

Diplomarbeit

Das Infrastrukturangebot rund um Bahnhaltstellen und die Verkehrsmittelwahl von Bahnpassagieren am Zugangsweg

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads

Diplom-Ingenieur

eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

Diploma Thesis

The infrastructure supply around train stations and the mobility choice by passengers on the access route

submitted in satisfaction of the requirements for the degree

Diplom-Ingenieur

of the TU Wien, Faculty of Civil and Environmental Engineering

Florian Amon, BSc

Matr.Nr.: 11775768

Betreuung: Univ.Prof. Mag.rer.soc.oec. Dr.rer.soc.oec. **Günter Emberger**
Senior Scientist Dipl.-Ing. **Tadej Brezina**,
Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich Verkehrsplanung und Verkehrstechnik
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/230-1, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Dezember 2024



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Um die angestrebte Klimaneutralität Österreichs, die aufgrund des fortschreitenden Klimawandels notwendig ist, zu erreichen, ist eine Mobilitätswende anzustreben. Der Verkehr soll dabei vermieden oder auf klimaverträglichere Verkehrsträger verlagert und die fossilen Energieträger im Verkehr durch erneuerbare ersetzt werden. Diese Arbeit betrachtet das Mobilitätsverhalten am Zugangsweg zur Bahnfahrt genauer und beschäftigt sich mit der Frage, welchen Einfluss die Mobilitätsinfrastruktur rund um Bahnhöfe auf das Mobilitätsverhalten am Weg zur Bahn haben kann.

Hierfür wird der Datensatz des VCÖ-Bahntests 2023, eine Befragung von Bahnreisenden, aus der unter anderem das Mobilitätsverhalten am Weg zur Bahn extrahiert werden kann, herangezogen. Dieses Mobilitätsverhalten, insbesondere mit Blick auf den Umweltverbund, wird mithilfe von GIS-Analysen der Mobilitätsinfrastruktur-Daten ausgewertet, um mögliche Korrelationen feststellen zu können. Hierzu werden ausgewählte Indikatoren näher betrachtet.

Eine starke Korrelation konnte zwischen dem Mobilitätsverhalten und der Haltestellenkategorie der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK) hergestellt werden. Auch die Haltestellendichte innerhalb von 5 Kilometern Umkreis des Einstiegsbahnhofs erweist sich als guter Indikator für den Anteil des Öffentlichen Verkehrs am Modal Split am Zugangsweg zur Bahn. Bei Fuß- und Radverkehrsnetzen konnte keine Korrelation gezeigt werden, welche ein besseres Netz mit einer höheren Benutzung verknüpfen würde. Dafür gehen bei diesem Datensatz die Anteile der Aktiven Mobilität zurück, wenn ÖV-Indikatoren gute Ergebnisse liefern. Diese Indikatoren korrelieren also stark mit dem Nutzungsverhalten von Zufußgehenden und Radfahrenden.

Ebenfalls stark korreliert die Bevölkerungsdichte mit der Verkehrsmittelwahl am Weg zur Bahn. Bei steigender Bevölkerungsdichte steigt der Anteil am Öffentlichen Verkehr, der Anteil an den restlichen Verkehrsmitteln sinkt, obwohl eine starke Korrelation zwischen Bevölkerungsdichte und der Qualität von Fuß- und Radwegen rund um Bahnhöfe festgestellt werden kann. Es wird vermutet, dass die noch stärkere Korrelation von Bevölkerungsdichte und Haltestellendichte des ÖV dazu führt, dass in dichter besiedelten Gebieten die Nutzung der Aktiven Mobilität zur Anreise abnimmt.

Abstract

Austria is set to become climate neutral in 2040 in order to mitigate climate change. One of the challenges that need to be addressed for that is a mobility transition towards eco-mobility. This thesis takes a closer look on mobility behaviour on the access way to the train station and to what extent the mobility infrastructure of eco-mobility around train stations influences these mobility choices.

In the paper, the existing data set of the VCÖ-Bahntest 2023, an Austria-wide survey which includes the mobility choices on the access route of the station, is analyzed. This dataset of mobility choices is compared with selected indicators on the mobility infrastructure of eco-mobility using GIS. With the results, possible correlations between the two are determined.

A strong correlation was established between the mobility choice and the station category determined by Österreichische Raumordnungskonferenz (ÖROK). Also, the public transport station density around the train station serves as a good indicator for the percentage of people within the modal split using public transport to get to the station. For the modes of active mobility such as walking or cycling, the considered indicators did not show a correlation between better infrastructure and higher use of the respective transport mode. However, indicators of public transport services correlate inversely with the usage of active transport modes, suggesting that active mobility is chosen whenever qualitative public transport is not available.

When looking at the correlation between population density and transport mode choice on the access route to the station, a strong correlation can be seen. With rising population density the share of public transit becomes larger while all other modes become less relevant. Nevertheless, a strong correlation between population density and the quality of the infrastructure for active mobility exists, suggesting that the even stronger correlation with public transport quality leads to declining use of active mobility on the access route to the station.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abstract	II
1 Einleitung	1
1.1 Klimapolitischer Rahmen und Mobilitätsmasterplan 2030	1
1.2 Forschungsfrage	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
1.4 Der Modal Split	3
2 Literaturliteraturbasis	7
2.1 Aktive Mobilität	7
2.1.1 Indikatoren für Fuß- und Radverkehrsnetze	8
2.1.2 Indikatoren zum Fußverkehrsnetz	10
2.1.3 Indikatoren zum Radverkehrsnetz	13
2.1.4 Indikatoren zu Radabstellanlagen	14
2.1.5 Auswirkungen der Urbanität bzw. Bevölkerungsdichte auf das Mo- bilitätsverhalten	15
2.2 Indikatoren zum Öffentlichen Verkehr	15
2.3 Auswahl an Indikatoren, die betrachtet werden	16
2.3.1 Indikatoren zum Fußverkehrsnetz	16
2.3.2 Indikatoren zum Radverkehrsnetz	16
2.3.3 Indikatoren zum ÖV-Netz	17
2.3.4 Sonstige betrachtete Parameter	17
2.3.5 Zusammenfassung aller Indikatoren	17
3 Materialien & Methoden	20
3.1 Datengrundlagen	20
3.1.1 VCÖ-Bahntest	20
3.1.2 VCÖ-Bahntest – Vorbereiten der Daten für die Korrelationsanalyse	30
3.1.3 VCÖ-Bahntest – Korrelationsanalyse	31
3.1.4 VCÖ-Bahntest – Korrelationsergebnisse	33
3.1.5 GIP – Verkehrsgraph	34
3.1.6 Urban-Rural-Typologie	35
3.1.7 Radabstellanlagen	37
3.1.8 ÖV-Güteklassen – Haltestellenkategorien	39
3.2 Methodik	41
3.2.1 Schaffen der Datengrundlagen – Zugänge zu Bahnhöfen	41
3.2.2 Schaffen der Datengrundlagen – Radfahrerlaubnis	43

3.2.3	Schaffen der Datengrundlagen – Radverkehrsinfrastruktur	45
3.2.4	Schaffen der Datengrundlagen – Fußbegehbarkeit	47
3.2.5	Schaffen der Datengrundlagen – Gehwegbreiten	48
3.2.6	Berechnen der Radverkehrsnetzindikatoren	50
3.2.7	Berechnen der Fußverkehrsnetzindikatoren	58
3.2.8	Berechnen der ÖV-Netzindikatoren	64
3.2.9	Bestimmen des Bundeslandes	66
3.2.10	Bestimmen der Urban-Rural-Typologie	67
3.2.11	Bestimmen der Bevölkerungsdichte	68
4	Ergebnisse	71
4.1	Modal Split nach Radverkehrsnetzindikatoren	72
4.1.1	Alpha-Index	72
4.1.2	Beta-Index	73
4.1.3	Gamma-Index	73
4.1.4	Kilometerbasierte Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur . .	75
4.2	Modal Split nach Fußverkehrsnetzindikatoren	76
4.2.1	Umwegfaktor	76
4.2.2	Alpha-Index	78
4.2.3	Beta-Index	80
4.2.4	Gamma-Index	81
4.2.5	Flächenanteil der Fußverkehrsnetzinfrastruktur	82
4.3	Modal Split nach ÖV-Netzindikatoren	83
4.3.1	Haltestellenkategorie	83
4.3.2	Haltestellendichte	84
4.4	Modal Split nach Bundesland	85
4.5	Modal Split nach Urban-Rural-Typologie	87
4.6	Modal Split nach Bevölkerungsdichte	89
5	Diskussion	91
5.1	Modal Split nach Radverkehrsnetzindikatoren	91
5.1.1	Alpha-Index	91
5.1.2	Beta-Index	91
5.1.3	Gamma-Index	91
5.1.4	Kilometerbasierte Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur . .	91
5.2	Modal Split nach Fußverkehrsnetzindikatoren	92
5.2.1	Umwegfaktor	92
5.2.2	Alpha-Index	92
5.2.3	Beta-Index	93
5.2.4	Gamma-Index	93

5.2.5	Flächenanteil der Fußverkehrsinfrastruktur	94
5.3	Scatterplots von Netzindikatoren	94
5.4	Modal Split nach ÖV-Netzindikatoren	97
5.4.1	Haltestellenkategorie	97
5.4.2	Haltestellendichte	97
5.5	Modal Split nach Bundesland	98
5.6	Modal Split nach Urban-Rural-Typologie	98
5.7	Modal Split nach Bevölkerungsdichte	98
5.8	Multiple Lineare Regression	101
6	Conclusio & Ausblick	103
	Literaturverzeichnis	105
	Abbildungsverzeichnis	111
	Tabellenverzeichnis	114
	Anhang	i
6.1	Anhang A: VCÖ-Bahntest Fragebogen (VCÖ, 2023a)	i

1 Einleitung

1.1 Klimapolitischer Rahmen und Mobilitätsmasterplan 2030

Der Klimawandel stellt die Menschheit vor große Herausforderungen. Die Erwärmung der Erdoberfläche wird im Laufe des Jahrhunderts durchschnittlich 2°C im Vergleich zum Zeitraum von 1850 bis 1900 überschreiten, wenn keine starken Einsparungen der Treibhausgas-Emissionen realisiert werden. Mit jedem Zehntelgrad Erwärmung werden Extremwetterereignisse wie Hitzewellen, Dürren oder starke Regenfälle wahrscheinlicher und häufiger. Es wird erwartet, dass eine Hitzewelle, die im Zeitraum von 1850 bis 1900 durchschnittlich einmal in 50 Jahren vorkam, bei einer Erwärmung von 2°C durchschnittlich 13,9 Mal und bei einer Erwärmung von 4°C voraussichtlich durchschnittlich 39,2 Mal innerhalb von 50 Jahren vorkommen wird (IPCC, 2023b, S.15ff.). Viele Veränderungen, die durch Treibhausgas-Emissionen verursacht wurden, werden irreversible Auswirkungen für Jahrhunderte bis Jahrtausende zur Folge haben. Beispielsweise wird prognostiziert, dass der Meeresspiegel abhängig von der Intensität der Bemühungen, den Klimawandel zu begrenzen, bis 2100 um bis zu 1,01 Meter ansteigen kann (IPCC, 2023b, S.21), was für große Teile der Weltbevölkerung Probleme und hohe Kosten mit sich bringen würde (IPCC, 2023a, S.15). Daher müssen die Treibhausgas-Emissionen rasch und umfangreich reduziert werden, um die globale Erwärmung möglichst stark zu begrenzen (IPCC, 2022, S.17).

„Österreich hat es sich zum Ziel gesetzt, bis spätestens 2040 klimaneutral zu sein.“ (BMK, 2024b). Dabei ist der „Verkehr [...] eine der größten Herausforderungen für die österreichische Klima- und Energiepolitik“ (Frey et al., 2023, S.271). In Abbildung 1 ist aufgeführt, dass der Verkehrssektor (bis auf florierte Gase) der einzige Sektor in Österreich ist, dessen Emissionen im Vergleichszeitraum von 1990 bis 2022 stark zugenommen haben, nämlich um 7,9 Millionen Tonnen CO_2 -Äquivalent (Anderl et al., 2023, S.84).

Rund 99 % der Treibhausgas-Emissionen aus dem Verkehrssektor stammen aus dem Straßenverkehr, davon 63 % wiederum aus dem Pkw-Verkehr (Frey et al., 2023, S.272). Gesamt stammen also etwa 18 % der gesamten österreichischen THG-Emissionen aus dem Pkw-Verkehr.

Der Mobilitätsmasterplan 2030 des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie gibt als einen der notwendigen Bausteine zum Erreichen der Klimaneutralität im Verkehrssektor eine Verlagerung vom motorisierten Individualverkehr (MIV) hin zur Aktiven Mobilität sowie zum Öffentlichen Verkehr an (BMK, 2021, S.16).

In den letzten Jahrzehnten hat der Kfz-Verkehr allerdings stark zugenommen. Maßgeblich für diese Veränderung des Mobilitätsverhaltens ist der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur für Kfz (Frey et al., 2023, S.271ff.). Dieser Zusammenhang zwischen Infrastruktur und

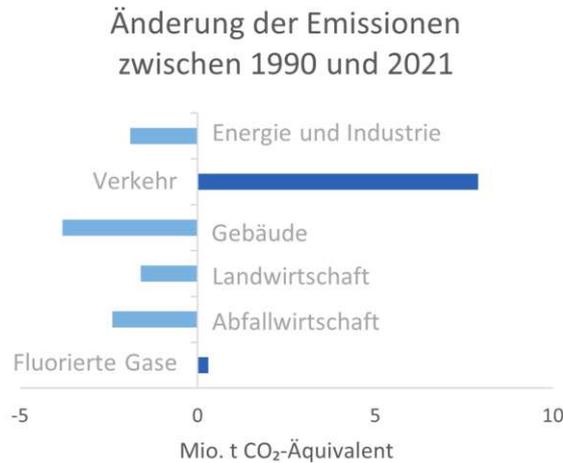


Abbildung 1: THG-Emissionen Österreichs zwischen 1990 und 2022 (Anderl et al., 2023)

Mobilitätsverhalten lässt sich auf andere Verkehrsträger anwenden - verbesserte Geh- und Radwege beispielsweise resultieren in mehr Aktiver Mobilität (Schwendinger, 2022). Noch allgemeiner wird dies in Frey et al. (2023) geschrieben: „Das Verhalten der Verkehrsteilnehmer_innen wird maßgeblich von den bereitgestellten Strukturen (Infrastrukturen, ordnungspolitischen und monetären Strukturen) beeinflusst.“ (Frey et al., 2023, S.271)

1.2 Forschungsfrage

Anhand einer detaillierten Auswertung des VCÖ-Bahntests 2023, bei dem knapp 10.000 mit der Eisenbahn reisende Personen in Österreich unter anderem zu deren Mobilitätsverhalten am Zugangsweg zum Bahnhof¹ befragt wurden, soll ebendieser Zusammenhang in vorliegender Arbeit untersucht werden. Dazu wird das aus dem Bahntest 2023 extrahierbare Mobilitätsverhalten mit Indikatoren, welche die Güte von Verkehrsinfrastrukturen bewerten, korreliert. Daraus ergibt sich die Forschungsfrage dieser Arbeit:

Welchen Einfluss hat die Mobilitätsinfrastruktur rund um den Bahnhof auf das Mobilitätsverhalten von Personen am Zugangsweg zu Bahnreisen?

Dabei soll besonders auf die Verkehrsmodi Zufußgehen, Fahrradfahren sowie auf den Öffentlichen Verkehr eingegangen werden. Die Unterschiede dieser Verhaltensweisen sollen mittels Modal Split dargestellt, verglichen und analysiert werden.

¹Um den Lesefluss in dieser Arbeit nicht zu behindern, werden die Begriffe „Bahnhof“ und „Bahnhaltstelle“ synonym benutzt. Mit einem der beiden Begriffe ist stets auch der andere gemeint, da auch methodisch nicht zwischen den beiden unterschieden wird.

1.3 Aufbau der Arbeit

In der Einleitung wird nach einer thematischen Hinführung zur Forschungsfrage der für das Verständnis der Arbeit essentielle Modal Split in Kapitel 1.4 eingeführt.

Innerhalb des Kapitels 2 wird eine Literaturrecherche zu Indikatoren der Verkehrsinfrastruktur durchgeführt und jene Indikatoren, die weiter betrachtet werden sollen, werden in Kapitel 2.3 ausgewählt.

Kapitel 3 gliedert sich in zwei Teile: Materialien und Methoden.

In Abschnitt 3.1 wird der Datensatz des VCÖ-Bahntest 2023 detailliert beschrieben und bereinigt. Erste Aussagen werden durch eine umfassende Korrelationsanalyse des Datensatzes mit sich selbst produziert und diskutiert. Diese Analyse dient einzig dem besseren Verständnis des Datensatzes, weshalb dieser Teil nicht in die restliche Gliederung der Arbeit „Methoden – Ergebnisse – Diskussion“ integriert ist. Ab Unterkapitel 3.1.5 werden andere wichtige Datengrundlagen vorgestellt.

In Abschnitt 3.2 werden zuerst Datengrundlagen geschaffen, die für die weitere Berechnung der Indikatoren notwendig sind und nicht als fertiger Datensatz vorliegen. Anschließend wird die Berechnung der in Kapitel 2 ausgewählten Indikatoren beschrieben.

Kapitel 4 zeigt die Ergebnisse der berechneten Indikatoren. Für die Darstellung der Ergebnisse werden fast ausschließlich Modal Splits gewählt, die nach Indikatorwerten geclustert sind.

In Kapitel 5 werden die Ergebnisse aus vorangegangenem Abschnitt interpretiert und kritisch hinterfragt.

In Kapitel 6 werden die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst und mögliche weiterführende Untersuchungen, die sich aus der Arbeit ergeben, erwähnt.

1.4 Der Modal Split

In Abbildung 2 ist der Modal Split Österreichs, also die Verteilung der Wege von Personen in Österreich auf die unterschiedlichen Verkehrsmodi, zwischen 1950 und 2020 dargestellt. Während die Anteile vom Öffentlichen Verkehr (ÖV) und von Radfahrenden mit zwischenzeitlichen Schwankungen beinahe konstant geblieben sind, hat der Kfz-Verkehr in diesem Zeitraum, aber insbesondere zwischen 1950 und 1970 extrem zugenommen und Fußwege wurden durch Kfz-Wege substituiert. Dieser Trend setzt sich bis 2020 fort und bietet auch eine mögliche Begründung für die Zunahme der Emissionen aus dem Verkehrssektor in Abbildung 1.

Beim Modal Split wird in der Regel das Hauptverkehrsmittelkonzept angewandt, bei dem jedem zurückgelegten Weg ein Hauptverkehrsmittel zugeordnet wird. Dieses wiederum wird nach der Hierarchie „ÖV, MIV, Fahrrad, zu Fuß“ gewählt. Das erste in dieser Liste

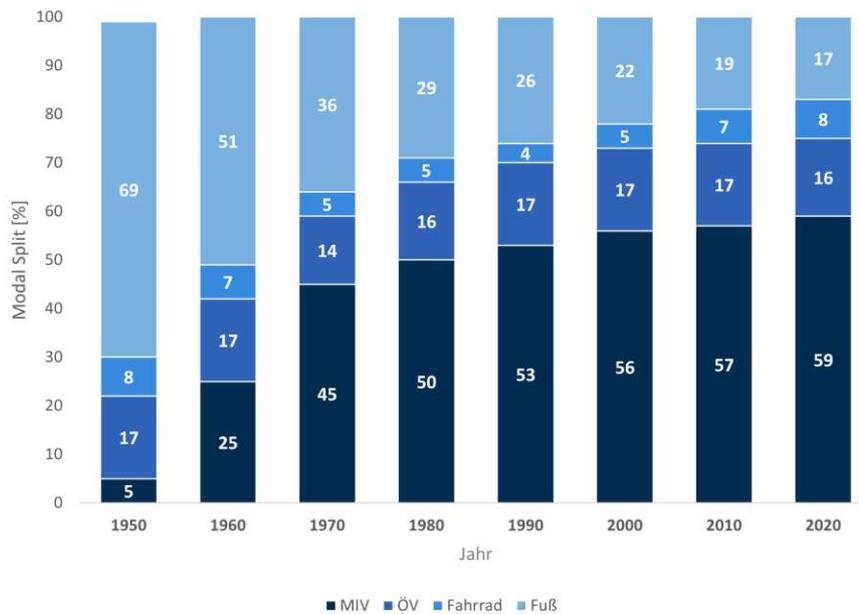


Abbildung 2: Modal Split in Österreich von 1950 bis 2020 (Datengrundlage: Thaler et al., 2022, S.16)

vorkommende Verkehrsmittel, welches in einer Wegekette verwendet wurde, wird als Hauptverkehrsmittel dieser Wegekette festgelegt (Kuhnimhof et al., 2018, S.131). Meistens wird jedoch eine Etappe, zum Beispiel der Weg zu und von einer Haltestelle des ÖV zu Fuß zurückgelegt. Im Hauptverkehrsmittelkonzept des Modal Split wird diese Etappe nicht berücksichtigt, wodurch der Fußverkehr systematisch unterrepräsentiert ist (Thaler et al., 2022, S.17f.).

Dieser Entwicklung des kontinuierlich zunehmenden Pkw-Verkehrs muss, um das angestrebte Ziel der Klimaneutralität 2040 zu erreichen, entgegengewirkt werden. In Abbildung 3 ist der Modal Split Österreichs zweimal abgebildet, links mit Daten aus dem Jahr 2018, rechts der angestrebte Modal Split für das Jahr 2040. Laut dieser Zielsetzung muss eine Verlagerung der zurückgelegten Wege vom Autoverkehr auf den Umweltverbund, also den Öffentlichen Verkehr und die Aktive Mobilität, stattfinden. Der Anteil der Wege, die mit dem motorisierten Individualverkehr zurückgelegt werden, müssen um ca. ein Drittel, von 61 % auf 42 % reduziert werden. Im Gegenzug müssen sich jene Wege, die mit dem Fahrrad zurückgelegt werden, von 7 % auf 13 % fast verdoppeln. Auch die zu Fuß und die mit dem Öffentlichen Verkehr zurückgelegten Wege müssen sich von jeweils 16 % auf 22 % bzw. 23 % stark erhöhen (BMK, 2021, S.11f.). Ein Teil dieser Wege wird in dieser Arbeit stärker betrachtet, um mögliche Parameter zu identifizieren, die Menschen dazu bringen, nicht den Pkw als Zubringer zum Bahnhof zu wählen. Hierfür werden aus dem Mobilitätsverhalten von Personen am Zugangsweg zu Bahnreisen, das aus dem VCÖ-Bahntest extrahiert wurde, Modal Splits erstellt und miteinander verglichen.

Im Rahmen der umfangreichen Erhebung des VCÖ wurden neben zahlreichen Aussagen

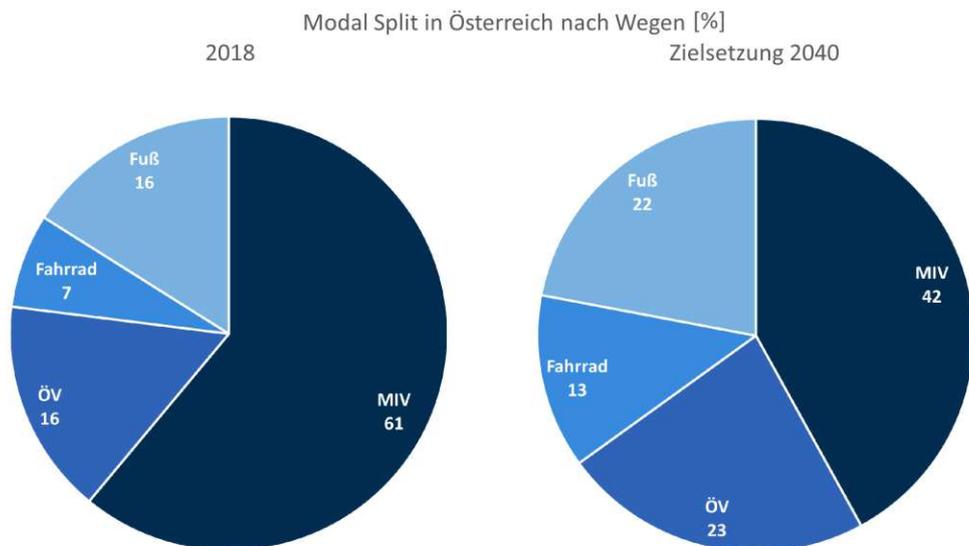


Abbildung 3: Modal Split 2018 und Ziel 2040 (Datengrundlage: BMK, 2021, S.12)

über das subjektive Empfinden zu Themen wie der Pünktlichkeit, der Qualitätsentwicklung oder den angebotenen Verbindungen auch Daten zur Anreisedauer zum Abfahrtsbahnhof oder dem dafür benutzten Verkehrsmittel erfragt. Der dafür eingesetzte Fragebogen ist in Anhang A: VCÖ-Bahntest Fragebogen (VCÖ, 2023a) zu finden. Aus dem genutzten Verkehrsmittel wurde vom VCÖ ein detailliert aufgeschlüsselter Modal Split der zur Bahn anreisenden Personen erstellt, der sich deutlich vom österreichweiten Modal Split in Abbildung 3 unterscheidet und in Abbildung 4 gezeigt ist (Schwendinger, 2023, S.2f.).

