherheit (Unfallschwerpunkte Fussverkehr und Mischverkehr FVV)
 - b) Sicherheitsempfinden

Die Kriterien wurden zudem mit dem Handbuch zur Fusswegnetzplanung (Sigrist et al., 2015) abgeglichen. Dieses nennt vier Hauptkriterien, welche ein attraktives Fusswegnetz ausmachen. Teilweise werden diese quantitativ und teilweise qualitativ bewertet.

Die Kriterien werden gemäss dieser Gegenüberstellung weitgehend abgedeckt, bis auf das Gefälle, die Maschenweite, Abkürzungen, diagonale Verbindungen und der Oberflächenbelag (vgl. Tab. 20). Bei diesen Kriterien handelt es sich vor allem um quantitative Kriterien, welche in eine spätere Methode für quantitative Erschliessungsqualitäten für den Fussverkehr einfließen würden.

Tab. 20 Abgleich der qualitativen Kriterien Fussverkehr mit dem Handbuch für Fusswegnetzplanung (Sigrist et al., 2015).

Qualitätsanforderung Handbuch Fusswegnetzplanung	Abdeckung durch qualitatives Kriterium
Direkte Verbindungen	Indirekt abgebildet durch F2 Querungsdichte
Hoher Gehkomfort	Indirekt abgebildet durch F2 Trottoirbreite
Umfeldqualität	Abgebildet durch F3 Umfeld- und Aufenthaltsqualität
Wegbreite	Abgebildet durch F2 Trottoirbreite
Belag	-
Störungsfreie Wege	Indirekt abgebildet durch F1 Verlustzeiten an Knoten und F2 Quermöglichkeiten
Geringes Längsgefälle	-
Objektive Sicherheit	Abgebildet durch F5 Unfallschwerpunkte mit Beteiligung Fussverkehr
Subjektives Sicherheitsempfinden	Abgebildet durch F5 Sicherheitsempfinden
Verkehrssicherheit	Abgebildet durch F5 Unfallschwerpunkte mit Beteiligung Fussverkehr
Sicherheit vor Übergriffen	Abgebildet durch F5 Sicherheitsempfinden
Maschenweite des Wegnetzes max. 100 m	-
Zusätzliche (diagonale) Verbindungen	-
Abkürzungen	-

Bzgl. der Bewertungsskala, der Begehung vor Ort und den Grundsätzen dazu wird auf die entsprechenden Ausführungen im Kapitel 4.3.1 zum Veloverkehr verwiesen. Das Vorgehen soll gleich vorgenommen werden.

Da die Erhebung qualitativer Kriterien sehr aufwändig ist, ist ein vereinfachtes Vorgehen vorgesehen. Dabei wird die Bewertung in grösserem Masse mittels Daten statt Begehung durchgeführt. Die folgende Tabelle fasst dies zusammen.

Tab. 21 Kriterien und Erhebungsräume nach den beiden Methoden

Kriterien	Standard	Vereinfacht
Qualität Fussverkehrsverbindungen an Knoten	Alle vermerkte Knoten 700m	Knoten entlang Achsen 700m
Führung Fussverkehr entlang Strassen	*Achsen 700m Radius	*Achsen 700m Radius
Umfeld und Aufenthaltsqualität	300m Radius	*300m Radius
Orientierung	Achsen 700m Radius	Achsen 700m Radius
Sicherheit: Verkehrssicherheit (Unfallschwerpunkte Fussverkehr und Mischverkehr FVV)	*700m Radius	*700m Radius
Sicherheit: Sicherheitsempfinden	300m Radius + Achsen 700m	300m Radius

** Kriterium kann auch ohne Begehung vor Ort beurteilt werden*

5.2.2 F1 – Qualität Fussverkehrsverbindungen an Knoten

Strassenknoten können die Qualität von Fussverkehrsverbindungen massgebend beeinflussen: Da an Knoten mehrere Strassen miteinander verknüpft werden, müssen Zufussgehende auf einzelnen Beziehungen eine oder mehrere Strassenzüge queren. Dabei entstehen je nach Art der Querung mehr oder weniger grosse Zeitverluste. Zudem kann eine ungenügende Infrastruktur für den Fussverkehr ein zusätzliches Hemmnis darstellen.

Primär bewertet werden die Verlustzeiten für den Fussverkehr an Knoten. Dazu zählen alle Kreuzungspunkte mit anderen Verkehrsmitteln, neben Strassenknoten also beispielsweise auch Bahnübergänge. Als Verlustzeit wird hier die Differenz der Querungsdauer eines Knotens über eine ideal direkte Linie ohne jegliche Hindernisse von der realen Situation mitsamt LSA, Zebrastreifen etc. verstanden. Die Verlustzeit wird ermittelt, indem die Distanz als direkte Linie digital gemessen wird und anschliessend mit der durchschnittliche Gehgeschwindigkeit von 4.7km/h (Perret et al., 2017) dividiert wird. Massgebend ist der Gesamtknoten und eine repräsentative Zeit mit hohem Verkehrsaufkommen (in der Regel die Abendspitze von 17-18 Uhr). Je nach Knotentyp kann die Erhebung dieser Verlustzeiten anhand unterschiedlicher Ansätze erfolgen:

- **Lichtsignalanlagen:** Die Verlustzeiten können über die Signalzeitenpläne der Lichtsignalanlagen ausgewertet werden. Alternativ können auch vor Ort die Umlaufzeiten und die durchschnittliche Grünzeit der Fussgängerbeziehung(en) gemessen und die mittleren Wartezeiten auf dieser Basis berechnet werden.
- **Fussgängerquerungen:** Normgerechte Fussgängerstreifen bei einfachen Knoten und Kreiseln werden grundsätzlich mit dem Maximum von 5 Punkten bewertet, da aufgrund der Vortrittsberechtigung die Verlustzeiten minimal sind.
- **Unterführungen:** Aufgrund der Auf-/Abgänge dauert die Strassenquerung länger als bei oberirdischer Querung. Das gilt insbesondere für mobilitätseingeschränkte Menschen (inkl. Personen mit Kinderwagen o.ä.), falls keine Rampe vorhanden ist. Die Beurteilung kann aufgrund der konkreten Situation vor Ort (tatsächliche Verlustzeit als Differenz zwischen Gehzeit durch die Unterführung und fiktiver Zeit für eine oberirdische Querung) erfolgen. Vereinfachend kann für Unterführungen ohne Rampe auch von einer pauschalen Verlustzeit von 20-30 s und für solche mit einer Rampe von 10-20 s (typische Umwege inbegriffen) ausgegangen werden.

Unabhängig von den ermittelten Verlustzeiten wird eine ungenügende Infrastruktur für den Fussverkehr an einem Knoten (z.B. zu schmale Fussgängerschutzinseln, beengte Wartebereiche vor Querungen) mit einem Abzug von einem Punkt bewertet.

Für jeden einzelnen Knoten wird ein einziger Wert bestimmt. Falls verschiedene Fussverkehrsbeziehungen relevant sind und beurteilt werden, ist je Knoten ein Gesamtwert zu bestimmen. Dabei sollen die Bewertungen für die einzelnen Beziehungen ungefähr nach der Bedeutung (Fussverkehrsaufkommen) gewichtet werden. Der Median aller Knotenwerte stellt schlussendlich die Gesamtnote dieses Kriteriums für das Gebiet dar.

Folgendes Schema wird bei der Bewertung verwendet:

Tab. 22 Bewertungsraster für die Qualität der Fussverkehrsverbindungen an Knoten

Punktzahl	Beschrieb
1	Mittlere Verlustzeit > 30s
2	Mittlere Verlustzeit von 20-30s
3	Mittlere Verlustzeit von 10-20s
4	Mittlere Verlustzeit von < 10s
5	Querung ohne Verlustzeiten möglich (vortrittsberechtigte Beziehungen)
- 1 Punkt	Ungenügende Infrastruktur (unabhängig von erhobenen Verlustzeiten)

5.2.3 F2 – Führung Fussverkehr entlang Strassen

Die Qualität von Fussverkehrsverbindungen entlang von Strassen wird durch verschiedene Aspekte beeinflusst:

- Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) auf den ausgewählten Achsen
Stark befahrene Strassen wirken sich negativ auf die Qualität der auf ihr verlaufenden Fussverkehrsverbindungen aus. Das Sicherheitsgefühl und die Attraktivität nehmen dabei stark ab (Sigrist et al., 2015).
- Nutzbare Trottoirbreite
Bei übergeordneten Strassen sind genügend breite Fusswege entlang der Strasse wichtig, um den Fussverkehr trotzdem attraktiv zu gestalten. Mit einer genügenden Trottoirbreite steigen Komfort und Sicherheit von Zufussgehenden (mehr Platz für Ausweichen bzw. Queren, grössere Distanz zu vorbeifahrenden Motorfahrzeugen). Dabei ist immer die tatsächlich verfügbare Trottoirbreite relevant (abzüglich Flächen, die von angrenzenden Nutzungen wie Läden, Restaurants etc. belegt werden). Wie in Tab. 23 ersichtlich ist, wird für die Bewertung dieses Kriteriums ein Grenzwert von 2 m verwendet. Im urbanen Raum entspricht dies dem absoluten Minimum.
- Querungsmöglichkeiten
Auch abseits von Knoten (vgl. Kriterium F1) sollen Zufussgehende die Strassen queren können. Die Querungen sollen dabei möglichst auf Wunschlinien der Zufussgehenden liegen (Sigrist et al., 2015). Bei der Beurteilung dieses Aspektes wird im Sinne des angebotsseitigen Charakters der Erschliessungsqualitäten und einer pragmatischen Bewertung auf die Querungsdichte fokussiert. Gemäss Handbuch Fusswegnetzplanung (Sigrist et al., 2015) ist eine Maschenweite von max. 100 m anzustreben, d.h. der mittlere Abstand zwischen zwei Querungen für den Fussverkehr soll maximal 100 m betragen.
Bei sehr tiefen Belastungen des motorisierten Verkehrs spielen die Querungsmöglichkeiten eine untergeordnete Rolle, da das Überqueren der Fahrbahn auch ohne gesicherte Übergänge deutlich einfacher ist, zumal solche schwach befahrenen Strassen zunehmend Teil einer temporeduzierten Zone sind (darum identische Bewertungen unabhängig der Querungsdichte bei DTV < 3'000).

Es wurde darauf verzichtet den Oberflächenbelag in die Bewertung miteinzubeziehen, da mit der Umsetzung des BehiG der Bedeutung von guten, hindernisfreien Oberflächen vermehrt und verbreiteter Beachtung geschenkt wird.

Folgendes Schema wird bei der Bewertung verwendet:

		DTV Autoverkehr [Mfz/d im Querschnitt]					
		< 3'000		3'000 - 10'000		> 10'000	
Trottoirbreite		> 2m	< 2m	> 2m	< 2m	> 2m	< 2m
Mittlerer Abstand zwischen Querungen	< 100m	5	4	4	3	2	1
	> 100m	5	4	3	2	1	1

Der Median aller Streckenwerte stellt die Gesamtnote dieses Kriteriums für das Gebiet dar.

5.2.4 F3 - Umfeld- und Aufenthaltsqualität

Die Attraktivität des Fussverkehrs hängt massgeblich mit der Qualität des Umfelds zusammen (Sigrist et al., 2015). Am grössten ist der Einfluss im Freizeitverkehr, aber auch im Alltagsverkehr (Einkaufs-, Arbeits- und Ausbildungsverkehr) wirken sich qualitativ hochstehende Freiräume positiv auf die Attraktivität und damit auf die Erschliessungsqualität des Fussverkehrs aus (Sigrist and Rothenbühler, 2008).

Die Bewertung besteht aus fünf Teilkriterien. Gemäss Sigrist et al. (2015) sind Strassen und Wege mit «unverwechselbarem Gesicht» ebenfalls von Bedeutung für die Umfeld- und

Aufenthaltsqualität. Dieses Kriterium wurde jedoch bewusst nicht berücksichtigt, da die ästhetische Wahrnehmung sehr individuell ist und von verschiedenen Verkehrsteilnehmenden anders wahrgenommen wird. Zudem konzentriert sich diese Forschungsarbeit auf die Fortbewegungsqualität und nicht auf die Aufenthaltsqualität (im Sinne von an Ort verweilen).

Die Beurteilung der Umfeld- und Aufenthaltsqualität kann qualitativ erfolgen. Die meisten Teilkriterien können allerdings bereits heute auch quantitativ erhoben und automatisiert bewertet werden¹¹. Die gesamthafte Beurteilung durch eine Fachperson vor Ort bleibt auch bei Vorliegen von datenbasierten Auswertungen vorerst wichtig.

Wird die heutige Situation bzgl. eines Teilkriteriums als angemessen beurteilt, wird das Teilkriterium mit 1 Punkt bewertet. Als angemessen gilt, wenn das Kriterium den abgegrenzten Raum vollständig oder mindestens zum überwiegenden Teil positiv prägt. Die Summe der Bewertungen über alle Teilkriterien ergibt die Gesamtpunktzahl. Ist keines der fünf Kriterien angemessen, wird dennoch mit 1 Punkt (minimaler Wert) bewertet. Des Weiteren kann bei diesem Kriterium der Gesamteindruck zur Bewertung herangezogen werden. Ist zum Beispiel Grünraum vorhanden, aber nur in schlechtem Zustand und ist die Wegstrecke teilweise aber nicht mehrheitlich beschattet, so kann eines der beiden Teilkriterien mit 1 Punkt und das zweite mit 0 Punkten bewertet werden. Grün- und Gewässerraum kann sich sowohl ergänzen wie auch ersetzen, weshalb dort eine Flexibilität von 1 bis 2 Punkten besteht.

Tab. 24 Bewertungsraster für die Umfeld- und Aufenthaltsqualität

Teilkriterium	Angemessen?	Nicht angemessen?
Grün- & Gewässerraum	1 bis 2	0
Beschattung	1	0
Abwesenheit von Lärmemissionen	1	0
Mobilier	1	0

5.2.5 F4 - Orientierung

Die Orientierung im öffentlichen Raum ist von grosser Bedeutung und trägt massgeblich zur Attraktivität des Fussverkehrs bei (Sigrist and Rothenbühler, 2008). Unter dem Oberbegriff der Orientierung werden in dieser Arbeit zwei Aspekte konkret betrachtet: Einerseits die intuitive Führung zu Fuss gehender Personen und andererseits die spezifische Wegweisung für den Fussverkehr.

In einer optimalen Situation reicht die intuitive Führung für Zufussgehende aus: Der öffentliche Raum bzw. die Abfolge verschiedener Teilräume ist so strukturiert, dass Zufussgehende automatisch der richtigen Route folgen, es sind kaum Entscheidungen zur Wegwahl nötig. Müssen hingegen viele Richtungsentscheidungen getroffen werden und sind diese weniger intuitiv, weil der öffentliche Raum keine Anhaltspunkte hergibt, ist eine angemessene Signalisation nötig, damit auch ortsunkundige Personen direkt und schnell an ihr Ziel gelangen. Die Wegweisung soll aufgrund dieser Überlegungen nur subsidiär bewertet werden, wenn die Wegführung nicht intuitiv ablesbar ist. Grundsätzlich soll sie dabei nach dem Prinzip «so wenig wie möglich, aber so viel wie nötig» den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten entsprechend bewertet werden. Dies verunmöglicht eine quantitative Erhebung dieses Kriteriums, ermöglicht aber dessen ganzheitliche Beurteilung.

¹¹ Grün- und Gewässerraum → Arealstatistik Schweiz (BFS, 2022);
Beschattung → keine bekannten Grundlagen, allenfalls Satellitenbilder;
Lärmemissionen → Tranquility-Karte des Schweizer Mittellandes des PLUS/ETH Zürich (Leeb et al., 2020),
NISTRA-Handbuch zu Lärm und Freiräumen (ASTRA, 2019) und/oder kantonale Daten zu Lärmemissionen;
Mobilier → Grundlagen der Gemeinden (Inventare, WebGIS), teilweise OSM

Die intuitive Wegführung und – falls diese ungenügend ist – die Wegweisung wird entlang der definierten Achsen (vgl. Kapitel 3.2.2) bewertet. Dabei muss zunächst entschieden werden, ob bezüglich dem zu erschliessenden Areal der Quell- oder der Zielverkehr wichtiger ist und die Achsen in entsprechender Richtung abgeschritten werden. Die Punkteverteilung durch die ausführende Fachperson erfolgt mithilfe der Kriterien in Tab. 25. Die Gesamtpunktzahl entspricht dem Medianwert aller betrachteten Beziehungen.

Tab. 25 Bewertungsraster für die Orientierung

Qualität der Orientierung	
1	Kein Überblick und irreführende Wegführung
2	Schlechter Überblick und keine klare Wegführung
3	Keine gute Übersicht/klare Wegführung, aber Wegweisung vorhanden
4	Gute Übersicht und intuitive Wegführung
5	Sehr gute Übersicht und natürliche Wegführung der Zufussgehenden

5.2.6 F5 – Sicherheit

Die Bewertung des Kriteriums Sicherheit setzt sich aus zwei Teilkriterien zusammen.

- **Verkehrssicherheit (Safety):** Unfallschwerpunkte Fussverkehr und Mischverkehr Fuss- und Veloverkehr
Massgebend sind einerseits Unfallschwerpunkte mit Beteiligung des Fussverkehrs¹². Sie geben im Gegensatz zum Veloverkehr zumindest einen gewissen räumlichen Hinweis auf gefährliche Stellen. Separat zu betrachten sind Ereignisse mit Beteiligung von Fuss- und Veloverkehr: Hier ist das Schadensausmass in der Regel gering. Dennoch wirken sich Konflikte zwischen den beiden Verkehrsmitteln negativ auf die Sicherheit von Zufussgehenden aus: Bei Mischverkehr steigt das Unfallrisiko, vor allem wegen der unterschiedlichen Geschwindigkeiten (Sigrist et al., 2015). Deshalb wird zusätzlich bewertet, ob Fuss- und Veloverkehr getrennt oder gemischt geführt werden.
- **Sicherheitsempfinden (Security):**
Als zweites Teilkriterium wird das persönliche Sicherheitsempfinden der Zufussgehenden bewertet, um ein möglichst komplettes Bild der Sicherheit wiederzugeben. Dieser Aspekt basiert ebenfalls auf dem Handbuch zur Fusswegnetzplanung (Sigrist et al., 2015). Damit wird berücksichtigt, dass als beängstigend wahrgenommene Situation durch Zufussgehende oft gemieden werden. Dabei geht es zum Beispiel um sogenannte Angsträume etc.

Teilkriterium Verkehrssicherheit (Unfallschwerpunkte Fussverkehr, Mischverkehr)

Die beiden Aspekte innerhalb des Teilkriteriums werden folgendermassen bewertet:

- Die im Perimeter ermittelte normalisierte Unfalldichte wird in Bezug zum Schweizer Durchschnitt der Unfälle mit Beteiligung des Fussverkehrs gestellt. Der Schweizer Durchschnitt wird mittels der Angaben des BfS zur gesamthaften Strassenlänge (ohne Autobahnen) und zur gesamten Anzahl Verunfallten (leicht, schwer, tödlich) gesetzt. Die normalisierte Dichte an Unfällen im Untersuchungsperimeter wird bestimmt, indem der Durchschnitt aller Unfälle mit Fussverkehrsbeteiligung innerhalb des betrachteten Perimeters über die letzten 10 Jahre durch die kumulierte Länge des betrachteten Strassenabschnittes (ohne Autobahn) geteilt wird. Die dazu nötigen Berechnungen finden sich in Anhang II.1.3. Die Schwellenwerte müssen mit der Auswertung von mehr Fallbeispielen nochmals überprüft werden.

¹² Zwar ist auch beim Fussverkehr die Dunkelziffer mit geschätzten 64% hoch (Acher mann Stürmer et al., 2021). Konkret heisst das, dass auf jährlich rund 3'000 registrierte Unfälle rund 4'000 nicht registrierte kommen (zum Vergleich: beim Velo kommen auf rund 3'000 registrierte rund 30'000 unregistrierte (Acher mann Stürmer et al., 2021). Zudem fällt hier die Problematik der Selbstunfälle praktisch weg. Darum macht es Sinn, im Bereich des Fussverkehrs mit der Unfallstatistik zu arbeiten, im Veloverkehr jedoch nicht.

- Werden Zufussgehende auf mehr als 10% der Fussverkehrsflächen im Mischverkehr inklusive Begegnungszone mit dem Velo geführt, wirkt sich das negativ auf die Sicherheit aus. Überfahrten über Trottoirs, zum Beispiel bei Ausfahrten, sowie Orte für den Güterumschlag werden dabei nicht als Mischverkehrsflächen gezählt.

Die Kombination beider Aspekte führt zu folgendem Bewertungsraster. Dabei wird davon ausgegangen, dass die tatsächliche Unfalldichte einen leicht höheren Einfluss auf die Gesamtbewertung ausübt als der Anteil Mischverkehr

Tab. 26 Bewertungsraster für Unfallschwerpunkte FV und Mischverkehr Fuss/Velo

		Hohe Dichte (> 0.5U/km)	Mittlere Dichte (0.1 – 0.5 U/km)	Tiefe Dichte (< 0.1 U/km)
Mischverkehr	Ja	1	3	4
	Nein	2	4	5

Teilkriterium Sicherheitsempfinden

Entscheidende Aspekte für das Sicherheitsempfinden von Zufussgehenden sind die Beleuchtung sowie die Belebtheit des öffentlichen Raumes. Die Qualität der Beleuchtung wird durch eine Fachperson auf der Begehung bestimmt, allenfalls ergänzt um eine Befragung der zuständigen Behörde. Die Belebtheit wird analog erhoben, allenfalls durch Daten wie Trackingprofile, Frequenzangaben plausibilisiert, falls solche vorliegen. Da das Sicherheitsempfinden vor allem nachts reduziert ist, sollten Begehungen möglichst (auch) bei Dunkelheit/Dämmerung durchgeführt werden.

Die Belebtheit ist als ungenügend zu bewerten, wenn man sich in einem öffentlichen Raum überwiegend allein oder maximal zu zweit aufhält; als genügend, wenn man überwiegend für zwei weitere Personen sichtbar ist; als gut, wenn dies auf drei oder mehr Personen zutrifft.

Die Beleuchtung ist als ungenügend zu bewerten, wenn relevante Bereiche des Raumes nicht ausgeleuchtet sind; als genügend, wenn der Raum überwiegend gut ausgeleuchtet ist; als gut, wenn der Raum vollständig ausgeleuchtet ist.

Die Kombination beider Aspekte führt zu folgendem Bewertungsraster:

Tab. 27 Bewertungsraster für das Sicherheitsempfinden

		Beleuchtung		
		Ungenügend	Genügend	Gut
Belebtheit	Hoch	3	4	5
	Mittel	2	3	4
	Tief	1	2	3

Die Bewertungen der beiden Teilkriterien werden für die Ermittlung der Gesamtbewertung des Kriteriums Sicherheit gemittelt.

6 Fallbeispiele

Die vorangehend entwickelte Methodik wird an vier Fallbeispielen angewandt und untersucht:

- Entwicklungsgebiet Binz / SZU (Zürich / ZH)
Agglomerationszentrum
- ESP Route de Saint-Julien (Genève / GE)
Agglomerationszentrum und Grenzstandort
- ESP Marthalen-Schilling (Marthalen / ZH)
Ländlicher Standort
- Crans(-Montana) Dorfzentrum (Crans-Montana / VS)
Berggebiet, Tourismuszentrum

Dabei wurden im Rahmen der Forschungsarbeit die verschiedenen Methoden und Annahmen, wie sie in den Kapiteln 3 bis 1 dargestellt werden, anhand einer konkreten Anwendung in den vier Gebieten getestet.

Vorbemerkungen

Im Rahmen der Bearbeitung der Fallbeispiele wurden verschiedene Ansätze bzgl. räumlicher Auflösung (Bewertung von einzelnen Elementen innerhalb Perimeter und quantitative Mittelwertbildung vs. qualitative Gesamtschau unter Berücksichtigung der einzelnen Elemente), aber auch bzgl. der Arbeitsweise (Bewertung alleine aufgrund verfügbarer digitaler Grundlagen vom Arbeitsplatz aus vs. zusätzliche Begehungen vor Ort) getestet. Die direkt daraus gewonnenen Erkenntnisse sind bereits in die Methodenkapitel 3, 1 und 1 eingeflossen, insbesondere in die Beurteilung der qualitativen Kriterien. Die dort formulierte Methodik entspricht also der empfohlenen Methodik der Forschungsstelle nach Durchführung der Fallbeispiele im vorliegenden Kapitel. Das heisst auch, dass die in diesem Kapitel erarbeiteten Resultate in begrenzten kleinen Punkten von der endgültigen Methodik in den vorangehenden Kapiteln abweichen (primär qualitativer Teil). Weitere Erkenntnisse aus den Fallbeispielen fliessen zudem in die Empfehlungen in Kapitel 6 ein.

Das Fallbeispiel Zürich wurde am aufwändigsten beurteilt (Idealvariante bei quantitativer Bewertung, qualitative Bewertung anhand kompletter Begehung vor Ort und unter starker Berücksichtigung des Gesamteindrucks). Mit diesem Fokus wurde einerseits der hohen Komplexität dieses Gebietes Rechnung getragen («Stresstest» für die entwickelten Methoden), andererseits war die Datenlage sehr gut. Bei den übrigen drei Fallbeispielen wurde für die quantitative Beurteilung der Standardfall angewandt. Für die qualitativen Kriterien wurde teilweise auf eine Begehung vor Ort verzichtet, teilweise wurde diese im Nachgang zur Bewertung anhand georeferenzierter Daten vorgenommen. Zudem wurden die Gesamtbewertungen der Kriterien für das jeweilige Areal teilweise aufgrund der Bewertungen einzelner Netzelemente im Perimeter aggregiert, teilweise wurde direkt eine qualitative fachplanerische Gesamtbeurteilung vorgenommen. Mit diesen unterschiedlichen Herangehensweisen wurden die Möglichkeiten und Grenzen verschiedener Vorgehensweisen bei der qualitativen Beurteilung ausgelotet.

6.1 Fallbeispiel Zürich Binz

6.1.1 Beschreibung Gebiet

Das Gebiet Zürich Binz liegt innerhalb eines Agglomerationszentrums. 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 der Bahn-Haltestelle liegend in nordwestlicher Richtung (ca. 10-jährige Siedlung). Das Gebiet ist sehr gut mit dem ÖV erschlossen (10' Takt SZU sowie diverse radiale und tangentielle Buslinien). MIV-seitig sind jedoch einige städtische Abschnitte zu 'überwinden' und das öffentliche Parkraumangebot ist begrenzt (Frick et al., 2015).

6.1.2 Quantitative Bewertung Veloverkehr

Der resultierende Multiplikator (Kostendistanz) zeigt, dass vor allem steile Hänge und vielbefahrene Strassen zu einer negativen Beeinflussung der wahrgenommenen Fahrdistanz führen. Grünräume und die Nähe zum Wasser hingegen führen dazu, dass die Velofahrer*innen die zu fahrende Distanz gar kürzer wahrnehmen können, als diese tatsächlich ist. Die einzelnen Kostenelemente sind in Anhang III.1 detailliert ausgewiesen. Insgesamt produziert die Methode mit den im Rahmen dieser Forschungsarbeit vorgenommenen Änderungen nachvollziehbare Resultate.