Um eine bessere visuelle Vergleichbarkeit herzustellen, werden die Kategorien vom VCÖ-Bahntest in dieser Arbeit zusammengefasst. Dabei werden die Kategorien „Auto selbstlenkend“, „Auto mitfahrend, Taxi“, „Carsharing, Mietauto“ sowie „Moped oder Motorrad“ zu „MIV“ (Motorisierter Individualverkehr) zusammengefasst. Die Kategorien „E-Scooter, Roller, Skateboard...“ und „Fahrrad“ werden zu „Fahrrad“ vereinfacht.

Dabei wird bei der Zusammenfassung der Kategorien so vorgegangen, dass Verkehrsteilnehmer:innen, welche die gleiche Infrastruktur benutzen, zusammengefasst werden. Die Kategorie „E-Scooter, Roller, Skateboard...“ nimmt hier eine Sonderstellung ein, da E-Scooter und Tretroller gesetzlich als Fahrräder gelten, Micro-Scooter und Skateboards jedoch nicht (BMK, 2024a). Aufgrund der geringen Anzahl der Personen in dieser Kategorie (n=127) und der Annahme, dass fahrradähnliche Fahrzeuge wie E-Scooter den größten Teil dieser Teilgruppe ausmachen, werden diese in der Kategorie „Fahrrad“ inkludiert.

Der größte Unterschied zwischen dem Mobilitätsverhalten am Weg zur Bahn und dem Mobilitätsverhalten der Gesamtbevölkerung in Abbildung 3 ist die Verdoppelung der Anteile bei Fuß- und ÖV-Wegen, die komplett zu Lasten des MIV gehen.

In der Zusammenfassung des VCÖ-Bahntests 2023 ist zu lesen: „Vier von zehn Fahrgästen

Modal Split Bahntest 2023

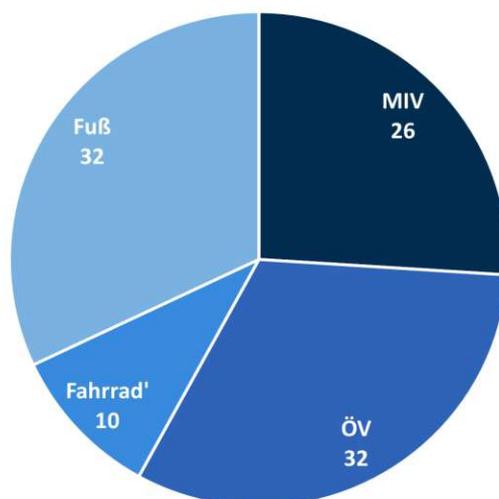


Abbildung 4: Aus dem VCÖ-Bahntest 2023 ermittelter Modal Split am Weg zur Bahn (Datengrundlage: VCÖ, 2023a, S.3)

kommen mit eigener Muskelkraft zu Fuß oder mit dem Fahrrad zum Bahnhof – bei Regional- und Schnellbahnen sogar rund die Hälfte. Gute Erreichbarkeit der Bahnhöfe sowie sichere und ausreichend Rad-Abstellplätze sind [...] für den Großteil der Fahrgäste Voraussetzung für die alltägliche Bahnfahrt“ (VCÖ, 2023a, S.4).

Die aus den Daten des VCÖ-Bahntest 2023 resultierenden Modal Splits sind grundsätzlich nicht mit bundesweiten Modal-Split-Erhebungen vergleichbar. Die Befragung, welche in Kapitel 3.1 genauer vorgestellt wird, wurde in Fahrzeugen unterschiedlicher Eisenbahnunternehmen durchgeführt. Durch diesen Umstand sind im Datensatz ausschließlich Wegeketten mit ÖV-Wegen im Datensatz enthalten. Außerdem wird nur jener Teil der Wegekette betrachtet, der den Weg vom Startort zum Bahnhof beschreibt. Der Bahnhof wird als Zielort angenommen, weshalb die eigentliche Zugfahrt, in der die Befragung stattgefunden hat, nicht in der betrachteten Wegekette enthalten ist.

2 Literaturbasis

In diesem Kapitel wird ein Überblick über Literatur zur Verkehrsmittelwahl am Weg zum Bahnhof gegeben. Der Fokus liegt hierbei auf der Begründung der Wahl des Verkehrsmittels und auf möglichen Indikatoren, die mit dem Mobilitätsverhalten korrelieren.

2.1 Aktive Mobilität

Brouwer (2010) und Scheltema (2012) geben einen Überblick über den Weg zum Bahnhof aus der Perspektive von zu Fußgehenden bzw. radfahrenden Personen. Beide geben jeweils 4 übergeordnete Kriterien und eine Vielzahl an Indikatoren an, um die Güte von Radverkehrsinfrastruktur bzw. Fußverkehrsinfrastruktur zu bewerten, die sich teilweise überschneiden.

Brouwer (2010) bewertet den Weg vom Stadtzentrum zum Bahnhof anhand der Kriterien „Lebendigkeit“, „menschlicher Maßstab“, „Lesbarkeit des Raumes“ sowie „Sicherheit & Komfort“. Jeder dieser Kriterien wird mit 3 Indikatoren bewertet, die jeweils maximal 5 Punkte erzielen. So resultieren für jeden Standort 4 Bewertungen, eine pro Kategorie.

Scheltema (2012) führt eine Bedürfnispyramide ein, welche die Bedürfnisse an den öffentlichen Raum von Radfahrenden am Weg zur Eisenbahnstation beschreiben soll. Diese sind aufsteigend: Sicherheit, Direktheit, Komfort und Attraktivität. Jede Ebene der Pyramide kann erst nach Erfüllung der Ebenen darunter erfüllt werden. Zusätzlich wird hier noch zwischen „Satisfiers“ und „Dissatisfiers“ unterschieden. Sind Sicherheit und Direktheit nicht gegeben, so wird die Infrastruktur nicht genutzt. Im Unterschied dazu sind die „Satisfiers“ Komfort und Attraktivität Faktoren, die das Radfahren attraktiver machen, jedoch nicht grundsätzlich ermöglichen (Scheltema, 2012, Theory S.64f.).²

Die Mobilitätsdaten des Bahntests 2023, die in dieser Arbeit zur Verfügung stehen, erlauben keinen Rückschluss auf den zurückgelegten Weg, da lediglich der Einstiegsbahnhof, das zur Anreise benutzte Verkehrsmittel sowie die ungefähre Anreisezeit im Datensatz hinterlegt sind. Daher wird stattdessen die Umgebung des jeweiligen Bahnhofs untersucht, was zur Folge hat, dass zusätzlich zu Indikatoren, welche sich auf einen spezifischen Weg beziehen, auch Indikatoren eines Fuß- bzw. Radverkehrsnetzes betrachtet werden können. Beim Heranziehen von Indikatoren für lineare Geometrien muss die Anwendung des jeweiligen Indikators entsprechend angepasst werden. Notwendig ist diese Anpassung, da aufgrund der fehlenden Daten des spezifischen Weges stets eine Aussage über das Netzwerk von Interesse ist. Die Vorgangsweise der Anpassung der Indikatoren wird in Kapitel 3.2 beschrieben.

²Scheltema (2012) ist in mehrere Teile unterteilt, die jeweils bei Seite 1 beginnen, weshalb der Titel des zitierten Teils im Zitat enthalten ist. In dieser Arbeit werden die Teile „Theory“ und „Manual“ angeführt.

Im Folgenden werden zuerst Indikatoren behandelt, die sowohl auf Fußverkehrsnetze, als auch auf Radverkehrsnetze anwendbar sind. Dies sind häufig Indikatoren, die auf dem mathematischen Graphen des Netzes basieren und damit unabhängig von spezifischen Bedürfnissen der einzelnen Verkehrsträger sind. Im Anschluss werden für den Fuß- und Radverkehr spezifische Indikatoren besprochen.

2.1.1 Indikatoren für Fuß- und Radverkehrsnetze

In diesem Abschnitt werden Indikatoren behandelt, die sich auf das Verkehrsnetz oder einen Weg im Allgemeinen beziehen und nicht auf spezifische Anforderungen oder Umstände eines Verkehrsträgers eingehen.

Die „**Linearity**“ (**Linearität**) oder auch der „**Umwegfaktor**“ ist als Quotient von der Länge der kürzesten Route und der Luftlinie zwischen zwei Punkten definiert. Dieser Wert ist stets ≥ 1 , wobei kleine Werte anzustreben sind (Scheltema, 2012, Manual S.28; Knoflacher, 1987, S.76). Auch der dazu inverse Wert findet in der Literatur Verwendung, wo die Strecke der Luftlinie durch die Länge der kürzesten Route geteilt wird. Dieser Wert wird ebenso als „**Detour Index**“ (**Umweg-Index**) bezeichnet und ist stets ≤ 1 , wobei ein Wert von 1 in der Realität nicht erreicht wird (Rodrigue et al., 2013, S.313). Mit diesem Indikator wird also der prozentuelle Umweg entlang eines Pfades im Vergleich zur optimalen Wegführung berechnet.

Die „**Continuity**“ (**Stetigkeit**) bezeichnet die Anzahl der Kreuzungen pro Kilometer entlang eines Pfades. Je geringer dieser Wert ausfällt, desto kontinuierlicher und flüssiger ist die Bewegung (Scheltema, 2012, Manual S.30). Aufgrund der geringen Komplexität des Indikators kann dieser nur natürliche Zahlen annehmen.

Zur „**Connectivity**“ (**Konnektivität**) gibt es zahlreiche Indikatoren, die im folgenden beschrieben werden und im Unterschied zu „Linearity“ und „Continuity“ nicht einen Pfad, sondern ein Netzwerk bewerten.

Der „**Beta-Index**“ (β) oder auch „**Link/Node Ratio**“ beschreibt den Quotienten aus der Anzahl von Kanten und Knoten, die Formel ist folgend gezeigt:

$$\beta = \frac{e}{v} \quad (1)$$

e beschreibt die Anzahl der Kanten, v die Anzahl der Knoten im Netzwerk. Kanten sind dabei Straßenelemente, die von Knoten begrenzt werden. Knoten können Straßenkreuzungen oder Enden von Sackgassen darstellen (Rodrigue et al., 2013, S.314; Berrigan et al., 2010, S.3).

Der „**Alpha-Index**“ (α) gibt die Anzahl der Zyklen in einem Graphen im Vergleich mit der maximal möglichen Anzahl an Zyklen an. Ein Zyklus ist dabei definiert als durch

Knoten verbundene Kanten, die eine geschlossene Form darstellen und nicht in mehrere Zyklen unterteilt werden können. Der Alpha-Index wird laut Formel 2 berechnet.

$$\alpha = \frac{u}{2v - 5} \quad (2)$$

mit

$$u = (e - v + p). \quad (3)$$

Dabei steht e für die Anzahl der Kanten, v für die Anzahl an Knoten und p für die Anzahl der Subgraphen des Netzes. Je höher der Alpha-Index ist, desto höher ist die Konnektivität, wobei der Wert zwischen 0 und 1 variiert (Rodrigue et al., 2013, S.313ff.).

Der „**Gamma-Index**“ (γ) stellt die Verbindung zwischen der Anzahl an Links und der Anzahl an möglichen Links dar. γ ist dabei definiert als

$$\gamma = \frac{e}{3(v - 2)}, \quad (4)$$

wobei e wieder die Anzahl der Kanten und v die Anzahl der Knoten im Netzwerk beschreibt. Auch dieser Indikator variiert von 0 bis 1, wobei $\gamma = 1$ ein komplett verbundenes Netzwerk beschreiben würde, was in der Realität extrem unwahrscheinlich ist (Rodrigue et al., 2013, S.316).

Die Indikatoren α , β und γ verwenden die gleichen Variablen als Input und dienen als Maß für die Konnektivität, was auf eine inhärente Ähnlichkeit zwischen den Indikatoren hinweist.

Die „**Intersection Density**“ (**Kreuzungsdichte**) gibt die Anzahl der Knoten pro Fläche an, an denen sich 3 oder mehr Straßen kreuzen. Je höher diese Kreuzungsdichte ist, desto höher ist die Konnektivität (Berrigan et al., 2010, S.3). Im Unterschied zu dem Wert v in α , β und γ werden hier die Enden von Sackgassen nicht mitgezählt.

Wird die gesamte Netzwerklänge (die Summe der Kantenlängen) innerhalb einer gegebenen Fläche durch diese Fläche geteilt, so erhält man die „**Street Network Density**“ (**Straßennetzdichte**). Je mehr Straßenkilometer innerhalb der Fläche liegen, desto höher ist dieser Indikator und desto höher ist auch die Konnektivität (Berrigan et al., 2010, S.3; Rodrigue et al., 2013, S.314).

Der „**Connected Node Ratio**“ beschreibt den Anteil der Knoten, die eine Kreuzung darstellen. Genauer wird die Anzahl jener Knoten, die mindestens an 3 Kanten anschließen, dividiert durch die Anzahl aller Knoten. Das Ergebnis kann von 0 bis 1 variieren, wobei ein Netzwerk, bei dem jeder Knoten eine Kreuzung ist, den Wert 1 annimmt. Ein höherer Wert bedeutet eine höhere Konnektivität (Berrigan et al., 2010, S.3). Dieser Indikator ist ähnlich zur Kreuzungsdichte, nur ist der Divisor hier die Anzahl aller Knoten.

Die „**Block Density**“ (**Blockdichte**) gibt die Anzahl der Gebäudeblöcke pro Flächeneinheit an. Ein Gebäudeblock ist hierbei umgeben von Straßen und nicht in kleinere Blöcke unterteilbar. Liegt ein Gebäudeblock teilweise innerhalb der zugrundeliegenden Fläche, so wird der Prozentsatz des Blocks, der innerhalb der betrachteten Fläche liegt, dazugezählt (Berrigan et al., 2010, S.3).

Für die „**Average Block Length**“ oder „**Eta-Index (η)**“ und die „**Median Block Length**“ wird der Durchschnitt bzw. der Median der Länge aller Links (Kanten) berechnet, die sich vollständig oder teilweise innerhalb der betrachteten Fläche befinden. Die Links werden im Vergleich zur Blockdichte nicht am Rand der Fläche geschnitten, da ansonsten ein verzerrtes Ergebnis resultieren würde (Berrigan et al., 2010, S.3; Rodrigue et al., 2013, S.314).

Der „**Relative Cost**“-Indikator laut Rodrigue et al. (2013) bewertet die Effizienz eines Netzwerkes. Dabei wird zuerst der Parameter „**Cost**“ laut Formel 5 definiert.

$$Cost = \sum_{i,j} a_{ij} l_{ij} \quad (5)$$

mit der Länge l_{ij} eines Links zwischen den Knoten i und j sowie der Gewichtsfunktion

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, \text{ Link existiert nicht} \\ 1, \text{ Link existiert} \end{cases}, \quad (6)$$

welche die Existenz dieses Links beschreibt. $Cost$ enthält somit die Gesamtlänge des Netzwerkes. Die „relative Cost“-Funktion ist dann definiert als

$$Cost_{rel} = \frac{Cost - Cost^{MST}}{Cost^{GT} - Cost^{MST}}. \quad (7)$$

$Cost^{MST}$ beschreibt die $Cost$ -Funktion des Netzwerkes mit denselben Knoten, aber der geringstmöglichen Gesamtlänge des Netzwerkes, in welchem trotzdem alle Knoten miteinander verbunden sind. MST steht hier für „Minimum Spanning Tree“. $Cost^{GT}$ sind die Kosten eines maximal verbundenen planaren Graphen, in dem, analog zu $Cost^{MST}$ die Knoten unverändert bleiben. Aus Formel 7 resultiert ein Wert zwischen 0 und 1, wobei effizientere Netzwerke hohe Werte nahe 1 erreichen (Rodrigue et al., 2013, S.313).

2.1.2 Indikatoren zum Fußverkehrsnetz

Neben rein geometrischen Eigenschaften des Straßennetzes spielen auch subjektive Einflüsse auf Menschen eine Rolle bei der Verkehrsmittelwahl. „Wenn wir daher Verkehrssysteme für den Menschen planen, sind wir gezwungen, die Empfindungen des Menschen in diesem Verkehrssystem zu berücksichtigen“ (Knoflacher, 1987, S.63). Daher werden in diesem und folgendem Abschnitt auch Indikatoren miteinbezogen, welche die Empfindungen von

Menschen widerspiegeln. Da diese subjektiven Parameter als vom benutzten Verkehrsträger unabhängig angenommen werden, werden diese erst ab diesem Abschnitt inkludiert.

Brouwer (2010) führt 4 übergeordnete Kriterien ein, die das Zufußgehen bzw. die Walkability am Weg zum Bahnhof beeinflussen. Diese übergeordneten Kriterien enthalten jeweils mehrere Kennzahlen, die in Tabelle 1 aufgeführt werden. Sämtliche Indikatoren werden auf eine Skala von 0 bzw. 1 bis 5 Punkten normiert, damit die vier Kategorien quantitativ miteinander verglichen werden können. Einige dieser Kennzahlen beziehen sich auf die gebaute Infrastruktur oder auf Zusammenhänge, deren Ursprünge in dieser liegen. Der Vollständigkeit halber werden in Tabelle 1 auch jene Indikatoren aufgelistet, die nicht die gebaute Infrastruktur bewerten und hier kursiv hervorgehoben sind (Brouwer, 2010, S.219ff.).

übergeordnetes Kriterium	Indikator	Methodik
Lebendigkeit	Mischnutzung	Zählen der Funktionen pro charakteristischem Profil (CP). Je mehr unterschiedliche Funktionen pro Profil vertreten sind, desto höher ist die Punktzahl.
	Nutzung während des Tages	Volle Punktzahl bei Vorhandensein von Funktionen, die über den Tag verteilt aktiv sind (Wohnungen + Büros/Geschäfte + Restaurants + Bars), geringste Punktzahl bei nur Bar, nur Büro/Geschäft oder nur Restaurants. Jeweils bezogen auf einen CP.
	Beobachten und beobachtet werden	Pro CP wird das Vorhandensein von Terrassen mit 2 Punkten und das Vorhandensein von Bänken, Geschäften oder Funktionen, die außerhalb von Bürozeiten geöffnet haben jeweils mit einem Punkt bewertet.
menschlicher Maßstab	Permeabilität	Die Länge von Gebäudeblöcken wird gemessen und bewertet. 5 Punkte gibt es für Längen kleiner als 40 m, 1 Punkt für Längen größer als 130 m.
	Feinkörnigkeit	Aus der Anzahl der Gebäude pro Gebäudeblock wird die durchschnittliche Gebäudebreite errechnet und bewertet. Eine Breite kleiner als 10 m resultiert in 5 Punkten, bei mehr als 40 m durchschnittlicher Breite wird nur 1 Punkt vergeben.
	Begehbarkeit	Die Distanz zwischen Bahnhof und Stadtzentrum in Metern ist ausschlaggebend für die Punkteanzahl. Bei unter 150 m werden 5 Punkte vergeben, bei über 500 m Distanz ist es nur mehr 1 Punkt.
Lesbarkeit des Raumes	Orientierung	Eines von 7 Szenarien, die skizziert sind, muss ausgewählt werden. Bewertet werden die Situationen anhand der Intuitivität der Straßenanordnung mit 1, 3 oder 5 Punkten.
	Linearität des Weges	Je nach Anzahl der notwendigen Abbiegungen gibt es 5 Punkte für 0 Richtungswechsel an Kreuzungen, 3 Punkte für eine, 1 Punkt für 2 und 0 Punkte für mehr als 2 Abbiegungen.
	<i>Klarheit von Karten und Beschilderung</i>	Subjektive Bewertung, wie klar verständlich vorhandene Karten und Schilder sind. Jeweils werden 1-3 Punkte für nicht vorhanden (1), unklar (2) oder klar (3) vergeben und die Gesamtpunktzahl um einen Punkt verringert, sodass sich erneut eine Skala von 1-5 ergibt.
Sicherheit & Komfort	Vorrang für Fußgänger:innen	Von anfangs 6 Punkten werden für eine zu überquerende Ringstraße 2 Punkte abgezogen, für jede unklare Platzsituation am Weg und jede Straßenquerung, bei der Fußgänger:innen keinen Vorrang haben, wird jeweils 1 Punkt abgezogen. Maximal gibt es 5 Punkte.
	Augen auf der Straße	Die Punkte von „Beobachten und beobachtet werden“ werden als Basis herangezogen. Für Wohnungen innerhalb des CPs wird ein Punkt addiert, wobei maximal 5 Punkte erreicht werden können.
	<i>Instandhaltung</i>	Subjektive Bewertung der Instandhaltung des Weges. Erscheint der Weg sauber und liegt kein Müll herum, gibt das 2 Punkte. Existieren keine Graffiti und sind die Straßen gut instand gehalten, bringt das weitere 2 Punkte ein. Wurden dem Weg gestalterische Elemente wie Kunst oder Grünflächen hinzugefügt, bringt das einen Punkt. Maximal können 5 Punkte erreicht werden.

Tabelle 1: Indikatoren, die den Weg vom Bahnhof ins Stadtzentrum bewerten (Brouwer, 2010, S.219ff.)

In Frank et al. (2005) wird der sogenannte **“Walkability Index“** definiert. Als Kombination der Kreuzungsdichte, der Wohndichte und des Flächennutzungsmixes wird der Walkability Index wie folgt als Term verschiedener z-Indizes definiert.

$$\text{Walkability Index} = 6 \cdot z_{\text{land-use mix}} + z_{\text{net residential density}} + z_{\text{intersection density}} \quad (8)$$

(Frank et al., 2005, S.120).

Der z-Index ist definiert als

$$z = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad (9)$$

mit dem Mittelwert μ , der Standardabweichung σ und dem i-ten Wert x_i , auf den sich μ und σ beziehen. Der z-Index untersucht die Position eines Wertes relativ zum Mittelwert in Einheiten der Standardabweichung. Entspricht x_i dem Mittelwert, so ist $z = 0$. Ist $x_i = \mu + \sigma$, dann folgt $z = 1$ usw. (Newbold et al., 2013, S.77).

Dieser und ähnlich berechnete Indizes weisen eine signifikante positive Korrelation zwischen der **“Walkability“**, also der **“Fußgängerfreundlichkeit“** eines Quartiers und der Wahl des Verkehrsmittels auf (Sallis et al., 2009, S.1287).

Es existieren zahlreiche weitere, zusammengesetzte Indizes, welche die **„Walkability“** mittels mehrerer Variablen bewerten. Auf diese zusammengesetzten Indikatoren soll hier aber nicht weiter eingegangen werden, für mehr Details wird auf entsprechende Literatur verwiesen (Lefebvre-Ropars et al., 2017, S.379).

Der VCÖ zeigt in der Bundeshauptstadt Wien einen positiven Zusammenhang zwischen dem Anteil der Zufußgehenden am Modal Split und dem prozentuellen Anteil jener Flächen, die Fußgänger:innen zur Verfügung stellen, an der gesamten Verkehrsfläche, auf (Heller et al., 2019). Dieser Indikator wird fortan **Flächenanteil an gesamter Verkehrsfläche** genannt. Eine Visualisierung dazu ist in Abbildung 5 gezeigt.

Ein relevanter Faktor für die Wahl, zu Fuß zum Bahnhof zu gehen, ist nicht zuletzt die **zurückzulegende Distanz**. Die Akzeptanz der Fußwegdistanz verhält sich wie eine negative Exponentialfunktion, wenn die Akzeptanz als Funktion der Distanz aufgetragen wird (Knoflacher, 2017, S.46f.).

Sind Zugangswege zum Öffentlichen Verkehr für den Fußverkehr attraktiv gestaltet, so erhöht sich die Distanz, die Personen bereit sind zu gehen, um mehr als 70 %. Dafür darf ein Weg keine Behinderungen, Gefahren, Lärm oder Abgase des Autoverkehrs aufweisen (Knoflacher, 2017, S.46).

„Die subjektive Belastung eines 200m langen Fußweges im heutigen Sinn entspricht in einem vom Autoverkehr unbehinderten Bewegungsraum einem 350m langen Fußweg, wobei durch gute Gestaltung der Zugangswege und des Umfeldes dieser Wert noch vergrößert werden kann[...]“ (Knoflacher, 1987, S.76). Da die Fläche quadratisch mit dem Radius



Abbildung 5: Gegenüberstellung der Fläche von Fußwegen, Fußgängerzonen und Fahrbahnteilern mit dem Fußwegeanteil am Modal Split (Heller et al., 2019)

skalliert, wird das Einzugsgebiet eines Bahnhofs durch eine fußgänger:innenfreundliche Gestaltung auf das Dreifache vergrößert.