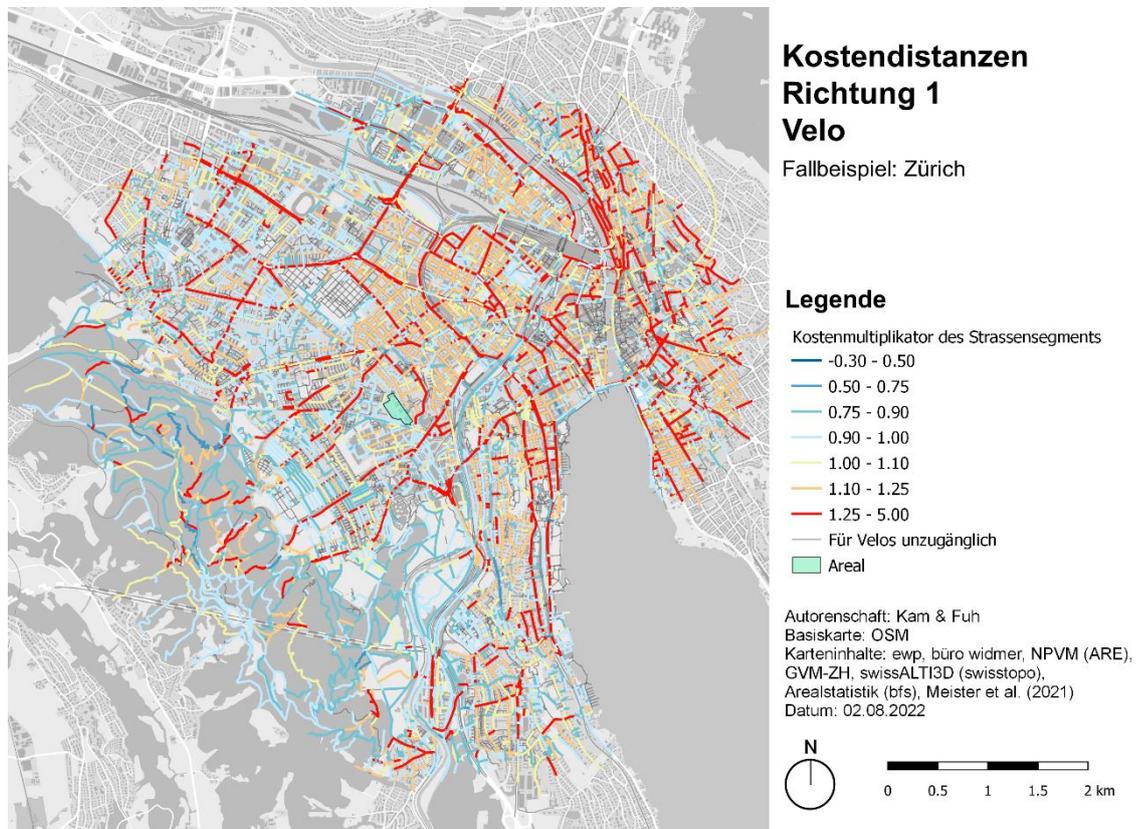


Abb.21 Resultierende Kostendistanzen für Zürich-Binz

Die ermittelten Werte für die Zentralität und die Erreichbarkeit konnten berechnet werden und sind in folgender Tabelle enthalten. Die produzierten Werte erscheinen vernünftig, allerdings fehlen mit nur vier Testgebieten robuste Vergleichswerte.

Tab. 28 Resultate quantitative Kriterien Zürich-Binz

Kriterium	Wert (mit natürlichem Logarithmus logarithmiert)
Zentralität	12.207
Erreichbarkeit	16.76

6.1.3 Qualitative Bewertung Fuss- und Veloverkehr

Die in Kapitel 4.3 für den Veloverkehr und in Kapitel 5.2 für den Fussverkehr definierten qualitativen Beurteilungskriterien wurden anhand einer Begehung angewendet und mit öffentlich zugänglichen Daten (Luftbilder, GIS-Daten Bund und Kantone etc.) vom Arbeitsplatz aus punktuell ergänzt. Dabei wurde der folgende Perimeter beurteilt.

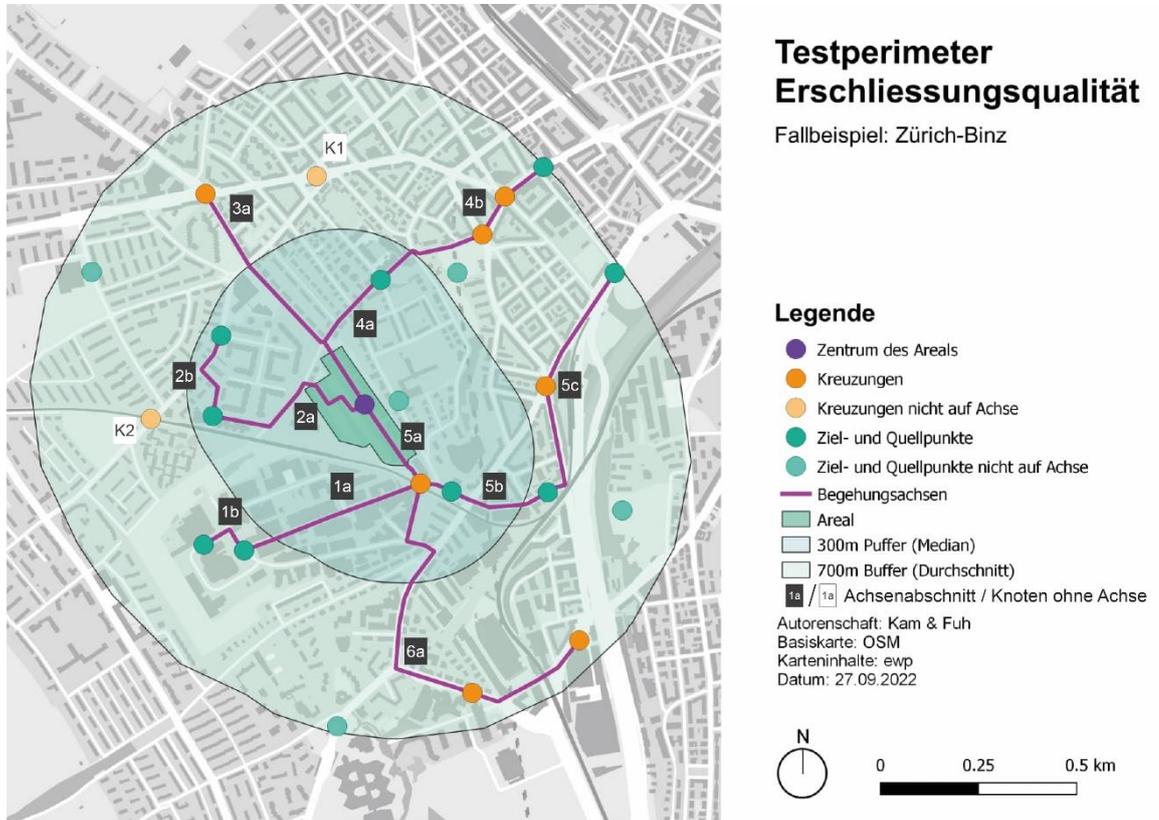


Abb.22 Begehungskarte für den Untersuchungsperimeter Zürich Binz

Nachfolgend sind die Bewertungen für das Fallbeispiel Zürich - Binz zusammengefasst.

Veloverkehr

Tab. 29 Beurteilung der qualitativen Kriterien Veloverkehr – Fallbeispiel Zürich-Binz

Kriterium	Summarische Beurteilung	Bewertung
V1 – Qualität Velonetz: Führung an Knoten	Der Untersuchungsperimeter enthält einige Kreuzungen, welche von Velofahrer*innen überquert werden müssen. Die Führungsform sowie die Ausgestaltung sind meist genügend, jedoch könnte mit einer spezifisch auf das Velo ausgerichteten Gestaltung eine erhöhte Attraktivität erreicht werden. Dies würde zudem die Sichtbarkeit der Velofahrenden und damit die Sicherheit erhöhen.	3 (mittel)
V2 – Veloabstellplätze	Das Angebot an Veloabstellplätzen ist insgesamt ungenügend. Es gibt zu wenig öffentlich zugängliche Veloabstellplätze für die hohe Nutzungsdichte im untersuchten Areal. Ein Grossteil der gezählten Abstellplätze sind zudem nicht überdeckt.	1 (schlecht)
V3 – Gefahrenstellen im VV	Die Sicherheit für Velofahrende ist im untersuchten Perimeter insgesamt genügend bis gut. Das für das Velo relevante Strassen- und Wegenetz ist beinahe durchgehend asphaltiert (5 Punkte). Tramschienen und Kaphaltestellen sind fast keine vorhanden oder es wurden Velomassnahmen vorgenommen (5 Punkte). Das grösste Risiko stellen die vielen Parkplätze dar, welche sich oftmals entlang der zu befahrenden Infrastruktur befinden und aufgrund fehlender Velomassnahmen Gefahrenstellen darstellen können (1 Punkt).	4 (eher gut)

Fussverkehr

Tab. 30 Beurteilung der qualitativen Kriterien Fussverkehr – Fallbeispiel Zürich-Binz

Kriterium	Summarische Beurteilung	Bewertung
F1 – Qualität Fussverkehrsverbindungen an Knoten	Die Qualität der Fussverkehrsverbindungen an Knoten kann als gut bewertet werden. Sind Lichtsignalanlagen vorhanden, sind die mittleren Verlustzeiten meist eher klein. Oftmals sind zudem gar keine LSA vorhanden und die Fussverkehrsquerungen sind vortrittsberechtigt. Abzüge aufgrund ungenügender Infrastruktur gibt es bei keinem Knoten.	5 (gut)
F2 – Führung Fussverkehr entlang Strassen	Die Gesamtbewertung der Führung des Fussverkehrs entlang von Strassen ist insgesamt genügend bis gut. Jedoch gibt es vier Streckenabschnitte, welche eine sehr tiefe Qualität aufweisen, aufgrund von geringen Trottoirbreiten und einer tiefen Querungsdichte – und das bei vergleichsweise hohem DTV (>3'000 Fz/d). Darum wird nicht die maximale Punktzahl erreicht.	4 (eher gut)
F3 – Umfeld- und Aufenthaltsqualität	Die Umfeldqualität ist knapp genügend. Es wird zwar eine Gesamtpunktzahl von 3 erreicht, doch kein bewerteter Abschnitt erreicht die volle Punktzahl und mehrere Abschnitte verfügen über eine sehr tiefe Umfeld- und Aufenthaltsqualität. Das Areal Binz ist in vielen Bereichen von grossen Hallen und Bürogebäuden aus massiven Materialien geprägt, wodurch Grünraum und Gewässer abgeschnitten sind, dafür entsteht als positiver Nebeneffekt Schatten. Positiv sind die nur begrenzten Lärmimmissionen.	3 (mittel)
F4 – Orientierung	Die Orientierung im untersuchten Perimeter ist genügend. Einige Achsenabschnitte verfügen über eine sehr intuitive Orientierung, da breite Strassen und einrahmende Gebäude die Wegwahl vereinfachen. Grosse Gebäude, breite Strassen und klare Orientierungspunkte sind jedoch nicht im gesamten untersuchten Areal vorhanden, weshalb gewisse Achsenabschnitte keine intuitive Orientierung gewährleisten. Eine spezifische Signalisation ist nur beim Bahnhof vorhanden.	3 (mittel)
F5 – Sicherheit	Im untersuchten Perimeter besteht ein Fusswegnetz von 52.94 km Länge. Wenn man die durchschnittlich 9.8 Unfälle pro Jahr mit Fussverkehrsbeteiligung betrachtet, ergibt dies eine Unfalldichte von circa 0.185 Unfällen pro Kilometer (9.8 U / 52.49 km) Im Untersuchungsperimeter wird der Fahrradverkehr zudem meist getrennt geführt und nicht im Mischverkehr. Die Beleuchtung ist im Perimeter meist angemessen, negativ ins Gewicht fällt die eindeutig tiefe Belebtheit der Strasse in Randzeiten (Arbeitsplatzgebiet mit eher geringer Wohnnutzung).	3 (mittel)

6.2 Fallbeispiel Genève Route de Saint-Julien

6.2.1 Beschreibung Gebiet

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 Anemasse/F erhalten. Das Areal selber ist aber knapp 2 km von der Bahnlinie entfernt und zurzeit mit dem Bus erschlossen. Es wird jedoch eine neue Tramlinie von Lancy bis Saint-Julien/F gebaut (Eröffnung bis 2024/25). Auf denselben Zeitpunkt werden verschiedene Verdichtungsvorhaben umgesetzt. Das Gebiet liegt rund 2.5 km von der französischen Grenze. Die MIV-Erschliessung ist in 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 (Frick et al., 2015).

6.2.2 Quantitative Bewertung Veloverkehr

Der resultierende Multiplikator (Kostendistanz) zeigt, dass das übergeordnete Strassenetz und zum Teil Strassen ausserhalb des Siedlungskörpers hohe Werte aufweisen. Auch Strecken mit Steigung schneiden schlecht ab, auch wenn sie in der Nähe der Arve oder Rhone sind. Untergeordnete Strassen mit geringer Verkehrsbelastung zeigen bessere Werte. Die einzelnen Kostenelemente sind in Anhang III.1 detailliert ausgewiesen. Insgesamt produziert die Methode mit den im Rahmen dieser Forschungsarbeit vorgenommenen Anpassungen nachvollziehbare Resultate.

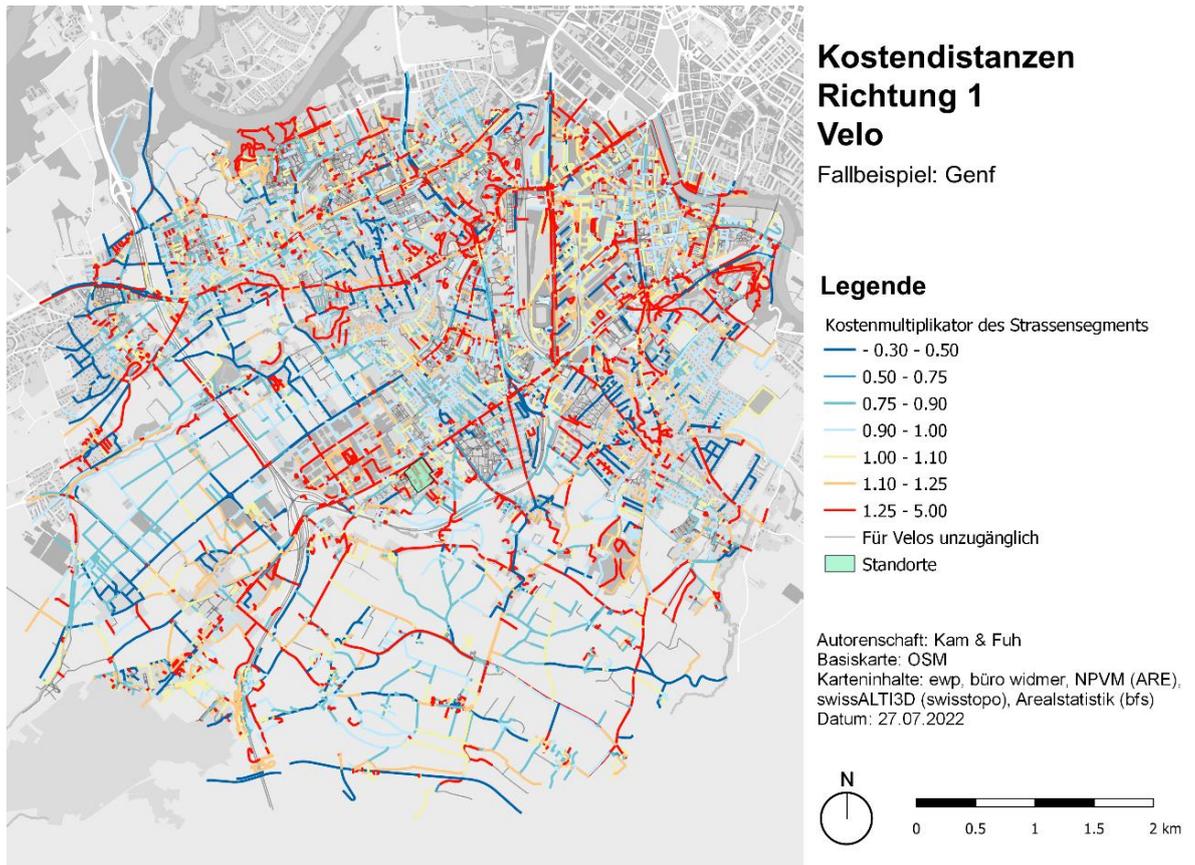


Abb.23 Resultierende Kostendistanzen für Genf

Die ermittelten Werte für die Zentralität und die Erreichbarkeit konnten berechnet werden und sind in folgender Tabelle enthalten. Die produzierten Werte erscheinen vernünftig, allerdings fehlen mit nur vier Testgebieten robuste Vergleichswerte.

Tab. 31 Resultate quantitative Kriterien Genf

Kriterium	Wert (mit natürlichem Logarithmus logarithmiert)
Zentralität	10.787
Erreichbarkeit	9.75

6.2.3 Qualitative Bewertung Fuss- und Veloverkehr

Die in Kapitel 4.3 für den Veloverkehr und in Kapitel 5.2 für den Fussverkehr definierten qualitativen Beurteilungskriterien wurden aufgrund öffentlich zugänglicher Daten (Luftbilder, GIS-Daten Bund und Kantone etc.) vom Arbeitsplatz aus bewertet und anschliessend anhand einer Begehung summarisch ergänzt. Dabei wurde hier, anders als in Zürich oder Marthalen, direkt der Gesamteindruck ohne individuelle Einzelbewertung der Segmente, Knoten oder Teilgebiete gebildet. Nachfolgend sind die Bewertungen für das Fallbeispiel Genf zusammengefasst.

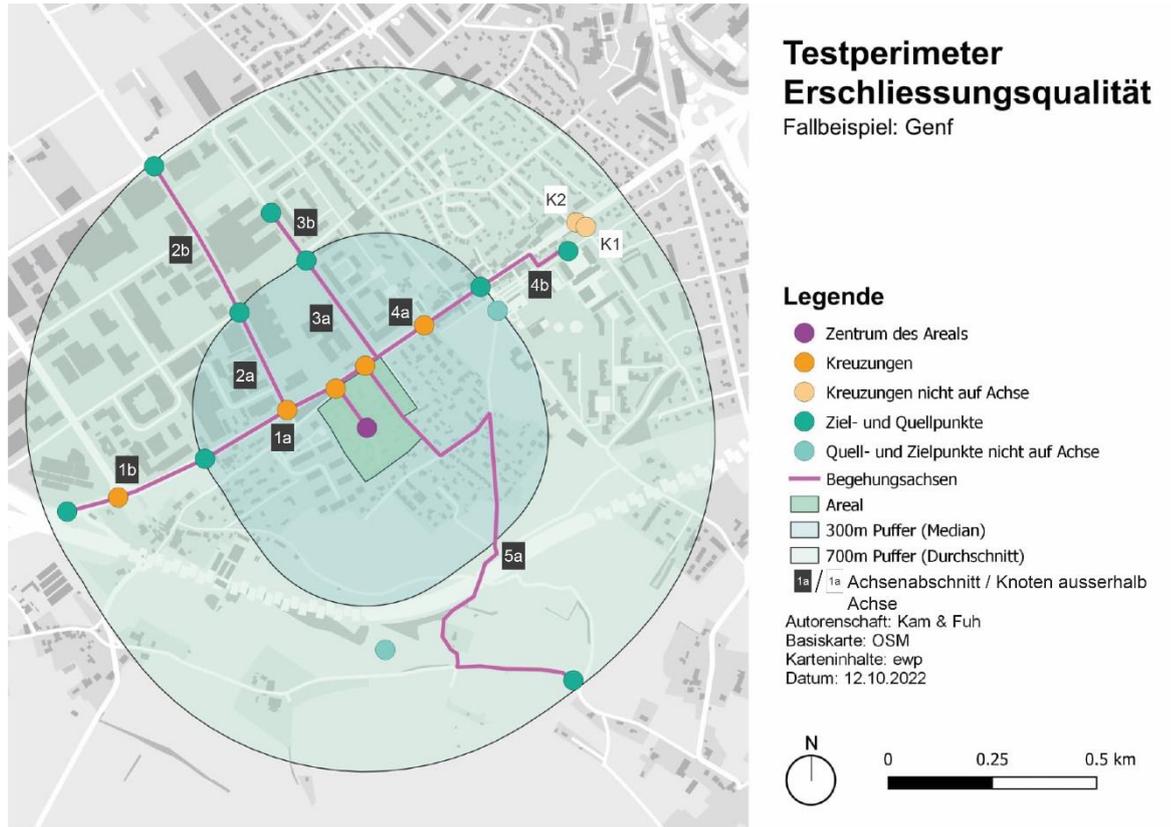


Abb.24 Begehungsplan des Testperimeters Genf

Veloverkehr

Tab. 32 Beurteilung der qualitativen Kriterien Veloverkehr – Fallbeispiel Genf

Kriterium	Summarische Beurteilung	Bewertung
V1 – Qualität Velonetz: Führung an Knoten	Die Qualität der Führung des Veloverkehrs an Knoten wurde als schlecht bis mittel bewertet. Insgesamt sind 4 Knoten in der Kategorie tief (1 Punkt) und 3 Knoten in der Kategorie mittel (3 Punkte). Dies ergibt einen Medianwert von 1. Es handelt sich jedoch nicht immer um die für den Veloverkehr (heute!) relevantesten Knoten (Veloverkehr vor allem via Rad-Fussweg parallel südlich der Rte de St-Julien, Promenade et Rte de Bardonnex). Mit letzteren wäre die Bewertung eher mittel (3 Punkte).	1 (schlecht)
V2 – Veloabstellplätze	Der Strassenraum im untersuchten Perimeter weist nur sehr wenige Abstellplätze für Velos auf. In einem Teil des Perimeters war die Bewertung zudem erschwert oder nicht möglich, da es sich um ein EFH-Quartier handelt.	1 (schlecht)
V3 – Gefahrenstellen im VV	Im untersuchten Areal sind keine Tramlinien und damit auch keine dazugehörigen Kaphaltestellen vorhanden. Dieses Kriterium wurde bei der Bewertung deshalb nicht miteinbezogen. Zwei der Hauptachsen im untersuchten Perimeter weisen mehrere gefährliche Situationen mit Schräg- und Parallelparkplätzen auf. Dasselbe gilt für die Rte de St-Julien im Zentrumsbereich. Die Veloinfrastruktur im untersuchten Perimeter ist praktisch durchgehend asphaltiert.	3 (mittel)

Fussverkehr

Tab. 33 Beurteilung der qualitativen Kriterien Fussverkehr – Fallbeispiel Genf

Kriterium	Summarische Beurteilung	Bewertung
F1 – Qualität Fussverkehrsverbindungen an Knoten	Die mittleren Verlustzeiten sind für alle Querungen mit LSA im betrachteten Untersuchungsperimeter in einem Bereich von 30-40s. Ein Teil der Knoten weist zudem überhaupt keine FV-Querungen auf, obwohl relevante Querungsbeziehungen vorhanden wären.	1 (schlecht)
F2 – Führung Fussverkehr entlang Strassen	Die Querungsdichte ist auf den wichtigen Achsen gering (Abstand meist grösser als 100m) und die Trottoirbreite beträgt meist weniger als 2m, v.a. auch entlang der Rte de St-Julien, auf welcher der DTV innerhalb des Perimeters mit Abstand am höchsten liegt (circa 9'000 Fz/d). Die anderen untersuchten Strassen werden meist nur von circa 2'000-3'000 Fz/d befahren.	2 (eher schlecht)
F3 – Umfeld- und Aufenthaltsqualität	Gemäss der Arealstatistik ist im betrachteten Perimeter nur sehr wenig Grünraum vorhanden, zudem ist das Gebiet von grossen Strassen und Gebäuden geprägt. Die Beschattung ist unter anderem aufgrund der fehlenden Bäume ebenfalls nicht angemessen. Aufgrund der grossen Verkehrsachsen ist die Lärmbelastung zudem eher hoch. Mobiliar ist nur spärlich vorhanden.	1 (schlecht)
F4 – Orientierung	Die Wegführung im betrachteten Perimeter ist ziemlich klar und intuitiv verständlich. Viele grosse Achsen und Strassen sowie grosse Gebäude führen zu einer intuitiven Führung des Fussverkehrs.	4 (eher gut)
F5 – Sicherheit	Die Fusswege sind auf dem gesamten Areal beleuchtet. Oftmals sind die Wege und Plätze jedoch nur sehr wenig belebt, weshalb das Kriterium der subjektiven Sicherheit nur mittelmässig abschneidet. Im untersuchten Perimeter besteht ein Fusswegnetz von 39.53 km Länge. Wenn man die durchschnittlich 1.7 Unfälle pro Jahr mit Fussverkehrsbeteiligung betrachtet, ergibt dies eine Unfalldichte von circa 0.043 Unfällen pro Kilometer (1.7 U / 39.53 km) Im Untersuchungsperimeter wird der Fahrradverkehr auf mehr als 10% gemischt mit dem Fussverkehr geführt.	4 (eher gut)

6.3 Fallbeispiel Marthalen-Schilling

6.3.1 Beschreibung Gebiet

Marthalen-Schilling ist ein (von nur zwei) ländlicher Entwicklungsschwerpunkt gemäss Richtplan des Kantons Zürich. Der Bahnhof Marthalen liegt in der Industriezone nördlich des eigentlichen Dorfkerns. Die SBB hat im Rahmen der 4. Teilergänzungen S-Bahn Zürich entschieden, den Bahnhof aufgrund der bereits vorhandenen Doppelspur weiter südlich näher zum Dorfzentrum hin zu verschieben (Frick und Foletti, 2023). Daraus ergeben sich sowohl in der Industriezone neue Entwicklungsmöglichkeiten als auch am neuen Bahnhofstandort. Andererseits erhält die Gemeinde Marthalen mit Einführung der 3. Etappe der 4. Teilergänzungen S-Bahn Zürich mit der Direktverbindung der S12 ein attraktiveres Bahnangebot von/nach Zürich (Frick et al., 2015).

6.3.2 Quantitative Bewertung Veloverkehr

Der resultierende Multiplikator (Kostendistanz) zeigt mittlere bis hohe Werte. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass relativ viele Strassen mit 50 km/ oder höher signalisiert sind und keine geeignete Veloinfrastruktur aufweisen, wenn auch nur teilweise mit erhöhter MIV-Belastung. Teilweise kommt noch der Einfluss zwar schwacher, aber doch spürbarer Steigungen hinzu. Tiefe Werte unter 1 treten nur auf Strecken mit Geschwindigkeitsbegrenzung auf. Dazu kommen in einzelnen Bereichen Vorteile wie Umgebungsnutzen oder leichtes Gefälle zum Tragen. Insgesamt sind die Resultate für den Raum plausibel.

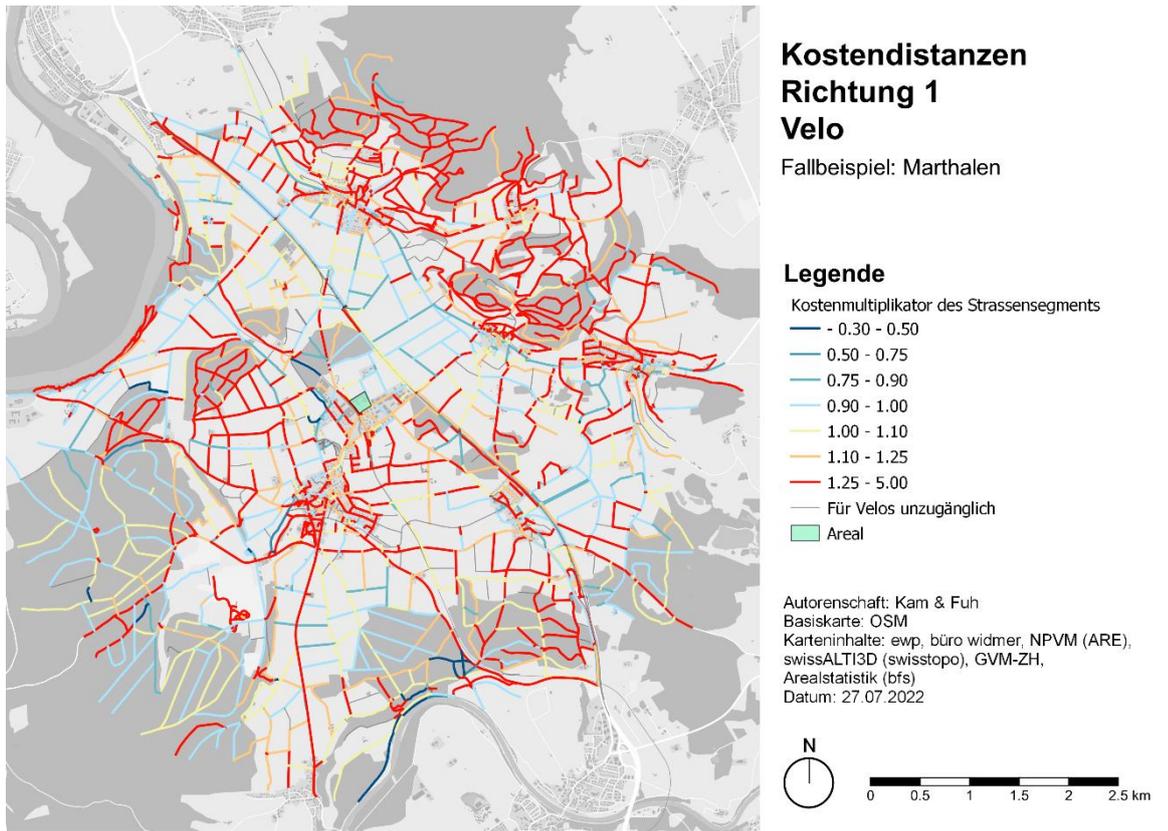


Abb.25 Resultierende Kostendistanzen für Marthalen

Die ermittelten Werte für die Zentralität und die Erreichbarkeit konnten berechnet werden und sind in folgender Tabelle enthalten. Die produzierten Werte erscheinen vernünftig, allerdings fehlen mit nur vier Testgebieten robuste Vergleichswerte. Die Erreichbarkeit ist deutlich geringer als die Zentralität wegen der tiefen Dichte an Bevölkerung und Arbeitsplätzen.

Tab. 34 Resultate quantitative Kriterien Marthalen

Kriterium	Wert (mit natürlichem Logarithmus logarithmiert)
Zentralität	7.323
Erreichbarkeit	2.38

6.3.3 Qualitative Bewertung Fuss und Veloverkehr

Die in Kapitel 4.3 für den Veloverkehr und in Kapitel 5.2 für den Fussverkehr definierten qualitativen Beurteilungskriterien wurden anhand einer Begehung angewendet und mit öffentlich zugänglichen Daten (Luftbilder, GIS-Daten Bund und Kantone etc.) vom Arbeitsplatz aus ergänzt. Dabei wurde der folgende Perimeter beurteilt.

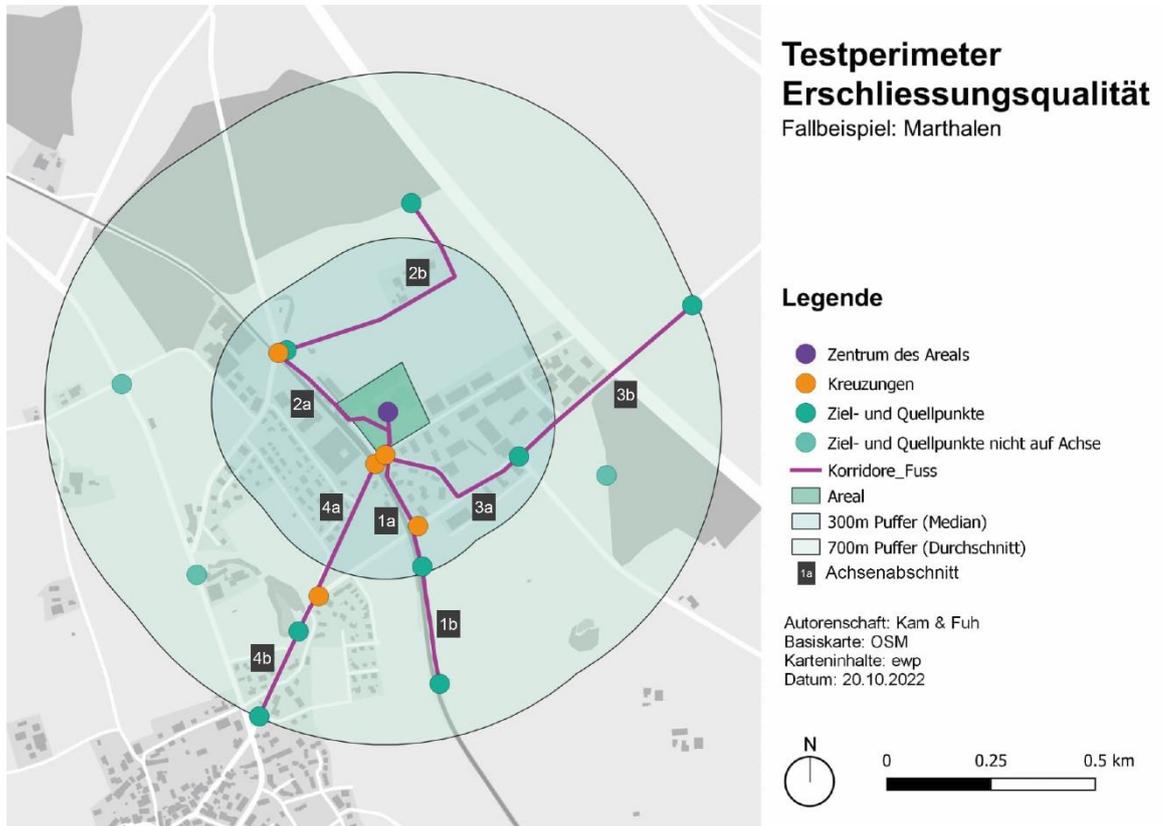


Abb.26 Begehungsplan des Testperimeters Marthalen

Veloverkehr

Tab. 35 Beurteilung der qualitativen Kriterien Veloverkehr – Fallbeispiel Marthalen

Kriterium	Summarische Beurteilung	Bewertung
V1 – Qualität Velonetz: Führung an Knoten	Insgesamt hat es wenig Knoten im Umfeld, die von Velofahrenden von und nach dem Gebiet befahren werden müssen. Aufgrund des ländlichen Charakters des Umfeldes und der geringen Verkehrsbelastung (durchgehend weniger als 2'000 PW/d) handelt es sich dabei ausschliesslich um einfache (d.h. vortrittsgeregelte) Knoten mit geringer Belastung. Allerdings verfügen diese über keine Veloinfrastruktur (z.B. Abbiegehilfen, Vorsortierspuren), auch nicht an einem eher verkehrsdominierten Knoten wie z.B. Ruedelfinger-/Seebestrasse.	5 (gut)
V2 – Veloabstellplätze	Beim Bahnhof Marthalen (rund 30 m vom Areal entfernt) sind rund 80 Veloabstellplätze vorhanden. Diese befinden sich nicht innerhalb oder in direkter Nähe des untersuchten Areals. Daneben fehlen im gesamten Perimeter Veloabstellplätze. Insgesamt ist das Angebot deshalb ungenügend.	1 (schlecht)
V3 – Gefahrenstellen im VV	Die Sicherheit für Velofahrer*innen in Marthalen ist relativ hoch. Es sind keine Kaphaltestellen oder Tramschienen vorhanden. Ein Grossteil der Verkehrsinfrastruktur ist asphaltiert, mit wenigen Ausnahmen. Die grösste Beeinträchtigung der Sicherheit kommt durch an die Verkehrsinfrastruktur angrenzende Parkplätze zu Stande.	4 (eher gut)

Fussverkehr

Tab. 36 Beurteilung der qualitativen Kriterien Fussverkehr – Fallbeispiel Marthalen

Kriterium	Summarische Beurteilung	Bewertung
F1 – Qualität Fussverkehrsverbindungen an Knoten	In Marthalen gibt es nur wenige Knoten, welche für Zufussgehende von grosser Bedeutung sind. Zudem sind die mittleren Verlustzeiten an den wenigen vorhandenen Knoten klein. Die Qualität für die Zufussgehenden an Knoten ist demnach hoch.	5 (gut)
F2 – Führung Fussverkehr entlang Strassen	Die Verkehrsbelastung des motorisierten Verkehrs liegt durchgehend unter 3'000 Fz/d und schränkt die Qualität des Fussverkehrs wenig ein. Gesicherte Querungen über die Strassen hat es dennoch praktisch keine und die Strassen sind auch nicht Teil einer Tempo-30-Zone, was flächiges Queren ermöglichen würde. Die Trottoirs sind teilweise mehr als 2 m breit, teilweise aber auch schmaler.	4 (eher gut)
F3 – Umfeld- und Aufenthaltsqualität	Obwohl in Marthalen viel Grünraum vorhanden ist und auch Gewässerräume vorhanden sind (v.a. wenn private Teichanlagen dazugezählt werden), ist die Umfeld- und Aufenthaltsqualität eher tief. Grund hierfür sind vor allem die mangelnde Beschattung, sowie der Lärm, welcher vor allem durch grosse Strassen und die nahe Autobahn zustande kommt.	2 (eher schlecht)
F4 – Orientierung	Die Struktur des Wegenetzes ist nicht intuitiv verständlich, gute Fusswegbeziehungen (z.B. zwischen Gebiet Schilling und Bahnhof Marthalen entlang Bahngleise) sind nicht ohne weiteres klar. Die Fusswegverbindungen in die östlichen Teile des Gebietes verlaufen über Strassenräume, die in den Randbereichen für Logistik genutzt werden, was ebenfalls nicht zur Orientierung beiträgt. Eine Wegweisung fehlt. Das hohe Silogebäude der Landi hilft allerdings als Orientierungspunkt.	3 (mittel)
F5 – Sicherheit	Die Beleuchtung im untersuchten Perimeter ist unterschiedlich. Teilweise sind die Fusswege gut ausgeleuchtet, teilweise fehlt eine angemessene Beleuchtung jedoch. Die Fusswege und Plätze sind zudem generell eher wenig belebt, weshalb die subjektive Sicherheit als eher schlecht bewertet wird. Im untersuchten Perimeter besteht ein Fusswegnetz von 12.81 km Länge. Wenn man die durchschnittlich 0 Unfälle pro Jahr mit Fussverkehrsbeteiligung betrachtet, ergibt dies eine Unfalldichte von 0 Unfällen pro Kilometer (0 U / 12.81 km) Im Untersuchungsperimeter wird der Fahrradverkehr zudem meist getrennt geführt und nicht im Mischverkehr.	3 (mittel)

6.4 Fallbeispiel Crans-Montana

6.4.1 Beschreibung Gebiet

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 – Cry 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 wegen des dichten Busangebots noch in der ÖV-Güteklasse B (Frick et al., 2015).

6.4.2 Quantitative Bewertung Veloverkehr

Der resultierende Multiplikator (Kostendistanz) zeigt, dass im Gebiet viele untergeordnete Strassen Werte unter 1 haben. Dies ist hauptsächlich auf das Kriterium der Infrastrukturkosten zurückzuführen. Diese setzen sich aus dem Temporegime, dem DTV sowie der vorhandenen Strasseninfrastruktur zusammen. Erstere beide sind in Crans-Montana im Jahresmittel tief, was zu insgesamt tiefen Infrastrukturkosten führt. Der Einfluss der Steigung ist auf gewissen Strecken sehr gross, schlägt jedoch über das gesamte Gebiet nicht durch. Das liegt auch daran, dass Crans-Montana zwar in den Bergen, aber auf einem Plateau liegt. Der Umgebungsnutzen wirkt sich zwar positiv aus, hat aber keinen grossen Einfluss auf die Gesamtkosten. Insgesamt können plausible Resultate generiert werden.

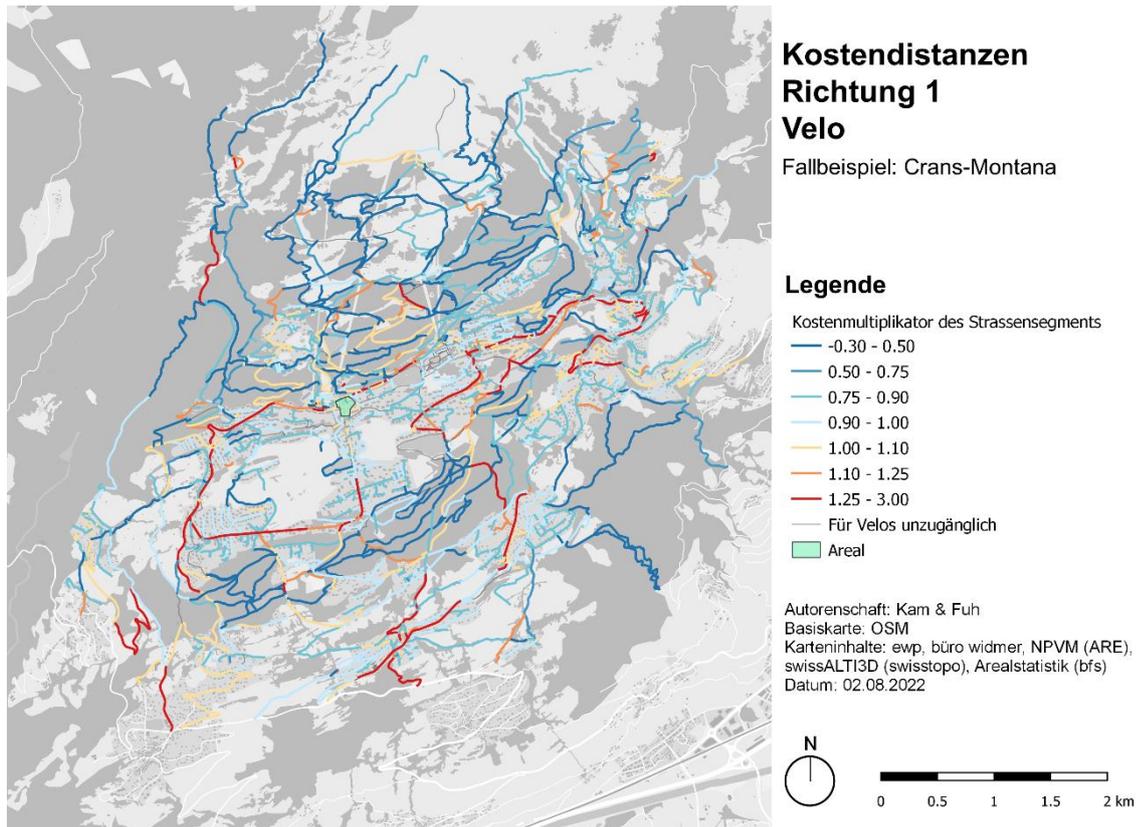


Abb.27 Resultierende Kostendistanzen für Crans-Montana

Die ermittelten Werte für die Zentralität und die Erreichbarkeit konnten berechnet werden und sind in folgender Tabelle enthalten. Die produzierten Werte erscheinen, allerdings fehlen mit nur vier Testgebieten robuste Vergleichswerte.

Tab. 37 Resultate quantitative Kriterien Crans-Montana

Kriterium	Wert (mit natürlichem Logarithmus logarithmiert)
Zentralität	8.528
Erreichbarkeit	6.27

6.4.3 Qualitative Bewertung Fuss- und Veloverkehr

Die in Kapitel 4.3 für den Veloverkehr und in Kapitel 5.2 für den Fussverkehr definierten qualitativen Beurteilungskriterien wurden nur anhand öffentlich zugänglicher Daten (Luftbilder, GIS-Daten Bund und Kantone etc.) vom Arbeitsplatz aus vorgenommen. Dabei wurde der folgende Perimeter beurteilt.

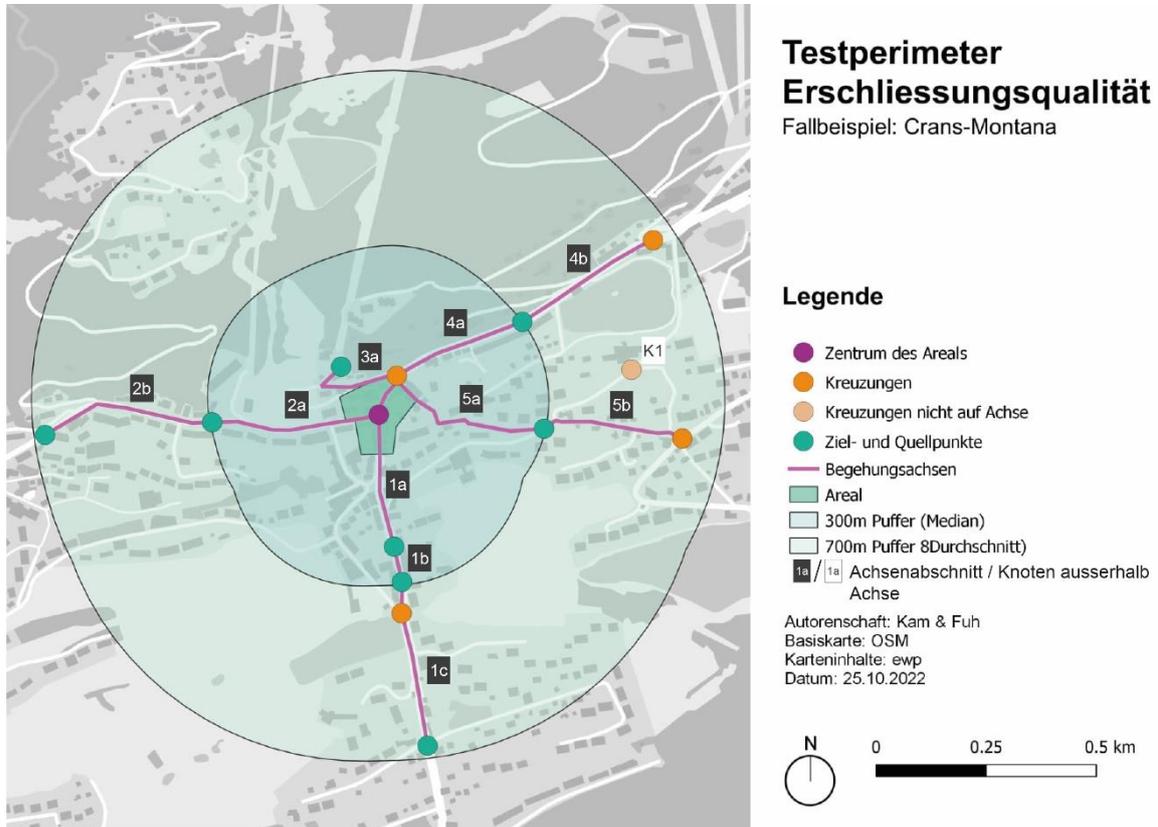


Abb.28 Begehungsplan des Testperimeters Crans-Montana

Veloverkehr

Tab. 38 Beurteilung der qualitativen Kriterien Veloverkehr – Fallbeispiel Crans-Montana

Kriterium	Summarische Beurteilung	Bewertung
V1 – Qualität Velonetz: Führung an Knoten	Die Knoten, welche sich im untersuchten Perimeter befinden, sind allesamt mit einer Punktzahl von 1 bewertet worden. Alle Knoten sind bezüglich der Ausgestaltung und der Führung des Veloverkehrs ungenügend.	1 (schlecht)
V2 – Veloabstellplätze	Im Areal und in direkter Nähe sind praktisch keine Veloabstellplätze vorhanden. Der 50%-Richtwert wird bei Weitem nicht erreicht.	1 (schlecht)
V3 – Gefahrenstellen im VV	Im untersuchten Perimeter ist keine Traminfrastruktur vorhanden, weshalb diese nicht in die Bewertung miteinbezogen wurde. Auf allen Hauptachsen ist entweder Schräg-, Parallel- oder Querparkierung vorhanden. Es wurden keine angemessenen Velomassnahmen ergriffen, um die negativen Einflüsse der Parkierung auf den Veloverkehr zu vermindern. Die Veloinfrastruktur im untersuchten Perimeter ist durchgehend asphaltiert, weshalb dieses Kriterium mit der vollen Punktzahl bewertet wurde.	3 (mittel)

Fussverkehr

Tab. 39 Beurteilung der qualitativen Kriterien Fussverkehr – Fallbeispiel Crans-Montana

Kriterium	Summarische Beurteilung	Bewertung
F1 – Qualität Fussverkehrsverbindungen an Knoten	Alle Kreuzungen sind mit Fussgänger*innenstreifen ausgestattet. Lichtsignalanlagen sind an den untersuchten Kreuzungen keine vorhanden.	5 (gut)
F2 – Führung Fussverkehr entlang Strassen	Die Querungen über die Hauptstrassen liegen mehrheitlich mehr als 100 Meter auseinander. Die Trottoirbreite beträgt mehrheitlich mehr als 2 Meter. Je nach Strecke liegt das Verkehrsvolumen (DTV) circa zwischen 3'000 und 6'000 Fahrzeugen pro Tag.	3 (mittel)
F3 – Umfeld- und Aufenthaltsqualität	Es sind sowohl Grünflächen als auch Gewässerräume entlang der Achsen vorhanden. Die Beschattung ist unzureichend, es fehlt an schattenspendenden Elementen (z.B. Bäume). Die Lärmemissionen sind besonders entlang der Hauptverkehrsachsen eher hoch. Der untersuchte Raum ist ausreichend mit Mobiliar (Bänke, Brunnen etc.) ausgestattet.	2 (eher schlecht)
F4 – Orientierung	Die Orientierung ist mittelmässig. Die direkten Wegebeziehungen sind nicht immer intuitiv erkennbar. Es ist zudem unklar, wo jeweils die Strassen gequert werden dürfen.	3 (mittel)
F5 – Sicherheit	Die Beleuchtung wird auf den drei Hauptachsen als genügend angesehen. Die Belebtheit ist eher hoch, schwankt jedoch saisonal stark. Im untersuchten Perimeter besteht ein Fusswegnetz von 20.47 km Länge. Wenn man die durchschnittlich 0.4 Unfälle pro Jahr mit Fussverkehrsbeteiligung betrachtet, ergibt dies eine Unfalldichte von circa 0.02 Unfällen pro Kilometer (0.4 U / 20.47 km)	4 (eher gut)

6.5 Quantitative Kriterien: Ergebnisse und Erkenntnisse

Betrachtet man die quantitativen Resultate über alle vier Testgebiete, zeigt sich die in etwa zu erwartende Spannweite an Werten. Die Unterschiede sind bei der Erreichbarkeit grösser als bei der Zentralität.

Tab. 40 Vergleich Zentralität und Erreichbarkeit der vier Testgebiete (In-Werte)

Gebiet	Zentralität	Kategorie	Erreichbarkeit	Kategorie	Gesamt
Zürich-Binz	12.207	I	16.76	I	A
Crans-Montana	8.528	III	6.27	III	C
Genf	10.787	II	9.75	II	B
Marthalen	7.323	III	2.38	IV	D

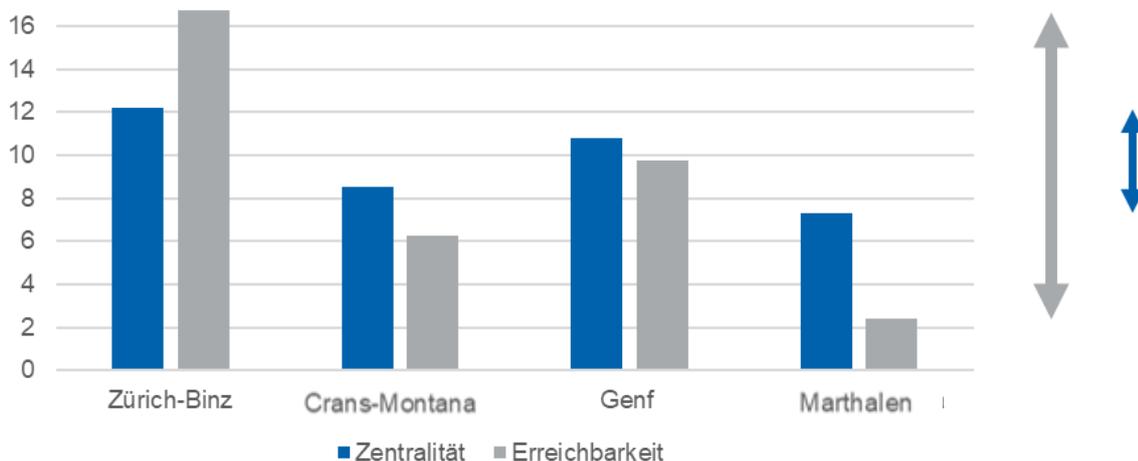


Abb. 29 Vergleich Zentralität und Erreichbarkeit der vier Testgebiete

Die Resultate stimmen weitgehend relativ zueinander. Je dichter das Gebiet und je besser das Infrastrukturangebot, umso besser schneiden die bewerteten Areale ab. Die Bandbreite der Resultate bei der Zentralität ist geringer als bei der Erreichbarkeit. Das hängt damit zusammen, dass bei der Erreichbarkeit neben den Unterschieden im Infrastrukturangebot auch die unterschiedlichen Dichten (Wohnbevölkerung, Beschäftigte) eine starke Rolle spielen, insbesondere diejenigen in unmittelbarer Nähe. Während bei der Infrastruktur an allen vier Standorten unabhängig von der Dichte ein Basisnetz vorhanden sein muss, das auch nicht beliebig gesteigert werden kann, streuen die Erreichbarkeitswerte zwischen urbanen Standorten wie Genf und vor allem Zürich mit ihrer hohen Dichten einerseits und touristischen bis ländlichen Standorten wie Crans und Marthalen mit tieferen Dichten andererseits viel stärker. Die resultierenden Werte und die teilweise unterschiedliche Reihenfolge sind auch im Vergleich zu den zwei anderen untersuchten Verkehrsmodi MIV und ÖV plausibel.

Beim Vergleich der zwei urbaneren Standorte Genf und Zürich lässt sich die deutliche Differenz in der Erreichbarkeit unter anderem damit erklären, dass sich Zürich-Binz in Mitten des Stadtgebiets befindet wohingegen das Areal in Genf am Stadtrand liegt. Zudem kam in Genf die Standardvariante zur Anwendung, in Zürich die Idealvariante. Das bedeutet, dass die Netzeigenschaften in Zürich umfassender und etwas detaillierter modelliert wurden. Beim Vergleich der zwei ländlichen Standorte fällt Marthalen bei der Erreichbarkeit im Verhältnis zur Zentralität klar ab. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Verkehrsnetze relativ vergleichbar sind, während die Menge und Dichte an Arbeitsplätzen und Einwohnende in Crans-Montana deutlich grösser ist als in Marthalen.

Vor dem Hintergrund dieser Resultate sollen nochmals die Bestimmung der Kostendistanzen und die dabei enthaltenen Annahmen erörtert werden. Die Kostendistanz setzt sich aus vier Elementen zusammen. Dabei handelt es sich um die Gradientenkosten, die Infrastrukturkosten, die Unfallrisikokosten sowie den Umgebungsnutzen als negative Kosten (Nutzen). Die vier Elemente werden additiv zur Kostendistanz kombiniert. Diese additive Formulierung der Kostenelemente beinhaltet eine implizite Gewichtung, gewisse Elemente fallen mehr ins Gewicht als andere. Die Infrastrukturkosten (mit dem Basiswert 1) sollen das Resultat dominieren und die Grössenordnung der resultierenden Kostendistanz festlegen, die drei anderen Elemente (mit Basiswert 0) sollen diesen Wert entweder etwas nach unten oder oben korrigieren. Wie in der Methode beschrieben (vgl. Unterkapitel 4.1.2), mussten die Gradientenkosten in Abhängigkeit der Hügeligkeit korrigiert werden, um dieses Prinzip auch bei unterschiedlicher Hügeligkeit des Standorts beibehalten zu können. In der Regel liegen die Gradientenkosten rund eine Grössenordnung tiefer als die Infrastrukturkosten und die Unfallrisikokosten sowie der Umgebungsnutzen rund zwei Grössenordnungen tiefer.

In *Tab. 41* sind in der ersten Zeile die Durchschnitte der absoluten Werte aller Kostenelemente über alle Strecken der vier Teilgebiete ersichtlich. Die zweite Zeile zeigt den prozentualen Einfluss der Kosten und Nutzen auf die resultierende Kostendistanz. Demnach bestimmen die Infrastrukturkosten den Kostenmultiplikator zu beinahe 90%. Unfallrisikokosten und Umgebungsnutzen haben vergleichsweise wenig Einfluss auf den Gesamtwert.

Tab. 41 Absolute und relative Werte der Kosten und Nutzen (weder nach Länge noch Belastung des Infrastrukturelements gewichtet)

Kostenmultiplikator =	Gradientenkosten	+ Infrastrukturkosten	+ Unfallrisikokosten	- Umgebungsnutzen
1.226	0.156	1.1	0.02	0.05
100%	12.72%	89.72%	1.63%	- 4.08%

Zu beachten sind dabei folgende zwei Punkte:

- Es handelt sich um einen Mittelwert ohne Gewichtung der Länge. Dies dürfte den Beitrag der Infrastrukturkosten eher überschätzen und denjenigen des Umgebungsnutzens eher unterschätzen. Denn lange Streckenelemente (Abstand zwischen Knoten)

kommen primär ausserhalb des Siedlungsgebiets vor, wo der Umgebungsnutzen in der Tendenz besser und die Infrastrukturkosten in der Tendenz weniger gut sind.

- Standardmässig hat jedes Infrastrukturelement den Wert 0 bei den Unfallrisikokosten. Nur wenn eine oder mehrere Risikosituationen bestehen, werden die entsprechenden Werte addiert. Diese Angaben liegen im Moment nur für das Fallbeispiel Zürich-Binz vor. Darum ist dieses Kostenelement in allen anderen drei Fallbeispielen auf allen Infrastrukturelement 0. Das unterschätzt diese Kosten deutlich.

Alles in allem dürfte darum der Anteil der Infrastrukturkosten bei knapp 70%, derjenige der Gradientenkosten bei 15%, derjenige der Unfallrisikokosten bei rund 10% und des Umgebungsnutzens bei gut 5% liegen. Auch mit dieser Korrektur bleibt der Beitrag der Infrastrukturkosten dominierend. Entsprechend zentral ist es, für dieses Kostenelement die Qualität der Datengrundlagen kontinuierlich zu verbessern.