2.1.3 Indikatoren zum Radverkehrsnetz

Die zur Verfügung stehende **Verkehrsinfrastruktur, die Radfahrenden vorbehalten ist**, korreliert in Buehler et al. (2012) mit dem Anteil der Radfahrenden. Sowohl die Erhöhung der Länge an baulich getrennter, als auch im Mischverkehr verlaufender, für Radfahrer:innen reservierter Infrastruktur pro 10.000 Einwohner:innen erhöht dort den Anteil der Radfahrenden (Buehler et al., 2012, S.422).

Für Radfahrer:innen sehr bedeutend ist außerdem die „**Hilliness**“ (**Hügeligkeit**) des Netzwerkes. Eine 10 % höhere Hügeligkeit korreliert bei Parkin et al. (2008) mit circa 9 % weniger Radfahrenden (Parkin et al., 2008, S.103).

Nach Osama et al. (2016) beschreibt die **Netzabdeckung eines Radwegenetzes** den Anteil der Straßen, die Radinfrastruktur aufweisen und variiert daher von 0 bis 1. Der Zusammenhang ist in Formel 10 wiedergegeben (Osama et al., 2016, S.31).

$$\text{Netzabdeckung}_{\text{Rad}} = \frac{e_{\text{Rad}}}{e_{\text{Straße}}} \quad (10)$$

e_{Rad} gibt hier die Anzahl der Kanten mit Radinfrastruktur an, während $e_{\text{Straße}}$ die Anzahl der Straßen-Kanten im betrachteten Netzwerk beschreibt. Die Anzahl der Links kann in manchen Fällen nicht aussagekräftig sein, da die Länge der Links nicht berücksichtigt wird. Alternativ kann daher die Netzabdeckung auch längenbasiert definiert werden:

$$\text{Netzabdeckung}'_{\text{Rad}} = \frac{\text{len}_{\text{Rad}}}{\text{len}_{\text{Straße}}} \quad (11)$$

len_i gibt dabei die Summe der Längen aller betrachteten Kanten an. Dieser Indikator wurde vom Autor aus dem Indikator in Formel 10 abgeleitet.

Laut (Handy et al., 2011) hat die **Länge an Fahrradwegen pro Einwohner** einen Einfluss auf das Pendeln per Fahrrad. Genauso soll die Anzahl von getrennter Fahrradverkehrsinfrastruktur pro Fläche sowie der Anteil an Wegen abseits der Straße eine positive Auswirkung auf das Radfahren haben (Handy et al., 2011, S.94).

2.1.4 Indikatoren zu Radabstellanlagen

Wird das Fahrrad nach der Fahrt zum Bahnhof nicht im Zug mitgenommen, so muss es am Bahnhof verbleiben. Im Vergleich mit Fußgänger:innen benötigen Radfahrende daher zusätzlich zum Verkehrsnetz auch Möglichkeiten, das Fahrrad in Bahnhofsnähe abstellen zu können, weshalb dieser Aspekt in vorliegender Arbeit zusätzlich betrachtet werden soll. Die Wichtigkeit der Existenz von Radabstellanlagen wird auch in der Literatur erwähnt (Handy et al., 2011, S.94).

Ein dafür in Scheltema (2012) angeführter Indikator ist die „**Walking distance**“ (**Gehdistanz**) zwischen Radabstellanlage und nächstem Eingang der Station in Metern. Je geringer dieser Wert ausfällt, desto attraktiver ist die Abstellanlage. Ein möglichst niedriger Wert ist daher anzustreben (Scheltema, 2012, Manual S.42).

Der „**Bicycle parking capacity ratio**“ (**BPR**) gibt an, welcher Anteil der zur Verfügung gestellten Radabstellplätze aktuell unbelegt ist. Der Zusammenhang ist in Formel 12 gegeben (Scheltema, 2012, Manual S.44).

$$BPR = \frac{P_{\text{verfügbar}}}{P_{\text{belegt}}} \quad (12)$$

$P_{\text{verfügbar}}$ gibt dabei die Gesamtanzahl an Radabstellplätzen an, P_{belegt} die Anzahl der Plätze, die aktuell belegt sind. Der BPR wird umso größer, je größer der Überschuss an Radabstellplätzen ist. Ist jeder Platz belegt, so ergibt sich ein Verhältnis von 1. Bei Werten des BPR unter 1 sind Fahrräder an nicht dafür vorgesehenen Plätzen, wie zum Beispiel an Masten, abgestellt, da keine regulären Plätze mehr frei sind (Scheltema, 2012, Manual S.44).

Der Umfang bzw. der Mangel an Radabstellanlagen oder deren Qualität kann die Routen- oder Verkehrsmittel-Wahl von Radfahrenden beeinflussen. Radabstellanlagen stellen einen der wichtigsten Aspekte dar, um Radfahren zu attraktivieren (Castañon et al., 2021, S.9).

2.1.5 Auswirkungen der Urbanität bzw. Bevölkerungsdichte auf das Mobilitätsverhalten

Nicht nur die Quantität und Qualität der baulichen Infrastruktur für die Aktive Mobilität kann das Mobilitätsverhalten beeinflussen. So korreliert eine höhere Bevölkerungsdichte mit einem höheren Anteil an Zufußgehenden und Radfahrenden (Saelens et al., 2003, S.84; Parkin et al., 2008, S.103).

Eine Möglichkeit der Klassifizierung der Urbanität und damit implizit auch der Bevölkerungsdichte ist die **Urban-Rural-Typologie** der Statistik Austria. Diese unterteilt die Fläche Österreichs auf Gemeindeebene in 11 verschiedene Typologien von „Urbanes Großzentrum“ bis „Ländlicher Raum, peripher“ (Saul, 2021). Diese Typologie wird in Kapitel 3.1 genauer beschrieben.

Auch der **Nutzungsmix in der Nähe der Wohnung** spielt eine bedeutende Rolle bei der Verkehrsmittelwahl. Eine hohe Durchmischung der Nutzungen führt zu mehr Aktiver Mobilität unter den Bewohner:innen (Saelens et al., 2003, S.84).

2.2 Indikatoren zum Öffentlichen Verkehr

Die Bewertung des Öffentlichen Verkehrs eines Bahnhofes ist komplex, da eine oder mehrere Linien in eine oder mehrere Richtungen in unterschiedlichen Intervallen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten abfahren können. Nichtsdestotrotz werden im Folgenden Indikatoren vorgestellt, die versuchen, diese komplexen Zusammenhänge zu quantifizieren und zu bewerten.

Ein Parameter, welcher Haltestellen nach deren öffentlicher Anbindung quantifiziert, sind die **Haltestellenkategorien** der ÖV-Güteklassen (ÖROK, 2022). Haltestellen des Öffentlichen Verkehrs werden in 8 Klassen kategorisiert. Diese Metrik wird in Kapitel 3.1.8 detaillierter behandelt.

Zahlreiche Indikatoren bewerten die „**Accessibility**“ (**Zugänglichkeit**) einer Haltestelle (Saghapour et al., 2016, S.274; Domènech et al., 2017, S.2). Dieser wichtige Aspekt bewertet das (Fuß-)Verkehrsnetz rund um die Haltestelle und damit nicht die Qualität des Öffentlichen Verkehrs selbst. Daher werden diese Indikatoren nicht weiter betrachtet.

Mögliche Indikatoren zur Bewertung eines ÖV-Netzes bzw. einer Haltestelle sind die **tägliche Betriebsdauer** sowie das **Intervall der Bedienung** dieser Haltestelle (Joyce, 2009, S.6). Letzterer Wert findet sich auch in den Haltestellenkategorien der ÖROK wieder.

Die „**Average waiting time**“ (**Durchschnittliche Wartezeit**) beschreibt die durchschnittliche Zeit, die zwischen Ankunft an der Haltestelle einer Person und Abfahrt des Fahrzeuges des Öffentlichen Verkehrs vergeht. Abgeschätzt werden kann die Durchschnittliche Wartezeit als das halbe Intervall der Bedienung dieser Haltestelle (Saghapour et al., 2016, S.278).

In Städten korreliert der ÖV-Anteil im Modal Split nach Sučić-Cikič (2019) schwach mit der Anzahl der Haltestellen des Öffentlichen Verkehrs pro Quadratkilometer (Sučić-Cikič, 2019, S.58), was der **flächenbezogenen Haltestellendichte** entspricht. Eine starke Korrelation mit dem Modal Split-Anteil wird beim Indikator „**Haltestellen pro 1.000 Einwohner:innen**“ beobachtet. Je mehr Haltestellen dabei existieren, desto mehr Personen entscheiden sich dafür, den Öffentlichen Verkehr als Verkehrsmittel zu wählen (Sučić-Cikič, 2019, S.60ff.).

2.3 Auswahl an Indikatoren, die betrachtet werden

In diesem Abschnitt sollen einige oben vorgestellte Indikatoren ausgewählt werden, die in den folgenden Kapiteln als Bewertungsparameter herangezogen werden. Für jeden Indikator wird die Begründung für dessen Auswahl beschrieben sowie die dafür notwendigen Daten erläutert. Eine detaillierte Beschreibung der Methodik findet sich in Kapitel 3.2.

2.3.1 Indikatoren zum Fußverkehrsnetz

Um das Fußverkehrsnetz zu bewerten, soll in dieser Arbeit der Umwegfaktor berechnet werden. Dieser Indikator ist ein interessanter Zusammenhang, der mithilfe der verfügbaren Daten gut evaluierbar ist. Zusätzlich wird die Konnektivität anhand der Indizes α , β und γ evaluiert. Die Konnektivität ist bei Vorhandensein eines routingfähigen Netzes leicht berechnet. Abschließend soll der Flächenanteil an gesamter Verkehrsfläche als Parameter der Qualität herangezogen werden, um nicht nur die Existenz von Verbindungen, sondern auch deren Platzverhältnisse für den Fußverkehr zu berücksichtigen. Für die ersten 4 Indikatoren wird das für Fußgänger:innen zugängliche Verkehrsnetz als routingfähiger Graph benötigt. Um den qualitativen Indikator berechnen zu können, ist die Breite von Gehsteigen und anderer Infrastruktur für den Fußverkehr sowie die Gesamtbreiten der Straßen notwendig. Die erforderliche Länge der Elemente kann über die Geometrie in QGIS extrahiert werden, die durchschnittlichen Breiten sind im Datensatz bereits enthalten.

2.3.2 Indikatoren zum Radverkehrsnetz

Für das Radverkehrsnetz werden ebenso Umwegfaktor, α , β und γ mit derselben Begründung wie beim Fußverkehrsnetz berechnet. Als Parameter der Qualität wird die *Netzabdeckung'*_{Rad} herangezogen. Auch hier ist es analog zum Fußverkehrsnetz notwendig, das für Radfahrende befahrbare Netz als routingfähigen Graphen vorliegen zu haben. Für den Indikator der Qualität sind zusätzliche Informationen zur vorhandenen Radverkehrsinfrastruktur der Kanten des Verkehrsnetzes erforderlich.

Wie weiter oben beschrieben, sind Radabstellanlagen für einen attraktiven Zugangsweg zum Bahnhof per Fahrrad von hoher Bedeutung. Da die bloße Existenz von Abstellanlagen

unabhängig von der Bebauung im Umfeld nicht sinnvoll erscheint, soll die Anzahl der Stellplätze in Gehdistanz um die Ausgänge betrachtet und mit der Bevölkerung im Umkreis gewichtet werden. Der Indikator, der letztendlich berechnet werden soll, ergibt sich aus der Anzahl an Radabstellplätzen pro 1.000 Einwohner:innen im Einzugsgebiet, welches innerhalb von 15 Minuten mit dem Fahrrad vom Bahnhof aus erreichbar ist.

2.3.3 Indikatoren zum ÖV-Netz

Der Öffentliche Verkehr wird anhand der Haltestellenkategorie der ÖROK bewertet, da diese ein viel verwendetes und einfach zu verarbeitendes Maß darstellt. Zusätzlich wird die Anzahl der Haltestellen pro Quadratkilometer betrachtet. Die Anzahl der Haltestellen pro 1.000 Einwohner:innen korreliert laut Literatur zwar stärker mit dem ÖV-Anteil im Modal Split, jedoch ist es dem Autor nicht möglich, scharf aufgelöste Bevölkerungsdaten zu erlangen, weshalb stattdessen die Anzahl der Haltestellen pro Quadratkilometer herangezogen wird. Dafür wird ein Datensatz über alle (Bahn-)Haltestellen mitsamt Haltestellenkategorien von allen betrachteten Bahnhöfen benötigt.

2.3.4 Sonstige betrachtete Parameter

Unterschiede zwischen Bundesländern sowie der Urban-Rural-Typologie sollen darüber hinaus die regionale Verteilung bzw. die Rolle der gebauten Infrastruktur beschreiben. Für diese Betrachtungen werden ebendiese Daten, also jeweils ein Layer mit georeferenzierten Bundesländern sowie der Urban-Rural-Typologie, benötigt.

2.3.5 Zusammenfassung aller Indikatoren

In folgender Tabelle werden sämtliche vorgestellte Indikatoren übersichtlich aufgelistet und die für die weitere Betrachtung gewählten Indikatoren hervorgehoben.

Indikatorname	Quelle	erforderliche Datengrundlagen	weiter betrachtet
Linearität	Scheltema (2012, Manual S.28) und Knoflacher (1987, S.76)	Straßengraph	Ja
Umweg-Index	Rodrigue et al. (2013, S.313)	Straßengraph	Nein
Stetigkeit	Scheltema (2012, Manual S.30)	Straßengraph	Nein
Beta-Index	Rodrigue et al. (2013, S.314) und Berrigan et al. (2010, S.3)	Straßengraph	Ja
Alpha-Index	Rodrigue et al. (2013, S.313ff.)	Straßengraph	Ja
Gamma-Index	Rodrigue et al. (2013, S.316)	Straßengraph	Ja

Tabelle 2: Zusammenfassung aller vorgestellten Indikatoren

Indikatorname	Quelle	erforderliche Datengrundlagen	weiter betrachtet
Kreuzungsdichte	Berrigan et al. (2010, S.3)	Straßengraph	Nein
Straßennetzdichte	Berrigan et al. (2010, S.3) und Rodrigue et al. (2013, S.314)	Straßengraph	Nein
Connected Node Ratio	Berrigan et al. (2010, S.3)	Straßengraph	Nein
Blockdichte	Berrigan et al. (2010, S.3)	Straßengraph	Nein
Average Block Length	Berrigan et al. (2010, S.3) und Rodrigue et al. (2013, S.314)	Straßengraph	Nein
Median Block Length	Berrigan et al. (2010, S.3) und Rodrigue et al. (2013, S.314)	Straßengraph	Nein
Relative Cost	Rodrigue et al. (2013, S.313)	Straßengraph	Nein
Mischnutzung	Brouwer (2010, S.219ff.)	Beobachtungen vor Ort	Nein
Nutzung während des Tages	Brouwer (2010, S.219ff.)	Beobachtungen vor Ort	Nein
Beobachten und beobachtet werden	Brouwer (2010, S.219ff.)	Beobachtungen vor Ort	Nein
Permeabilität	Brouwer (2010, S.219ff.)	Straßengraph	Nein
Feinkörnigkeit	Brouwer (2010, S.219ff.)	Beobachtungen vor Ort	Nein
Begehbarkeit	Brouwer (2010, S.219ff.)	Straßengraph	Nein
Orientierung	Brouwer (2010, S.219ff.)	Beobachtungen vor Ort	Nein
Linearität des Weges	Brouwer (2010, S.219ff.)	Straßengraph	Nein
Klarheit von Karten und Beschilderung	Brouwer (2010, S.219ff.)	Beobachtungen vor Ort	Nein
Vorrang für Fußgänger:innen	Brouwer (2010, S.219ff.)	Straßengraph, Beobachtungen vor Ort	Nein
Augen auf der Straße	Brouwer (2010, S.219ff.)	Beobachtungen vor Ort	Nein
Instandhaltung	Brouwer (2010, S.219ff.)	Beobachtungen vor Ort	Nein
Walkability Index	Frank et al. (2005, S.120)	Grundkarte, Bevölkerungsdichte, Landnutzungsdaten	Nein
Flächenanteil an gesamter Verkehrsfläche	Heller et al. (2019)	Straßengraph mit Nutzungstreifen	Ja
Verkehrsinfrastruktur, die Radfahrenden vorbehalten ist	Buehler et al. (2012, S.422)	Straßengraph mit Nutzungstreifen	Nein
Hügeligkeit	Parkin et al. (2008, S.103)	Straßengraph, Topographische Karte	Nein
Netzabdeckung eines Radwegenetzes	Osama et al. (2016, S.31)	Straßengraph mit Nutzungstreifen	Ja
Länge an Fahrradwegen pro Einwohner	Handy et al. (2011, S.94)	Straßengraph mit Nutzungstreifen	Nein

Tabelle 2: Fortsetzung: Zusammenfassung aller vorgestellten Indikatoren

Indikatorname	Quelle	erforderliche Datengrundlagen	weiter betrachtet
Gehdistanz	Scheltema (2012, Manual S.42)	Straßengraph, Radabstellanlagen (georeferenziert), Eingänge von Bahnhöfen (georeferenziert)	Nein
Bicycle parking capacity ratio	Scheltema (2012, Manual S.44)	Anzahl der Radabstellplätze, Beobachtungen vor Ort	Nein
Bevölkerungsdichte	Saelens et al. (2003, S.84) und Parkin et al. (2008, S.103)	Bevölkerungsdichte	Ja
Urban-Rural-Typologie	Saul (2021)	Urban-Rural-Typologie	Ja
Nutzungsmix in der Nähe der Wohnung	Saelens et al. (2003, S.84)	Beobachtungen vor Ort	Nein
Haltestellenkategorien	ÖROK (2022)	Haltestellenkategorien	Ja
Tägliche Betriebsdauer	Joyce (2009, S.6)	Fahrpläne	Nein
Intervall der Bedienung	Joyce (2009, S.6)	Fahrpläne	Nein
Durchschnittliche Wartezeit	Saghapour et al. (2016, S.278)	Fahrpläne	Nein
Flächenbezogene Haltestellendichte	Sučić-Cikič (2019, S.58)	Haltestellen (georeferenziert)	Ja
Haltestellen pro 1.000 Einwohner:innen	Sučić-Cikič (2019, S.60ff.)	Haltestellen (georeferenziert), Bevölkerungsdichte	Nein

Tabelle 2: Fortsetzung: Zusammenfassung aller vorgestellten Indikatoren

3 Materialien & Methoden

In diesem Abschnitt werden die verwendeten Datengrundlagen vorgestellt und charakterisiert sowie die Vorgehensweise bei der Datenakquise, -verarbeitung, -visualisierung und -interpretation dargestellt. Gegliedert ist dieser Teil in das Kapitel 3.1 Datengrundlagen, in dem die verwendeten Daten und Materialien vorgestellt werden, und das Kapitel 3.2 Methodik, welches die Vorgangsweise beschreibt, mit der die Ergebnisse produziert werden.

3.1 Datengrundlagen

In diesem Unterkapitel wird unter anderem der VCÖ Bahntest beschrieben, bereinigt und analysiert. Es wird eine Korrelationsmatrix gezeigt, um Zusammenhänge innerhalb dieses Datensatzes zu beschreiben. Da diese Korrelationen und Analysen jedoch nichts zur Forschungsfrage beitragen, sondern allein dem besseren Verständnis des Datensatzes dienen, finden sich Methodik, Ergebnisse und Diskussion dieser Korrelationsanalyse allesamt in diesem Unterkapitel.

3.1.1 VCÖ-Bahntest

Von April bis Juni 2023 wurden rund 9.650 Bahn-Fahrgäste in Österreich vom Verkehrsclub Österreich (VCÖ) zu verschiedenen Themen rund um ihre Bahnfahrt befragt. Diese Befragung wurde in Zügen von zehn verschiedenen Bahnunternehmen durchgeführt (Schwendinger, 2023, S.1).

Der Verkehrsclub Österreich (VCÖ) hat freundlicherweise die Daten des Bahntests 2023 zur Verfügung gestellt, mit denen in Folge gearbeitet wird.

Die vom VCÖ zur Verfügung gestellten Daten umfassen pro Eintrag 37 Attribute, die im Folgenden kurz aufgelistet werden.

S01 kennzeichnet das Geschlecht der Person, numerisch codiert laut Tabelle 3.

Geschlecht	Codierung
männlich	1
weiblich	2
divers	3
keine Angabe	99

Tabelle 3: Codierung S01 (VCÖ, 2023a)

S02.Jahre gibt numerisch das Alter der Person in Jahren an.

S03.cod beinhaltet die Postleitzahl des Wohnortes der Person, sofern sich diese innerhalb Österreichs befindet.

S04.cod codiert den Staat der ausfüllenden Person numerisch. 1 steht für Österreich, 99 für keine Angabe. Die restlichen Codierungen sind anhand einer Lookup-Tabelle decodierbar.

S04.B codiert das Wohnort-Bundesland der Person von 1 bis 9 laut Tabelle 4.

Codierung	Bundesland
1	Wien
2	Niederösterreich
3	Oberösterreich
4	Salzburg
5	Tirol
6	Vorarlberg
7	Burgenland
8	Steiermark
9	Kärnten
99	keine Angabe

Tabelle 4: Codierung S04.B (VCÖ, 2023a)

S07 ist unterteilt in S07.01 bis S07.11 sowie S07.99 mit der Fragestellung „Was trifft auf Sie zu?“. Mögliche Antwortmöglichkeiten sind in Tabelle 5 angeführt, Mehrfachauswahl ist möglich. Die Antworten sind codiert mit „0“ und „1“, wobei „0“ bedeutet, dass die Antwortmöglichkeit nicht genannt wurde und „1“ bedeutet, dass diese Option genannt wurde.

Feldcode	Antworttext
S07.01	Mein Haushalt besitzt keinen Pkw.
S07.02	Mein Haushalt besitzt einen Pkw.
S07.03	Mein Haushalt besitzt mehrere Pkw.
S07.04	Ich habe einen Pkw-Führerschein.
S07.05	Ich lenke mehrmals in der Woche selbst ein Auto.
S07.06	Ich habe ein Klimaticket Österreich.
S07.07	Ich habe ein Klimaticket Bundesland.
S07.08	Ich habe eine andere Zeitkarte für den Öffentlichen Verkehr.
S07.09	Ich nutze die Kombination Fahrrad und Bahn.
S07.10	Ich bin bei einem Carsharing-Angebot registriert.
S07.11	Ich nutze Sharing-Angebote für Fahrrad, E-Scooter etc.
S07.99	keine Angabe

Tabelle 5: Codierung S07 (VCÖ, 2023a)

f01 ist gegliedert in die Fragestellung „Mit welchem Verkehrsmittel sind Sie heute zum Zug gekommen?“ mit mehreren Antwortmöglichkeiten, wobei nur eine Antwort genannt werden soll (VCÖ, 2023a, S.2).

Feldcode	Antworttext
f01.01	zu Fuß
f01.02	Auto selbstlenkend
f01.03	öffentliches Verkehrsmittel
f01.04	E-Scooter, Roller, Skateboard...
f01.05	Fahrrad
f01.06	Auto mitfahrend, Taxi
f01.07	Carsharing, Mietauto
f01.08	Moped oder Motorrad
f01.99	keine Angabe

Tabelle 6: Codierung f01 (VCÖ, 2023a)

f02 codiert numerisch den Wegzweck der Bahnfahrt laut Tabelle 7.

Codierung	Wegzweck
1	von oder zur Arbeit
2	von oder zur Ausbildung
3	dienstliche bzw. geschäftliche Erledigung
4	private Erledigungen
5	Freizeit, Tagesausflug ohne Übernachtung
6	kurze, private Reise mit Übernachtung
7	längere, private Reise mit Übernachtung
99	keine Angabe

Tabelle 7: Codierung f02 (VCÖ, 2023a)

f04.1 enthält die Antwort auf die Frage „Sind Sie von einem anderen Zug in diesen Zug umgestiegen?“ mit den Antwortmöglichkeiten „1“ für ja, „2“ für nein und „99“ für keine Angabe.

f07 beinhaltet die Anreisezeit zum Bahnhof mit der Frage „Wie lange waren Sie zum Bahnhof unterwegs?“, die laut Tabelle 8 numerisch codiert ist.