6.6 Qualitative Kriterien: Ergebnisse und Erkenntnisse

Betrachtet man die qualitativen Resultate für den Veloverkehr über alle vier Testgebiete, zeigt sich die in etwa zu erwartende Spannweite an Werten.

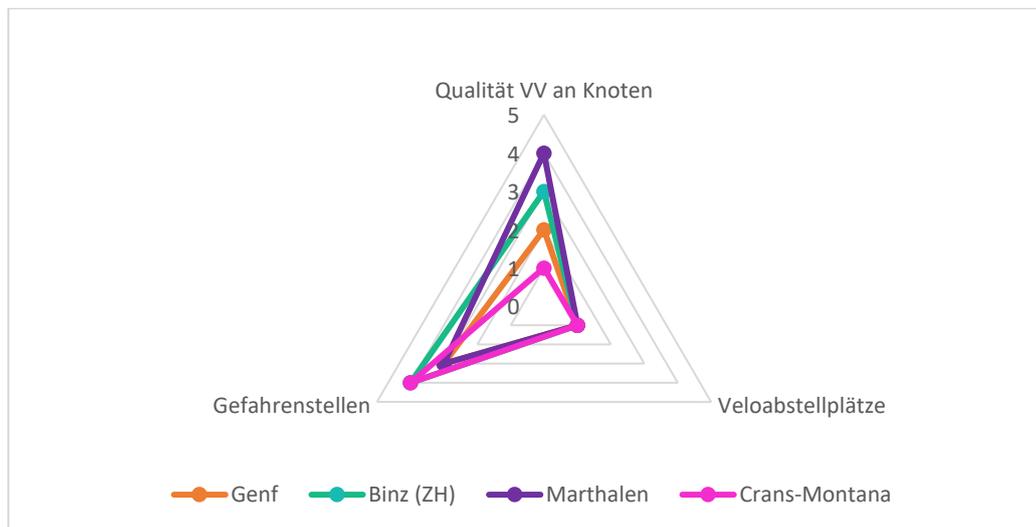


Abb.30 Vergleich der qualitativen Bewertungen für den Veloverkehr für die vier Testperimeter

Dabei fällt auf, dass es bei den Abstellplätzen keine Varianz gibt (alle ungenügend), hingegen bei der Qualität der Führung an Knoten eine sehr grosse. Die qualitative Beurteilung bezüglich Gefahrenstellen fällt in der Tendenz mittel-gut aus. Die vorgefundene Anzahl an Abstellplätzen ist gegenüber den zunächst definierten Zielwerten überall zu gering. Diese Variable wurde nach den Fallbeispielen schliesslich auch grundlegend überarbeitet. Einerseits besteht bezüglich Anzahl und Qualität an Veloabstellplätzen tatsächlich häufig ein grosses Defizit. Trotzdem wurden die Zielwerte vereinfacht und bezüglich der Problematik privat-öffentlich angepasst. Insgesamt schneiden die zwei Westschweizer Fallbeispiele etwas schlechter ab als diejenigen in der Deutschschweiz. Die grosse Varianz bei der Qualität an Knoten deutet auf eine gute Möglichkeit der Erfassung hin und zeigt zwei Dinge: Erstens gibt es hier wichtigen und zentralen Spielraum, um das Angebot im Veloverkehr zu verbessern. Zweitens stützt das Resultat das skizzierte Vorgehen, auch die Knoten quantitativ in die Kostendistanzen zu integrieren, wie das im Fallbeispiel Zürich ansatzweise möglich war. Ob die unterschiedliche Handhabung bei der Erhebung eine Rolle spielte (komplette Erhebung vor Ort vs. teilweise Erhebung aus dem Büro heraus) einen Einfluss auf die Resultate hat, ist nicht klar aus den Resultaten ablesbar.

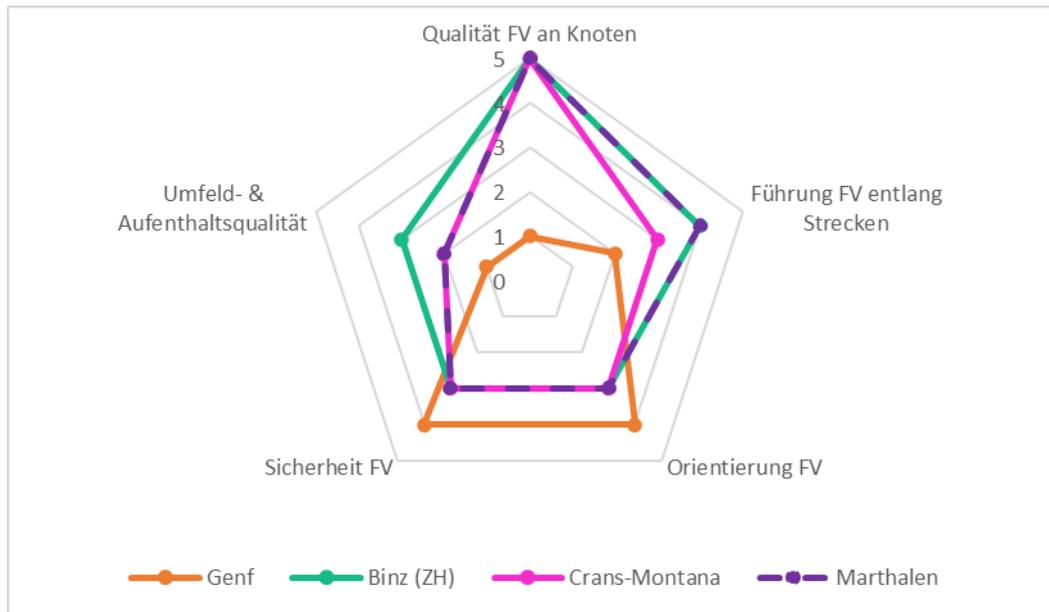


Abb.31 Vergleich der qualitativen Bewertungen für den Fussverkehr für die vier Testperimeter (Binz und Marthalen sind bei Knoten/Strecken/Orientierung sowie Crans-Montana und Marthalen bei Knoten/Umfeld/Sicherheit deckungsgleich)

Beim Fussverkehr fällt auf, dass die Resultate mehr streuen als beim Veloverkehr. Dies ist positiv, da im Gegensatz zum Veloverkehr sämtliche Eigenschaften nur qualitativ bewertet werden. Die Eigenheiten der Testgebiete werden durch die grösseren Unterschiede deutlich und nachvollziehbar abgebildet. Die Umfeld- und Aufenthaltsqualität bietet insgesamt am meisten Potenzial für Verbesserung. Der Standort Genf schneidet insgesamt am schlechtesten ab und scheint ein anderes Profil zu haben als die anderen drei Gebiete. Das passt insofern, dass der Perimeter in Genf über weite Teile eindeutig ein nach den Standards eines Gewerbegebiets gestalteter Raum ist. Das Angebot für den Fussverkehr hat hier einerseits substanzielle Defizite, auf der anderen Seite bietet dieses eher in sich geschlossene, abgewandte Umfeld wenig Durchwegung (damit relativ klare Orientierung mangels Alternativen) und eher gute Werte bei der Sicherheit (gute objektive Sicherheit, Beleuchtung, nur schlechte Belebung). Die Werte bei der Qualität der Führung an Knoten sind bis auf Genf sehr gut. Dieses Kriterium wurde im Nachhinein etwas angepasst. Einerseits ist es plausibel, dass im ländlichen Raum die Knoten häufig einfach gehalten und dadurch für den Fussverkehr relativ einfach zu queren sind. Andererseits soll mit der neuen Definition des Kriteriums der Zeitverlust an Knoten besser abgebildet werden. Aus den Resultaten lässt sich nicht direkt schliessen, ob es systematische Unterschiede zwischen dem Verfahren vor Ort oder dem vereinfachten Verfahren vom Arbeitsplatz aus gibt.

7 Synthese

7.1 Erreichte Erkenntnisse

Ziel der Forschungsarbeit ist das Entwerfen einer Methode. Mit der vorliegenden Forschungsarbeit konnten somit vor allem methodische Erkenntnisse gewonnen werden; in begrenztem Rahmen auch inhaltliche.

Methodische Erkenntnisse

- Die Zweiteilung in einen quantitativen sowie einen qualitativen Teil funktioniert mit der heutigen Datenlage gut und auch über die zwei Modi Velo- und Fussverkehr konsistent. Mit der Entwicklung hin zu mehr und national-einheitlichen Datengrundlagen wird die entwickelte Methode mitgehen können und der Fussverkehr wird somit gestärkt, da bald auch quantitativ beschreibbar.
- Die Qualität (Erschliessungs*qualität*) lässt sich plausibel und nachvollziehbar quantitativ beschreiben, messen und vergleichen.
- Die Wahl und Herleitung der Perimeter haben sich bewährt. Eine Unterscheidung im Perimeter zwischen quantitativen und qualitativen Kriterien ist nötig und begrenzt die Rechenleistung bzw. den Aufwand auf das Machbare. Das Konzept mit den zwei unterschiedlich grossen Buffern und dem Achsensystem bei den qualitativen Kriterien erlaubt repräsentative Aussagen für den Raum bei reduziertem Erhebungsaufwand.
- Eine sorgfältig aufbereitete Datenbasis ist essenziell. Das Zurverfügungstellen solcher Daten muss gefördert und standardisiert werden.
- Eine gut vorbereitete Begehung vor Ort ist nötig.
- Die verschiedenen Stufen (quantitativ: Ideal-, Normal- und Minimalfall; qualitativ: Standard- und vereinfachtes Verfahren) sind hilfreich. Der jeweils aufwändigere Ansatz bringt auch einen Mehrwert in besseren Resultaten; wobei besser vor allem differenzierter und näher an der Realität bedeutet. Die Wahl der Stufe ist von der Dimension des Projekts und der benötigten Aussage abhängig.
- Der zeitliche Aufwand ist trotz aller Elemente zur Vereinfachung nicht zu unterschätzen. Vor allem die Aufbereitung in GIS der Kostendistanzen sowie die Erfassung der qualitativen Indikatoren vor Ort brauchen Zeit.
- Die Methode ist von einer Fachperson aus dem Planungsbereich ausführbar. Die Person oder das Team müssen folgende Kompetenzen mitbringen: GIS-Kenntnisse, Zentralität-/Erreichbarkeitsberechnung, Erfahrung in der Strassenraumgestaltung bezüglich FVV.
- Der quantitative Teil ist mit frei verfügbaren Programmen wie QGIS und R machbar.
- Bei den qualitativen Erhebungen ist der Gesamteindruck zentral, Einzelbewertungen (Segmente, Knoten) sind «nur» ein guter, semi-quantitativer Orientierungsrahmen.

Inhaltliche Erkenntnisse

- Es besteht eine grosse Bandbreite hinsichtlich der Qualität in der heute anzutreffenden Verkehrsinfrastruktur in Hinblick auf den Fuss- und Veloverkehr. Es gibt Verbesserungspotenzial.
- Diese grosse Varianz ist sowohl im Fuss- wie auch im Veloverkehr stark ausgeprägt (bei einer Stichprobe von jedoch nur vier Testgebieten).
- Die Knoten sind mindestens genauso wichtig wie die Strecken für ein funktionierendes Angebot.
- Eine Unterscheidung nach Nutzendengruppen ist nur dann sinnvoll, wenn unterschiedliche Verkehrszwecke separat betrachtet werden sollen. Sonst können Bedürfnisse auch gut über die gewählten Parameter wie Steigungsfunktion usw. abgebildet werden.
- Entscheidend für das Resultat ist sowohl die generelle Priorität, die der FVV im betrachteten Raum genießt («Kultur») wie auch die Qualität spezifisch, räumlich klar verortbare Infrastrukturelemente.

7.2 Anwendungen, Daten, Empfehlungen

Die entwickelte Methode kann sowohl auf bereits bebaute wie auch noch zu bebauende Areale angewendet werden. Da es zumindest im Moment unwahrscheinlich ist, dass die FVV-Erschliessungsgütern national flächendeckend aufbereitet werden, muss die Methode jeweils spezifisch für das Areal von Interesse angewendet werden. Es ist denkbar, nur den Teil Velo oder nur den Teil Fussverkehr zu verwenden. Der qualitative Teil bietet sich jedoch an, gemeinsam zu erheben. In der Regel soll die Methode gemäss Idealfall angewendet werden und nur bei guten Gründen davon abgewichen werden.

Der limitierende Faktor sind eindeutig national-einheitliche Datensätze. Die Forschungsstelle empfiehlt den kantonalen und nationalen Behörden, in eine breite und koordinierte Datenbasis zu investieren. Am wertvollsten sind weitere Angaben zu den Attributen, die über eine 0/1-Logik hinausgehen. Das heisst, es soll nicht nur bekannt sein, ob es einen Velostreifen oder ein Trottoir hat, sondern auch dessen Breite. Neben der Aufarbeitung des Dateninhalts, also der eigentlichen Information, kommt auch der Koordination und dem Vernetzen räumlich begrenzter Informationen zu. Im Moment übernimmt OSM zu einem gewissen Grad diese Rolle. Es handelt sich dabei jedoch um keine staatliche Datenquelle, die keinem systematisch-flächendeckendem Prinzip regelmässiger Überarbeitung folgt.

7.3 Kritik und Ausblick

7.3.1 Forschungsbedarf

Die wichtigste zu schliessende Lücke ist eine für den Schweizer Kontext kohärente quantitative Grundlagenarbeit Fussverkehr analog der hier verwendeten im Veloverkehr. Da voraussichtlich bereits in naher Zukunft Daten in genügender Qualität für Kostendistanzen im Fussverkehr vorliegen werden, besteht hier grosses Potenzial. Diese Grundlagenarbeit müsste entlang dem in Kapitel 5.1 skizzierten Aufbau des Multiplikators die relevanten Variablen mit zueinander kohärenten Gewichten versehen und die konkreten Kostenfunktionen der Kostenelemente (Steigung, Umgebung etc.) definieren. Diese so ermittelten Kostendistanzen im Fussverkehr müssten zwingend an mehreren Fallbeispielen bzw. Testregionen validiert werden. Im Nachgang könnte die in dieser Forschungsarbeit erarbeitete Methode so angepasst werden, dass für den Fussverkehr Indikatoren aus dem qualitativen Teil in den quantitativen verschoben würden. Dabei handelt es sich primär um Indikatoren wie die Umgebungsqualität, die Qualität entlang von Strecken sowie die Verkehrssicherheit.

Erst mit diesem Schritt kann von einer gleichwertigen Beurteilung der Erschliessungsqualität über alle Verkehrsmittel und Fortbewegungsarten die Rede sein. Mit der vorliegenden Forschungsarbeit konnte dieses Ziel aufgrund der vorangehend beschriebenen Lücken noch nicht erreicht werden. Es besteht somit weiterhin die Gefahr, dass der Fussverkehr zu wenig Berücksichtigung erhält, obwohl er aus verschiedenen Gründen (Umwelt, Gesundheit, Kosten etc.) eine sehr viel grössere Beachtung verdient hätte.

Im Vergleich dazu besteht beim Veloverkehr mit der Arbeit von Grigore et al. (2018) eine solche Grundlagenarbeit. Die an einem Teil der Stadt Basel getestete und kalibrierte Methode ist eine gute und verlässliche Grundlage. Zugleich ist sie im Schweizer Kontext die einzige solche Arbeit, wodurch auch die hier vorliegend umfassendere Forschungsarbeit sehr stark auf sie abstellen und verweisen musste. Das ist eine potenzielle Schwäche der hier entwickelten Methode. Es wäre wünschenswert, dass analoge Velo-Grundlagenarbeiten in anderen Räumen der Schweiz gemacht werden. So könnten die Parameter in der Methode der vorliegenden Arbeit justiert werden, wodurch sie robuster würden.

Neben diesen grundsätzlichen Überlegungen bieten zudem einzelne Teilelemente der Methode Optimierungspotenzial, wozu weitere Forschung nötig wird. Sie werden im Folgenden kurz erörtert:

- Bei den **Gradientenkosten** (heute nur Velo, zukünftig Fuss- und Veloverkehr) muss der exakte Verlauf der Gewichtung innerhalb des Kostenmultiplikators in Abhängigkeit der Hügeligkeit des Perimeters über eine grosse Strichprobe an Standorten ermittelt werden. Dabei ist auch der zunehmende Anteil an E-Velos zu berücksichtigen.
- Die **Infrastrukturkosten**, welche die resultierende Kostendistanz stark beeinflussen, basieren zu einem wesentlichen Teil auf der Attributierung in OSM. Gerade in ländlichen Gebieten hat es in diesem Datensatz keine oder falsche Angaben zur Fuss- und Veloverkehrsinfrastruktur. Als Überbrückung müssen Annäherungen bzw. einfache Ansätze erforscht werden. Noch besser wäre, in Anlehnung an OSM in eine verlässlichere, schweizweit flächendeckend Datenquelle zu investieren.
- Die Kenngrösse der **Zentralität** lässt sich einerseits bei der Berechnung und andererseits bei der Bewertung optimieren. Richtungsspezifische Werte werden aktuell nur bedingt berücksichtigt (beispielsweise die asymmetrische Form der Gradientenkostenfunktion). Ausser Acht gelassen werden aktuell zudem Einbahnstrassen oder Abbiegeverbote. Die Integration dieser Information scheint zwar wiederum sehr von exakten Datenquellen abhängig und ist nicht trivial in der Modellierung. Trotzdem würde das die Resultate verbessern und es könnten solche Schwachstellen im Netz adäquat abgebildet werden. Bei der Bewertung schlägt die Methode aktuell eine Normalisierung mit dem natürlichen Logarithmus vor. Zu testen sind weiter die Normalisierung in Abhängigkeit der Verteilung der Weglängen im Perimeter sowie strukturiert nach Weglänge-Intervalle der kürzesten Wege durch den jeweiligen Knoten. Unter Umständen können so differenziertere Aussagen zur generellen Einbindung in das Velo- bzw. in Zukunft auch Fussverkehrsnetz gemacht werden.
- Bei der Ermittlung der **Erreichbarkeit** sollte die Gewichtungsfunktion des Potenzialmodells validiert werden. Aktuell wird ein Standardparameter (beta) von 0.2 verwendet, in Anlehnung an Werte beim MIV und ÖV. Dieser sollte in Zukunft basierend auf den gefahrenen Veloetappen geschätzt werden, etwa auf Basis der Etappendistanzauswertungen im Mikrozensus Verkehr und Mobilität. Der Einfluss von Eigen- vs. Fremderreichbarkeit auf das Resultat sollte bei Vorliegen zusätzlicher Fallbeispiele nochmals überprüft werden.

Zuletzt sollte darauf hingewiesen werden, dass sich im FVV die Standards (und damit auch die Wahrnehmung bestimmter Führungsformen und Breiten im Kontext des Gesamtnetzes) nicht zuletzt aufgrund der Gesetzgebung anpassen werden. Zudem werden sich die Bedürfnisse der Velofahrenden und Zufussgehenden verändern, einerseits weil der Veloverkehr möglicherweise zunehmen wird und andererseits weil sich die soziodemographischen Parameter, insbesondere das Durchschnittsalter, wandeln werden. Die Methode ist so aufgebaut, dass die Struktur erhalten bleibt, jedoch gewisse Parameter periodisch justiert werden können und sollten.

7.3.2 Daten

Zentral sind verbesserte Datengrundlagen für den Fussverkehr generell. Hier ist davon auszugehen, dass gewisse Verbesserungen folgen. Die Forschungsstelle empfiehlt, diesen Prozess aktiv zu gestalten und koordinieren. Öffentlich und kostenlos zugängliche Daten in diesem Feld würden dem vorliegenden Forschungsanliegen aber auch weiteren sehr dienen. Wichtig dabei ist eine schweizweite Standardisierung.

Da die Kostendistanzen für den Veloverkehr (und bei einer allfälligen späteren Anwendung auch für den Fussverkehr) stark durch die Infrastrukturkosten geprägt sind, sind bessere und vollständigere Datensätze der Verkehrsnetze zur Attributierung mit für den FVV relevanten Variablen die zweite wichtige anzustrebende Verbesserung bei den Daten.

Neben diesen zwei übergeordneten Verbesserungen bei den Datenquellen sieht die Forschungsstelle im qualitativen Bereich bei folgenden Kriterien das grösste Potenzial:

- Standardisierte Angaben zu Gefahrenstellen für den Veloverkehr im Strassenraum, insbesondere zu Parkplätzen und Tramschienen/Kaphaltestellen
- Standardisierte Angaben zu Veloabstellplätzen
- Standardisierte Angaben zu Treppen und ähnlichen Hindernissen.

Für eine noch bessere Vergleichbarkeit mit den Erschliessungsqualitäten für den MIV und ÖV und für eine bessere Abbildung der für den FVV charakteristischen kurzen Weglängen wird zudem empfohlen, die Nachfragedaten des NPVM pro Zone auf das Hektarraster (Strukturdaten gemäss BfS) herunterzubrechen. Damit könnten die quantitativen Grössen eines einzelnen Areals künftig noch präziser bestimmt werden.

Anhänge

I	Quantitative Kriterien: Vorgehensanleitung.....	113
I.1.1	Umgang mit Modellierung der Infrastrukturelemente in OSM.....	113
I.1.2	GIS-Anleitung: Berechnung der Kostenindikatoren (Kostendistanzen)	113
II	Qualitative Kriterien: Vorgehensanleitung	121
II.1.1	Begehungskarten	121
II.1.2	Allgemeine Anmerkungen zur Erhebung	121
II.1.3	Detaillierte Hinweise zu Bewertung Fussverkehr.....	122
II.1.4	Detaillierte Hinweise zu Bewertung Veloverkehr	123
III	Karten Kostendistanzen	124
III.1	Zürich-Binz	124
III.2	Crans-Montana.....	131
III.3	Genf.....	135
III.4	Marthalen	139

I Quantitative Kriterien: Vorgehensanleitung

I.1.1 Umgang mit Modellierung der Infrastrukturelemente in OSM

Klasse in OSM	Zugewiesener Wert
unclassified	Ms
track_grade1	Ms
track_grade2	Ms
track_grade3	Ms
track_grade4	10
track_grade5	10
track	Ms
tertiary_link	Ms
tertiary	Ms
steps	10
service	Ms
secondary_link	Ms
secondary	Ms
residential	Ms
primary_link	Ms
primary	Ms
pedestrian	6
path	Ms
motorway_link	10
motorway	10
living_street	Ms
footway	6
cycleway	Ms

I.1.2 GIS-Anleitung: Berechnung der Kostenindikatoren (Kostendistanzen)

Grundlagen für die GIS - Analyse

Rezept für QGIS um die Grundlagen für die Kostenmultiplikatoren für Strassensegmente zu berechnen.

Grundlagen:

- Strassenlinienshape aus OSM Daten mit Spalten ID, Linienlänge, DTV, Cgr, Cinf, Benv, MIV, Velo, Fuss ergänzen (siehe Tabelle Strassenlinienshape im Anhang)
- Punktdaten aus swissali3d mit x,y,z Werten

Begriffe im Text:

Layer steht als Variable für den Namen des Shape Files, Layer_kopie für den Namen der Kopie des Shapes.

Berechnung steht für eine Rechenoperation mit dem Feldrechner in der Tabelle (Layer) mit dem Spaltenname vor dem "=" Zeichen und danach der Ausdruck für die Berechnung.

Selection oder Filter steht für eine Abfrage zum Eingrenzen der Datensätze für die nächste Berechnung oder Operation.

QGIS Erweiterung Group Stats installieren für einfachere statistische Auswertungen.

Berechnungen der Kostenmultiplikatoren

Cgr

Die swissalti3d Punktdaten werden mit den Strassen Linien Shapes mittels Verarbeitungswerkzeug "Profiles from lines" ein neuer Punktlayer generiert.

1. Profiles from lines starten
Parameter: DHM Swissalti3d file
Linien: Strassen Linien Shape
Name: Profil
2. Schritt 1 mit allen Swissalti3d file im Untersuchungsperimeter durchführen
3. Profile files alle zu einem zusammenfügen mittels Verarbeitungswerkzeug "Vektorlayer zusammenfügen" Profile als ein Shapes (Punktlayer) erstellen.

Der Punktlayer wird mit 6 neuen Spalten ergänzen (siehe Tabelle Profilshape im Anhang).

4. AI: Nächster Punkt
Berechnung: AI= "ID" + 1
5. h_diff: Punktlayer wird mit sich selber via ID zu AI verknüpft
Berechnung: h_diff = "Layer_kopie_Z" – "Z"
6. L: Distanz zwischen den Punkten
Berechnung: L = "Layer_kopie_DIST" – "DIST"
7. Cgr:
Berechnung: $Cgr = 417 * ("h_diff" / "L") * ((("h_diff" / "L") + 0.04)$
8. Anteil Cgr: Punktlayer mit Strassenlinienshape via LINE_ID zu ID verknüpfen
Berechnung: Anteil Cgr = $Cgr * ("L" / "Linienlänge")$
9. Benutzen:
Berechnen: Benutzen = 1,
Auswahl: "LINE_ID" <> "Layer_kopie_LINE_ID"
Berechnen: Benutzen = -1

Nach den Berechnungen werden für die Benutzer = 1 die Anteil Cgr pro LINE_ID summiert

10. Aggregieren mit Group Stats die Anteil Cgr nach LINE_ID,
Filter: Benutzen = 1

Die Resultate dem Strassenlayer anfügen und Cgr aktualisieren.

11. Resultate Punktlayer mit Strassenlinienshape via LINE_ID zu ID verknüpfen
Berechnen: Cgr = "Layer_Cgr" (*Resultate Punktlayer*)

Cinf

Dem Strassenlinienshape die Benutzergruppen (MIV, Velo, Fussgänger) zuordnen

Strassenlinienshape mit Tabelle fclass verknüpfen und Werte den gleichnamigen Spalten zuweisen und danach die Tabelle wieder entfernen.

DTV zuweisen:

Variante 1: DTV als Punktlayer

1. Spatial join Punktlayer mit Strassenlinienshapes (Attribute nach Position verknüpfen) -> Joinfile
2. Verknüpfung Linie_ID Strassenlinienshapes mit Linie_ID Joinfile

3. DTV Werte in Strassenlinienshapes aktualisieren aus Joinfile
Berechnung: DTV = "Layer_DTV"

Variante 2: DTV als Linienlayer

1. Layer mit DTV X- und Y- Koordinate in der Mitte ausgeben.
2. Temporärer Punktlayer aus der Tabelle erzeugen
3. Spatial join Punktlayer mit Strassenlinienshapes (Attribute nach Position verknüpfen) -> Joinfile
4. Verknüpfung Linie_ID Strassenlinienshapes mit Linie_ID Joinfile
5. DTV Werte in Strassenlinienshapes aktualisieren aus Joinfile
Berechnung: DTV = "Layer_DTV"

Werte Cinf ermitteln mit folgenden Selectionen und Berechnungen:

1. Selection: Typ 1: "Layer_maxspeed" > 0 AND "Layer_maxspeed" <=30 AND "Layer_Velo" = 1
Berechnung: Cinf = $0.011 * \exp(0.0002 * \text{"Layer_DTV"}) + 0.989$
2. Selection: Typ 2: "Layer_DTV" > 0 AND ("Layer_maxspeed" = 0 OR "Layer_maxspeed" = 50) AND "Layer_Velo" = 1
Berechnung: Cinf = $0.011 * \exp(0.00025 * \text{"Layer_DTV"}) + 1.280$
3. Selection: Typ 5 = "Layer_MIV" = 0 AND "Layer_Velo" = 1 AND "Layer_Fuss" = 1
Berechnung: Cinf = 1
4. Selection: Typ 6 = "Layer_MIV" = 0 AND "Layer_Velo" = 1 AND "Layer_Fuss" = 0
Berechnung: Cinf = 0.9
5. Selection: Typ 7 = "Layer_Cinf" = 0 AND "Layer_MIV" = 0
Berechnung: Cinf = 1

Benv

Dem Bodenbedeckungsshape den Typ (0 = Unattraktive Umgebung, 1 = Gewässer, Grünfläche) zuordnen, Bereich ausschneiden und Benv berechnen.