Codierung	Dauer
1	unter 15 Minuten
2	15-30 Minuten
3	31-60 Minuten
4	über 60 Minuten
99	keine Angabe

Tabelle 8: Codierung f07 (VCÖ, 2023a)

f10.cod beinhaltet einen numerischen Code, der mittels einer Lookup-Tabelle dem Namen des Bahnhofes zugeordnet werden kann, bei dem die Person in diesen Zug eingestiegen ist.

f11 ist in f11.01 bis f11.04 unterteilt und fragt zu verschiedenen Themen die Zufriedenheit ab, die auf einer Skala von „1 = sehr zufrieden/sehr gut“ bis „5 = gar nicht zufrieden/gar nicht gut“ bewertet werden soll. Keine Angabe ist auch hier mit dem Wert „99“ codiert. Die Themen sind in Tabelle 9 angeführt.

Feldcode	Thema
f11.01	Erreichbarkeit mit dem Öffentlichen Verkehr
f11.02	Erreichbarkeit zu Fuß
f11.03	Erreichbarkeit mit dem Fahrrad
f11.04	Anzahl/Qualität an Fahrradabstellanlagen

Tabelle 9: Codierung f11 (VCÖ, 2023a)

f20.04 behandelt die Frage „Gibt es Wege, die Sie mit der Bahn statt mit dem Auto zurücklegen würden, wenn der Bahnhof besser öffentlich angebunden wäre?“. Die Antwortmöglichkeiten sind unterteilt in „1 = viele“, „2 = manche“, „3 = keine“ und „99 = keine Angabe“.

f20.05 behandelt die Frage „Gibt es Wege, die Sie mit der Bahn statt mit dem Auto zurücklegen würden, wenn der Bahnhof besser per Fahrrad erreichbar wäre?“ und bietet dieselben Antwortmöglichkeiten wie f20.04.

f21.05 hat als zugrundeliegende Frage: „Wie zufrieden sind Sie allgemein mit den Kombinationsmöglichkeiten der Bahn mit anderen Verkehrsmitteln?“, wobei in f21.05 als Detailthema die „Fahrradabstellanlagen an Bahnhöfen“ abgefragt werden. Geantwortet werden kann anhand einer vierstufigen numerischen Skala von „1 = sehr zufrieden“ bis „4 = nicht zufrieden“ bzw. „99 = keine Angabe“.

Datensatzbereinigung

Der Datensatz des VCÖ-Bahntests 2023 umfasst insgesamt 9.651 Einträge. Bei 155 davon wurden bei der Single-Choice-Frage nach dem Verkehrsmittel, welches zur Anreise zum Bahnhof benutzt wurde, mehrere Verkehrsmittel angegeben, bei weiteren 742 gar keines. Bei 746 Einträgen wurde keine Dauer der Anreise zum Bahnhof angegeben und bei 1.620 Einträgen fehlt der Einstiegsbahnhof. Bei 659 Einträgen ist zwar ein Einstiegsbahnhof eingetragen, allerdings liegt dieser entweder im Ausland oder kann keinem österreichischen Bahnhof zugewiesen werden. Daher werden diese Einträge nicht berücksichtigt. In Abbildung 6 sind die Häufigkeiten der fehlerhaften Angaben und deren Überlappungen dargestellt.

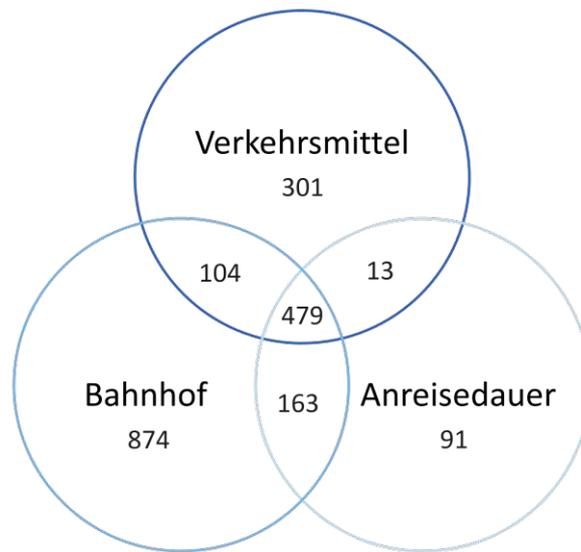


Abbildung 6: Fehlerhafte Angaben in den Fragebögen des VCÖ-Bahntests 2023 der Spalten Anreisedauer, Verkehrsmittel und Abfahrtsbahnhof. (n=2.025, Datengrundlage: VCÖ, 2023a)

Um diejenigen Bahnhöfe auszusortieren, die außerhalb Österreichs liegen, werden die Namen sämtlicher betrachteten Bahnhöfe als CSV-Datei von einem Python-Skript (Python Version 3.12), (Van Rossum et al., 2009) über eine Google-API auf das Land überprüft. Sämtliche Bahnhöfe, die nicht eindeutig als in Österreich liegend klassifiziert wurden, werden manuell auf Google Maps auf deren Lage geprüft. In einem weiteren Schritt werden die Einstiegsbahnhöfe mit einem Datensatz sämtlicher ÖBB-Bahnhöfe (ÖBB-Infrastruktur AG, 2023) abgeglichen und Namen, welche eindeutig einem Bahnhof zuordenbar sind,

entsprechend abgeändert. 56 Bahnhöfe, die nicht im Besitz der ÖBB Infrastruktur AG sind und somit im Datensatz zunächst nicht enthalten sind, werden diesem Datensatz manuell hinzugefügt.

Insgesamt liegt bei 2.652 Einträgen zumindest eines der zuvor besprochenen Probleme vor. Da für die weitere Analyse der Einstiegsbahnhof, das Verkehrsmittel der Anreise und die für die Anreise benötigte Zeit essentiell sind, wird dadurch der effektiv nutzbare Datensatz auf 6.999 Einträge reduziert.

Keine befragte Person, deren Alter unter 15 liegt, hat angegeben, mehrmals in der Woche selbst ein Auto zu lenken oder bei einem Carsharing-Angebot registriert zu sein. Auch hat keine Person, deren Alter unter 17 liegt, angegeben, einen Pkw-Führerschein zu besitzen, weshalb hierfür keine Daten aussortiert werden müssen.

Der gesamte Bereinigungsprozess ist in Abbildung 7 zusammenfassend dargestellt.



Abbildung 7: Vorgangsweise bei der Datensatzbereinigung

Stichprobenbeschreibung

Das geringste angegebene Alter beträgt 11 Jahre, das höchste 94. Leerwerte wurden mit dem Wert für „keine Angabe“ befüllt, der für eine klare Differenzierung zu realen Werten des Alters hier 999 beträgt.

Die Häufigkeiten des angegebenen Geschlechts und Alters sind in Abbildung 8 gezeigt, wobei angemerkt werden muss, dass die Abszisse für den Eintrag „divers“ aus Gründen der Lesbarkeit einen anderen Maßstab aufweist als die der anderen beiden Geschlechter. Einträge, bei denen eine der beiden Variablen (Geschlecht oder Alter) nicht angeführt ist, sind in dieser Abbildung nicht enthalten, werden in weiteren Analysen allerdings trotzdem im Datensatz behalten. 904 Personen haben kein Alter angegeben, bei 21 Personen fehlt das Geschlecht und bei 305 Personen fehlen die Angaben sowohl zum Alter, als auch zum Geschlecht. Aus diesem Grund ergibt sich bei der Bevölkerungspyramide in Abbildung 8 eine um 1.230 Einträge reduzierte Gesamtpersonenanzahl.

Erkennbar ist, dass im Datensatz deutlich mehr Personen weiblichen Geschlechts als Personen männlichen Geschlechts enthalten sind. Ohne jene Personen, die kein Geschlecht angegeben haben, sind etwa 55,3 % weiblich, ca. 43,6 % männlich und ca. 1,0 % divers. Vor allem in den Altersgruppen von 15 bis 30 sowie von 55 bis 65 sind deutliche Überhänge

dieser „Bevölkerungspyramide“ auf der Seite des Geschlechts „weiblich“ zu erkennen. Konkret sind in diesen Altersklassen ca. 58,9 % bzw. 59,8 % der befragten Personen weiblich. Ob dies mit eventuellen geschlechtsspezifischen Verhaltensmustern bzw. der Bereitschaft, solche Daten auf einem Fragebogen zu vermerken, zusammenhängt, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden. Deshalb wird angenommen, dass die vorliegende Alters- und Geschlechterverteilung der Personen, die diese Eigenschaften angegeben haben, jener Verteilung der Gesamtstichprobe des Datensatzes entspricht.

Im direkten Vergleich mit der Bevölkerungspyramide Österreichs aus dem Jahr 2023 in Abbildung 9 ist ersichtlich, dass der im Bahntest vorhandene Überhang von weiblichen Personen in der Gesamtbevölkerung nicht vorhanden ist. Während der Anteil der weiblichen Personen in der Gesamtbevölkerung bei circa 50,7 % liegt, ist dieser in der bereinigten Gesamtstichprobe des VCÖ-Bahntests mit 55,3% deutlich höher. Besonders hoch ist dieser Unterschied in der Altersgruppe „15-30“, innerhalb welcher in der Gesamtbevölkerung rund 48,4 % weiblich sind. Im Datensatz des VCÖ-Bahntests hingegen liegt der Prozentsatz an weiblichen Personen in dieser Altersgruppe bei circa 58,9 %. In der Gesamtbevölkerung sind im oberen Bereich der Bevölkerungspyramide deutlich mehr Personen vertreten als in der Stichprobe des Bahntests. Über mögliche Ursachen dieses Unterschiedes soll hier nicht diskutiert werden.

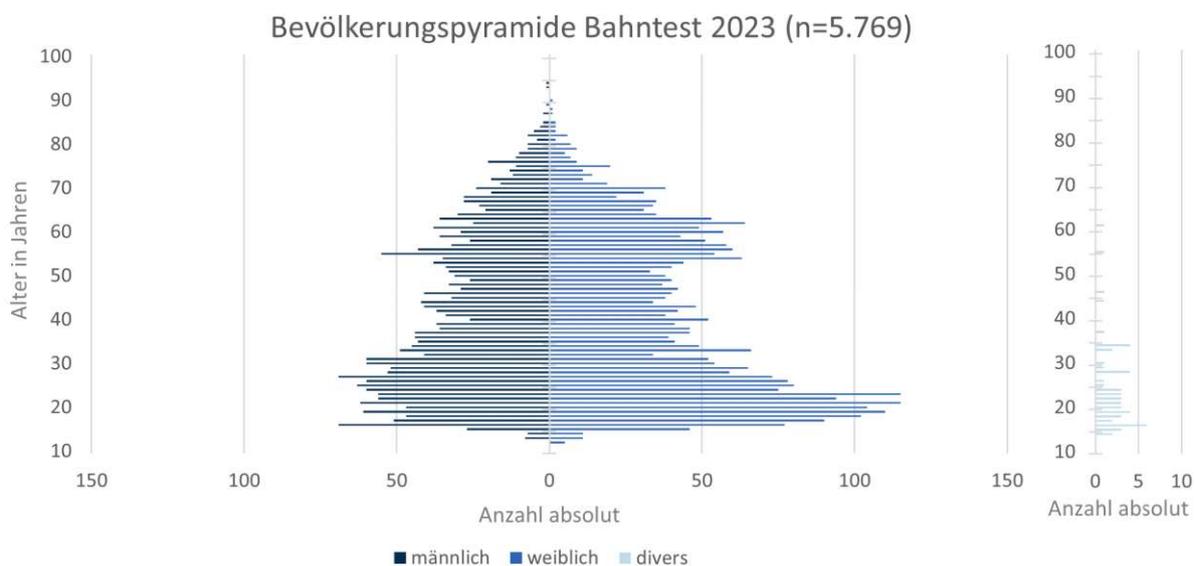


Abbildung 8: Häufigkeiten von Geschlecht und Alter beim VCÖ-Bahntest (Datengrundlage: VCÖ, 2023a)

In der verwendeten Quelle sind keine Angaben zur Anzahl an Personen mit Geschlecht „divers“ zu finden, auf der Website der Statistik Austria allerdings folgende Erklärung: „Aus Datenschutzgründen wird die Häufigkeit der Geschlechtsangaben „divers“, „inter“, „offen“ bzw. „kein Eintrag“ oder „unbekannt“ [...] auf Basis einer Imputationsregel entweder dem weiblichen oder männlichen Geschlecht zugeordnet“ (Statistik Austria, 2024).

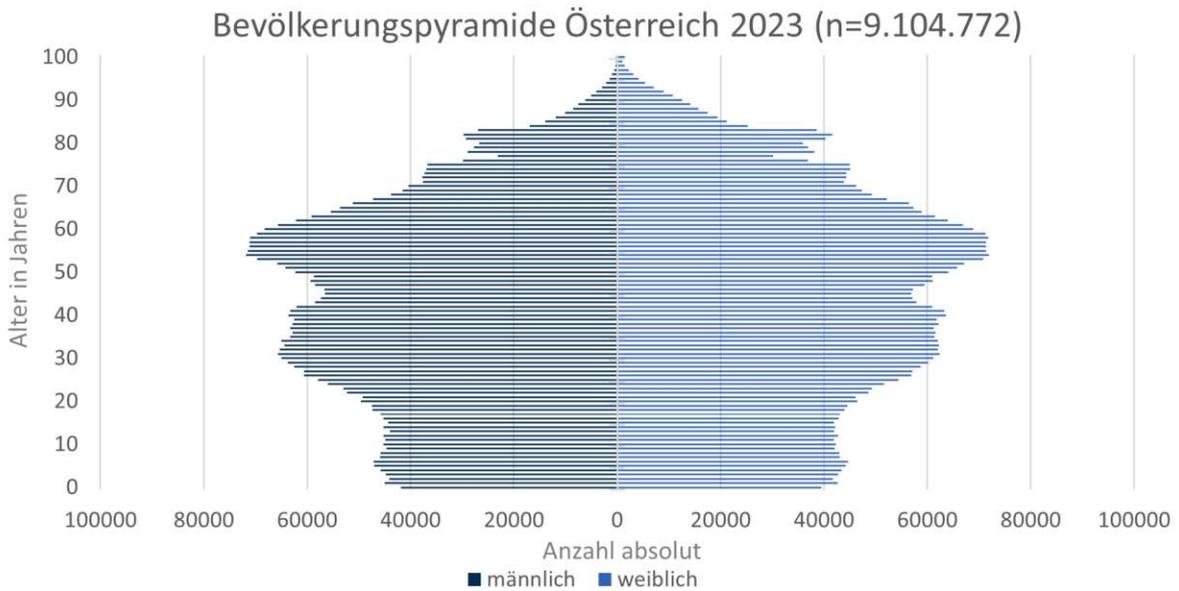


Abbildung 9: Häufigkeiten von Geschlecht und Alter in Österreich, 2023 (Datengrundlage: Statistik Austria, 2024)

Durch das Bereinigen der Daten, wie oben beschrieben, fallen etwa 2.500 Einträge, die zum Modal Split in Abbildung 4 beitragen, weg. Daher ist in Abbildung 10 der Modal Split des bereinigten Datensatzes gezeigt. Der Unterschied ist hierbei jedoch marginal, lediglich ein Prozentpunkt wandert von „Fahrrad“ zu „MIV“.

Modal Split Bahntest 2023 - bereinigt [%] (n=6.999)

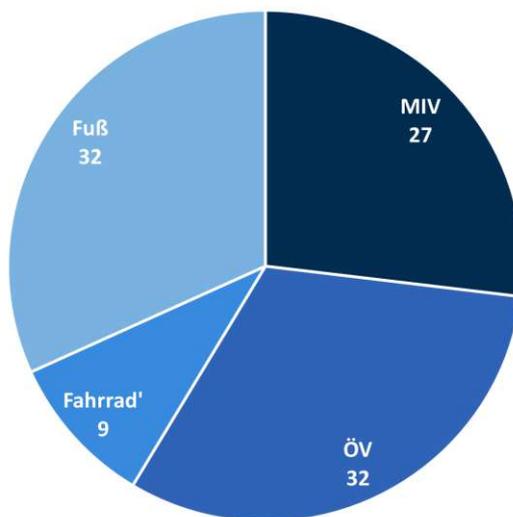


Abbildung 10: Modal Split am Weg zur Bahn beim VCÖ-Bahntest 2023, bereinigt um Einträge, die in Folge nicht weiter betrachtet werden können (Datengrundlage: VCÖ, 2023a)

Im gefilterten Datensatz kommen 480 Bahnhöfe vor, in Abbildung 11 sind deren Häufigkeiten in absteigender Reihenfolge aufgetragen. Es ist erkennbar, dass einige wenige Bahnhöfe einen Großteil der Einträge ausmachen. Die 8 am häufigsten genannten Bahnhöfe machen gemeinsam mehr als die Hälfte der Einträge aus und sind in Tabelle 10 aufgeführt. 156 Bahnhöfe kommen jeweils lediglich in einem einzigen Eintrag als Abfahrtsbahnhof vor.

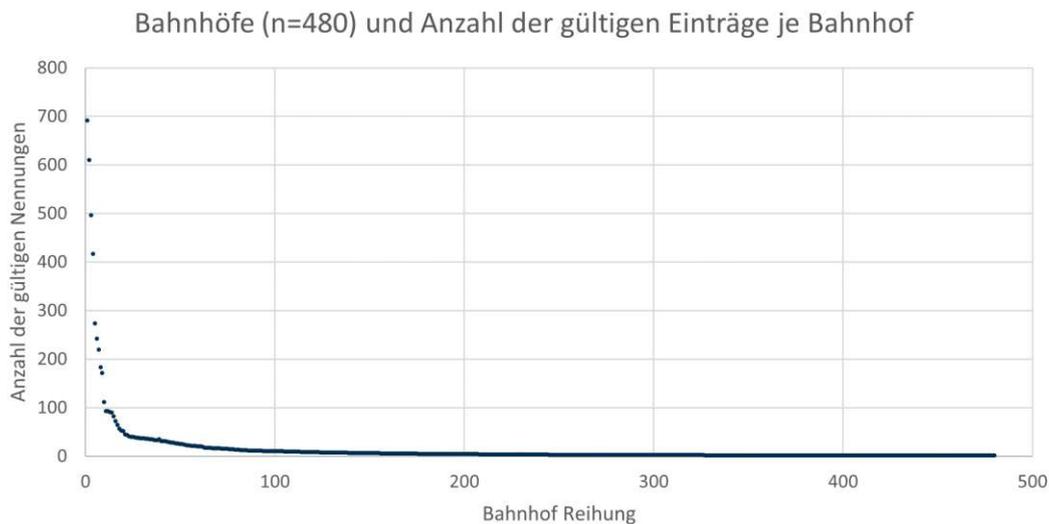


Abbildung 11: Verteilung der Häufigkeiten der angegebenen Bahnhöfe des bereinigten Datensatzes (Datengrundlage: VCÖ, 2023a)

Einstiegsbahnhaltestelle	Häufigkeit der Nennung
Graz Hbf	691
Wien Hbf	610
Salzburg Hbf	496
Innsbruck Hbf	416
Wien Westbahnhof	273
Wien Meidling	242
Linz Hbf	219
Bruck a. d. Mur	183

Tabelle 10: Häufigkeiten der am öftesten genannten Einstiegsbahnhaltestellen im gefilterten Datensatz

Abbildung 12 zeigt die prozentuelle Verteilung der Anreisedauer zum Bahnhof, aufgeteilt nach dem Verkehrsmittel. Neben den Verkehrsmitteln ist jeweils auch die Anzahl der berücksichtigten Einträge in Klammer angegeben. In der Gesamtbetrachtung brauchten rund 51 % der befragten Personen weniger als 15 Minuten zum Bahnhof, nur gut 13 % der Personen waren länger als 30 Minuten unterwegs. Die Verteilung des MIV ist der Gesamtverteilung bis auf wenige Prozentpunkte Unterschied sehr ähnlich. Deutlich unterschiedlich zu den restlichen Verteilungen ist die des Öffentlichen Verkehrs, da das am häufigsten angekreuzte Zeitintervall hier „15-30min“ ist. Personen, die mit dem ÖV zum Bahnhof gekommen sind, waren also deutlich länger unterwegs als der Durchschnitt. Bei „Fahrrad“ und „Fuß“ zeigt sich eine gegenteilige Tendenz hin zu kurzen Wegen. Nur rund 33 % bzw.

35 % der Wege dauerten länger als 15 Minuten, die Häufigkeit der Wege, die über 30 Minuten dauerten, ist mit ca. 8 % auch deutlich geringer als bei der Gesamtbetrachtung.

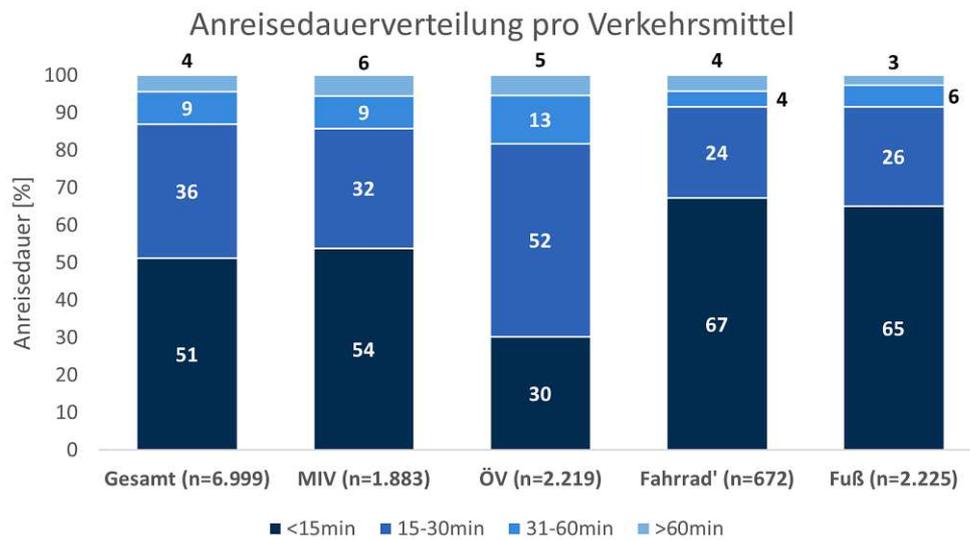


Abbildung 12: Anreisedauerverteilung nach Verkehrsmittel (Datengrundlage: VCÖ, 2023a)

In Abbildung 13 wird die Verteilung der Geschlechter pro gewähltem Verkehrsmittel dargestellt. Ganz rechts ist die Gesamtverteilung der Geschlechter beim VCÖ-Bahntest als Referenz gezeigt. Während sich die Geschlechterverteilung für die Verkehrsmodi „MIV“, „ÖV“ und „Fuß“ nur wenig bis gar nicht von der Gesamtverteilung unterscheidet, ist beim Verkehrsmodus „Fahrrad“ eine deutliche Abweichung zu erkennen.

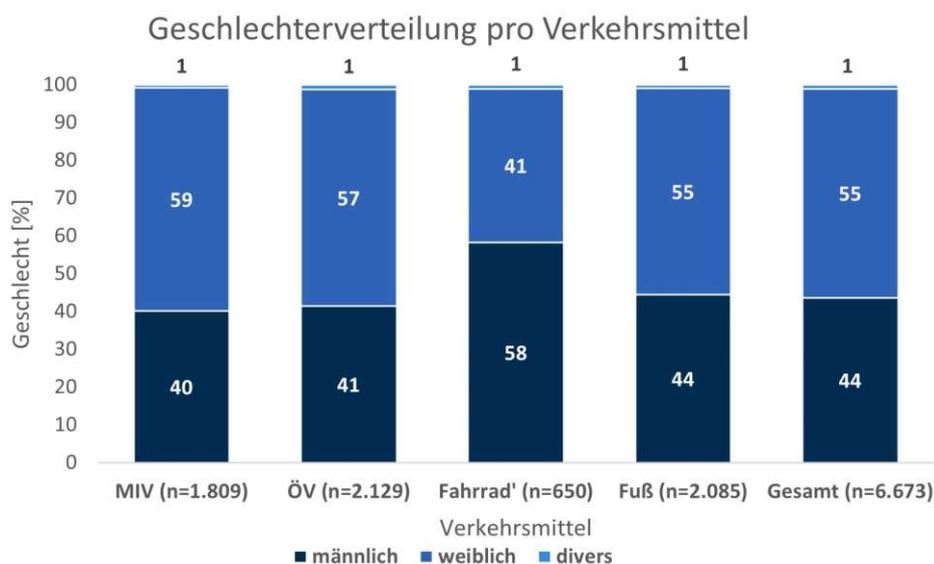


Abbildung 13: Geschlechterverteilung abhängig vom Verkehrsmittel (Datengrundlage: VCÖ, 2023a)

Obwohl in der Gesamtbetrachtung 55 % der befragten Personen „weiblich“ und 44 % der befragten Personen „männlich“ als ihr Geschlecht angaben, gab es in dieser Befragung mit 58 % deutlich mehr männliche radfahrende Personen als weibliche mit nur 41 %. Diese Beobachtung deckt sich mit der Literatur, die beschreibt, dass Frauen seltener das Fahrrad als Verkehrsmittel verwenden als Männer (Garrard et al., 2008, S.55ff.).

In der Altersverteilung pro Verkehrsmittel lässt sich analog zu Abbildung 13 in Abbildung 14 ein Unterschied in der Altersverteilung der Personen zwischen den Verkehrsmitteln erkennen. Überdurchschnittlich viele Personen der Altersklasse „11-20“ bewegen sich zu Fuß zum Bahnhof, während der Öffentliche Verkehr in dieser Altersklasse unterdurchschnittlich oft zur Anreise zur Bahn gewählt wird. Die meisten mit dem ÖV anreisenden Personen waren zum Zeitpunkt der Reise zwischen 21 und 30 Jahre alt, ca. 28 % der befragten Bahnreisenden, die mit diesem Verkehrsmittel zum Bahnhof kamen, können jener Altersklasse zugeordnet werden.

Deutlich unterschiedlich zu den restlichen Verteilungen ist auch hier die Verteilung der Altersklassen der Personen, die mit dem Fahrrad, mit Scootern, E-Scootern oder Skateboards zur Bahn gekommen sind, gekennzeichnet als „Fahrrad“. Die Altersverteilung dieser Untergruppe zeigt ein durchschnittlich höheres Alter. Die Altersgruppen „11-20“ sowie „21-30“ kommen unterdurchschnittlich oft in dieser Untergruppe vor, während die Altersklassen „31-40“, „41-50“ sowie „51-60“ überdurchschnittlich oft vertreten sind.

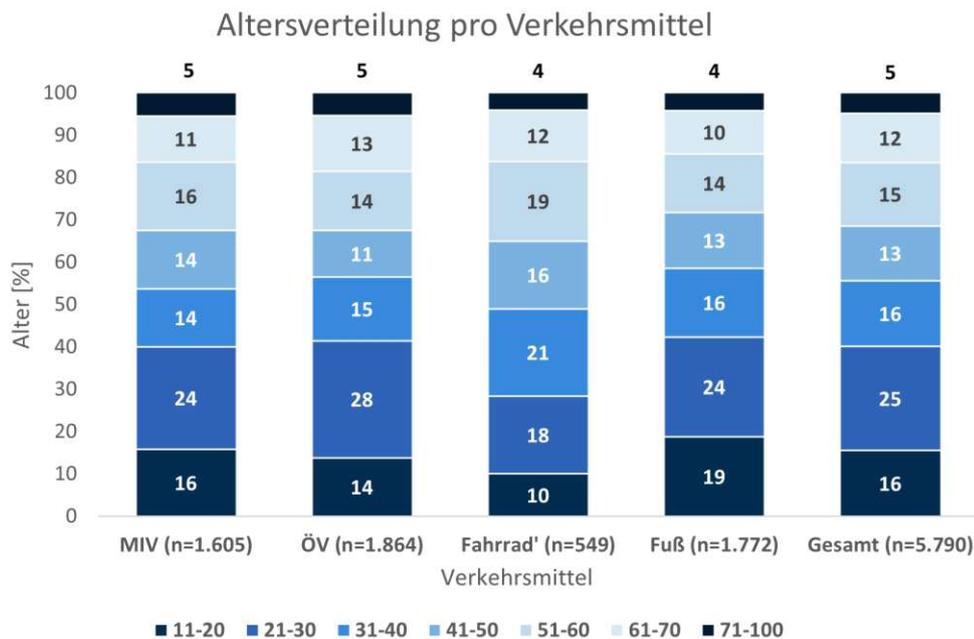


Abbildung 14: Altersverteilung abhängig vom Verkehrsmittel (Datengrundlage: VCÖ, 2023a)

3.1.2 VCÖ-Bahntest – Vorbereiten der Daten für die Korrelationsanalyse

Um den vorliegenden bereinigten Datensatz noch besser zu verstehen, wird aus den Daten mithilfe eines Python-Skripts eine Pearson-Korrelationsanalyse durchgeführt. Der Pearson-Korrelationskoeffizient misst, wie stark die Daten einem linearen Zusammenhang entsprechen (Fahrmeir et al., 2023, S.138). Da die zu erwartenden Korrelationen zumindest näherungsweise linearer Natur sind, wird diese Metrik für die Auswertung gewählt. Diese Analyse kann einfach mithilfe von Modulen in der Programmiersprache Python durchgeführt werden.

Bevor der Python-Code ausgeführt werden kann, müssen die gefilterten Rohdaten so aufgearbeitet werden, dass eine sinnvolle Aussage aus der Korrelationsmatrix extrahiert werden kann. Hierfür werden einige Fragen aus dem Bahntest aufgeteilt, da beispielsweise die Codierung des Parameters S01 (Geschlecht) mit den möglichen Feldern „1“ = männlich, „2“ = weiblich, „3“ = divers und „99“ = k.A. keine Kardinalskala codiert und daher der Pearson-Korrelationskoeffizient keine sinnvollen Ergebnisse liefern könnte. Die Antwortmöglichkeit „weiblich“ ist nicht doppelt so hoch wie „männlich“, sondern lediglich eine willkürliche Codierung. Würde aus diesen Daten ohne weiteres eine Korrelationsmatrix erstellt werden, so könnte man aus den Ergebnissen keine Aussagen treffen, wenn beispielsweise das Geschlecht mit dem Wegezweck „von oder zur Arbeit“ korrelieren würde. Deshalb wird dieser in vier verschiedene Parameter aufgeteilt (S01.m, S01.w, S01.d und S01.k), die jeweils durch eine Formel mit WENN-Abfrage in Microsoft Excel binär mit 0 oder 1 befüllt werden, um das jeweilige Geschlecht kennzuzeichnen. Mithilfe dieser Vorgehensweise kann zum Beispiel die Korrelation zwischen S01.d (Geschlecht divers) und f01.03 (gewähltes Verkehrsmittel Öffentlicher Verkehr) analysiert werden.

Mit anderen Variablen muss ähnlich verfahren werden, weshalb sämtliche vorgenommenen Unterteilungen in Tabelle 11 aufgeführt sind. Ebenso werden einige Variablen aus unterschiedlichen Gründen nicht verwendet, sowie die 3 Aussagen über den Besitz einer Zeitkarte für den Öffentlichen Verkehr im zusätzlichen Punkt S07.08b zusammengefasst. Auch dieses Vorgehen wird in Tabelle 11 detailliert beschrieben. Geographische Informationen werden nicht in die Korrelationsmatrix aufgenommen, da diese Informationen an späterer Stelle in höherem Detailgrad untersucht werden.

Codierung	Verfahren mit dem Unterpunkt	Begründung
f01.99	nicht betrachtet	Diese Einträge wurden in einem vorigen Schritt bereits ausgefiltert
f.02	aufgeteilt	Der Wegzweck ist willkürlich codiert (siehe Kapitel 3.1.1) und beschreibt keine Kardinalskala. Dieser wird binär (1 = ja, 0 = nein) unterteilt in f02.1 bis f02.7 entsprechend der Codierung in Tabelle 7.
f10.cod	nicht betrachtet	Der Einstiegsbahnhof ist in einer willkürlichen Codierung hinterlegt und wird in späteren Kapiteln detailliert betrachtet.
S03.cod	nicht betrachtet	Die Postleitzahl des Wohnortes ist ein Parameter, der geographische Information enthält und keiner Kardinalskala entspricht. Die Lage von Bahnhöfen wird in späteren Kapiteln betrachtet.
S04.cod	nicht betrachtet	Der Staat, dem eine Person angehört, wird in dieser Arbeit nicht untersucht. Darüber hinaus handelt es sich nicht um eine Kardinalskala.
S01	aufgeteilt	Der Parameter des Geschlechts ist willkürlich codiert und wird anhand der Codierung in Tabelle 3 auf Seite 20 in S01.m, S01.w, S01.d und S01.kA (männlich, weiblich, divers, keine Angabe) unterteilt, wobei letzteres in der Korrelationsanalyse nicht betrachtet wird.
S04.B	nicht betrachtet	Das Bundesland des Wohnortes wird aus analogen Gründen zu S03.cod nicht betrachtet.
S07.08b	hinzugefügt	Für manche Zusammenhänge kann es unerheblich sein, welche spezifische Art von Zeitkarte erworben wurde, daher wurde der Frage S07 ein abgeleiteter Parameter hinzugefügt. Dieser wurde durch das Berechnen des Maximums der drei Antwortmöglichkeiten S07.06, S07.07 und S07.08 (siehe Tabelle 5 auf Seite 21) extrahiert. Die drei letztgenannten werden trotzdem auch individuell untersucht.
S07.99	nicht betrachtet	Das Nichtauswählen eines Feldes entspricht einer ungültigen Antwort, da bei jeder in einem Haushalt lebenden Person genau eine Antwort aus S07.01 bis S07.03 zutreffend sein muss.

Tabelle 11: Unterteilung, Hinzufügen und Ausfiltern von Parametern als Vorbereitung für die Korrelationsanalyse

3.1.3 VCÖ-Bahntest – Korrelationsanalyse

Die vereinfachten, als CSV-Datei gespeicherten Rohdaten des Bahntests werden mit folgendem Python-Code auf Korrelation überprüft:

```
import pandas as pd
import numpy as np
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt

data = pd.read_csv("bereinigte_Daten_CSV_für_korrelation.csv", sep=';', decimal=',')
correlationsmatrix = data.corr()

plt.figure(figsize=(35, 35))
ax = sns.heatmap(correlationsmatrix, annot=True, cmap='coolwarm', fmt=".2f", square=True,
                 cbar_kws={'orientation': 'horizontal', 'shrink': 0.8, 'aspect': 50, 'pad': 0.1})

plt.title('Korrelationsmatrix', fontsize=50)
ax.set_xticklabels(ax.get_xticklabels(), fontsize=25, weight='bold', rotation=90)
ax.set_yticklabels(ax.get_yticklabels(), fontsize=25, weight='bold', rotation=0)

cbar = ax.collections[0].colorbar
cbar.ax.tick_params(labelsize=20)
plt.savefig("korrelationsmatrix.png", bbox='tight')
```

Nach den Importen der Python Module „pandas“ (McKinney et al., 2010), „numpy“ (Harris et al., 2020), „seaborn“ (Waskom, 2021) und „matplotlib“ (Hunter, 2007) wird in obigem Code die im Vorkapitel vorbereitete CSV-Datei geladen und eine Korrelationsmatrix erstellt, indem die Korrelation zwischen allen möglichen Datenpaaren berechnet wird. Anschließend werden die Ergebnisse graphisch aufbereitet, einige visuelle Details angepasst und die Matrix als Bild gespeichert. Das Ergebnis ist in Abbildung 15 gezeigt.

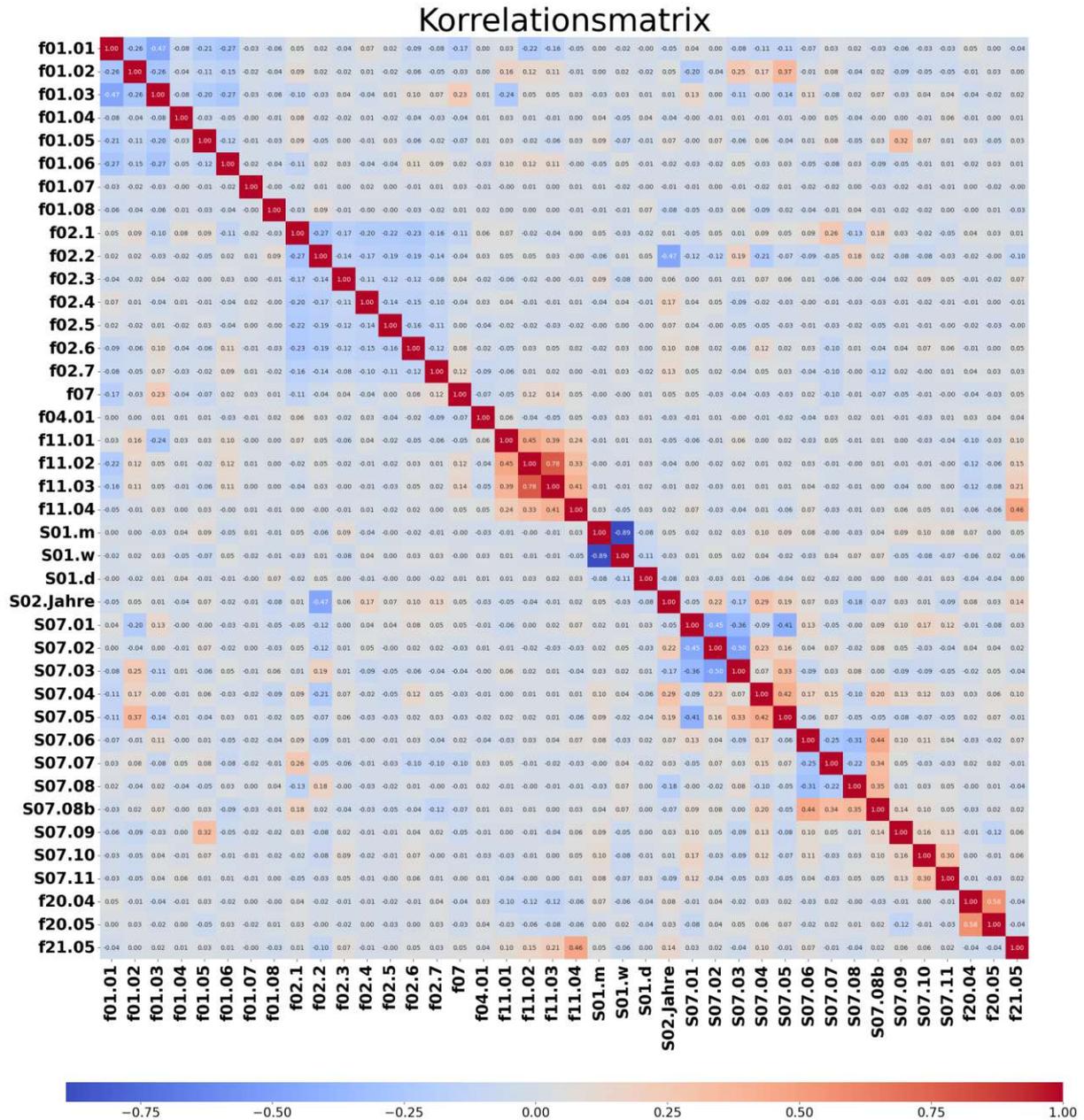


Abbildung 15: Korrelationsmatrix der Attribute des VCÖ-Bahntest 2023

Diese Korrelationsmatrix wird auf potentiell interessante Pearson-Koeffizienten untersucht. Hierbei werden die Ergebnisse besonders auf hohe Korrelationen sowie auf inhaltlich potentiell interessante Kombinationen mit schwachen Korrelationen überprüft. Eine Auswahl davon wird im folgenden Kapitel vorgestellt.

Der Pearson-Koeffizient, der dabei in jedem Eintrag der Korrelationsmatrix berechnet wird, variiert von -1 bis 1. Die beiden Extremwerte repräsentieren perfekte negative bzw. perfekte positive Korrelation, 0 beschreibt keine Korrelation. Bei einer Korrelation unter einem Absolutbetrag von 0,50 ist eine schwache Korrelation vorhanden. Im Intervall des Absolutbetrages von 0,50 und 0,80 handelt es sich um eine moderate Korrelation, darüber um eine starke Korrelation (Fahrmeir et al., 2023, S.139).

3.1.4 VCÖ-Bahntest – Korrelationsergebnisse

Der überwiegende Anteil an Korrelationen fällt in den Wertebereich der schwachen Korrelation (-0,5 , 0,5). Die Attributpaare mit den größten absoluten Pearson-Koeffizienten sind in Tabelle 12 angeführt. Nicht angeführt sind intrinsische Korrelationen, wie zum Beispiel verschiedene Antwortmöglichkeiten bei einer Frage mit Einfachantwort. Für eine detaillierte Auflistung der Fragen und deren Antwortmöglichkeiten wird auf Kapitel 3.1.1 verwiesen.

Der überwiegende Teil der Paare mit großen absoluten Pearson-Koeffizienten ist für diese Arbeit nicht interessant. Der Eintrag mit der höchsten Korrelation in Tabelle 12 suggeriert beispielsweise eine Korrelation zwischen der Postleitzahl und dem zugehörigen Bundesland. Bei den Einträgen Nummer 1, 5, 8 und 9 korreliert die Angabe der Zufriedenheit mit der Erreichbarkeit des Bahnhofes durch einen Verkehrsmodus, mit der Angabe dieser durch einen anderen Verkehrsmodus. Ähnlich verhält es sich mit Einträgen Nummer 6 und 7, die aussagen, dass Personen, die mehrmals pro Woche einen Pkw lenken, einen Führerschein besitzen, oder im Haushalt mindestens einen Pkw zur Verfügung haben. Eintrag Nummer 10 sagt aus, dass die Angabe, selbstlenkend per Pkw zum Bahnhof angereist zu sein, mit der Angabe, mehrmals pro Woche selbst ein Auto zu lenken, korreliert. Eintrag Nummer 3 suggeriert einen negativen Zusammenhang zwischen Alter und Wegzweck 2 „von oder zur Ausbildung“, was bedeutet, dass jüngere Personen öfters einen Ausbildungsweg zurücklegen als ältere Personen. Bei Eintrag 4 wird eine schwache Korrelation zwischen zwei inhaltlich fast identischen Fragen zur subjektiven Einschätzung der Radabstellanlagen festgestellt. Eintrag Nummer 2 zeigt schließlich eine Korrelation zwischen der Bereitschaft, weniger mit dem Auto zu fahren, wenn der Bahnhof besser öffentlich angebunden wäre und der Bereitschaft, weniger mit dem Auto zu fahren, wenn der Bahnhof besser per Fahrrad angebunden wäre. Die Höhe der Korrelationen ist hier also kein guter Indikator über die Aussagekraft dieser Zusammenhänge, weshalb im folgenden auch Korrelationen mit niedrigeren Pearson-Koeffizienten betrachtet werden.

Mit einer schwachen Korrelation bei einem Koeffizienten von -0,17 zwischen der Dauer der Anreise zum Bahnhof und dem Verkehrsmodus „zu Fuß“ zeigt der Datensatz, dass Fußwege schwach mit geringen Anreisedauern korrelieren. Umgekehrt verhält es sich bei Anreise mit dem Öffentlichen Verkehr, wo der Korrelationskoeffizient mit 0,23 schwach

positiv mit der Anreisedauer korreliert. In diesem Datensatz sind Personen also längere Zeit angereist, wenn diese mit dem ÖV unterwegs waren. Werden Personen betrachtet, die mit dem ÖV zur Bahn angereist sind, so suggeriert die Korrelationsanalyse hier einen schwachen Zusammenhang mit der Zufriedenheit der Erreichbarkeit des Bahnhofes durch den Öffentlichen Verkehr. Umgekehrt wird die Zufriedenheit mit der Erreichbarkeit durch den ÖV von selbst lenkenden Autofahrer:innen verhältnismäßig geringer bewertet.

Da es sich bei letzteren Korrelationen ausschließlich um schwache Korrelationen mit einem Pearson-Koeffizienten unter einem Absolutbetrag von 0,50 handelt (Fahrmeir et al., 2023), und die Korrelation alleine keine Information über die Kausalität zulässt (Gershman et al., 2023, S.1), wird von einer Interpretation dieser Zwischenergebnisse abgesehen. Die Korrelationsmatrix mit allen Pearson-Koeffizienten ist in Abbildung 15 zu finden.

Nummer	Attribut 1	Attribut 2	Pearson-Koeffizient
1	f11.02	f11.03	0,78
2	f20.04	f20.05	0,58
3	f02.2	S02.Jahre	-0,47
4	f11.04	f21.05	0,46
5	f11.01	f11.02	0,45
6	S07.04	S07.05	0,42
7	S07.01	S07.05	-0,41
8	f11.03	f11.04	0,41
9	f11.01	f11.03	0,38
10	S07.05	f01.02	0,37

Tabelle 12: 10 Attributpaare mit den größten absoluten Pearson-Koeffizienten

3.1.5 GIP – Verkehrsgraph

Die Graphenintegrationsplattform Österreich, kurz GIP, ist eine umfassende Quelle für georeferenzierte Informationen zu Verkehrsinfrastrukturen in Österreich. Diese besteht aus dezentral gewarteten Datenbanken, die regelmäßig synchronisiert und im Zweimonats-Rhythmus zu einem Graphen vereint und veröffentlicht werden (gip.gv.at, 2024, S.8f.).

In dieser Arbeit wird mit der GIP-Version „GIP 2024/02“ gearbeitet. Die darin enthaltenen Datensätze lassen sich in das Basisnetz und weitere damit verknüpfbare Datenbanken unterteilen. Das Basisnetz besteht aus 5 georeferenzierten Layern, die in Folge kurz umrissen werden.

EDGE enthält als Geometrie die Straßenmittelachse und verbindet zwei NODE-Objekte.

LINKNETZ enthält ähnlich zu EDGE die Straßenmittelachsen als Geometrien, dieses Netz ist zusätzlich auch routingfähig, da die Geometrien an Kreuzungen unterteilt sind.

LINEARUSE ist ein Layer, der die Nutzungstreifen einer Straße als lineare Geometrien enthält.

NODE enthält die Knoten des GIP-Netzes als Punkte. Jeder Knoten muss zumindest einem Link zugeordnet sein.

TURNUSE kennzeichnet die erlaubten Abbiegerelationen zwischen zwei Nutzungstreifen. Auch sind hier Querungsrelationen hinterlegt, die nicht über eine Node führen (gip.gv.at, 2024, S.40ff.).

Die oben genannten Datenbanken enthalten jeweils einige Attribute pro georeferenziertem Element und verweisen gegenseitig aufeinander. So enthält beispielsweise jedes Objekt im LINKNETZ ein Attribut „FROM_NODE“ und ein Attribut „TO_NODE“, die jeweils die eindeutige ID des entsprechenden Knotens enthalten. Weitere Attribute sind beispielsweise „VMAX_CAR_T“ oder „VMAX_CAR_B“, die die Höchstgeschwindigkeit für Pkw in die jeweilige Richtung enthalten, „URBAN“, welches kennzeichnet, ob das entsprechende Element einen urbanen Charakter besitzt, oder „ONEWAY_BK“, welches die Rad-Befahrbarkeit beschreibt (gip.gv.at, 2024, S.44f.).

Einige Datenbanken sind im GIP-Grundnetz nicht enthalten und müssen bei Bedarf hinzugefügt werden, unter anderem, da die Dateien ansonsten zu groß würden (gip.gv.at, 2024, S.19). Im Rahmen dieser Arbeit wird die Tabelle „BIKEHIKE“ benötigt, die Zusatzattribute für den Radverkehr sowie für den Fußverkehr enthält. Genauer werden die Attribute „BIKEFEATURETOW“ und „BIKEFEATUREBKW“ verwendet, die Informationen über die Art der Radinfrastruktur auf dem jeweiligen Element in bzw. gegen die Digitalisierungsrichtung des LINKNETZ-Objekts enthalten. Da diese Tabelle aber lediglich auf Nutzungstreifen verweist, muss zusätzlich die Tabelle „LINKUSE“ herangezogen werden, die jedem Nutzungstreifen den zugehörigen Link, auf dem dieser liegt, zuweist (gip.gv.at, 2024, S.27ff.).

3.1.6 Urban-Rural-Typologie

Die Urban-Rural-Typologie der Statistik Austria gliedert den Raum Österreichs in unterschiedliche Typologien von „städtisch / urban“ bis „ländlich / rural“. Es gibt 4 Hauptklassen mit den Codes 100, 200, 300 und 400, die in dieser Reihenfolge für „Stadtregionen“, „Regionale Zentren“, „Ländlicher Raum im Umland von Zentren“ und „Ländlicher Raum“ stehen. Die Hauptklassen 200, 300 und 400 werden in die Unterklassen „Zentral“, „Intermediär“ und „Peripher“ unterteilt, die allesamt die Erreichbarkeit einer städtischen bzw. regionalen Kernzone durch den MIV beschreiben. Zentrale Bereiche sind durch die Erreichbarkeit einer städtischen Kernzone in unter 30 Minuten geprägt. Ist eine städtische Kernzone in ≥ 30 Minuten erreichbar, so ist die Erreichbarkeit einer regionalen Kernzone ausschlaggebend. Werden unter 20 Minuten benötigt, handelt es sich um die Unterklasse „Intermediär“, ansonsten findet die Unterklasse „Peripher“ Anwendung. Die Stadtregionen werden zudem weiter unterteilt in „Urbane Großzentren“ (Code 101), „Urbane Mittelzentren“ (Code 102) und „Urbane Kleinzentren“ (Code 103). All diese 11 Kategorien finden sich als weitere Kategorien mit einem Stern (*) versehen, wenn der Tourismus in dieser Region eine überdurchschnittliche Bedeutung hat. Diese zusätzliche Unterscheidung wird in Folge jedoch nicht weiter berücksichtigt, es werden lediglich die 11 grundlegenden Klassen betrachtet.