1. Bodenbedeckungsshape via art_txt mit art_txt Tabelle fl_typ verknüpfen
2. Strassenlinienshapes zu Puffershapes erzeugen
Selection: "Layer_MIV" = 1 AND "Layer_Velo" = 1
Puffer 10m um Strassenaxe
3. Zuschneiden von Bodenbedeckungsshape mit Puffershapes
4. Extrahieren von Gewässer und Grünflächen
Aggregieren mit Group Stats die Gewässer und Grünflächen nach LINE_ID Filter: Typ = 1 -> "FI_GW"
5. Aggregieren mit Group Stats alle Flächen nach LINE_ID -> "FI_Tot"
6. Tabellen mit "FI_GW" und "FI_Tot" via LINE_ID verknüpfen.
7. Selection: "FI_GW" > 0
8. Berechnen: Benv = $0.1 - (0.1 / (0.01 + \exp(0.05 * (\text{"FI_GW"} / \text{"FI_Tot"} * 100))))$
9. Tabelle mit Strassenlinienshape via LINE_ID zu ID verknüpfen
Berechnen: Benv = Benv (Tabelle)

MS

Im Strassenlinienshape die Spalte Ms berechnen.

Berechnung: $Ms = \text{Cgr} + \text{CINF} + \text{Benv}$

Cgr_R

Analog Cgr ermitteln ab Punkt 7 vorgehen. Jedoch bei diesem Punkt mit umgekehrter Berechnung.

- 7. Cgr_R:
Berechnung: $Cgr_R = 417 * (-1 * h_diff / L) * ((-1 * h_diff / L) + 0.04)$
- 8. Anteil Cgr_R: Punktlayer mit Strassenlinienshape via LINE_ID zu ID verknüpfen
Berechnung: $\text{Anteil Cgr_R} = Cgr_R * (L / \text{Linienlänge})$
- 9. Benutzen:
Berechnen: Benutzen = 1,
Auswahl: "LINE_ID" <> "Layer_kopie_LINE_ID"
Berechnen: Benutzen = -1

Nach den Berechnungen werden für die Benutzer =1 die Anteil Cgr_R pro LINE_ID summiert

- 10. Aggregieren mit Group Stats die Anteil Cgr_R nach LINE_ID,
Filter: Benutzen = 1

Die Resultate dem Strassenlayer anfügen und Cgr_R aktualisieren.

- 11. Resultate Punktlayer mit Strassenlinienshape via LINE_ID zu ID verknüpfen
Berechnen: $Cgr_R = \text{Layer_Cgr_R}$ (Resultate Punktlayer)

MS_R

Im Strassenlinienshape die Spalte Ms_R berechnen.

Berechnung: $Ms_R = \text{Cgr_R} + \text{CINF} + \text{Benv}$

Anhang

fclass	MIV	Velo	Fuss
cycleway	0	1	0
footway	0	0	1
living_street	1	1	1
motorway	1	0	0
motorway_link	1	0	0
path	0	0	1
pedestrian	0	0	1
primary	1	1	1
primary_link	1	1	1

residential	1	1	1
secondary	1	1	1
secondary_link	1	1	1
service	0	1	1
steps	0	0	1
tertiary	1	1	1
tertiary_link	1	1	1
track	0	1	1
track_grade1	0	1	1
track_grade2	0	1	1
track_grade3	0	1	1
track_grade4	0	1	1
track_grade5	0	1	1
unclassified	1	1	1
trunk	1	0	0
trunk_link	1	0	0

Tabelle fclass: Verkehrsklasse zu fclass (0=verboten, 1= gestattet)

art_txt	Typ
befestigt.Bahn	0
befestigt.Flugplatz	0
befestigt.Strasse_Weg	0
befestigt.Strasse_Weg.Landwirtschaftsstrasse	0
befestigt.Strasse_Weg.Strasse	0
befestigt.Strasse_Weg.Velo_Fussweg	0
befestigt.Strasse_Weg.Waldstrasse	0
befestigt.Trottoir	0
befestigt.uebrige_befestigte	0

befestigt.uebrige_befestigte.andere_befestigte	0
befestigt.uebrige_befestigte.Hausumschwung	0
befestigt.uebrige_befestigte.Parkplatz	0
befestigt.uebrige_befestigte.Sportanlage	0
befestigt.Verkehrinsel	0
befestigt.Wasserbecken	1
bestockt.geschlossener_Wald	1
bestockt.uebrige_bestockte	1
bestockt.Wytweide.Wytweide_dicht	1
Gebaeude	0
Gebaeude.Gastgewerbe	0
Gebaeude.Handel	0
Gebaeude.Industrie_Gewerbe	0
Gebaeude.Land_Forstwirtschaft_Gaertnerei	0
Gebaeude.Nebengebäude	0
Gebaeude.Verkehr	0
Gebaeude.Verwaltung	0
Gebaeude.Wohngebäude	0
Gewaesser.fliessendes	1
Gewaesser.Schilfguertel	1
Gewaesser.stehendes	1
humusiert.Acker_Wiese_Weide	1
humusiert.Gartenanlage	1
humusiert.Gartenanlage.Friedhof	1
humusiert.Gartenanlage.Gartenanlage_Hausumschwung	1
humusiert.Gartenanlage.Parkanlage	1
humusiert.Gartenanlage.Sportanlage	1
humusiert.Hoch_Flachmoor	1

humusiert.Intensivkultur.Reben	1
humusiert.Intensivkultur.uebrige_Intensivkultur	1
humusiert.uebrige_humusierete	1
humusiert.uebrige_humusierete.andere_humusierete	1
humusiert.uebrige_humusierete.Verkehrsteilerflaeche	0
vegetationslos.Abbau_Deponie	0
vegetationslos.Geroell_Sand	0
vegetationslos.uebrige_vegetationslose	0

Tabelle fl_typ: Typ Benv (0= Unattraktive Umgebung, 1= Gewässer, Grünfläche)

Zusätzliche Spalten der Layer

Name	Typ	Länge	Bemerkung
AI	Long		Zu Verbindende ID
h_diff	Double	10	höhendiffernz
L	Double	10	längendifferenz
Cgr	Double	10	
Ant_Cgr	Double	10	Cgr / Linienlänge Strasse
steig	Double	10	Steigung
Benutzen	Long		1 = Benutzen, 0 = Nicht, -1 Line ID <> LineID

Zu Profilshape

Name	Typ	Länge	Bemerkung
Line_ID	Long		Zu Verbindende ID
L	Double	10	Länge der Strecke
Cgr	Double	10	
Cinf	Double	10	

Benv	Double	10	
Ms	Double	10	
Cgr_R	Double	10	
Ms_R	Double	10	
MIV	Long		1 = Benutzen, 0 = Nicht
Velo	Long		1 = Benutzen, 0 = Nicht
Fuss	Long		1 = Benutzen, 0 = Nicht

Zu Strassenlinenshape

II Qualitative Kriterien: Vorgehensanleitung

II.1.1 Begehungskarten

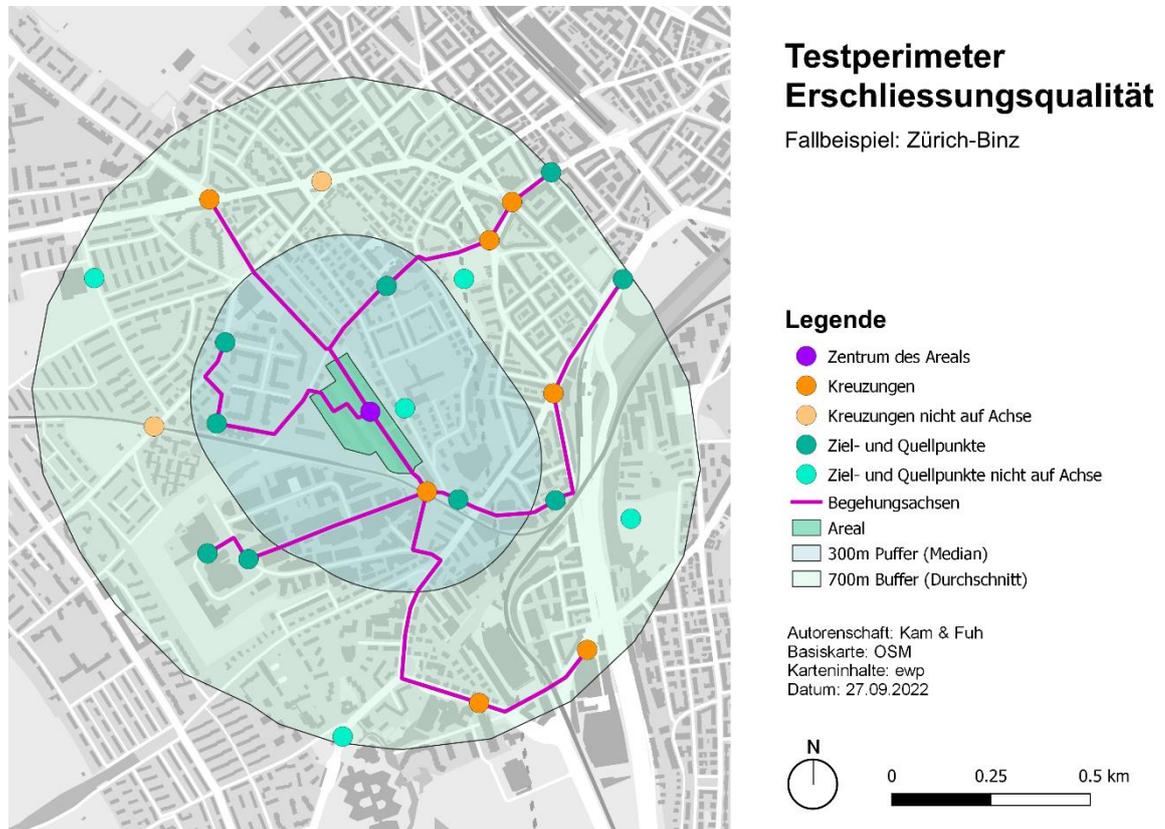


Abb.32 Begehungskarte für den Untersuchungsperimeter Zürich Binz

II.1.2 Allgemeine Anmerkungen zur Erhebung

Die Bewertung der Testperimeter kann für den Velo- und Fussverkehr zeitgleich durchgeführt werden. Die Bewertungskriterien sind jedoch, wie den Methodenkapiteln zu entnehmen ist, nicht dieselben.

Orientierung im Fussverkehr ist zuerst zu bewerten. Alle anderen Kriterien können in einem zweiten Durchgang bewertet werden.

Die zu erhebenden Kriterien beziehen sich teilweise nur auf die festgelegten Achsenabschnitte, manchmal aber auch auf den gesamten Untersuchungsperimeter. Des Weiteren wird zwischen zwei Radii von einerseits 300 Meter und andererseits 700 Meter unterschieden. Gewisse Kriterien bedingen keine Begehung und können mithilfe des Internets oder behördlicher Grundlagen oder Auskunft erhoben werden. Es ist sich deshalb vor der ersten Begehung ein Erhebungsplan zu erstellen.

Auf den Begehungskarten in Abschnitt I.1.1 sind die Begehungsachsen jeweils violett eingefärbt. Sie gehen alle vom Zentrum des Areal (violetter Punkt) aus und enden in einem Ziel- oder Quellpunkt (grün). Ist ein Ziel- oder Quellpunkt orange eingefärbt, so handelt es sich gleichzeitig auch um eine Kreuzung. Für ein untersuchtes Areal ist jede dieser Achsen einzeln zu bewerten.

II.1.3 Detaillierte Hinweise zu Bewertung Fussverkehr

1. Bewertung der Orientierung

- Der Begehungsplan soll wenn möglich nur vor Beginn der Begehung betrachtet und Hilfsmittel (Handy, Karte etc.) sollten möglichst vermieden werden, respektive sollte sich deren Gebrauch durch eine negative Bewertung des Achsenabschnittes zeigen.
- Die Wegweisung soll nur subsidiär bewertet werden, wenn die Wegführung nicht intuitiv ablesbar ist. Grundsätzlich soll sie dabei nach dem Prinzip «so wenig wie möglich, aber so viel wie nötig» den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten entsprechend bewertet werden.

2. Bewertung der Sicherheit

- Das Kriterium der Sicherheit setzt sich aus zwei Teilkriterien zusammen, deren Durchschnitt die Gesamtpunktzahl für das Kriterium Sicherheit ergibt. Die Teilkriterien sind das Sicherheitsempfinden sowie die Unfalldichte im untersuchten Perimeter. Zur Unfalldichte werden hier die nötigen Berechnungsschritte vorgestellt.
- Die normalisierte Dichte an Unfällen im Untersuchungsperimeter wird bestimmt, indem der Durchschnitt aller Unfälle mit Fussverkehrsbeteiligung innerhalb des betrachteten 700 m Buffers über die letzten 10 Jahre durch die kumulierte Länge des betrachteten Strassenabschnittes (ohne Autobahn) geteilt wird.
- Die Bewertung der Unfallschwerpunkte mit Beteiligung Fussverkehr benötigt behördliche Grundlagen zu den registrierten Unfällen sowie zur Verkehrsführung.

Zur Bestimmung von Werten für die Dichtekategorien 'hohe Dichte', 'mittlere Dichte' und 'tiefe Dichte' wird wie folgt vorgegangen:

1. Bestimmung aller Unfälle mit Fussverkehrsbeteiligung

- Unfälle mit Personenschaden im Strassenverkehr von 2012-2021 gemäss Sektion Mobilität, BfS (2022): **160'663**
- Anteil Zufussgehende an allen Schwerverletzten und Toten (2016-2020) im Strassenverkehr gemäss Achermann Stürmer et al. (2021):

$$\frac{605 \text{ (Fussgänger * innen)}}{827 \text{ (Personenwagen)} + 1064 \text{ (Motorrad)} + 333 \text{ (E - Bike)} + 882 \text{ (Velo)} + 257 \text{ (Andere)}} = 0.152$$

- Personenunfälle im Strassenverkehr mit Fussgänger*innenbeteiligung:

$$0.152 * 160'663 \text{ Personenunfälle} = \mathbf{24'420.8 \text{ Personenunfälle}}$$

- Länge des Strassennetzes in der Schweiz ohne Autobahnen Sektion Mobilität, BfS (2022):

$$84'675\text{km} - 1'544\text{km} = \mathbf{83'131\text{km}}$$

- Personenunfälle pro Kilometer des Strassennetzes:

$$\frac{24'420.8 \text{ Personenunfälle}}{83'131\text{km}} = \mathbf{0.294 \text{ Unfälle pro km}}$$

Der Mittelwert für Personenunfälle mit Fussverkehrsbeteiligung in der Schweiz liegt bei 0.294 Unfällen pro km. Als mittlere Unfalldichte kann somit der Bereich zwischen 0.1 und 0.5 angesehen werden. Werte, die höher liegen, entsprechen einer hohen Dichte und Werte, die tiefer liegen, einer tiefen Dichte.

Sicherheitsempfinden

- Bewertende Person läuft den Untersuchungsraum zu den Zeiten 15:00-18:00 Uhr ab und beurteilt die Belebtheit der Fussverkehrsinfrastruktur, sowie dessen Ausleuchtung

II.1.4 Detaillierte Hinweise zu Bewertung Veloverkehr

1. Führung Veloverkehr an Knoten

- Für die Bewertung dieses Kriteriums bewertet die bewertende Person mithilfe des Handbuchs für Veloverkehr vor Ort, inwiefern die heutige Führung des Veloverkehrs den Grundsätzen und vorgeschlagenen Führungsformen entspricht. Dabei wird differenziert nach zwei Aspekten:
 - Führungsform: Gibt es für kritische Abbiegebeziehungen (v.a. Linksabbieger) eine sichere Veloinfrastruktur (z.B. indirektes Linksabbiegen, Mehrzweckstreifen etc.)? Sind lichtsignalgesteuerte Knoten auf die Anforderungen des Veloverkehrs ausgerichtet (z.B. eigene Aufstellbereiche mit separaten Zufahrten, Vorgrün etc.)?
 - Ausgestaltung: Sind die vorhandenen Infrastrukturelemente für den Veloverkehr sicher und attraktiv ausgestaltet (z.B. Breiten Radstreifen, ausreichende Grünzeiten und angemessene Wartezeiten Veloverkehr etc.)

2. Kriterium Orientierung im Veloverkehr

Dieses Kriterium ist im Verlaufe der Forschungsarbeit begründet ausgeschieden worden. Zwecks vollständiger Dokumentation ist es hier trotzdem aufgeführt, falls später der Wunsch besteht, es zu integrieren.

In einer optimalen Situation ist die intuitive Führung für Velofahrende sehr gut: Der öffentliche Raum bzw. die Abfolge verschiedener Teilräume ist so strukturiert, dass Velofahrende automatisch der richtigen Route folgen, es sind kaum Entscheidungen zur Wegwahl nötig. Dieser Aspekt hängt in hohem Masse von der Maschenweite und Direktheit des Velonetzes ab und wird damit bei der Ermittlung des Zentralitätsindex (quantitativer Teil bereits berücksichtigt).

Im Falle, dass ein hohes Vorkommen ortsfremder Menschen besteht, wie dies zum Beispiel an sehr touristischen Orten der Fall ist, kann eine Erhebung der Orientierung im Raum dennoch hilfreich sein. In diesem Fall kann die Orientierung mithilfe folgender Beschreibung und *Tab. 42* durchgeführt werden.

Die Bewertung erfolgt vor Ort entlang der definierten Achsen im 300 m Radius. Die Punkteverteilung durch die ausführende Fachperson erfolgt mithilfe der Kriterien in Tabelle 5. Die Gesamtpunktzahl entspricht dem Medianwert aller betrachteten Achsen.

Tab. 42 Bewertungsraster für die Orientierung

		Qualität der Orientierung
Punktezahl	1	Keine separate Wegweisung, Velofahrende müssen sich für die Routenwahl zu den Zielorten an MIV-Wegweisung orientieren
	2	Verbindungen für Velofahrende zu Zielorten liegen auf Routen von Schweiz Mobil, Zielorte sind aber nicht separat ausgewiesen
	3	Die meisten Zielorte werden auf Wegweisung erwähnt und/oder die direkten Routen sind in durchgehende kantonale Velosignalisation eingebunden
	4	
	5	Wegweisung zu Zielorten ist zusätzlich in eine engmaschige städtische/kommunale Signalisation eingebunden, welche insbesondere für den Veloverkehr geeignete Routen abseits der Hauptverkehrsstrassen umfasst.

III Karten Kostendistanzen

Dieser Anhang beinhaltet die im Rahmen der Forschungsarbeit erstellten Karten zu den einzelnen Kostenelementen als auch zu den überlagerten Kostendistanzfaktoren für die vier Fallbeispiele. Wie eingangs von Kapitel 6 beschrieben, wurden aufgrund der Datelage nicht alle Kostenelemente bei allen vier Fallbeispielen quantifiziert. Entsprechend sind nicht bei allen vier Gebieten dieselben Karten abgebildet.

III.1 Zürich-Binz

Kostendistanzen aus Umgebungsnutzen

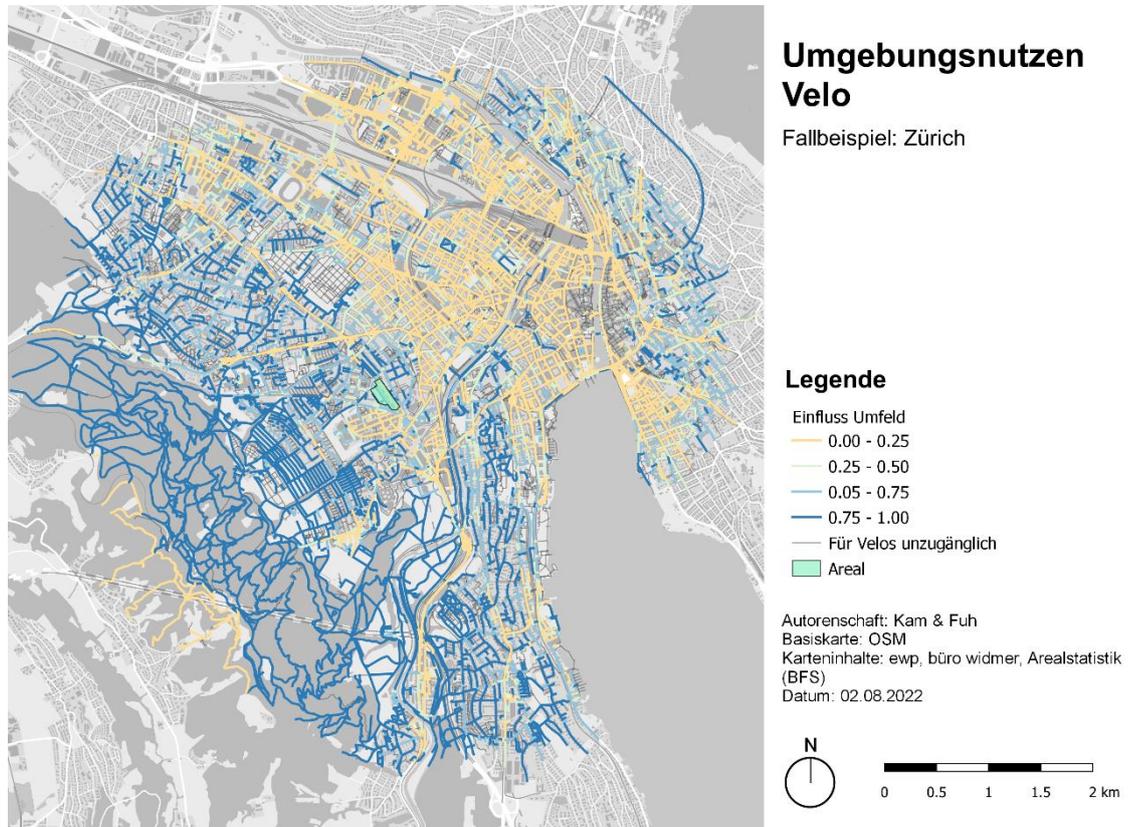


Abb.33 Umgebungsnutzen im Fallbeispiel Zürich-Binz

Die Karte zeigt gut, dass dichter bebaute Stadtteile einen tieferen Umgebungsnutzen aufweisen als Stadtteile wie der Friesenberg oder Wollishofen. Ausnahmen bilden dicht bebaute Gebiete, welche nahe am Wasser liegen, wie dies zum Beispiel entlang der Limmat oder Seeufer der Fall ist. Sehr auffällig ist, dass der Uetliberg einen sehr tiefen Umgebungsnutzen aufweist, was wohl auf einen Fehler in der Datengrundlage zurückzuführen ist.

Kostendistanzen aus Steigungskosten

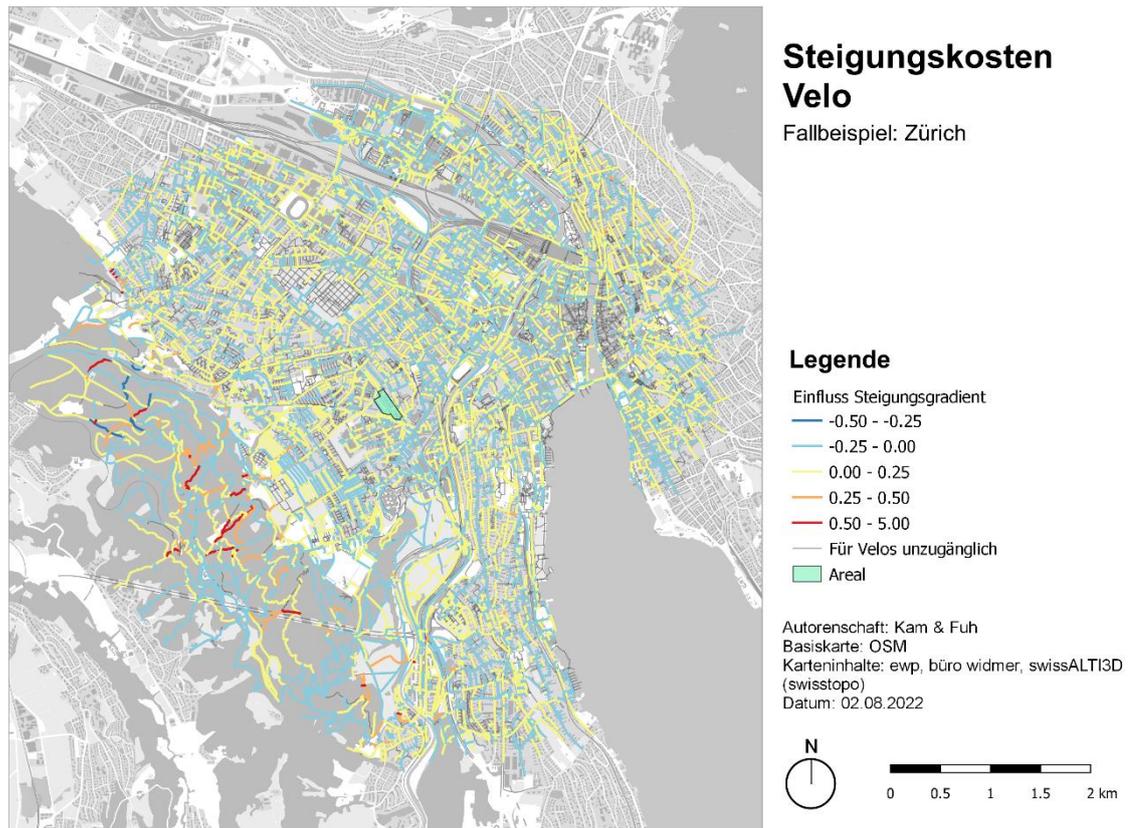


Abb.34 Steigungskosten im Fallbeispiel Zürich-Binz

Der Einfluss des Steigungsgradienten auf die Wahrnehmung der Fahrtlänge scheint relativ homogen zu sein. Ausnahmen bilden die Hänge des Uetlibergs, sowie einige kurze Abschnitte am Zürichberg, sowie in Wollishofen, was den Erwartungen entspricht.

Kostendistanzen aus Infrastrukturkosten

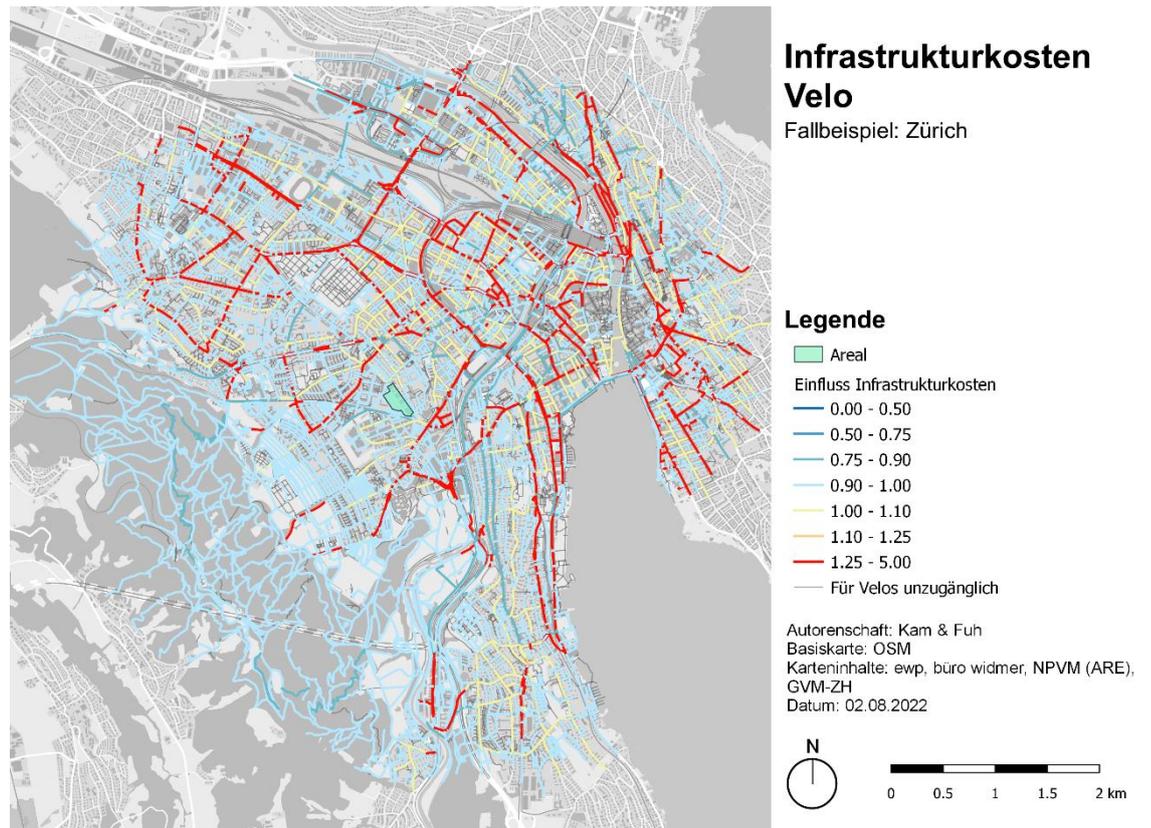


Abb.35 Infrastrukturkosten im Fallbeispiel Zürich-Binz

Die Infrastrukturkosten entsprechen den Erwartungen. Besonders hohe Kosten resultieren für sehr stark befahrene Strassen wie zum Beispiel die Hardbrücke, die Bellerivestrasse oder einige Autobahnabschnitte. Dagegen weisen die verkehrsberuhigten Quartierstrassen insbesondere in den peripheren Stadtteilen tiefe Werte auf.