Die Grundlage der Klassifikation ist das Bevölkerungspotential (BP), welches sich wie folgt berechnet:

$$BP = WB + 0,14 \cdot NW + TB, \quad (13)$$

wobei WB für Wohnbevölkerung, NW für Nebenwohnsitze und TB für Tagesbevölkerung steht. Die Tagesbevölkerung bezeichnet die theoretische Bevölkerung während des Tages und wird laut Formel 14 berechnet.

$$TB = Be_{o.HW} + P_{Bildung} + P_{Erwerb} + P_{nicht} + P_{kein} \quad (14)$$

$Be_{o.HW}$ bezeichnet Beschäftigte ohne Hauptwohnsitz in Österreich, $P_{Bildung}$ steht für Bildungseinpendler:innen, P_{Erwerb} für Erwerbseinpender:innen (Saul, 2021, S.4ff.).

P_{nicht} steht für Nichtpendler:innen, also Personen, bei denen die Ausbildungs- oder Erwerbssituation ein Pendeln zwar grundsätzlich ermöglicht, ein Pendeln jedoch nicht zustande kommt, da der Ausbildungs- oder Erwerbort dem des Wohnortes entspricht. P_{kein} steht für „Kein:e Pendler:in“, also Personen, die weder erwerbstätig noch in Ausbildung sind (Saul, 2024).

In Tabelle 13 sind die 11 Klassen der Urban-Rural-Typologie mitsamt Kriterien und Abgrenzungsdefinitionen angeführt.

Die Ergebnisse dieser Klassifizierungen auf Gemeindeebene in ganz Österreich, die in Saul (2021) detaillierter beschrieben sind, sind auf der Visualisierung in Abbildung 16 zu erkennen. Diese Klassifizierungen werden in vorliegender Arbeit weiter verwendet, für die genaue Vorgehensweise wird auf Kapitel 3.2 verwiesen.

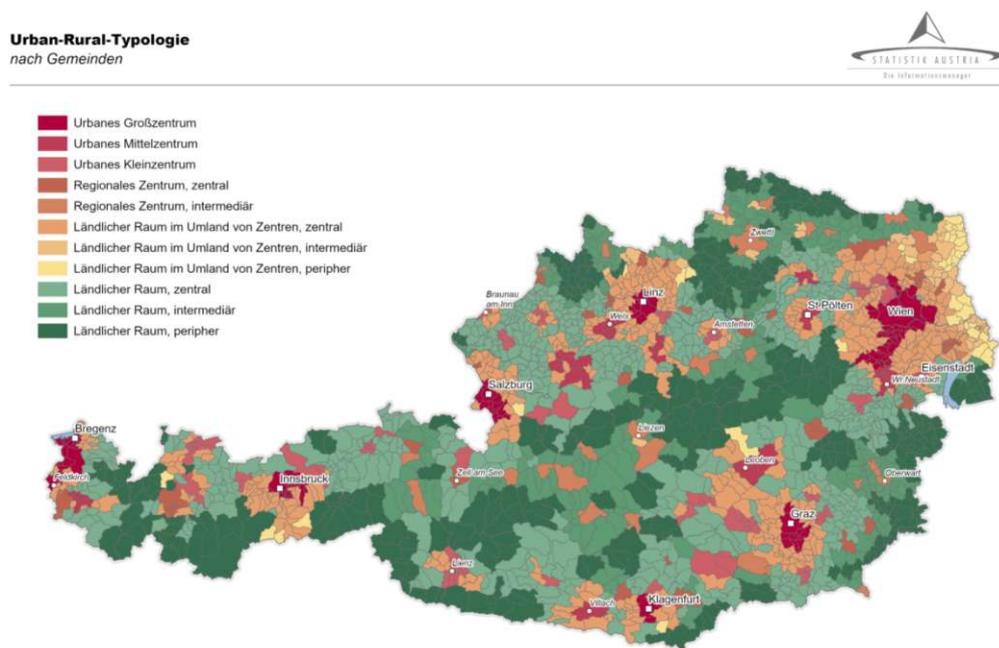


Abbildung 16: Urban-Rural-Typologie nach Gemeinden Österreichs (Saul, 2021, S.22)

Klasse	Name	Kriterien	Regionale Ebene	Abgrenzungsdefinition
101	Urbane Großzentren	Wohnbevölkerung	Urbanes Zentrum	≥ 100.000 Einwohner:innen
102	Urbane Mittelzentren	Wohnbevölkerung	Urbanes Zentrum	≥ 30.000 und < 100.000 Einwohner:innen
103	Urbane Kleinzentren	Wohnbevölkerung	Urbanes Zentrum	< 30.000 Einwohner:innen
210	Regionale Zentren, zentral	Erreichbarkeit im MIV	Rasterzellen	Mehrheit der Wohnbevölkerung erreicht urbane Kernzone < 30 Minuten
220	Regionale Zentren, intermediär	Erreichbarkeit im MIV	Rasterzellen	Mehrheit der Wohnbevölkerung erreicht urbane Kernzone ≥ 30 Minuten
310	Umland von Zentren, zentral	Erreichbarkeit im MIV	Rasterzellen	Mehrheit der Wohnbevölkerung erreicht urbane Kernzone < 30 Minuten
320	Umland von Zentren, intermediär	Erreichbarkeit im MIV	Rasterzellen	Mehrheit der Wohnbevölkerung erreicht urbane Kernzone ≥ 30 Minuten und eine regionale Kernzone / ausländischen Cluster (Urban Cluster ≥ 50.000) < 20 Minuten
330	Umland von Zentren, peripher	Erreichbarkeit im MIV	Rasterzellen	Mehrheit der Wohnbevölkerung erreicht urbane Kernzone ≥ 30 Minuten und eine regionale Kernzone / ausländischen Cluster (Urban Cluster ≥ 50.000) ≥ 20 Minuten
410	Ländlicher Raum, zentral	Erreichbarkeit im MIV	Rasterzellen	Mehrheit der Wohnbevölkerung erreicht urbane Kernzone < 30 Minuten
420	Ländlicher Raum, intermediär	Erreichbarkeit im MIV	Rasterzellen	Mehrheit der Wohnbevölkerung erreicht urbane Kernzone ≥ 30 Minuten und eine regionale Kernzone / ausländischen Cluster (Urban Cluster ≥ 50.000) < 20 Minuten
430	Ländlicher Raum, peripher	Erreichbarkeit im MIV	Rasterzellen	Mehrheit der Wohnbevölkerung erreicht urbane Kernzone ≥ 30 Minuten und eine regionale Kernzone / ausländischen Cluster (Urban Cluster ≥ 50.000) ≥ 20 Minuten

Tabelle 13: Klassifizierung des Raumes laut Urban-Rural-Typologie (Saul, 2021, S.8ff.)

3.1.7 Radabstellanlagen

Auf der Datenplattform der ÖBB data.oebb.at findet sich ein Datensatz aller Bahnhalttestellen im ÖBB-Infrastruktur AG-Netz mit hinterlegter Anzahl an Radabstellplätzen innerhalb der jeweiligen „Bike&Ride-Anlagen“ (ÖBB-Infrastruktur AG, 2023). Dieser Datensatz bildet allerdings nicht die vollständige Realität der zur Verfügung stehenden Radabstellanlagen ab, da beispielsweise am Wiener Hauptbahnhof die Anzahl der Radabstellplätze mit 0 angegeben wird, was sich durch einen kurzen Blick auf aktuelle Luftbilder widerlegen lässt (Airbus et al., 2024). Außerdem ist dort keine Verortung der Radabstellanlagen vorhanden. Auf data.gv.at gibt es lediglich für Wien einen Datensatz der Radabstellplätze, jedoch nicht für die übrigen Bundesländer (data.gv.at, 2024). Um auf diese Daten nicht verzichten zu müssen, wird OpenStreetMap als Datenquelle hinzugezogen. OpenStreetMap (OSM) ist eine dezentral verwaltete Karte, in der jede Person Änderungen und Einträge vornehmen darf. Die Vollständigkeit dieser Karte ist daher nicht garantiert (Openstreetmap Foundation, 2023).

Für das Extrahieren von Daten aus dieser Karte wird das Tool „overpass turbo“ von Raifer (2024) verwendet. Um mithilfe dieses Tools die Daten über Radabstellanlagen zu exportieren, wird ein kurzer Code in der Abfragesprache „Overpass QL“ anhand der Doku-

mentation von Openstreetmap Foundation (2024) geschrieben, der alle Radabstellanlagen in Österreich selektiert. Dieser ist in folgendem Segment angegeben:

```
[out:json][timeout:600];
area[admin_level=2][name="Österreich"]->.a;
(
  node(area.a)[amenity=bicycle_parking];
  way(area.a)[amenity=bicycle_parking];
  area(area.a)[amenity=bicycle_parking];
);
(._;>);
out;
```

Der durch diesen Code auf overpass-turbo.eu extrahierte Datensatz enthält 13.765 Einträge (Stichtag 26.05.2024), die über ganz Österreich verteilt sind. 12.127 Objekte davon sind Punktobjekte, 51 Radabstellanlagen sind in Form von Linienobjekten und 1.638 in Form von Polygonobjekten hinterlegt. In QGIS Desktop 3.36.0 werden jene Geometrien, die keine Punktobjekte sind, durch das eingebaute Geometrie-Werkzeug „Zentroide“ in Punktobjekte umgewandelt und in einen Datensatz kombiniert. Eine visuelle Kontrolle dieses Datensatzes in QGIS bestätigt, dass sämtliche Punktobjekte tatsächlich innerhalb Österreichs liegen. Eine überblicksmäßige Darstellung der Radabstellanlagen ist in Abbildung 17 gegeben. 10.847 dieser Objekte enthalten neben einer eindeutigen ID auch Angaben zur Stellplatzanzahl, bei 2.918 Geometrien fehlt der Eintrag.

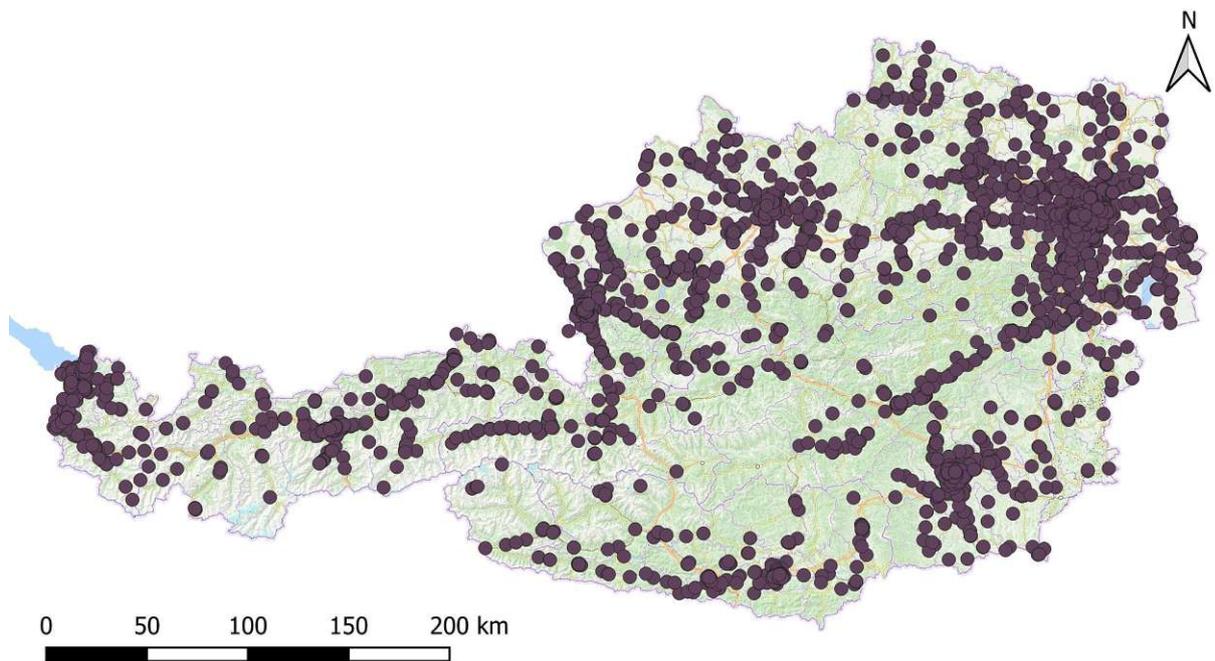


Abbildung 17: Radabstellanlagen in Österreich (Datengrundlage: OpenStreetMap, Grundkarte: basemap.at)

Da die Anzahl der Stellplätze bei sehr vielen Geometrien nicht vorhanden ist, ein Nachtragen der Anzahl den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, die Vollständigkeit

dieser Daten mangels vergleichbarer Daten darüber hinaus nicht überprüft werden kann und selbst die vorhandenen Daten ohne enorm zeitintensive Recherche mittels Straßenschildern nicht verifiziert werden können, wird von der Verwendung dieser Daten abgesehen. Die Abweichung der Daten von der tatsächlichen Anzahl an Stellplätzen innerhalb eines Datensatzes ist in einer stichprobenhaften Einzelüberprüfung nicht konsistent, was zeigt, dass fehlende Werte des einen Datensatzes nicht durch Werte eines anderen Datensatzes ergänzt werden können. Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit keine Indikatoren zu Radabstellanlagen betrachtet.

3.1.8 ÖV-Güteklassen – Haltestellenkategorien

Im Folgenden werden die Haltestellenkategorien der ÖV-Güteklassen von der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK) aus dem Jahr 2022 vorgestellt. Jede Haltestelle wird bei dieser Klassifizierung anhand von zwei Kriterien kategorisiert. An zwei Stichtagen, die Werktage im Herbst mit bzw. ohne Schule sind, werden im Betrachtungszeitraum von 6 bis 20 Uhr die Intervalle der Abfahrten an einer Haltestelle sowie die Haltestellentypen ermittelt. Die resultierenden Intervalle werden in Klassen unterteilt, die in Abbildung 18 als Zeilen angeführt sind. Die Spalten der Tabelle bilden die Haltestellentypen, die anhand der dort abfahrenden Verkehrsmittelkategorien bestimmt werden.

Die Haltestellenkategorien, die sich von I bis VIII erstrecken, werden abhängig von Haltestellentyp und Abfahrtsintervall so gebildet, dass der „Grundsatz einer ausreichenden Differenzierung sowohl im städtischen als auch im ländlichen Bereich“ besteht. Abhängig von der Fußwegdistanz und der Haltestellenkategorie werden Flächen rund um Haltestellen mit den Güteklassen von A bis G bewertet. Dem Rest der Fläche Österreichs wird keine Güteklasse zugewiesen (ÖROK, 2022, S.11f.). Da in dieser Arbeit die anderen Verkehrsmodi separat untersucht werden und der Startpunkt der Personen bei ihrem Weg zur Bahn nicht bekannt ist, werden nur die Haltestellenkategorien weiter betrachtet.

Durchschnittliches Kursintervall aus der Summe aller Abfahrten pro Richtung	Verkehrsmittelkategorie der Haltestelle nach höchstrangigem Verkehrsmittel			
	Fernverkehr REX	S-Bahn / U-Bahn, Regionalbahn, Schnellbus, Lokalbahn	Straßenbahn, Metrobus, 0-Bus	Bus
< 5 min.	I	I	II	III
5 ≤ x ≤ 10 min.	I	II	III	III
10 < x < 20 min.	II	III	IV	IV
20 ≤ x < 40 min.	III	IV	V	V
40 ≤ x ≤ 60 min.	IV	V	VI	VI
60 < x ≤ 120 min.	V	VI	VII	VII
120 < x ≤ 210 min. ¹⁾		VII	VIII	VIII
> 210 min. ¹⁾				

Abbildung 18: Definition der Haltestellenkategorien (ÖROK, 2022, S.12)

In Abbildung 19 sind alle Haltestellen in Österreich nach Kategorie eingefärbt, die Farben sind hier analog zu Abbildung 18 gewählt. In dieser Darstellung sind geringere Haltestellenkategorien über höheren dargestellt, um die jeweils bestbewertete Haltestelle in diesem Maßstab sichtbar zu machen. Erkennbar sind hier die flächendeckend gut kategorisierten Haltestellen in und um große Ballungszentren sowie linienförmige Abdeckung mit teilweise niedrigen Haltestellenkategorien im alpinen Raum.

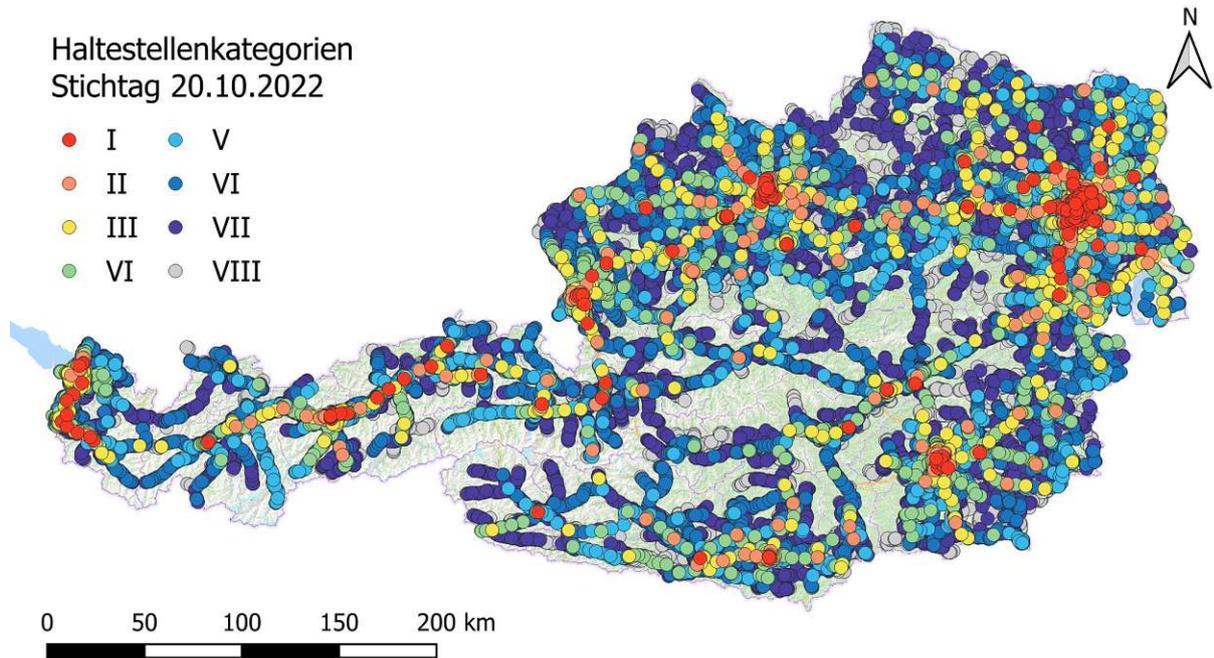


Abbildung 19: Haltestellenkategorien in Österreich (Datengrundlage: Haltestellenkategorien ÖROK, Grundkarte: basemap.at.)

3.2 Methodik

Die aufgearbeiteten Daten aus dem VCÖ-Bahntest dienen als Grundlage für die Analyse. Die übrig gebliebenen Daten werden pro Bahnhof gesammelt, sodass für jeden dieser Bahnhöfe der Modal Split, die Anzahl der einsteigenden Personen, deren Anreisedauerverteilung, usw. vorliegen. Anschließend werden den Bahnhöfen mit QGIS-Analysen weitere Parameter wie die Urban-Rural-Typologie, das Bundesland oder verschiedene Indikatoren zur Güte der vorliegenden Infrastruktur hinzugefügt. Abschließend werden die Bahnhöfe mitsamt deren Daten aus dem VCÖ-Bahntest mehrmals nach den verschiedenen hinzugefügten Parametern gruppiert, um feststellen zu können, ob und bei welcher Gruppierung ein Zusammenhang zwischen dem Parameter und dem Mobilitätsverhalten zu erkennen ist.

Dies gelingt, indem der Layer der Bahnhaltstellen, für die sämtliche Indikatoren berechnet werden, als Tabelle exportiert und in Microsoft EXCEL als separates Tabellenblatt der Ergebnisse des Bahntests geladen werden. Abhängig von der eindeutigen Bahnhofskennzahl „PLC“ wird den Mobilitätsdaten des Bahntests für jeden Indikator eine Spalte hinzugefügt, die den jeweiligen Indikatorwert des Bahnhofes enthält. In einem weiteren Tabellenblatt wird dann mittels ZÄHLENWENNS-Funktion die Anzahl der Einträge mit diversen Einschränkungen ermittelt und es werden Modal Splits erstellt.

3.2.1 Schaffen der Datengrundlagen – Zugänge zu Bahnhöfen

Um die Stationen, die im Bahntest als Abfahrtsbahnhöfe genannt wurden, zu verorten, wird die Liste an Bahnhöfen mit einem bereits georeferenzierten Datensatz aller ÖBB-Stationen (ÖBB-Infrastruktur AG, 2022) abgeglichen. 55 der 480 Stationen sind keine ÖBB-Stationen und werden daher mittels Abgleich auf maps.google.com in QGIS Desktop 3.36.0 verortet und dem Datensatz hinzugefügt.

Um die Stationseingänge der Bahnhöfe zu erhalten, wird erneut ein *overpass turbo* Skript verwendet, um Daten von OpenStreetMap zu erhalten. Da das Attribut *railway = train_station_entrance* dort kaum eingepflegt war, in der GIP kein analoger Datentyp gefunden wurde und auch keine andere Quelle für diese Information zur Verfügung stand, wurden die Zugänge zu den Bahnhöfen auf OSM händisch ergänzt. Hierfür wurden neben Ortskenntnissen auch Daten von Luftbildern sowie Google Street View verwendet, um Zugänge von knapp 500 Bahnhöfen zu verorten. Bei der überwiegenden Mehrheit der Stationen waren die Zugangswege zu diesem Zeitpunkt bereits eingetragen. Für alle Stationen, bei denen dies der Fall war, wurden nach bestem Wissen und Gewissen alle Zugangspunkte verortet, die durch einen Weg oder eine Straße mit den Bahnsteigen verbunden sind. Im Fall von exklusiv für den Zugang zur Bahn bestehenden Tunnels oder Brücken wurde am Ende dieser Infrastruktur der Zugang gewählt. Oft wurden Aufzüge oder Treppenabgänge als Eingänge definiert, wenn diese etwa in einen Unterführungstunnel mit Zugang zu den Bahnsteigen führen. Gebäudeeingänge wurden nur dann als Zugang

hinzugefügt, wenn diese Gebäude einen direkten Zugang zum Bahnsteig oder einer Unter- oder Überführung zu Bahnsteigen besitzen.

Nach dem Eintragen der Zugänge wird der Datensatz durch ein kurzes Skript auf Overpass Turbo extrahiert und als geoJSON-Datei exportiert. Das verwendete Skript ist im Folgenden dargestellt:

```
[out:xml][timeout:600];
area[admin_level=2][name="Österreich"]->.a;
(
  node(area.a)[railway=train_station_entrance];
);
(._;>);
out meta;
```

Das obige Skript ist sehr ähnlich zu jenem in Kapitel 3.1.7, lediglich werden nur Punktobjekte mit dem Attribut *railway = train_station_entrance* abgefragt.

Im zuvor beschriebenen Datensatz der Bahnhöfe sind Unregelmäßigkeiten entdeckt worden, welche händisch behoben werden mussten. Der Bahnhof „Innsbruck Messe“ war in diesem Datensatz beispielsweise falsch verortet, was mithilfe von Satellitenbildern im Datensatz korrigiert wurde.

Da rund um den Zeitraum der Befragung die „Pottendorfer Linie“ im Bereich Ebreichsdorf mitsamt zwei Bahnhöfen („Ebreichsdorf“ und „Weigelsdorf“) verlegt wurde (Seif, 2023), musste die Position dieser Bahnhöfe überprüft werden. Im Datensatz der Bahnhöfe war die alte Lage und im Datensatz der Stationsausgänge der neue Standort verortet. Beim Vergleich des Eröffnungsdatums des Bahnhofes „Ebreichsdorf“ im September 2023 und dem Zeitpunkt der Befragung des VCÖ im Mai und Juni 2023 wird festgestellt, dass hier die alte Lage der Bahnhöfe „Ebreichsdorf“ und „Weigelsdorf“ betrachtet werden muss, da letzterer Bahnhof auch Ende 2023 noch nicht eröffnet war (VCÖ, 2023b), (Seif, 2023). Die Zugänge zu diesen Bahnhöfen wurden mithilfe von Satellitenbildern aus dem Jahr 2022 auf Google Earth Pro näherungsweise ermittelt und direkt in QGIS hinzugefügt.

Um die Vorbereitungen für weitere Berechnungen zu finalisieren, wurde in QGIS Desktop 3.36.0 um jeden Stationspunkt mit dem Werkzeug „Puffer“ ein Puffer mit einem Radius von 450 Metern gelegt und als temporärer Layer gespeichert. Im Feldrechner der Punktgeometrien der Stationszugänge wurde dann mit folgendem Code der Stationsname im Feld „NAME_SNNB“ als neues Feld hinterlegt. Der Wert von 450 Metern wurde anhand des sehr großen Bahnhofes „Wien Hauptbahnhof“, bei dem die Zugänge auf der Seite der ÖPNV-Haltestelle „Hauptbahnhof Ost“ vom Stationspunkt circa 400 Meter entfernt sind, bestimmt. Die Zugänge des nahe gelegenen Bahnhofes „Quartier Belvedere“ sind circa 500 Meter vom Stationspunkt entfernt.

```
aggregate('Gepuffert_c3f85801_1083_4754_8cf9_4ba1e4cc1359',
'concatenate', "NAME_SNNB", intersects($geometry, geometry(@parent)))
```

Bei all jenen Stationen, bei denen sich die 450 Meter Radien überschneiden, wird in QGIS Desktop 3.36.0 kontrolliert, ob die Ausgänge zum richtigen Bahnhof zugewiesen wurden. Bei den Stationen „Trimmelkam“ und „Riedersbach“, die unter 450 Meter voneinander entfernt sind, wurden die Namen händisch nachgetragen. Dadurch, dass die Anzahl der Objekte im Layer der Anzahl der Bahnhöfe (480) entspricht und keine Geometrie im Feld „NAME_SNNB“ den Wert „NULL“ aufweist, kann davon ausgegangen werden, dass jeder Zugangspunkt genau einer Station zugeordnet ist.

Dem Datensatz wird im Feldrechner mithilfe des folgenden Codes ein weiteres Attribut hinzugefügt, mit welchem die Anzahl der Bahnhofszugänge pro Bahnhof gezählt wird. Dies wird erreicht, indem die Anzahl der Objekte im Layer mit gleichem Eintrag in „NAME_SNNB“ mittels Aggregatsfunktion in eine neue Spalte mit Namen „Anzahl“ geschrieben wird.

```
aggregate('final_e038d944_a4f1_461e_b718_ccb56520ba7b', 'count', 1, "NAME_SNNB" = attribute(@parent, 'NAME_SNNB'))
```

Eine Verteilung der Häufigkeiten der Bahnhofseingangsanzahl ist in Abbildung 20 gezeigt. Diese ähnelt grob einem exponentiell abfallenden Verlauf, wenngleich die Daten diskreter Natur sind.

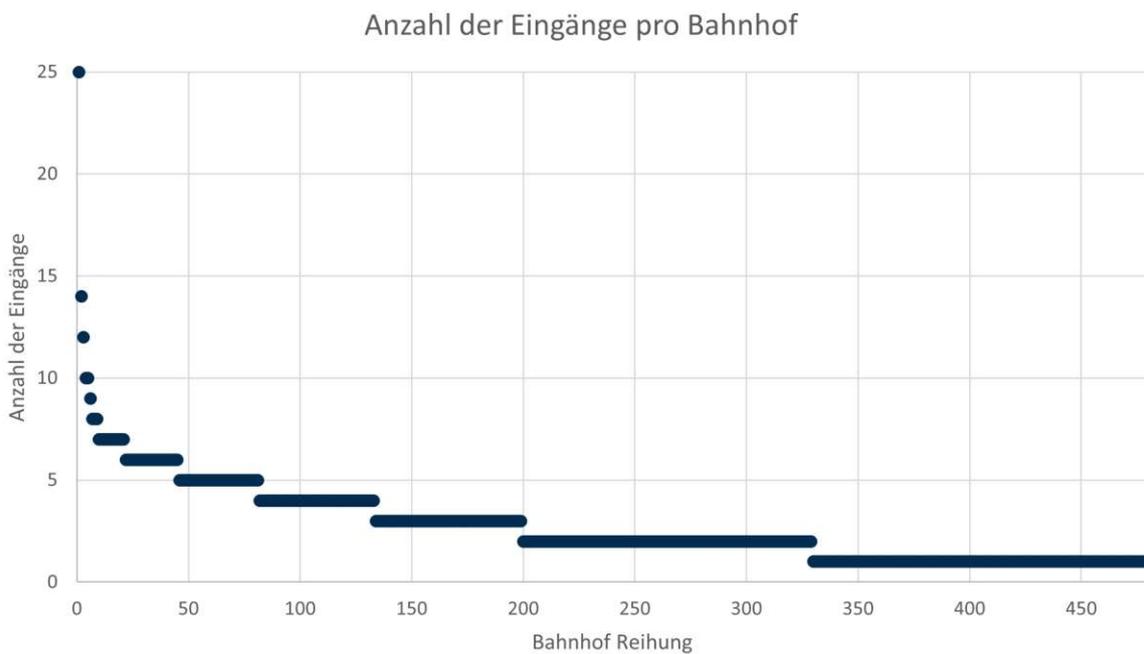


Abbildung 20: Anzahl der Eingänge pro Bahnhof

3.2.2 Schaffen der Datengrundlagen – Radfahrerlaubnis

Um eine Bewertungsgrundlage für die Güte des Radweg- und Fußwegverkehrsnetzes rund um eine Bahnstation zu erlangen, werden im Rahmen dieser Arbeit aus der GIP mehrere

Datenebenen mittels QGIS Desktop 3.36.0 extrahiert, die für die folgenden Analysen notwendig sind.

Mit dem Fahrrad dürfen grundsätzlich alle Verkehrsanlagen benutzt werden, mit Ausnahme von Gehsteigen, Gehwegen, Schutzwegen, dem für Fußgänger:innen bestimmten Teil eines Geh- und Radweges, Autobahnen, Autostraßen und beschilderten Fahrverboten (BMK, 2023). In der GIP gibt es den routingfähigen Datensatz „Linknetz“, der für vorliegende Analysen verwendet wird. Jedes Element, also jeder Link dieses Datensatzes besitzt unter anderem das Attribut „ONEWAY_BK“, welches angibt, ob dieser Link in eine (0 bzw. 1 für die jeweilige Richtung), beide (2) oder keine Richtung (-1) mit dem Rad befahren werden darf. Wird dieser Datensatz auf Werte gefiltert, die der Bedingung $ONEWAY_BK \geq 0$ genügen, so erhält man ein Netz mit Radfahrerlaubnis, von dem allerdings noch alle Elemente entfernt werden müssen, die noch nicht errichtet sind. Diese Eigenschaft ist im Attribut „BAUSTATUS“ hinterlegt, die Ziffern 0 bis 4 stehen aufsteigend für „Unbekannt“, „Fiktiv“, „In Bau“, „In Planung“ und „Gewidmet“, die Ziffer 5 steht für „Aktiv“ (gip.gv.at, 2024, S.16). Daher werden alle Elemente, deren Baustatus ungleich 5 ist, entfernt. Ein Ausschnitt dieses Netzes im Stadtgebiet Wiens ist in Abbildung 21 gezeigt.

Gut ersichtlich ist, dass beispielsweise im Nordwesten des Ausschnittes im Stadtzentrum Wiens Fußgängerzonen ausgenommen sind, genauso wie die Autobahn A23 im Südosten des Ausschnittes. Nicht ausgenommen sind bei diesem Netz aber etwa Bundesstraßen, auf denen eine Maximalgeschwindigkeit von 100 km/h verordnet ist. Dieses Netz wird in der Folge mit „Radbefahrbarkeit“ bezeichnet.

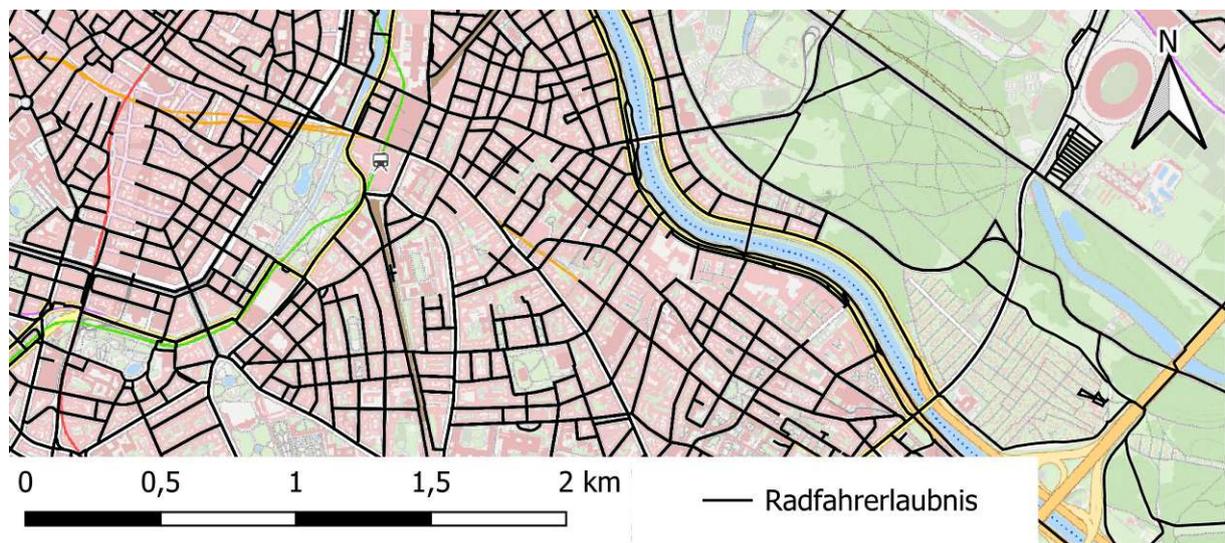


Abbildung 21: Ausschnitt Wiens, Netz der Straßen mit Radfahrerlaubnis (Datenquelle: gip.gv.at, Grundkarte: basemap.at)

3.2.3 Schaffen der Datengrundlagen – Radverkehrsinfrastruktur

Um als zusätzlichen Layer die verschiedenen Infrastrukturarten wie Fahrradstreifen, Mehrzweckstreifen, etc. verfügbar zu haben, muss der Datensatz der Radfahrerlaubnis, der in Abbildung 21 gezeigt ist, um die Tabelle „BIKEHIKE“ aus der GIP ergänzt werden. Dazu werden zunächst die beiden Datensätze „Linknetz“ und „Linkuse“ über das Attribut „LINK_ID“ verknüpft, welches die einzigartige ID eines jeden Link-Elements darstellt. Dies wird mit dem in QGIS Desktop 3.36.0 inkludierten Werkzeug „Attribute nach Feldwert verknüpfen“ umgesetzt, bei dem als „Eingabelayer“ der Layer „Radfahrerlaubnis“ gewählt wird und als Tabellenspalte das Attribut „LINK_ID“. Als „Eingabelayer2“ wird dann „Linknetz“ gewählt und der Verknüpfungstyp „eines-zu-vielen“ wird angewählt.

Der Datensatz „Linkuse“ wird benötigt, da die eindeutige Identifikation der Elemente in „BIKEHIKE“ nicht über die „LINK_ID“, sondern über die „USE_ID“ passiert und die Tabelle „Linkuse“ beide IDs miteinander verknüpft.

Als zweiter Schritt muss die so generierte Tabelle noch um die Tabelle „BIKEHIKE“ erweitert werden, indem die beiden über das Attribut „USE_ID“ miteinander analog zum ersten Schritt verknüpft werden.

Sobald „Linknetz“ um „BIKEHIKE“ erweitert ist, kann der Infrastrukturtyp extrahiert werden. Da für diese Arbeit keine exakte Differenzierung zwischen beispielsweise Radwegen und Fahrradstreifen erforderlich ist, werden sämtliche Arten an Infrastruktur mit „RW“ klassifiziert.

In Abbildung 22 ist obiger Ausschnitt erneut dargestellt, gezeigt ist hierbei nur die Radverkehrsinfrastruktur. Ins Auge fällt für ortskundige Personen, dass die Prater Hauptallee nicht in diesem Datensatz enthalten ist. Ebenso verhält es sich beispielsweise mit (in Abbildung 22 nicht abgebildeten) Wegen entlang der Donauinsel oder dem Donaukanal. Da diese Relationen allerdings im Hauptradverkehrsnetz Wien als Basisnetz bzw. Grundnetz des Radverkehrs aufgeführt sind (MA 18, 2024), muss der Datensatz entsprechend angepasst werden, um eine repräsentative Datengrundlage jener Infrastruktur darzustellen, die für den Radverkehr attraktiv ist.

```

if("BIKEFEATURETOW" = 'RW' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'RW' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'RWO' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'RWO' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'GRW_M' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'GRW_M' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'GRW_MO' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'GRW_MO' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'GRW_T' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'GRW_T' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'GRW_TO' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'GRW_TO' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'RF' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'RF' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'FRS' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'FRS' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'BGZ' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'BGZ' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'MZSTR' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'MZSTR' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'RFGE' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'RFGE' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'RFGE_N' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'RFGE_N' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'BS' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'BS' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'WSTR' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'WSTR' OR

```

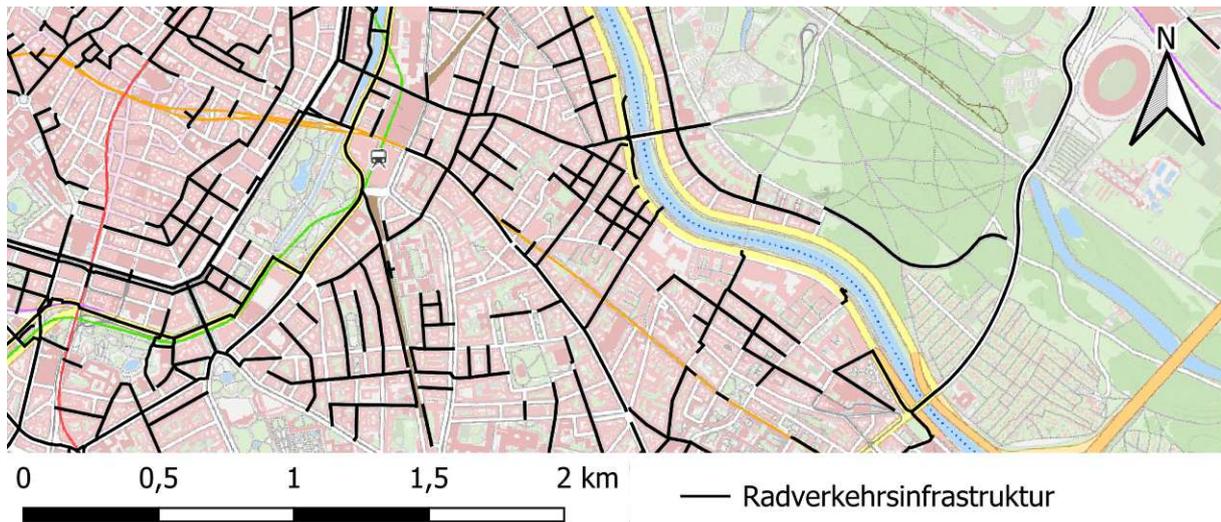


Abbildung 22: Ausschnitt Wiens, Radverkehrsinfrastruktur (Datenquelle: gip.gv.at, Grundkarte: basemap.at)

```

"BIKEFEATURETOW" = 'WSTR_N' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'WSTR_N' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'FUZO' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'FUZO' OR
"BIKEFEATURETOW" = 'FUZO_N' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'FUZO_N' , 'RW', if(
( "BIKEFEATURETOW" = 'VK_BE' OR "BIKEFEATUREBKW" = 'VK_BE' ) AND
((max( "VMAX_CAR_T" , "VMAX_CAR_B" ) <= 50 AND
max( "VMAX_CAR_T" , "VMAX_CAR_B" ) > -1) OR "URBAN" = 1), 'RW', '')
  
```

Verkehrstechnisch sind die betroffenen Anlagen in der GIP Straßen mit absolutem Fahrverbot ausgenommen Radfahrende. Werden diese Elemente des Radnetzes berücksichtigt, vergrößert sich das Netz in einigen Bereichen. Um diese Auswahl treffen zu können, wird in QGIS Desktop 3.36.0 mittels Feldrechner ein neues Feld erstellt, welches mit obigem Code berechnet wird.

Im ersten if-Segment wird abgefragt, ob zumindest eine der beiden Richtungen eine getrennte Radinfrastruktur aufweist und in diesem Fall das Feld auf „RW“ gesetzt. Die Bedeutungen der Einträge in „BIKEFEATURETOW“ bzw. „BIKEFEATUREBKW“ sind in Tabelle 14 aufgezeigt. Im zweiten if-Segment werden verkehrsberuhigte Bereiche, die entweder eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h oder weniger aufweisen, oder sich im Stadtgebiet befinden, auch als „RW“ gesetzt. Alle anderen Elemente werden nicht mehr benötigt und daher aus dem Datensatz gelöscht. Abschließend müssen noch Duplikate entfernt werden. Duplikate treten aufgrund der Verknüpfung der Tabellen LinkUse und Bikehike auf, da in der GIP jeder Nutzungstreifen eine eigene USE_ID besitzt, jedoch alle Nutzungstreifen eines Links dieselbe LINK_ID aufweisen (gip.gv.at, 2024, S.9).

Das Ergebnis des Hinzufügens dieser Fahrverbote ist im gleichen Ausschnitt Wiens erneut in Abbildung 23 gezeigt. Die Prater Hauptallee und andere Hauptverkehrsrouten Wiens sind nun im Datensatz enthalten.

CODE	Name
RW	Baulicher Radweg
RWO	Radweg ohne Benützungspflicht
GRW_M	Gemischter Geh- und Radweg
GRW_MO	Gemischter Geh- und Radweg ohne Benützungspflicht
GRW_T	Getrennter Geh- und Radweg
GRW_TO	Getrennter Geh- und Radweg ohne Benützungspflicht
RF	Fadfahrstreifen
FRS	Fahrradstraße
BGZ	Begegnungszone
MZSTR	Mehrzweckstreifen
RFGE	Radfahren gegen die Einbahn
RFGE_N	Radfahren gegen die Einbahn (Nebenfahrbahn)
BS	Radfahren auf Busspuren
WSTR	Radfahren in Wohnstraßen
WSTR_N	Radfahren in Wohnstraßen (Nebenfahrbahn)
FUZO	Radfahren in Fußgängerzonen
FUZO_N	Radfahren in Fußgängerzonen (Nebenfahrbahn)
VK_BE	Verkehrsberuhigte Bereiche

Tabelle 14: Bikefeatures und deren Codes (Auswahl) (gip.gv.at, 2024)

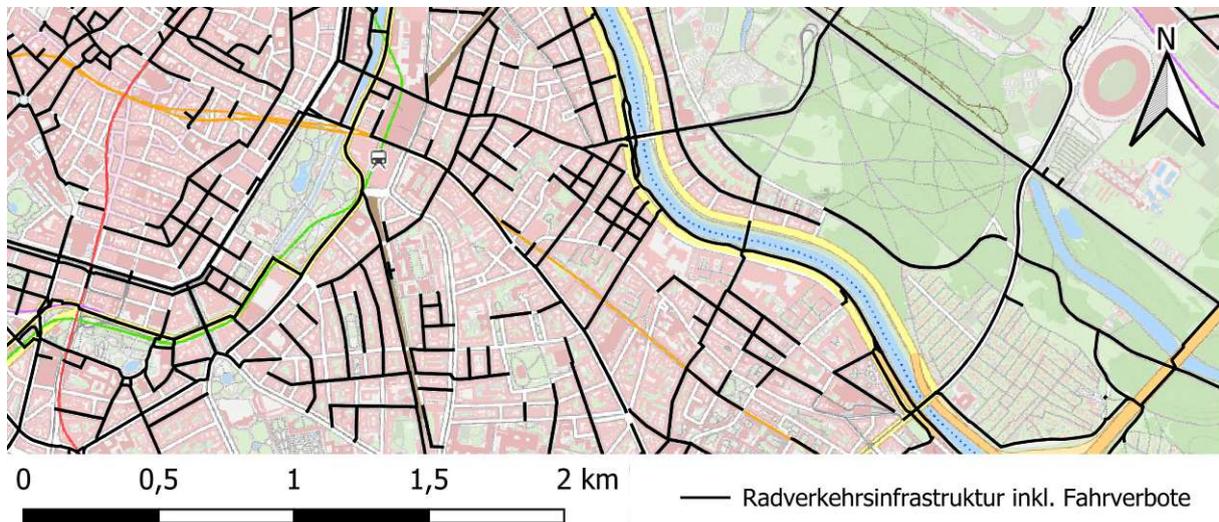


Abbildung 23: Ausschnitt Wiens, Radverkehrsinfrastruktur ergänzt um Fahrverbote ausg. Radfahrende (Datenquelle: gip.gv.at, Grundkarte: basemap.at)

3.2.4 Schaffen der Datengrundlagen – Fußbegehrbarkeit

Analog zu der Radbefahrbarkeit im vorangegangenen Kapitel wird für die Fußbegehrbarkeit³ in QGIS ein Layer erstellt, welcher alle Elemente des Straßennetzes enthält, auf denen das Zufußgehen grundsätzlich nicht verboten ist. Dafür wird erneut der GIP-Layer „LIN-KNETZ“ herangezogen. Für die Begehrbarkeit gibt es in diesem Datensatz im Gegensatz zur Radbefahrbarkeit kein eigenes Feld, welches die Begehrbarkeit beschreiben würde. Die Information darüber ist in den Attributen „ACCESS_TOW“ sowie „ACCESS_BKW“ gespeichert. Das erste Bit, welches dem dezimalen Wert 1 entspricht, codiert Fußgänger:innen, also eine Begehrbarkeit. Die Verkehrsmodi werden in der Summe von Zweierpotenzen gespeichert, was dazu führt, dass eine Straße, auf der Straßenbahnen, Pkw, Radfahrer und

³Der Begriff „Fußbegehrbarkeit“ wird hier in Analogie zum Begriff „Radbefahrbarkeit“ eingeführt, um die Ähnlichkeit der Methodik der beiden Begriffe hervorzuheben.

Fußgänger fahren bzw. gehen dürfen, mit „39“ codiert ist (32 + 4 + 2 + 1) (gip.gv.at, 2024, S.11ff.). Mit der Rechenoperation des Rests bei Division durch 2 erhält man somit die Begehbarkeit eines Elements, weshalb mit folgendem Code das neu angelegte Feld „ACCESS-FOOT“ im Layer „LINKNETZ“ gefüllt wird:

```
if(("ACCESS_TOW" % 2 = 1) OR ("ACCESS_BKW" % 2 = 1), 1, 0)
```

Der %-Operator ist in diesem Code der Modulo-Operator, der den Divisionsrest zurückgibt. Als Beispiel ergäbe $27 \% 2 = 1$. Das if-Segment in obigem Code gibt somit den Wert „1“ zurück, wenn entweder „ACCESS_TOW“ oder „ACCESS_BKW“ einen Rest von 1 bei der Division durch 2 aufweisen.

Nun werden alle Elemente ausgewählt, bei denen das soeben erschaffene Feld „ACCESS_FOOT“ dem Wert 1 entspricht und diese Elemente werden als neuer Layer mit dem Namen „Begehbarkeit“ abgespeichert. Zuletzt müssen auch hier alle Elemente, deren Attribut „BAUSTATUS“ ungleich 5 ist, entfernt werden, da nur jene Elemente betrachtet werden sollen, die auch tatsächlich existieren. Dafür werden diese Elemente mittels „Objekte nach Wert wählen...“ selektiert und die resultierende Auswahl gelöscht.

3.2.5 Schaffen der Datengrundlagen – Gehwegbreiten

Um die Informationen über Gehwegbreiten zu extrahieren, aus welchen die Fläche von Elementen des Straßennetzes berechnet und somit die Gesamtfläche an der Verkehrsfläche approximiert werden kann, ist der Layer „LINEARUSE“ aus der GIP notwendig. Im Layer „LINEARUSE“ ist ein Link einer Straße in deren Nutzungstreifen unterteilt. Die Art des Streifens wird über das Feld „BASETYPE“ festgelegt (gip.gv.at, 2024, S.9f.).

In der Lookup-Tabelle „LUT_BASETYPE_csv“ sind die Basetypes mitsamt deren Codierung aufgelistet. Die für die Gehwegbreiten relevanten Basetypes sind in Tabelle 15 angeführt. Die Auswahl der Basetypes wird so vorgenommen, dass alle Flächen, welche Fußgänger:innen vorbehalten sind, im Datensatz enthalten sind.