Kostendistanzen aus Unfallrisikokosten

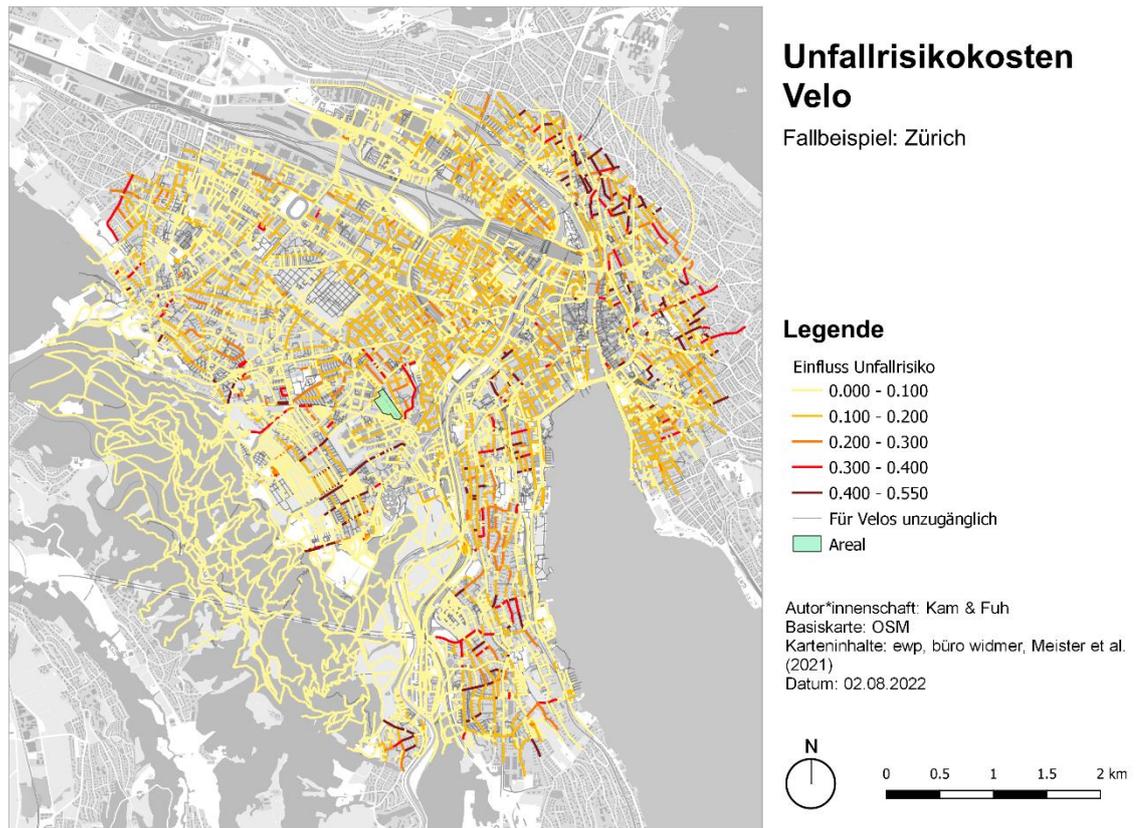


Abb.36 Unfallrisikokosten im Fallbeispiel Zürich-Binz

Der Einfluss der Unfallrisikokosten auf die wahrgenommene Fahrdistanz scheint relativ gering und regelmässig verteilt zu sein. Ausnahmen sind vor allem an den Hängen des Zürichbergs zu finden, womöglich aufgrund vieler Parkplätze entlang der Strassen.

Kostendistanzen aus Kreuzungen

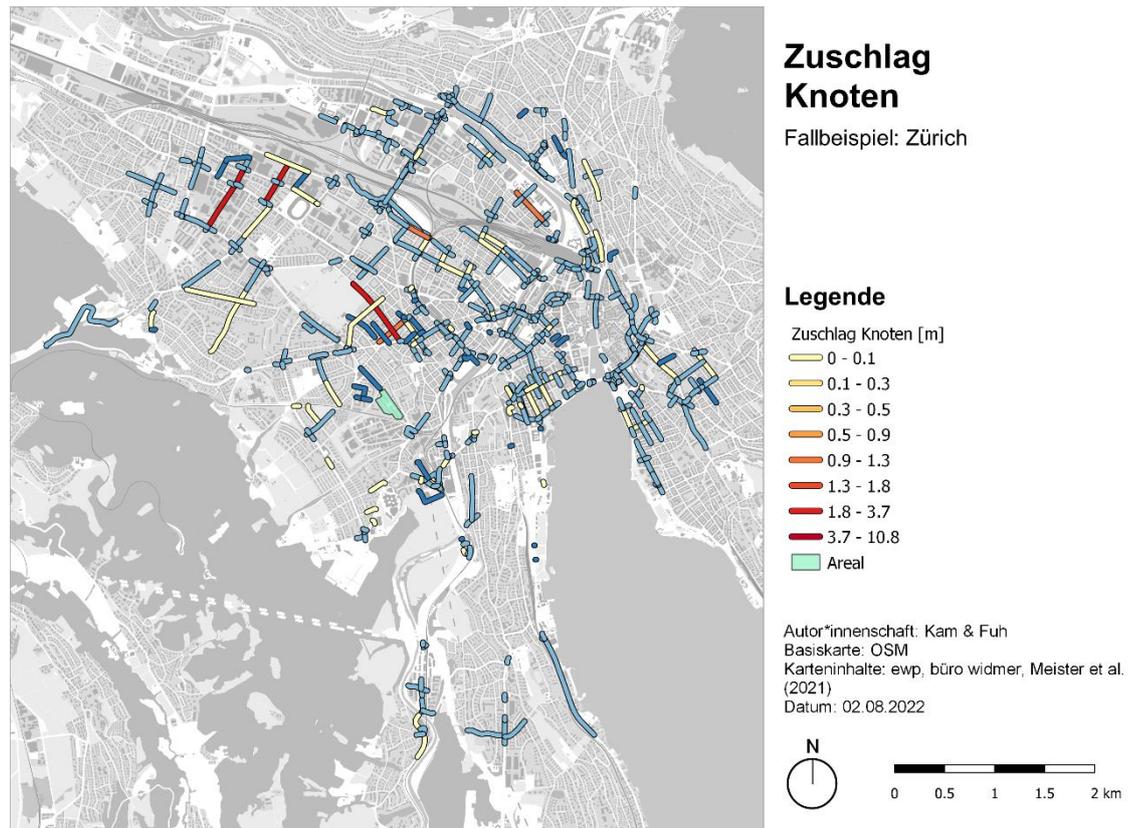


Abb.37 Knotenkosten im Fallbeispiel Zürich-Binz

Es fällt keine Besonderheit bezüglich der Verteilung der Zuschläge durch Kreuzungen auf. Die Längenzuschläge verteilen sich relativ regelmässig über den Untersuchungsperimeter.

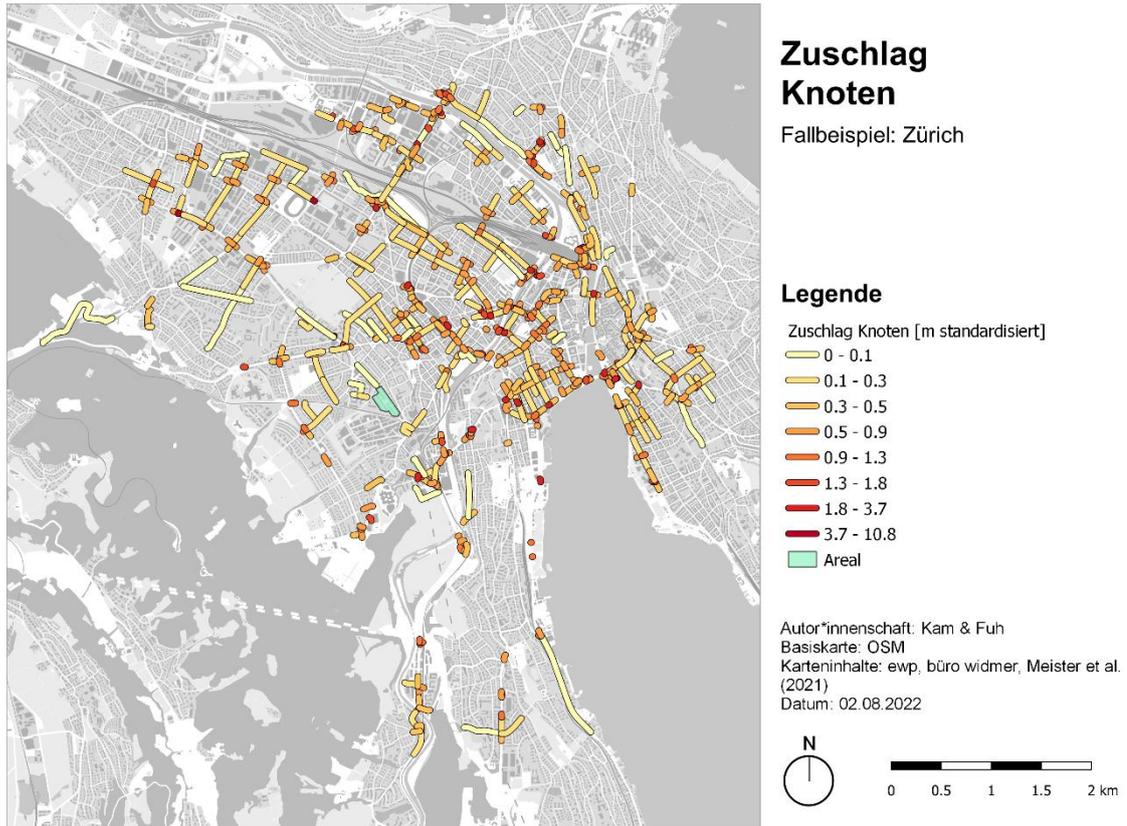


Abb.38 Knotenkosten (standardisiert) im Fallbeispiel Zürich-Binz

Abb.38 zeigt die Zuschläge, welche durch Knoten und Kreuzungen zu Stande kommen. Um die Effekte der unterschiedlichen Längen der Streckensegmente auszugleichen, wurden die Auswirkungen jeweils auf einen Meter standardisiert. Die Karte zeigt also die Zuschläge in Meter, welche durch Knoten und Kreuzungen entstehen, normalisiert auf einen Meter der Streckensegmente.

Resultierende Kostendistanzfaktoren

Der resultierende Multiplikator, welcher aus den oben genannten einzelnen Kosten und Nutzen zusammengesetzt ist, zeigt, dass vor allem steile Hänge und vielbefahrene Strassen die wahrgenommenen Fahrdistanz negativ beeinflussen. Grünräume und die Nähe zum Wasser hingegen führen dazu, dass die Velofahrer*innen die zu fahrende Distanz gar kürzer wahrnehmen können, als diese tatsächlich ist. Ein Grossteil der Fläche des Untersuchungsperimeters ist jedoch gelb eingefärbt und verfügt somit über einen Kostenmultiplikator nahe der Zahl 1. Dies bedeutet, dass die physische Distanz ungefähr auch der tatsächlich wahrgenommenen Distanz entspricht. All diese Ergebnisse entsprechen den Erwartungen.

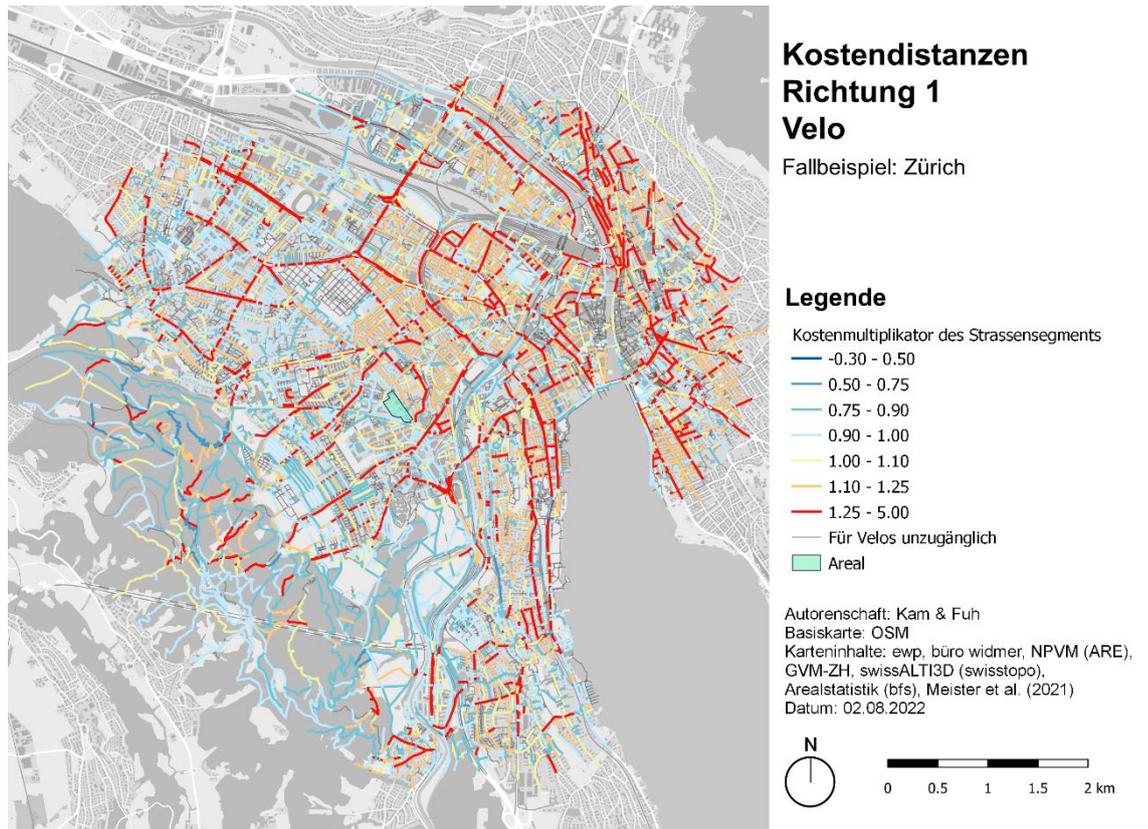


Abb.39 Kostendistanzfaktoren im Fallbeispiel Zürich, Richtung 1

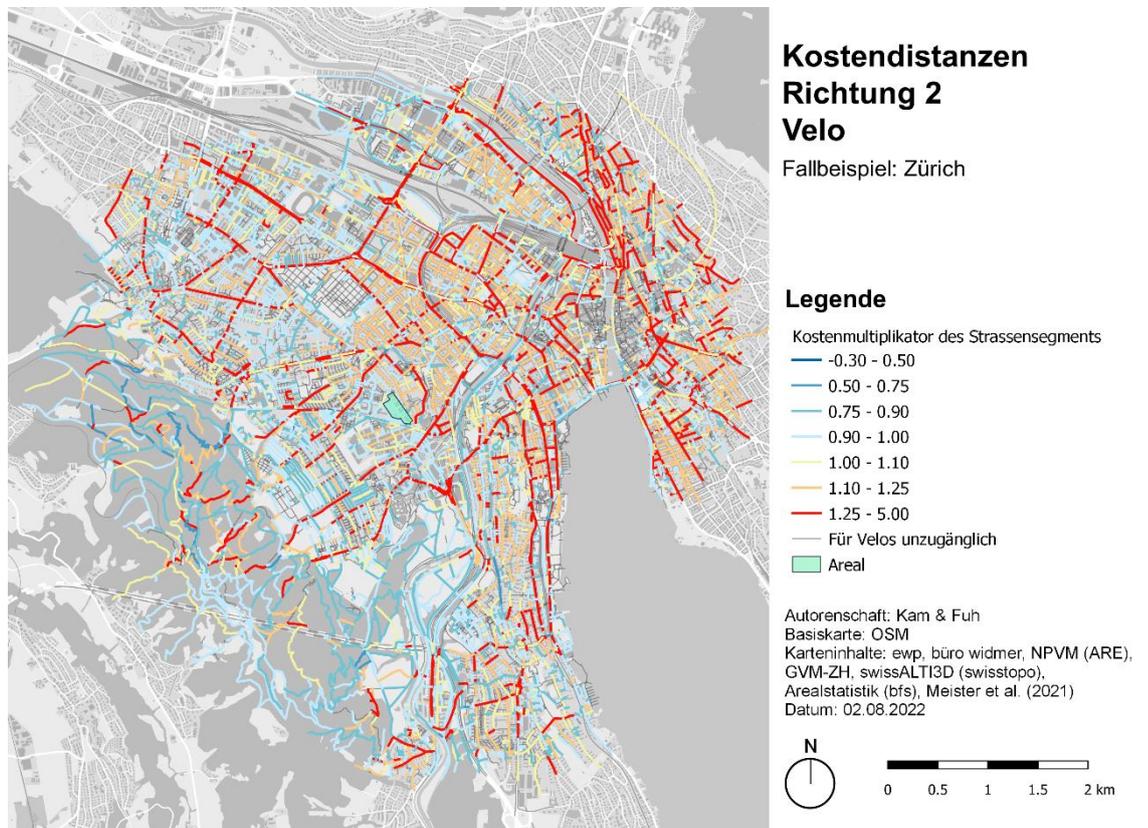


Abb.40 Kostendistanzfaktoren im Fallbeispiel Zürich, Richtung 2

III.2 Crans-Montana

Kostendistanzen aus Umgebungsnutzen

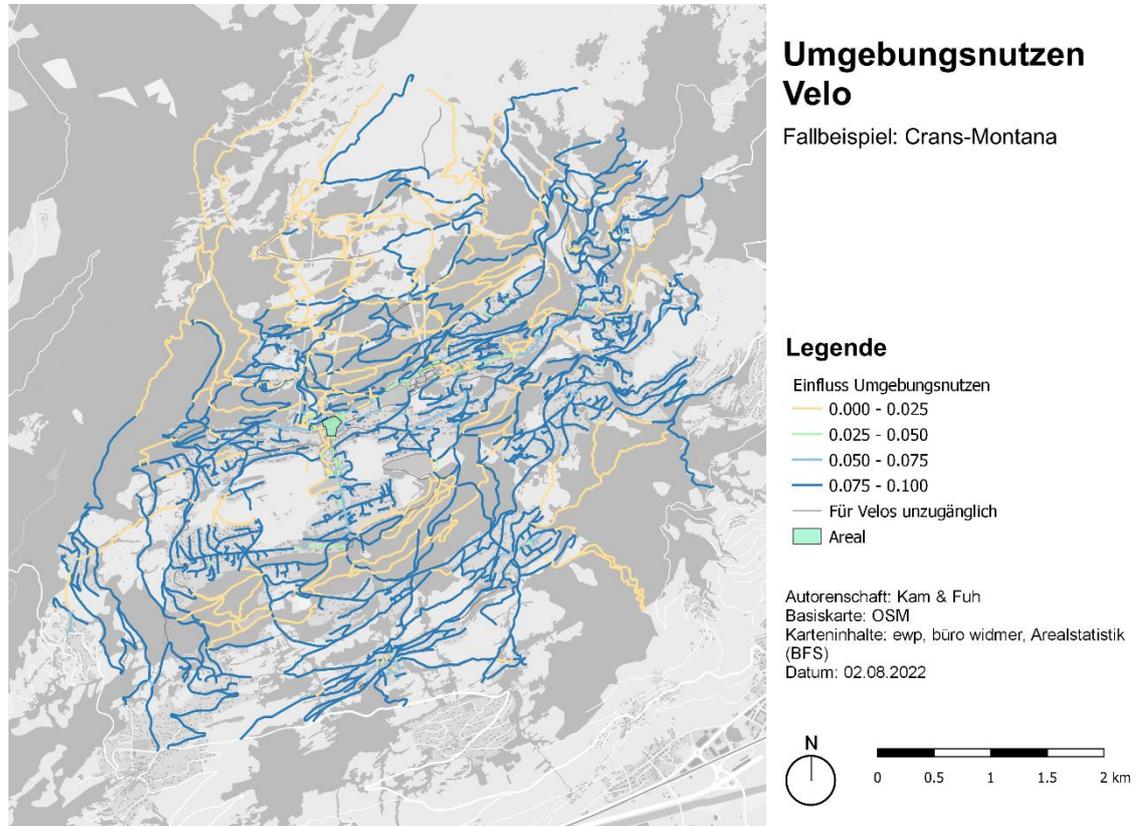


Abb.41 Umgebungsnutzen im Fallbeispiel Crans-Montana

Die Karte weist vor allem im Siedlungsgebiet einen hohen Umgebungsnutzen auf. Hingegen sind die Werte in den bewaldeten Bereichen um Crans-Montana herum eher gering. Dies entspricht nicht der Erwartungshaltung, die Datenbasis muss hier noch einmal genauer analysiert werden.

Kostendistanzen aus Steigungskosten

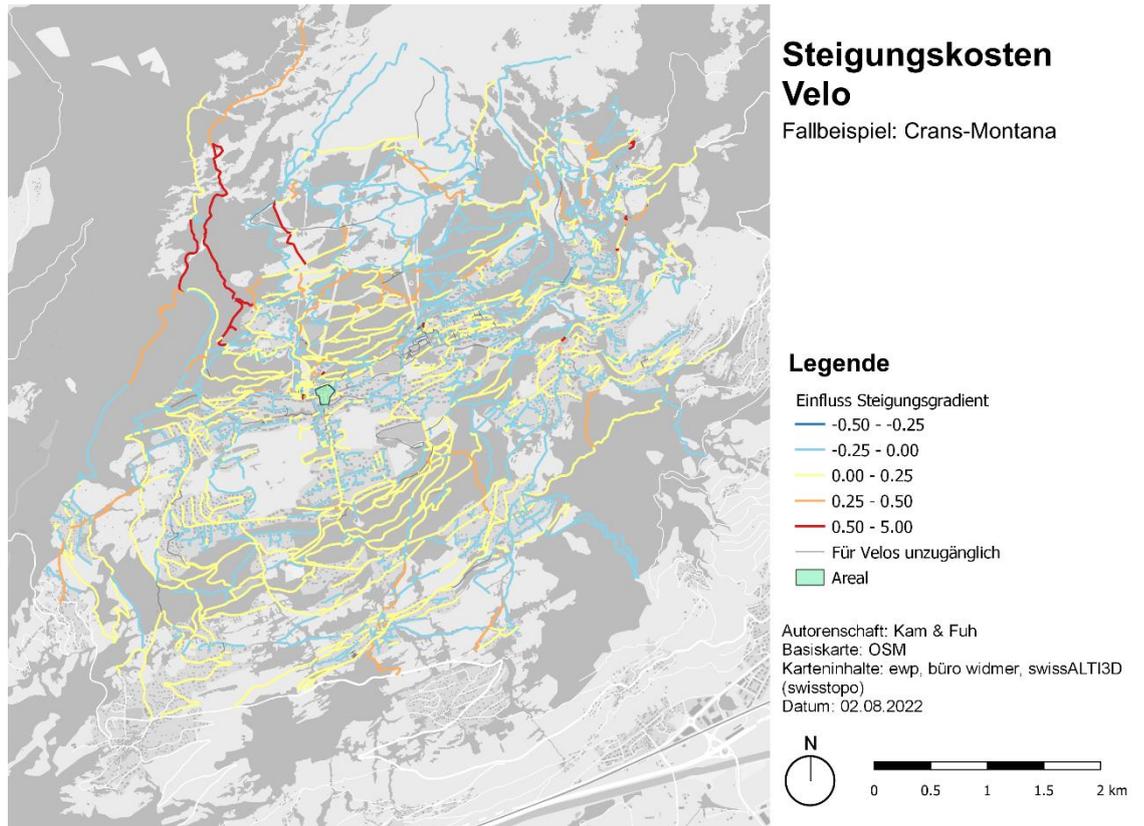


Abb.42 Steigungskosten im Fallbeispiel Crans-Montana

Der Einfluss der Steigungskosten ist relativ neutral, bis auf einige steile Hänge im Norden des Untersuchungsperimeters, welche teilweise sehr hohe Werte aufweisen. Insgesamt sind die Werte für eine alpine Region auf den ersten Blick erstaunlich tief. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass die Kostenmultiplikatoren mit den Horizontalabständen multipliziert werden. Da im Hinblick auf akzeptable Steigungsverhältnisse viele Strassen serpentin förmig verlaufen, ergeben sich zwar geringere Gradienten (und damit geringere Kostenfaktoren), aber gleichzeitig lange Horizontalabstände bzw. Streckenlängen. Die Multiplikation ergibt deshalb sehr wohl plausible Resultate. Jedenfalls sollten die Kostendistanzen für Gradienten- bzw. Steigungskosten zukünftig gerade für alpine Gebiete weiter plausibilisiert werden (vgl. auch Kapitel 4.1.2).

Kostendistanzen aus Infrastrukturkosten

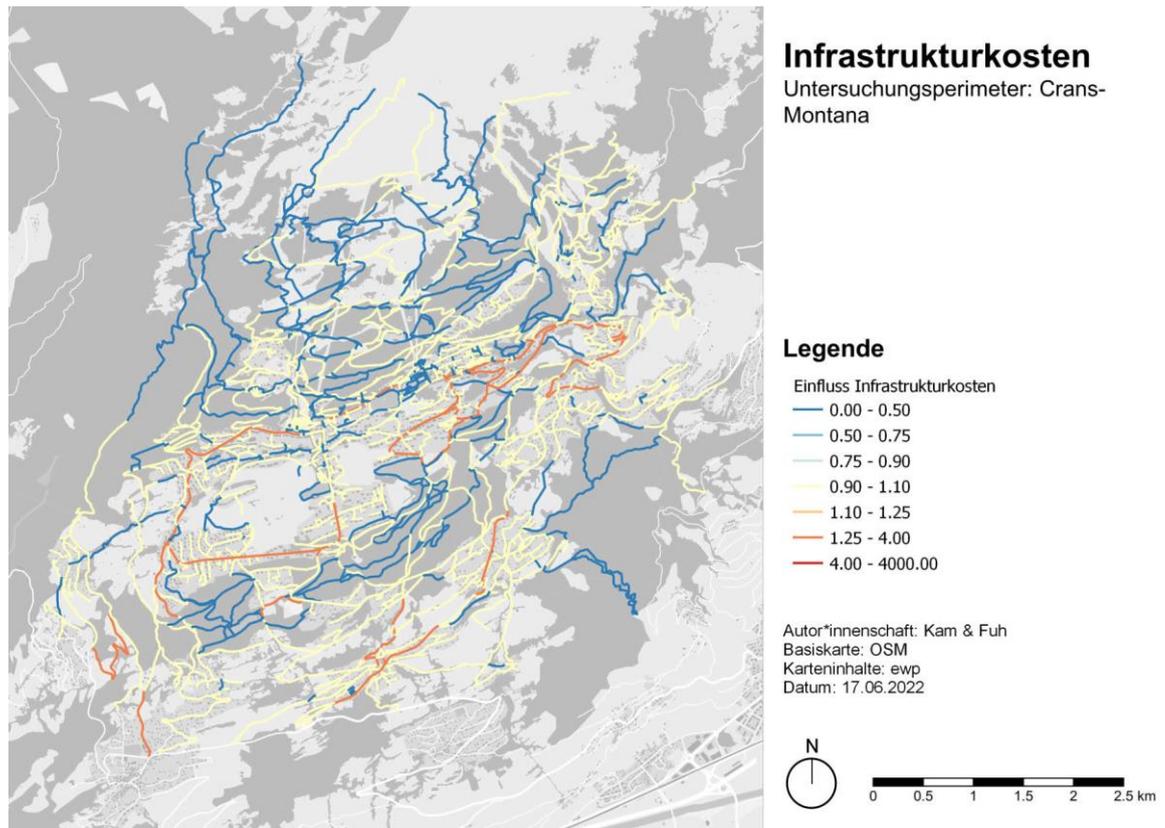


Abb.43 Infrastrukturkosten im Fallbeispiel Crans-Montana

Die Kosten der Infrastruktur in Crans-Montana sind vor allem auf dem Plateau und in den Siedlungsgebieten sehr hoch. In den Räumen ausserhalb des Siedlungsgebietes sind die Werte dagegen klein, was auf die tiefe Verkehrsbelastung zurückzuführen sein dürfte, welche auch ohne Veloinfrastruktur zu guten Bedingungen für den Veloverkehr führt.

Resultierende Kostendistanzfaktoren

Die nachfolgenden Karten zeigen, dass die Kostenmultiplikatoren der Strassensegmente vor allem auf dem Plateau und im Siedlungsgebiet (v.a. um Golfplatz Crans sowie im Zentrum von Montana) hoch sind. Dies ist primär auf die hohen Infrastrukturkosten zurückzuführen.

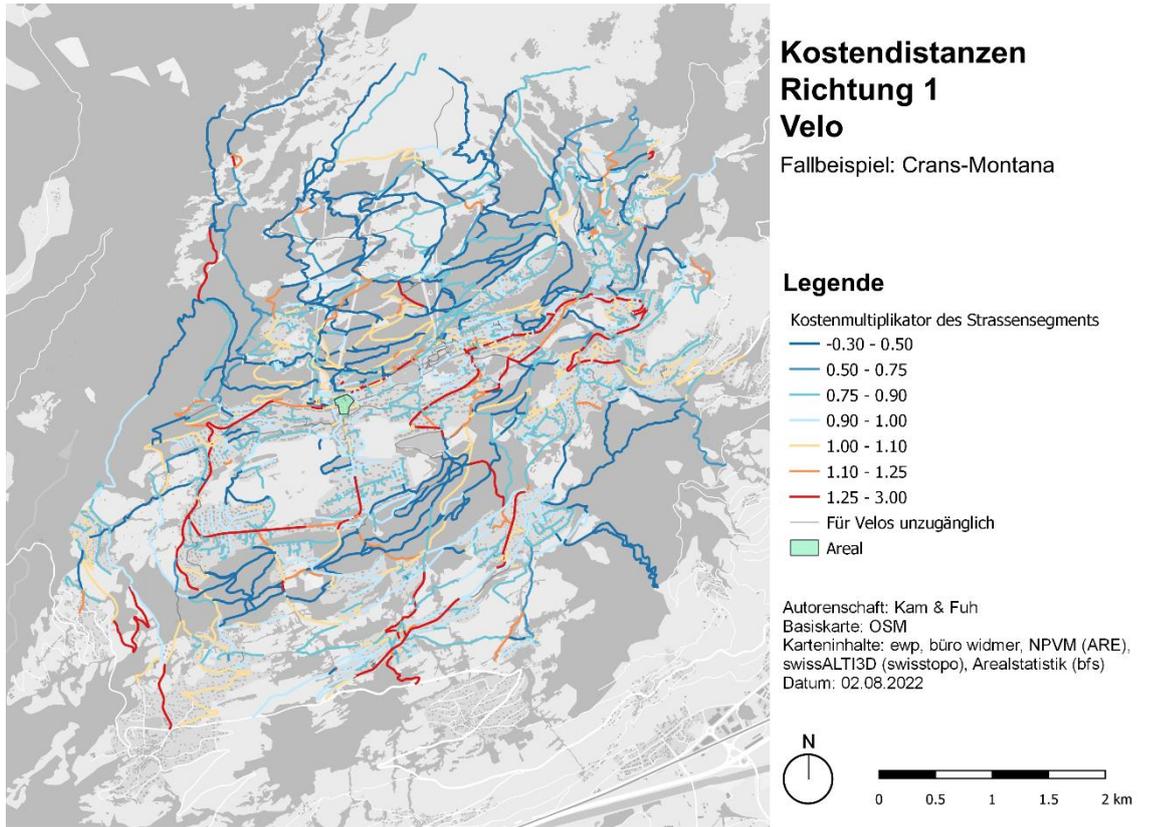


Abb.44 Kostendistanzfaktoren im Fallbeispiel Crans, Richtung 1

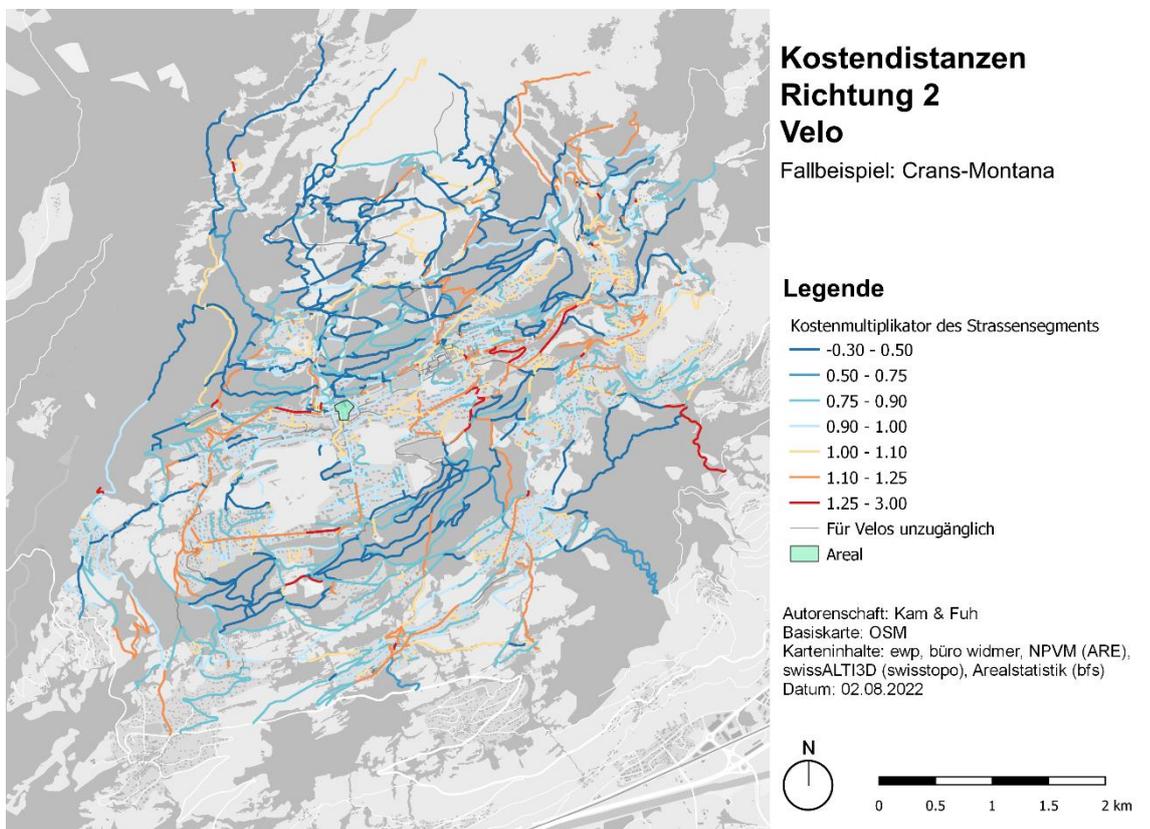


Abb.45 Kostendistanzfaktoren im Fallbeispiel Crans, Richtung 2

III.3 Genf

Kostendistanzen aus Umgebungsnutzen

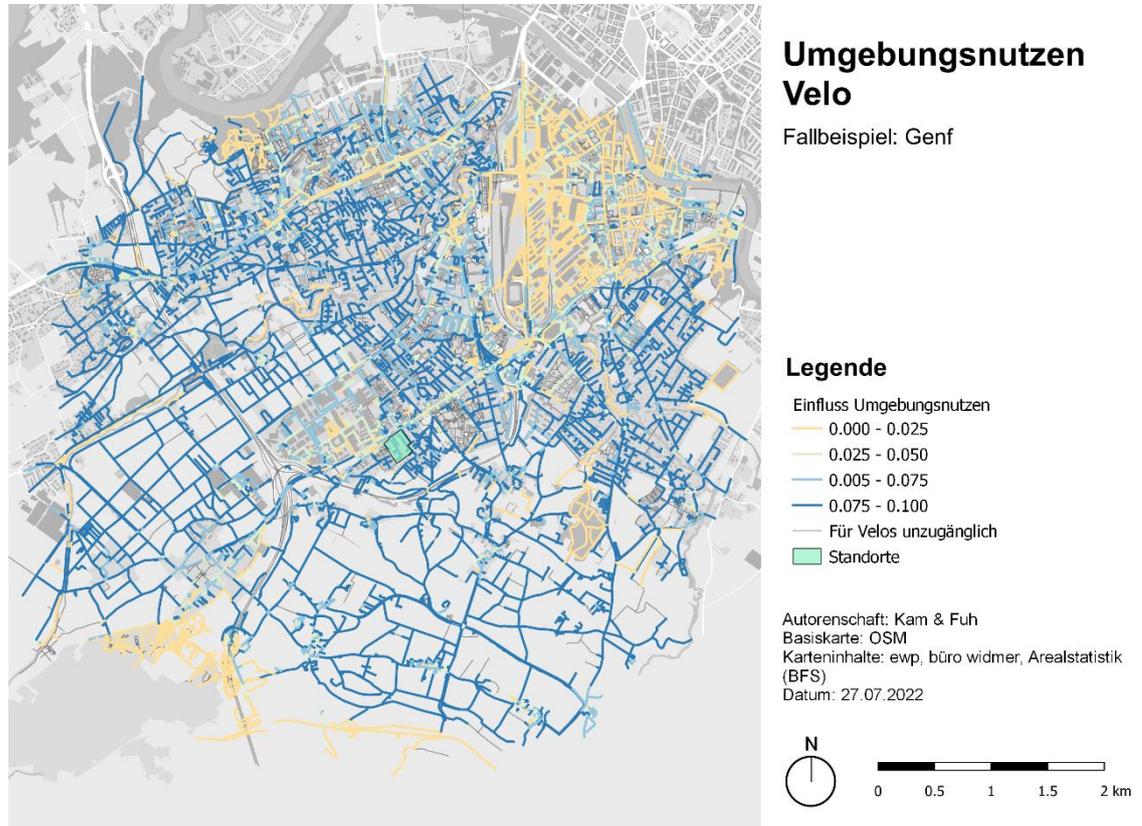


Abb.46 Umgebungsnutzen im Fallbeispiel Genf

Abb.46 zeigt gut, wie die Werte des Umgebungsnutzens abnehmen, je dichter die Fläche bebaut ist (und entsprechend Grünflächen fehlen). Besonders um den Bahnhof Lancy-Pont-Rouge sind die Werte tief. Im übrigen Untersuchungsperimeter reflektieren die hohen Werte die vielen Grünflächen im Umfeld. Die eher tiefen Werte entlang der Rhône sind dagegen auf eine ungenügende Datengrundlage zurückzuführen.

Kostendistanzen aus Steigungskosten

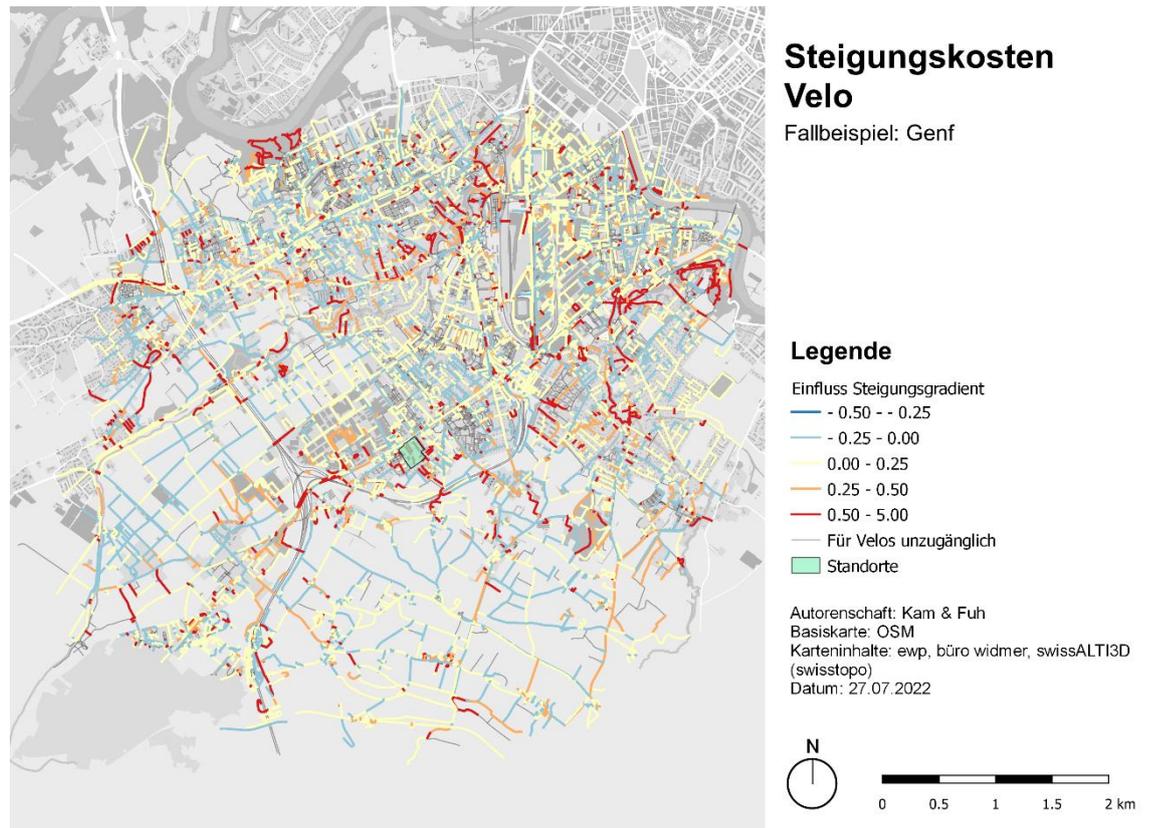


Abb.47 Steigungskosten im Fallbeispiel Genf

Die Steigungskosten sind relativ tief, was aufgrund des flachen Terrains um Genf zu erwarten war. Einige kurze Abschnitte weisen hohe Werte auf. Dabei handelt es sich oftmals um Rampen oder Brücken. Insgesamt sind die Werte plausibel.

Kostendistanzen aus Infrastrukturkosten

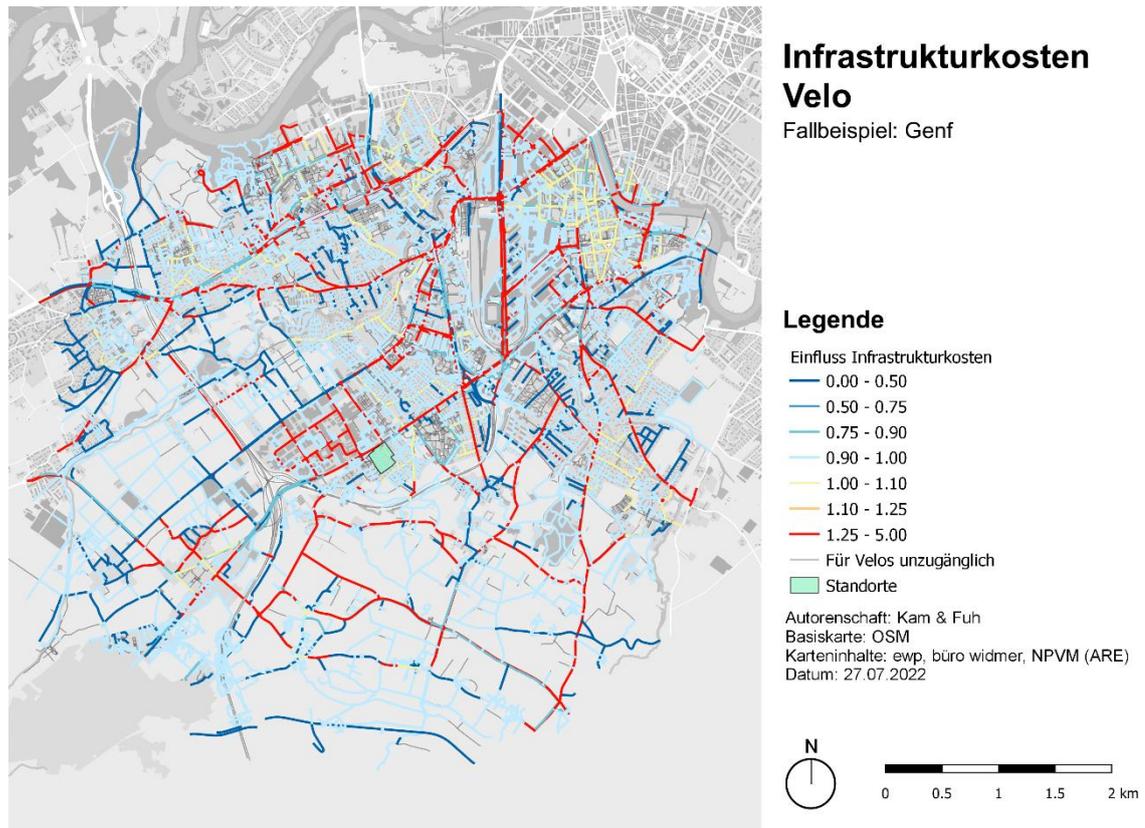


Abb.48 Infrastrukturkosten im Fallbeispiel Genf

Abb.48 zeigt wie zu erwarten hohe Werte für stark befahrene Strassen wie zum Beispiel die Voie Centrale. Daneben sind die Infrastrukturkosten auch auf peripheren, mässig stark belasteten Strassen im Süden sowie Sammelstrassen im Norden (Lancy) eher hoch. Das dürfte darauf zurückzuführen sein, dass auf diesen Abschnitten trotz Belastungen von 5'000 bis 10'000 Motorfahrzeugen pro Tag keine Veloinfrastruktur vorhanden ist.

Resultierende Kostendistanzfaktoren

Abb.50 zeigt besonders tiefe Werte für Segmente der Klasse 'Motorway' auf. Dies ist wohl auf die tiefen Infrastrukturkosten zurückzuführen. Womöglich wurden für Autobahnsegmente keine Angaben den Kosten gemacht. Dies könnte zu den besonders tiefen Werten geführt haben. Dies müsste noch genauer analysiert werden.

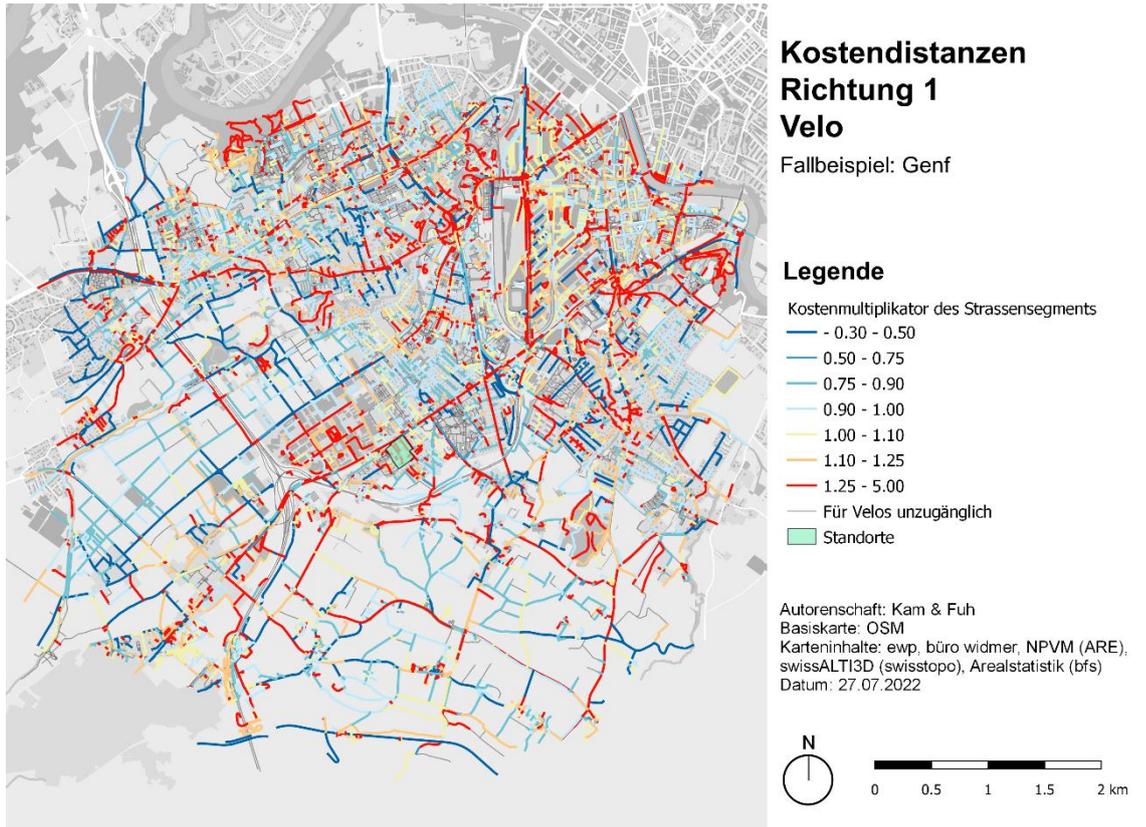


Abb.49 Kostendistanzfaktoren im Fallbeispiel Genf, Richtung 1

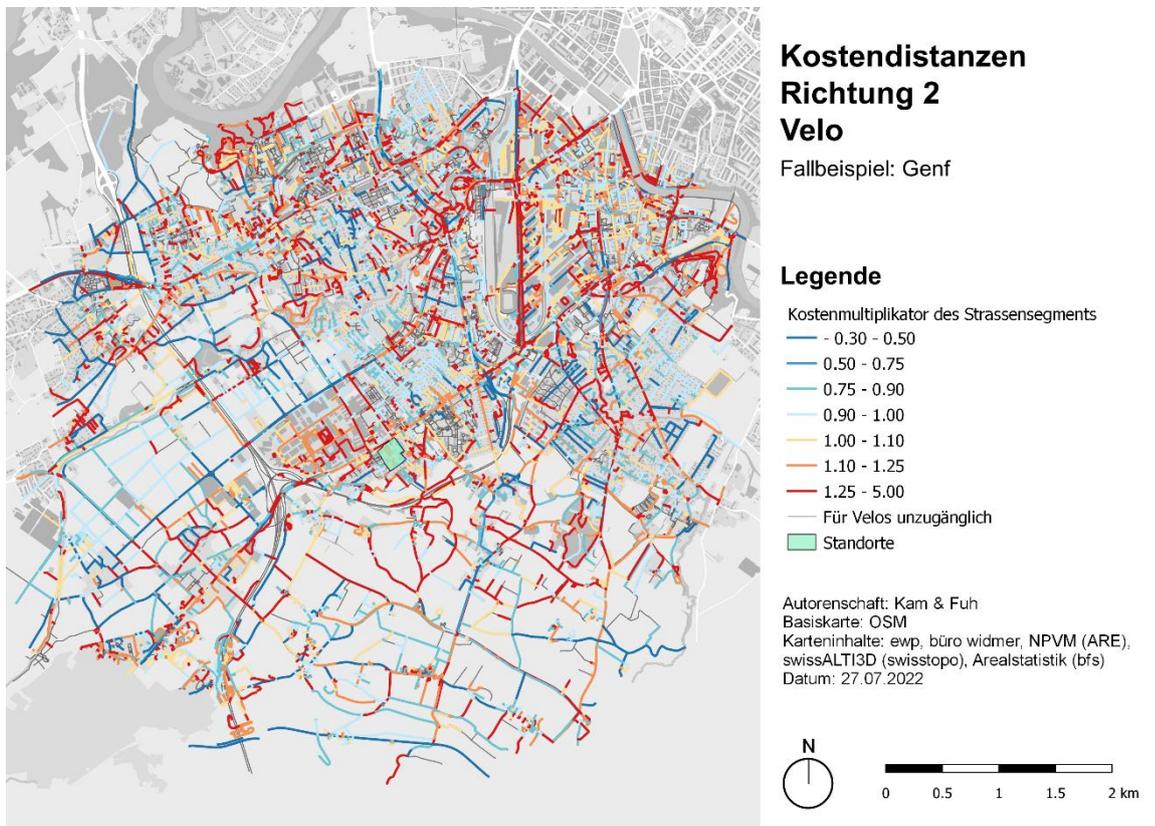


Abb.50 Kostendistanzfaktoren im Fallbeispiel Genf, Richtung 2

III.4 Marthalen

Kostendistanzen aus Umgebungsnutzen

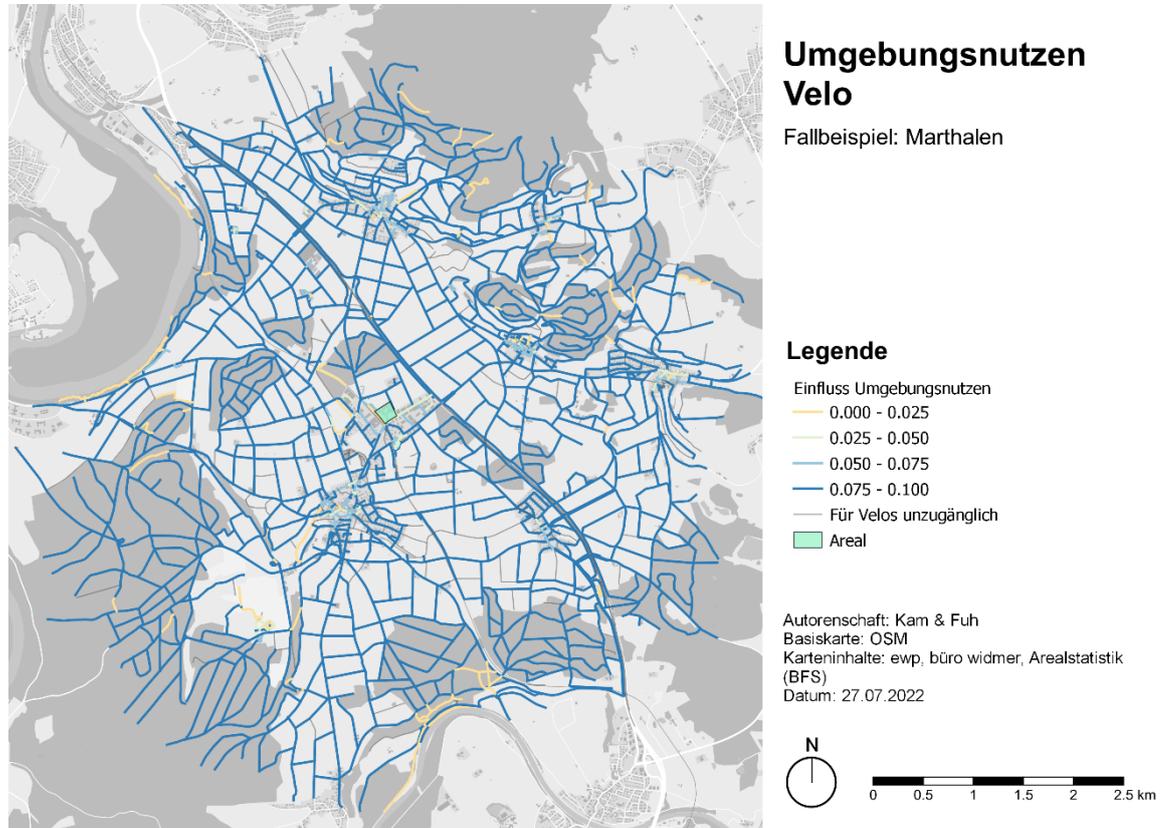


Abb.51 Umgebungsnutzen im Fallbeispiel Marthalen

Abb.51 zeigt über weite Strecken hohe Nutzenanteile, was angesichts der vielen siedlungsnahen Wald- und Grünflächen sowie Gewässerzüge zu erwarten war. Einzelne tiefe Werte innerhalb des Siedlungsgebietes, aber auch in Naturräumen deuten auf eine punktuell lückenhafte Datengrundlage hin.

Kostendistanzen aus Steigungskosten

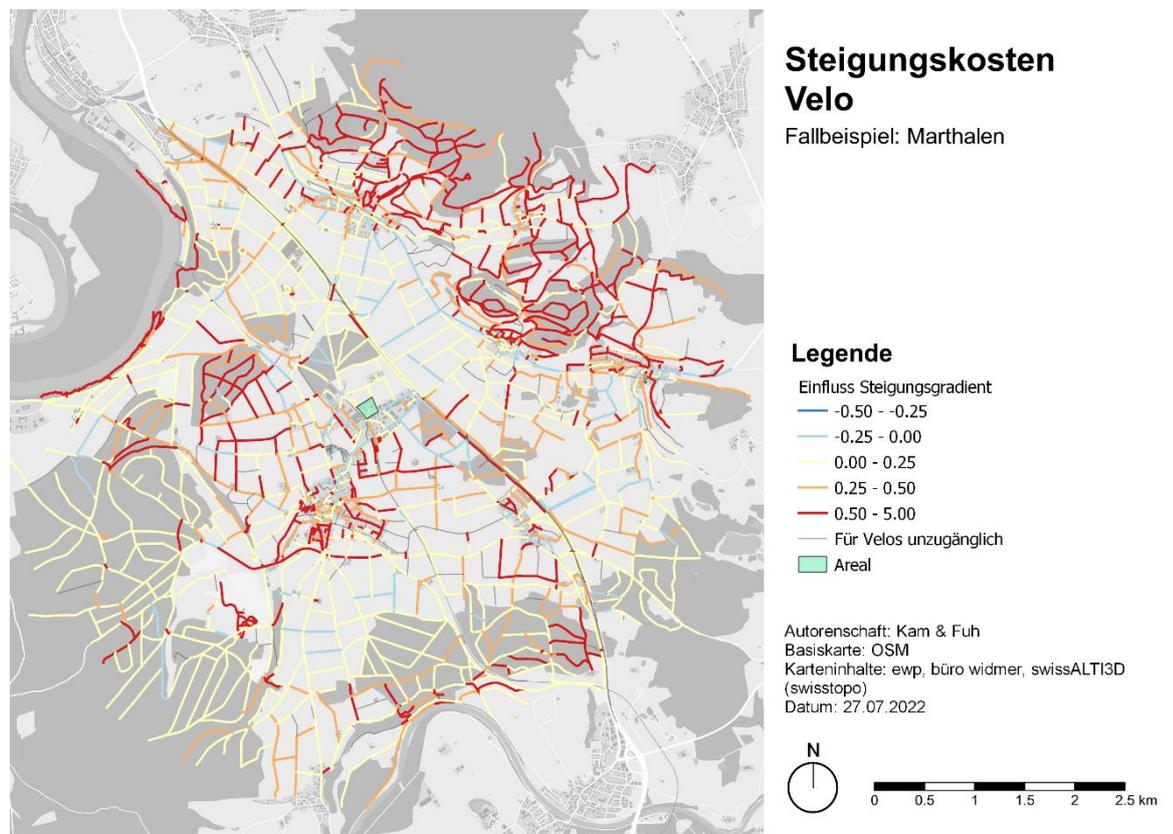


Abb.52 Steigungskosten im Fallbeispiel Marthalen

Die Steigungskosten sind überraschend hoch, obwohl das Gebiet um Marthalen relativ flach ist. Die relativen Unterschiede innerhalb des Perimeters sind aber weitgehend nachvollziehbar, die Nebenstrassen im Nordosten (Benken / Rudolfingen) und im Südwesten (Niderholz) weisen deutlich höhere Werte auf als im flachen Zentrum unmittelbar um Marthalen.

Kostendistanzen aus Infrastrukturkosten

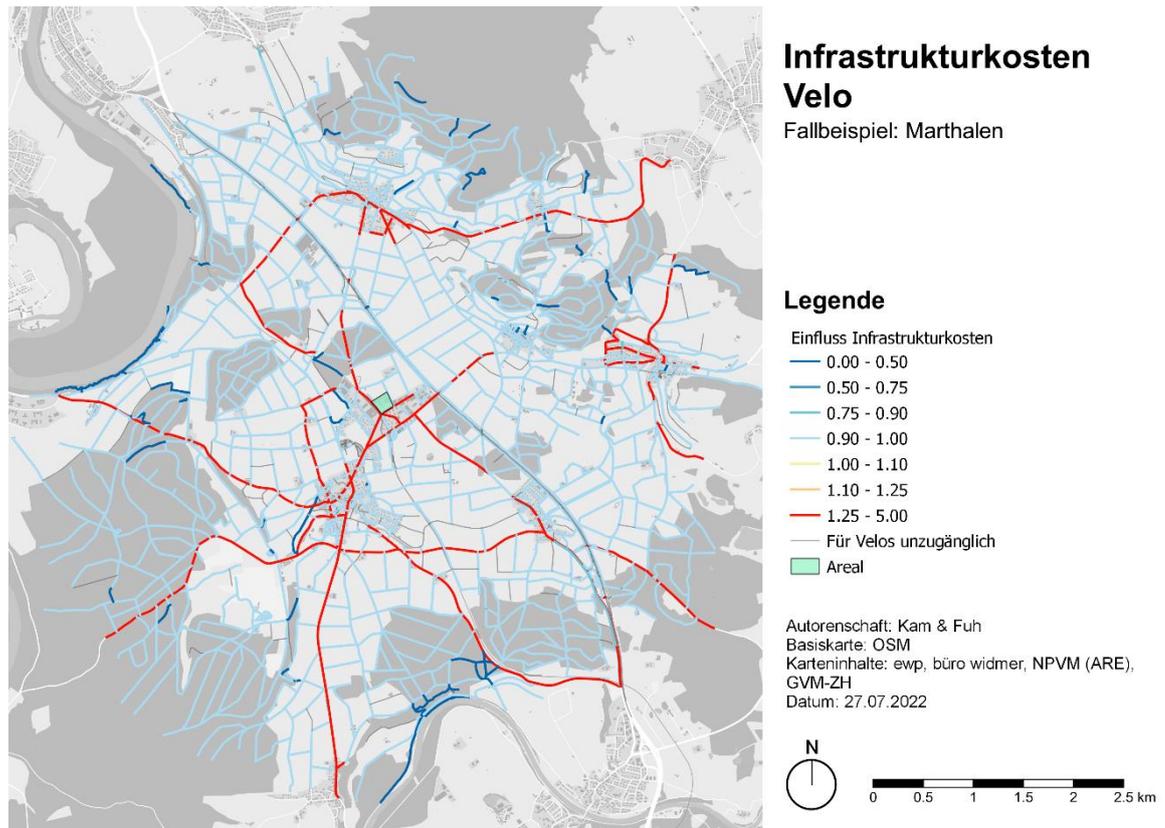


Abb.53 Infrastrukturkosten im Fallbeispiel Marthalen

Abb.53 zeigt hohe Werte für grössere Strassen auf. Dies entspricht den Erwartungen. Einzig die Schaffhauserstrasse weist im nördlichen Bereich einen tiefen Wert auf, was auf Fehler in der Datengrundlage zurückzuführen sein dürfte.

Resultierende Kostendistanzfaktoren

Die Multiplikatoren der Strassensegmente liegen besonders um das Siedlungsgebiet nahe um 1. Dies bedeutet, dass die wahrgenommene Distanz relativ gut der tatsächlichen Distanz entspricht, was angesichts der eher flachen Topographie und der geringen Verkehrsbelastung zu erwarten war. Eher hoch sind die Multiplikatorenwerte in den umliegenden Wäldern und teilweise entlang des Flusses.

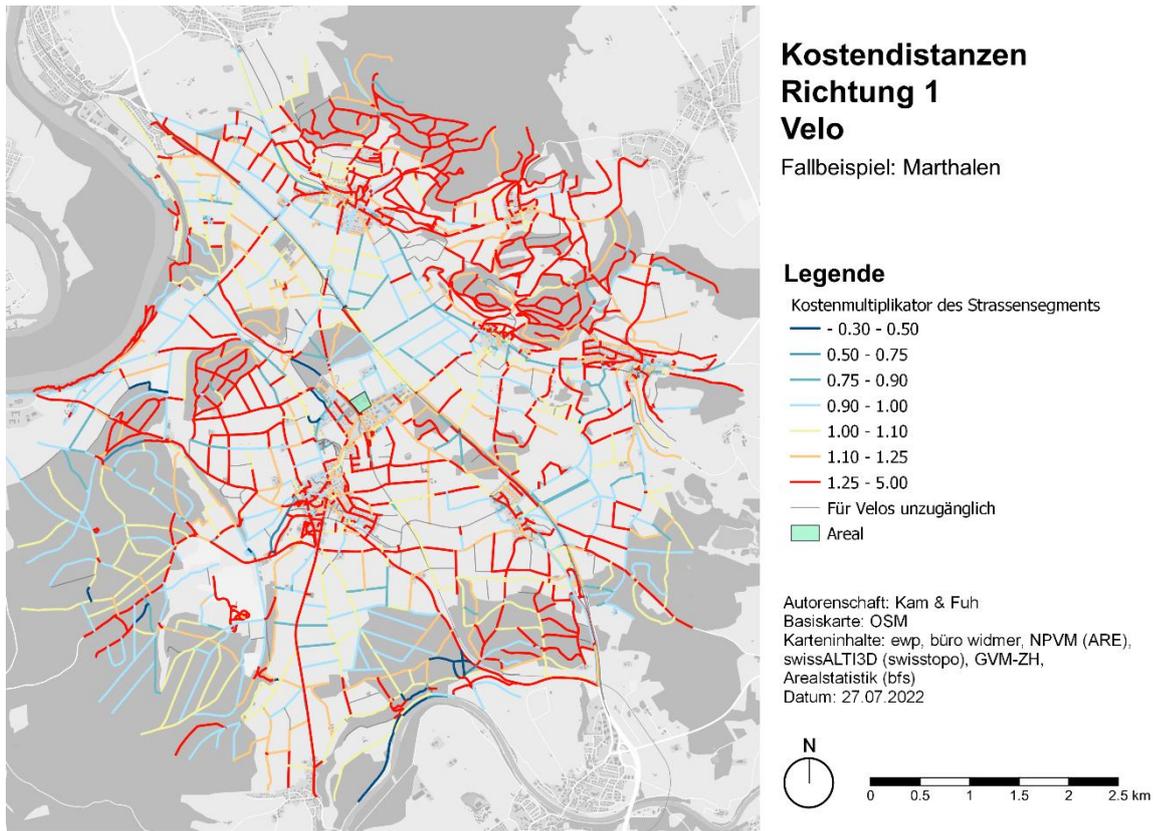


Abb.54 Kostendistanzfaktoren im Fallbeispiel Marthalen, Richtung 1

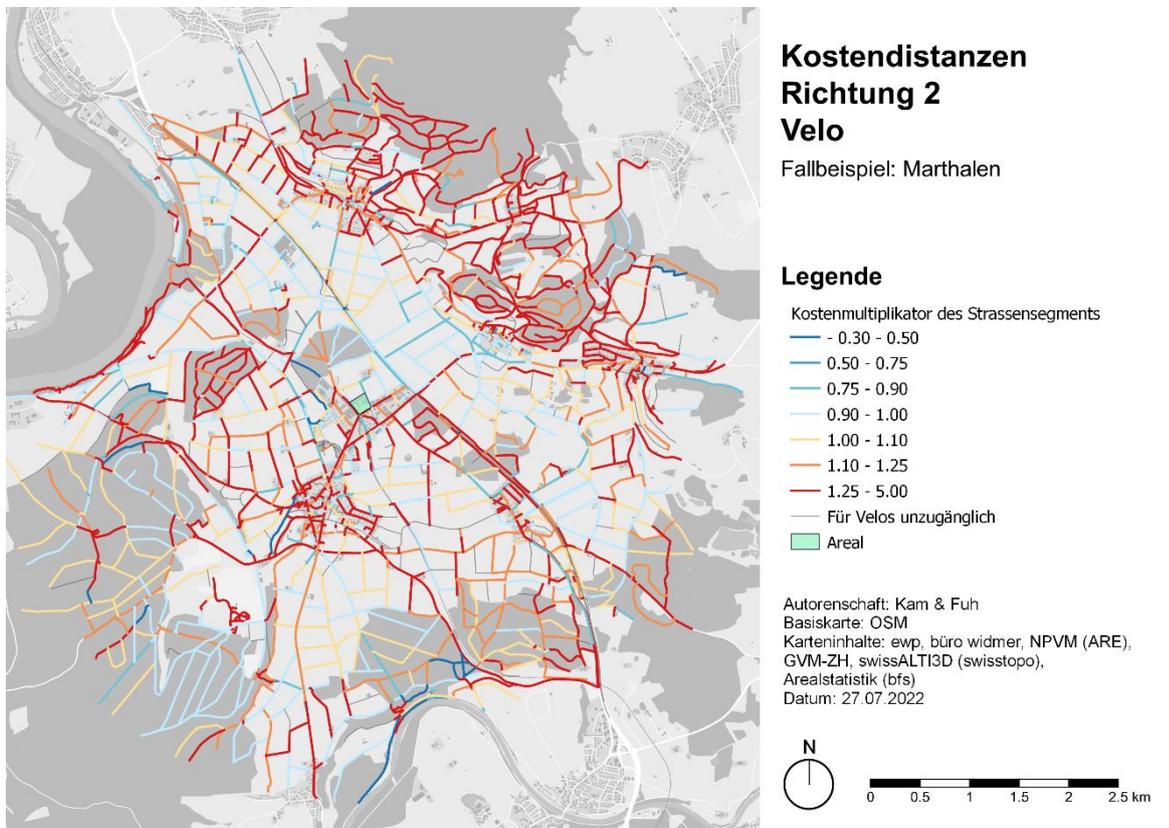


Abb.55 Kostendistanzfaktoren im Fallbeispiel Marthalen, Richtung 2

Glossar

Begriff	Bedeutung
FVV	Fuss- und Veloverkehr (FVV)
MIV	Motorisierter Individualverkehr (MIV)
PEM	Personen mit Eingeschränkter Mobilität (PEM)

Literaturverzeichnis

Achermann Stürmer, Y., R. Allenbach, P. Hertach, K. Huwiler, S. Niemann und J. Zimmermann (2021) Sinus 2021 - Sicherheitsniveau und Unfallgeschehen im Strassenverkehr 2020, BFU, Bern.

Asadi-Shekari, Z., M. Moeinaddini und M. Zaly Shah (2014) A pedestrian level of service method for evaluating and promoting walking facilities on campus streets, *Land Use Policy*, **38**, 175–193.

ASTRA (2019) *Handbuch NISTRA 2017*, UVEK, Bern.

BFS (2022) Infrastruktur und Streckenlänge, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/streckenlaenge.html>.

BFS (2022) Verkehrsunfälle, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/unfaelle-umweltauswirkungen/verkehrsunfaelle.html>.

Bolten, N. und A. Caspi (2021) Towards routine, city-scale accessibility metrics: Graph theoretic interpretations of pedestrian access using personalized pedestrian network analysis, *PLOS ONE*, **16** (3) 1–20.

Brandes, U. (2008) On Variants of Shortest-Path Betweenness Centrality and their Generic Computation, *Social Networks*, **30** (2) 136–145.

Broach, J., J. Dill und J. Gliebe (2012) Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **46** (10) 1730–1740.

Capirone, M., D. Leupi und L. Stadtherr (2008) *Planung von Velorouten - Handbuch*, ASTRA, Schweiz Mobil, FVS, Bern.

Erath, A., K. Helmersen und M. van Eggermond (2016) Walkability in Singapore, ETHZ, Zürich.

Frick, R. und F. Foletti (2023) Gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten – Synthesebericht (TP1), Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern.

Frick, R., N. Kugelmeier, L. Ickert, M. Sieber, T. Stoiber, B. Tasnádý und R. Straumann (2015) Normierte gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten - Grundlagenbericht, ASTRA, Bern.

Gehring, D.B. (2017) Bikeability – Index für Dresden – Wie fahrradfreundlich ist Dresden?, Verkehrsökologische Schriftenreihe, **10**, 1–72.

Grigore, E. (2018) Bikeability in Basel, ETH Zürich, Zürich.

Grigore, E., N. Garrick, R. Fuhrer und K.W. Axhausen (2018) Bikeability in Basel, IVT, ETH Zürich, Zürich.

Häberli, V., A. Blumenstein, M. Wälti, B. Greuter und Markwalder & Partner AG (2002) Massnahmen zur Förderung der Akzeptanz längerer Fuss- und Velostrecken, ASTRA, Bern.

Hermanns, W. (2019) CHIPS (Cycle HighwaysInnovation for smarter People Transport and Spatial planning), <https://cyclehighways.eu/design-and-build/design-principles/slopes-and-gradients.html>.

Jonietz, D. und S. Timpf (2012) Entwicklung eines GIS-basierten Bikeability-Index am Beispiel der Stadt Augsburg, Institut für Geographie, Universität Augsburg, Augsburg.

Killer, V., R. Fuhrer, D. Guth, C. Holz-Rau und K.W. Axhausen (2013) Road accessibility of Germany and Switzerland 1970-2007, ETHZ, Zürich.

Kopal, K. (2020) Lläuft mit GIS?! Erhebung von Fußgängerfreundlichkeit mittels mobiler GIS, paper präsentiert an REAL CORP 2020, April 2020.

Kwauka, J. (2015) Bewertung der Fußverkehrsqualität in deutschen Städten, Fachhochschule Erfurt, Erfurt.

Leeb, C., M.J. Van Strien, R. Rodewald und A. Grêt-Regamey (2020) Eine "Tranquillity-Map" für das Schweizer Mittelland, PLUS, Stiftung Landschaftsschutz Schweiz, Zürich.

McNeil, N. (2011) Bikeability und the 20-min neighborhood: How infrastructure and destinations influence bicycle accessibility, *Transportation Research Record*, **2247** (1) 53–63.

Meister, A., J. Gupta und K.W. Axhausen (2021) Descriptive route choice analysis of cyclists in Zurich, paper präsentiert an STRC, September 2021.

Menghini, G., N. Carrasco, N. Schüssler und K.W. Axhausen (2009) Route Choice of Cyclists in Zurich GPS-based Discrete Motion Models, IVT, ETH Zürich, Zürich.

Millington, C., C. Ward Thompson, D. Rowe, P. Aspinall, C. Fitzsimons, N. Nelson und N. Mutrie (2009) Development of the Scottish Walkability Assessment Tool (SWAT), *Health and Place*, **15** (2) 474–481.

Perret, C., J.-L. Muralti, C. Siegenthaler, C. Seewer, M. Kowald, A. Corpataux und A. Danalet (2017) Verkehrsverhalten der Bevölkerung - Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015, Bundesamt für Statistik, ARE, Neuchâtel.

Reyer, M., S. Fina, S. Siedentop und W. Schlicht (2014) Walkability is only part of the story: Walking for transportation in Stuttgart, Germany, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **11** (6) 5849–5865.

Schmid-Querg, J., A. Keler und G. Grigoropoulos (2021) The munich bikeability index: A practical approach for measuring urban bikeability, *Sustainability*, **13** (428) 1–14.

Schwarze, B. (2015) *Eine Methode Zum Messen von Naherreichbarkeit in Kommunen*, MV-Verlag, Münster.

SchweizMobil (2022) Veloland Schweiz, <https://www.schweizmobil.ch/de/veloland.html>.

Sigrist, D. und M. Rothenbühler (2008) Veloparkierung - Empfehlungen zu Planung, Realisierung und Betrieb, ASTRA & Velokonferenz Schweiz, Bern / Biel.

Sigrist, D., M. Starkermann, U. Walter, M. Rothenbühler, O. Maier und I. Diem (2021) Vloverkehr in Kreuzungen, ASTRA & Velokonferenz Schweiz, Bern / Biel.

Sigrist, D., T. Zahnd, M. Rothenbühler und I. Diem (2015) Fusswegnetzplanung - Handbuch, ASTRA, Fussverkehr Schweiz, Bern.

Tran, M.-C., C. Manz und F. Nouri (2017) Messung und Erfassung der Fussgängerfreundlichkeit von Stadträumen, Institut für Stadtplanung und Städtebau, Universität Duisburg-Essen, Essen.

Vale, D.S., M. Saraiva und M. Pereira (2016) Active accessibility: A review of operational measures of walking and cycling accessibility, *Journal of Transport and Land Use*, **9** (1) 209–235.

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: 04.09.2023

Grunddaten

Projekt-Nr.: VPT_20_04D_01
Projekttitle: Forschungspaket Gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten – TP4 Fuss und Veloverkehr
Enddatum: 31.12.2023

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Das vorliegende Teilprojekt ist Teil des Forschungspaketes «Gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten». Damit sollen Methoden entwickelt werden, um die Erschliessungsqualitäten der verschiedenen Verkehrsmittel für einen bestimmten Standort aufeinander abgestimmt zu beurteilen. Im Grundlagenbericht (VSS 2011/106) wurde dazu ein zweistufiges Methodikkonzept mit quantitativen und qualitativen Kriterien erarbeitet, anhand von Fallbeispielen getestet und im Grundsatz als zweckmässig beurteilt. Für den Veloverkehr sollten mit dem vorliegenden Projekt darauf aufbauend quantitative Erschliessungsqualitäten (Stufe 1) ermittelt werden, zudem sowohl für den Fuss- und Veloverkehr qualitative Erschliessungsqualitäten (Stufe 2). Dabei stellten sich dabei gegenüber den anderen Verkehrsmitteln spezifische Herausforderungen, insbesondere dass die empfundenen Reisezeiten bzw. Weglängen als Basis von quantifizierten Kriterien stärker mit der subjektiven Wahrnehmung (z.B. von unterschiedlichen Infrastrukturtypen, Topographie, Sicherheitsempfinden) abhängen. Bis heute sind dazu auch international nur wenige methodische Grundlagen erarbeitet worden. Aufgrund dessen wurde in einem ersten Schritt eine Literaturanalyse zu verschiedenen methodischen Aspekten (Kriterien, räumliche Abgrenzung, Differenzierung nach Nutzergruppen, Datengrundlagen) durchgeführt. Darauf aufbauend wurden Grundsätze der Methodik über beide Verkehrsmittel hergeleitet. Für die quantitativen Kriterien im Veloverkehr wurde anschliessend eine Methode zur Attributierung der Kostendistanzen entwickelt, bei welcher die Horizontaldistanz einer Verbindung mit einem Faktor multipliziert wird, der die für die empfundene Reisezeit relevanten Aspekte (Qualität der Infrastruktur, Topographie, Sicherheitsempfinden, Umgebungsqualität) abbildet. Danach wurden Methoden für die beiden quantitativen Kenngrössen (Erreichbarkeit und Zentralitätsindex) definiert, die mit dem mit den Kostendistanzen attribuierten Netz für ein bestimmtes Areal berechnet werden können. Die quantitative Erschliessungsqualität des Veloverkehrs ergibt sich aus der Kombination der beiden Kenngrössen. Für Fuss- und Veloverkehr wurden anschliessend qualitative Kriterien definiert. Diese können für ein bestimmtes Areal jeweils auf einer 5-stufigen Bewertungsskala beurteilt werden. Beim Veloverkehr lag der Fokus auf Kriterien, die nicht über die quantitativen Kriterien abgedeckt werden, während die Kriterien für den Fussverkehr breiter gefasst werden, da dessen Erschliessungsqualität ausschliesslich mittels der qualitativen Kriterien beurteilt wird. Für die Anwendung wurden Beurteilungsraster je Kriterium bestimmt, aber auch der massgebende Beurteilungsperimeter. Im Sinne einer niederschweligen Anwendung wurde zudem ein vereinfachtes Beurteilungsverfahren vorgeschlagen. Alle entwickelten Methoden wurden an 4 Fallbeispielen getestet. Die grundsätzliche Eignung konnte damit nachgewiesen werden. Aus den Erfahrungen im Test konnten abschliessend Erkenntnisse zu Anwendungsmöglichkeiten, aber auch zum weiteren Forschungsbedarf und zur Verbesserung der Datenlage gewonnen werden.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Mit dem Forschungsprojekt konnte einerseits eine Methodik für quantitative Erschliessungsqualitäten für den Veloverkehr entwickelt werden, welche mit denjenigen von MIV und ÖV grundsätzlich vergleichbar ist. Als Mass für das Angebot wurde dabei abweichend zur Grundlagenforschung (VSS 2011/106) ein Zentralitätsindex (statt eines Kapazitätsindex) definiert. Die hektarfeine Methodik zur Ermittlung der Erreichbarkeit berücksichtigt den kleinräumigen Charakter des Veloverkehrs. Für die Attributierung der Velonetze zur Abbildung des empfundenen Raumwiderstandes wurde über die Kostendistanzen ein innovativer, neuartiger Ansatz entwickelt. Grundsätzlich liefern die Methoden für die 4 Fallbeispiele plausible Ergebnisse für die quantitative Erschliessungsqualität des Veloverkehrs, die Methodik liesse sich prinzipiell auch auf den Fussverkehr anwenden.

Für die qualitativen Erschliessungsqualitäten des Fuss- und Veloverkehrs konnten die Vorschläge für Kriterien aus der Grundlagenforschung überprüft und bereinigt werden. Besonderes Augenmerk galt dabei beim Veloverkehr der Vermeidung von Überlappungen zwischen qualitativen und quantitativen Kriterien. Im Sinne einer guten Anwendbarkeit wurden zudem pragmatische Beurteilungsraster entwickelt und es wurde zwischen einem Standard- und einem vereinfachten Verfahren unterschieden. Die Anwendbarkeit der qualitativen Kriterien konnte über die 4 Fallbeispiele ebenfalls aufgezeigt werden, die Resultate sind plausibel.

Folgerungen und Empfehlungen:

Aufgrund der beschränkten Datenlage (sowohl bzgl. Wirkungszusammenhängen als auch bzgl. Attributierung des Velonetzes) sind die quantitativen Methoden für den Veloverkehr noch nicht genügend belastbar für eine schweizweite Anwendung. Das gilt einerseits für die Ermittlung der Kostenelemente, die bisher erst anhand der Stadt Basel (in einer früheren Arbeit) und anhand der 4 Fallbeispiele validiert werden konnten. Für eine schweizweite Anwendung wäre es sinnvoll, insbesondere den Einfluss der Infrastruktur- sowie der Gradientenkosten auf die wahrgenommene Distanz mittels Befragungen von Velofahrenden zu verifizieren, weil diese beiden Kostenelemente den grössten Einfluss auf den Kostendistanzfaktor haben. Für diese Befragungen, aber auch für die schweizweite Anwendung braucht es im Idealfall zusätzlich eine einheitliche Datenbasis der heutigen Veloinfrastruktur in Anlehnung zu bzw. zur Ablösung von OpenStreetMap. Die qualitativen Erschliessungsqualitäten können grundsätzlich so angewandt werden. Allerdings dürfte die konkrete Handhabung durch unterschiedliche Fachpersonen trotz vorgegebenen Beurteilungsrastern (vielfach auf Basis von vorhandenen nationalen Planungshilfen und Handbüchern) zu heterogenen, nicht immer vergleichbaren Ergebnissen führen. Deshalb wäre eine weitere Objektivierung der Wertgerüste für die qualitativen Kriterien zu empfehlen.

Publikationen:

- Forschungspaket Gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten - Velo- und Fussverkehr (ewp, Büro Widmer, movaplan), VPT_20_04D_01

- Entwurf Detailnorm Fuss- und Veloverkehr - Gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten (SN xxx xxx)

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Erne

Vorname: Stephan

Amt, Firma, Institut: movaplan Mobilitätsstrategien GmbH

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Das Ziel des Forschungsprojektes konnte erreicht werden. Mit den Forschungsergebnissen resp. deren Umsetzung in entsprechende Normen bestehen nun schweizweit anwendbare Methoden zur Beurteilung der Erschliessungsqualitäten eines Gebietes für den Velo- und Fussverkehr. Als Anwendungsfälle stehen die vergleichende Beurteilung der Erschliessung sowie die Beurteilung von potenziellen Einzonungsflächen im Vordergrund. Die Forschungsstelle leistete sehr gute und fundierte Arbeit; sie entwickelte unter anderem innovative Ansätze für eine GIS-basierte Modellierung der Kostendistanzen im Veloverkehr. Dem Forschungsteam gelang es immer, gegenüber der Begleitgruppe die ausgesprochen komplexen und technischen Inhalte auf verständliche Weise zu erläutern. Die Diskussion mit der Begleitgruppe war immer konstruktiv und stellte den Bezug zur Praxis sicher.

Umsetzung:

Der Fokus wurde zweckmässigerweise auf eine möglichst pragmatische Umsetzung der Forschungsergebnisse für die Anwendung im Planungsalltag gelegt. Das Ergebnis ist ein sehr wohl dosierter Umsetzungsvorschlag zwischen grösstmöglicher Genauigkeit und verhältnismässigem Aufwand.

weitergehender Forschungsbedarf:

Es besteht weiterer Forschungsbedarf bzgl. der Validierung der Kostendistanzen im Veloverkehr sowie - sobald entsprechende Datengrundlagen vorhanden sind - Überlegungen zu den quantitativen Erschliessungskriterien im Fussverkehr. Für die qualitativen Kriterien ist zudem eine weitere Objektivierung der Wertgerüste notwendig.

Einfluss auf Normenwerk:

Es entstehen zwei Normen, je eine zum Velo- und Fussverkehr. Damit steht eine wichtige Grundlage für eine bessere Abstimmung von Siedlung und (FV-)Verkehr zur Verfügung.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Renard

Vorname: Aline

Amt, Firma, Institut: transitec

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