Unglücklicherweise sind hierbei Fußgängerzonen nicht abgebildet, die Kärntner Straße in Wien ist beispielsweise mit Basetype 1 = Fahrbahn hinterlegt. In der Tabelle „EDGE“ ist im Attribut „FOW“ die bauliche Ausprägung vermerkt und in der Lookup-Tabelle „LUT_FOW“ ist zu lesen, dass Fußgängerzonen mit dem Wert „14“ codiert sind. Daher wird mit dem eingebauten Werkzeug „Attribute nach Feldwert verknüpfen“ der Datensatz „LINEARUSE“ über die Spalte „EDGE_ID“ mit der Tabelle „EDGE“ über die Spalte „OBJECTID“ verknüpft. Dabei wird der Verknüpfungstyp „eines-zu-vielen“ gewählt.

Der kombinierte Datensatz, der als „Fußverkehrsinfrastruktur“ abgespeichert wird, wird dann um das Feld „FOOT“ ergänzt, welches mithilfe des Feldrechners mit folgendem Code befüllt wird:

```
if("BASETYPE" in (5, 6, 7, 31, 36, 37) OR "FOW" = 14, 1, 0)
```

ID	Name
5	Verkehrinsel
6	Stiege
7	Gehweg
31	Radweg mit angrenzendem Gehweg
36	Geh- und Radweg
37	Fußgängerstreifen

Tabelle 15: Für Gehwegbreiten relevante Basetypes der GIP (gip.gv.at, 2024)

Dabei wird, sofern der Basetype einen der Werte in Tabelle 15 annimmt oder der Wert in „FOW“ eine Fußgängerzone ausweist, der Wert 1 vergeben und das Attribut für alle anderen Elemente auf 0 gesetzt.

Die verbleibenden Schienenwege, also jene Elemente, die den Basetype 4 aufweisen, und andere Elemente, die nicht Teile des Straßennetzes belegen, müssen aus dem Datensatz entfernt werden. Dafür werden entsprechende Elemente über das Werkzeug „Objekte nach Wert wählen...“ selektiert und gelöscht. Im Gebiet von Städten mit Straßenbahnen verfälscht dieser Schritt die prozentuelle Verteilung der Flächen. Aufgrund der Vielzahl an Straßen ohne Straßenbahngleisen selbst in Wien wird dieser Effekt jedoch als vernachlässigbar angesehen.

Im Datensatz soll für jedes Element des Straßennetzes der Prozentsatz der Breite mit Fußverkehrsinfrastruktur als Feld hinterlegt sein. Dafür muss die Breite jener Nutzungstreifen, die Fußgänger:innen vorbehalten sind, durch die Summe der Breiten aller Nutzungstreifen geteilt werden. Da dieser Algorithmus mit $O(n^2)$ skaliert und die Rechenzeit bei zirka 2 Millionen Elementen mit der zur Verfügung stehenden Hardware mehrere Monate betragen würde, wird ein alternativer Ansatz gewählt.

Jedem Element wird mithilfe des Feldrechners das Attribut „AREA“ hinzugefügt, in welchem die Fläche der Geometrie hinterlegt ist. Dieses Feld wird mithilfe des Ausdruckes `"WIDTHAVERAGE" * $length` berechnet, wobei „WIDTHAVERAGE“ im Datensatz der GIP enthalten ist und `$length` eine in QGIS eingebaute Funktion ist, mit welcher die Länge der Geometrie in Metern bestimmt wird. Das Berechnen dieses Feldes benötigt lediglich eine Minute. Anschließend wird dem Layer ein weiteres Feld hinzugefügt, welches „AREA_FOOT“ benannt wird und das Produkt der Felder „AREA“ und „FOOT“ darstellt. Die Verwendung dieses Feldes wird in Kapitel 3.2.7 beschrieben.

Ein weiterer Schritt in der Selektion der Elemente muss vorgenommen werden, da sehr viele Gehwege im Datensatz entweder durch Privatgrund und damit nicht auf der Straße verlaufen, oder sich in Friedhöfen befinden. Innerhalb von Friedhöfen sind Wege sehr dicht aneinander, oft parallel verlaufend und könnten Ergebnisse stark verfälschen. Daher werden diese Elemente, die allesamt als „FEATURENAME“ den Wert „Gehweg Unbenannt“ aufweisen, aus diesem Datensatz entfernt.

3.2.6 Berechnen der Radverkehrsnetzindikatoren

Um das für die Indikatoren zum Radverkehrsnetz zur Berechnung herangezogene Netz zu definieren, werden mithilfe des „TravelTime“ Plugins in QGIS Desktop 3.36.0 Isochronen, in diesem Fall Flächen gleicher Reisezeit, berechnet. Im Werkzeug „Time Map“ dieses Plugins kann ein Start- oder Endpunkt eingegeben werden, ein Transportmodus (cycling oder walking) sowie eine maximale Reisezeit in Sekunden. Das Ergebnis der Berechnung ist ein Polygon der Fläche, die in der angegebenen Zeit mit dem angegebenen Verkehrsmittel erreicht werden kann. Für Fußgänger:innen wird hier eine konstante Geschwindigkeit von $1,4m/s$ angewandt ($5,04km/h$), während beim Fahrrad abhängig von der Steigung eine Geschwindigkeit zwischen $5km/h$ und $60km/h$ angenommen wird (TravelTime, 2024). Eine Nachfrage bei TravelTime zur Methodik hinter der Berechnung der Polygone wurde auch nach mehreren Monaten nicht beantwortet. Die Berechnung hinter diesen Polygonen kann daher in dieser Arbeit nicht näher beschrieben werden.

Mit oben genanntem Werkzeug werden Isochronen rund um die Bahnhöfe berechnet. Der Datensatz der Bahnhofszugänge wird dafür für die Startpunkte herangezogen und zunächst Isochronen vom Verkehrsmodus „cycling“, mit einer maximalen Dauer von 900 Sekunden (15 Minuten) berechnet. Aufgrund des geringsten Intervalles beim Bahntest 2023, welches Anreisedauern von 0 bis 15 Minuten beinhaltet, wird dieser Zeitrahmen gewählt. In den Einstellungen des Plugins wird eine Beschränkung auf 60 Abfragen pro Minute vorgenommen, da dies der Beschränkung der kostenlosen Version dieses Plugins entspricht. Eine Abfrage entspricht in diesem Fall die Berechnung eines Polygons. Zusätzlich wurde im Werkzeug des Plugins der „Robust mode“ ausgewählt, um ein vorzeitiges Abbrechen der Berechnung zu vermeiden. Essentiell ist weiterhin, im optionalen Feld „Departure / Fields to keep [optional]“ das Feld „NAME_SNNB“ auszuwählen, um die Polygone im Anschluss zuordnen zu können.

Die so gewonnenen Polygone rund um die Zugänge zu Bahnhöfen müssen nun zu jeweils einem Polygon pro Bahnhof vereint werden. Hierfür wird das in QGIS Desktop 3.36.0 enthaltene Werkzeug „Auflösen“ verwendet, um den Layer der Polygone anhand des Feldes „original_departure_NAME_SNNB“ miteinander zu verknüpfen. Dieses Feld enthält den eindeutigen Bahnhofsnamen, das Präfix „original_departure“ wurde vom Plugin ergänzt.

Da die Berechnung der Distanz beim Modus „cycling“ über die Geschwindigkeit von der Topographie abhängt, ist es unerlässlich, dieselbe Berechnung erneut mit den Bahnhofseingängen als Zielort zu berechnen. Das Bergauf-Fahren wird von Radfahrenden gemieden, sofern es Alternativen gibt, dafür werden auch signifikante Umwege in Kauf genommen (Broach et al., 2012, S.1737). In der RVS Radverkehr wird auch beispielsweise bei einer maximalen Längsneigung von 6 % eine maximale Länge dieser Längsneigung von 65 Metern angegeben (FSV, 2022, S.21). Es wird daher angenommen, dass die akzeptierte Anreisezeit zum Bahnhof nicht nur von der benötigten Zeit zum Bahnhof, sondern auch

von der benötigten Zeit vom Bahnhof zurück abhängig ist, sodass beispielsweise ein Weg, der bergab 14 Minuten zum Bahnhof, bergauf aber 45 Minuten zurück benötigt, nicht mit diesem Verkehrsmittel zurückgelegt wird.

Aus diesem Grund werden die berechneten Polygone nun analog zu den vorigen berechnet und pro Bahnhof mithilfe des Werkzeuges „Auflösen“ zusammengefasst. Der einzige Unterschied zum Vorgehen weiter oben ist der Name des Feldes, nach dem der Layer aufgelöst wird. Der Name des Feldes, der automatisch durch das Plugin vergeben bzw. modifiziert wird, ist in diesem Fall „original_arrival_NAME_SNNB“.

Nach diesen Schritten liegen Isochronen-Polygone sowohl für den Weg zum, als auch für den Weg vom Bahnhof vor, die sich teilweise stark unterscheiden. Da die mit dem Rad gefahrene Geschwindigkeit, die vom Plugin angenommen wird, eine Abhängigkeit von der Steigung aufweist, wird jene Richtung, die bergab gefahren wird, mit höherer Geschwindigkeit gefahren, als die Gegenrichtung. Besonders in bergigem Terrain ist daher zu erwarten, dass die Fläche, welche in 15 Minuten vom Bahnhof erreichbar ist, einen starken Unterschied zur Fläche aufweist, von der aus der Bahnhof in 15 Minuten erreichbar ist. Der Unterschied dieser beiden Polygone ist beispielhaft um den Bahnhof Mariazell in Abbildung 24 gezeigt.

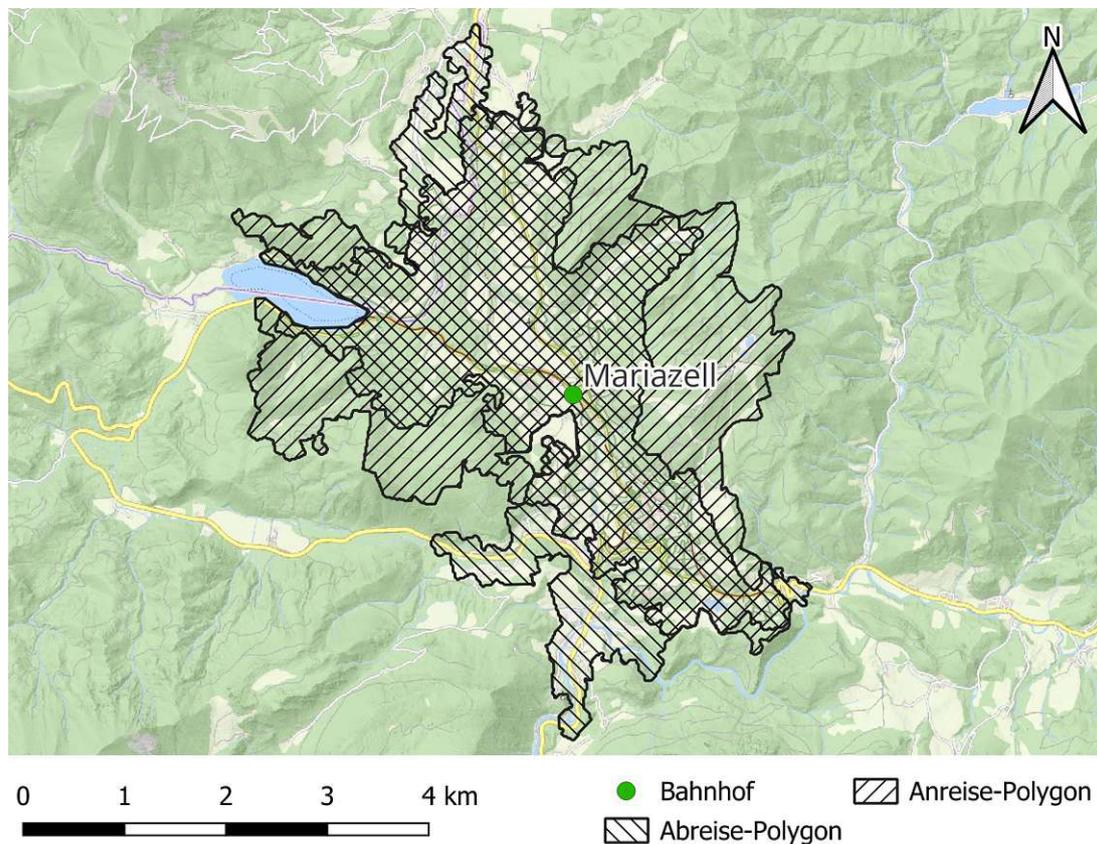


Abbildung 24: Isochronen-Polygone der An- und Abreise mit dem Fahrrad des Bahnhofes Mariazell (Datengrundlage: TravelTime Plugin, Grundkarte: basemap.at)

Um das „Minimum“ dieser beiden Polygone zu berechnen, also jene Fläche, die in beiden Richtungen in maximal 15 Minuten erreichbar ist, wird das in QGIS inkludierte Werkzeug „Verschneidung...“ verwendet. Damit wird jene Fläche extrahiert, welche in An- und Abreisepolygon enthalten ist.

In diesem Datensatz existieren einige Duplikate, welche ausgefiltert werden müssen. Diese Duplikate entstehen, wenn sich Polygone von verschiedenen Bahnhöfen überschneiden. Für die Filterung wird im Feldrechner ein neues Feld „Name“ erstellt, welches mit folgendem Code den Namen der Station nur dann übernimmt, wenn die Namen der Felder, die von beiden Ursprungslayern übernommen wurden, übereinstimmen:

```
if("original_arrival_NAME_SNNB" = "original_departure_NAME_SNNB",
"original_departure_NAME_SNNB", '')
```

Das resultierende Isochronen-Polygon des Bahnhofes Mariazell, bei dem obige Bedingung zutrifft, ist in Abbildung 25 gezeigt. Gut sichtbar ist dort, dass die Ausdehnung des Polygons entlang des Tals deutlich größer ist, als beispielsweise östlich des Bahnhofes. Dies ist aufgrund der Steigung des Geländes der Fall.

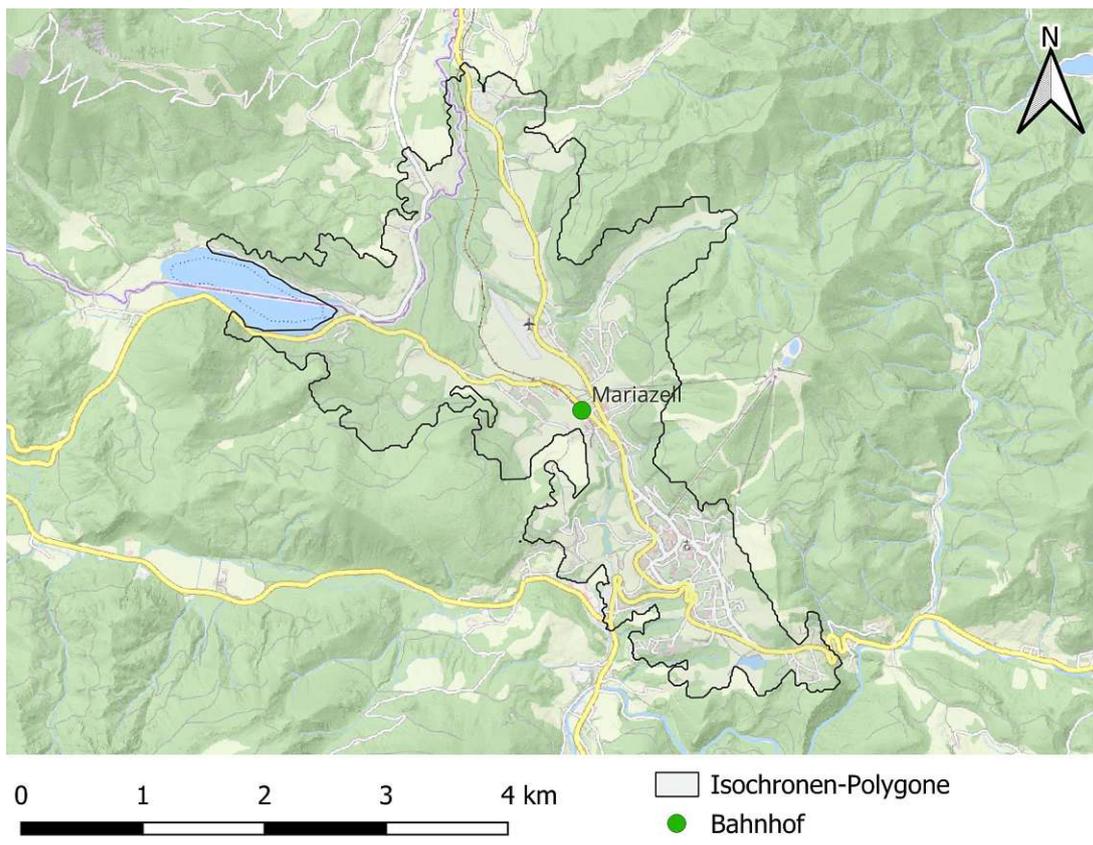


Abbildung 25: Resultierendes Isochronen-Polygon des Bahnhofes Mariazell (Datengrundlage: TravelTime Plugin, Grundkarte: basemap.at)

Schließlich werden alle Elemente ausgewählt und gelöscht, die im Attributfeld „Name“ nur einen leeren Eintrag aufweisen. Dies sind jene Flächen, die keine Überschneidung

mit einem anderen Polygon aufweisen, also jeweils nur in eine Richtung vom oder zum Bahnhof in 15 Minuten Radfahrdistanz liegt. Die übrigen Polygone dienen fortan als Fläche, innerhalb welcher sämtliche Radverkehrsnetzindikatoren berechnet werden. Bevor der Layer abgespeichert werden kann, muss das Feld „fid“ im Feldrechner durch den Ausdruck $\$id$ aktualisiert werden, danach wird der Layer gespeichert.

Umwegfaktor

Der Umwegfaktor erfordert es, für eine Vielzahl an Punktpaaren sowohl die Distanz der Luftlinie, als auch die Distanz entlang einer Route zu kennen. Die Luftlinie zweier Punkte ist dabei sehr schnell berechnet. Die Route über das Wegenetz ist deutlich komplexer. Aufgrund der großen Anzahl an Elementen im Eingabelayer benötigt eine einzelne Route zumindest eine Sekunde für die Berechnung, was bei $(480 \text{ Bahnhöfen} * 3 \text{ Eingängen pro Bahnhof}) * (\text{einer Schätzung von } 100 \text{ Schnittpunkten des Polygons mit dem Netzwerklayer pro Bahnhof} * 480 \text{ Bahnhöfe}) = 69.120.000 \text{ Sekunden}$ entspräche. Dies wären 19.200 Stunden oder 800 Tage Berechnungszeit, weshalb die Routenberechnung am PC nicht durchgeführt werden kann. Da selbst 80 oder 8 Tage Berechnungszeit aufgrund von Möglichkeiten für Fehler und die daraus resultierenden zeitlichen Mehraufwände durch mehrmaliges Ausführen des Codes nicht kurz genug sind, führt auch eine Reduktion der Schnittpunkte nicht zu einer befriedigenden Rechenzeit.

Es gibt Programme, die mittels API die cloudbasierte Berechnung von Routen ermöglichen, es wurde jedoch keine solche Software gefunden, welche in QGIS implementiert werden kann, diese Berechnungen durchführen kann und kostenfrei ist. Daher ist es mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen nicht möglich, den Umwegfaktor für das Fahrrad zu berechnen.

Alpha, Beta, Gamma

Zuerst werden vom Layer der Radbefahrbarkeit alle Elemente ausgewählt, welche die Isochronen-Polygone schneiden oder innerhalb dieser liegen. Diese Auswahl wird als neuer Layer abgespeichert und dient fortan als Berechnungsgrundlage für die Indikatoren, da die Links außerhalb dieser Polygone nicht von Interesse sind.

Der GIP-Layer „NODE“ wird ebenso nach Position selektiert und es werden jene Objekte ausgewählt, welche die Isochronen-Polygone schneiden oder innerhalb dieser liegen. Die Auswahl wird in der korrekten Projektion als neuer Layer gespeichert.

Mit dem „Nach Position selektieren“-Werkzeug werden nun jene Objekte des modifizierten NODE-Punktlayers ausgewählt, die einen Berührungspunkt mit dem Layer der Radfahrerlaubnis aufweisen. Diese Auswahl wird invertiert und die resultierende Auswahl gelöscht, sodass nur noch Knoten im Layer enthalten sind, die innerhalb der Isochronen-Polygone liegen.

In diesem NODE-Layer sind allerdings viele Knoten enthalten, die im aktuellen Datensatz eigentlich keine Knoten mehr darstellen. Der Grad eines Knotens ist definiert als die Anzahl der Kanten, die durch diesen Knoten begrenzt werden (Rodrigue et al., 2013, S.316). Knoten mit $Grad = 1$ stellen das Ende von Sackgassen dar, Knoten mit $Grad \geq 3$ bilden Kreuzungen ab und Knoten mit $Grad = 2$ sind die Verbindung von zwei Kanten miteinander. Von letzteren gäbe es theoretisch unendlich viele, da jede Kante an jedem Punkt in zwei Kanten unterteilt werden kann. Knoten vom $Grad = 2$ sind deswegen für diese Arbeit nicht interessant und müssen entfernt werden. Im Datensatz gibt es das Attributfeld „EDGEDEGREE“, das den Grad des Knotens angibt, was aufgrund der Betrachtung eines Subnetzes hier allerdings aussageelos ist. Um die Knoten mit $Grad = 2$ aussortieren zu können, muss der Grad der Knoten somit neu bestimmt werden.

Zahlreiche Versuche, den Grad in QGIS zu berechnen, scheitern an der Berechnungszeit von mehreren Tagen. Die Daten werden daher mithilfe von Python verarbeitet, wofür die beiden Layer der Knoten und Kanten zuerst als CSV-Datei exportiert werden müssen.

In der Berechnung der Grade ist es wichtig, nur solche Algorithmen anzuwenden, die mit der Anzahl der Elemente linear skalieren. In Abbildung 26 sind drei Funktionen in Abhängigkeit der Anzahl der Elemente (n) gezeigt. Während die linear skalierenden Funktionen bei einer geringen Anzahl an Elementen mehr Berechnungen benötigen als die quadratische Funktion, dreht sich dieser Zusammenhang bei großen Elementzahlen um. Bei großem n überholt die quadratische Funktion die lineare und die Rechenzeit wächst immer stärker an.

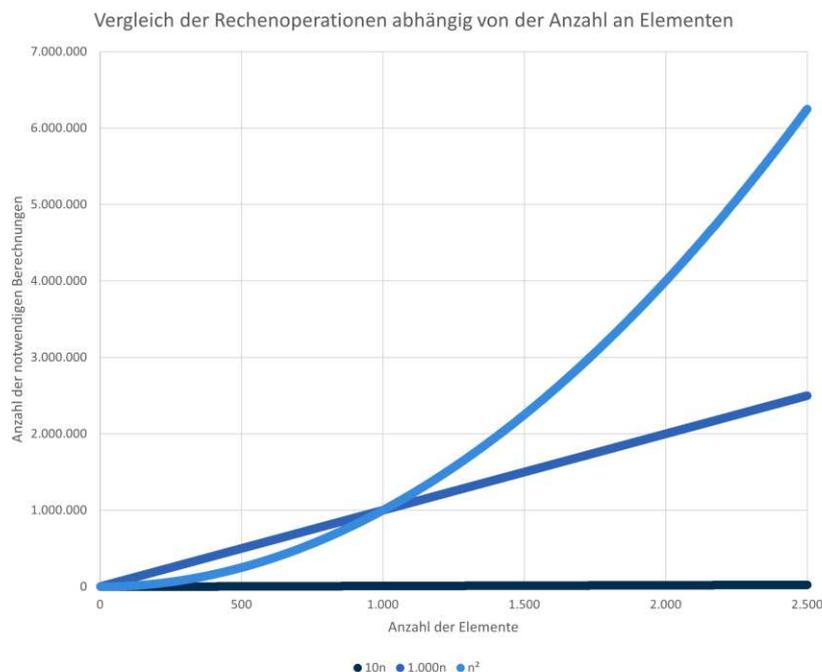


Abbildung 26: Vergleich der Anzahl der Rechenoperationen abhängig von der Anzahl an Elementen

Aufgrund der sehr hohen Anzahl an Elementen (in etwa 375.000 Knoten und 450.000 Kanten) in der notwendigen Berechnung würde ein einziger quadratisch skalierender Algorithmus die vertretbare Berechnungszeit bei weitem übersteigen.

Um die Berechnungszeit kurz zu halten, wird der Algorithmus zur Berechnung der Grade der Knoten wie folgt abgeändert: Jede Kante enthält die beiden Attributfelder „TO_NODE“ und „FROM_NODE“, die auf die entsprechenden NODEs (Knoten) verweisen. Innerhalb der Knoten ist das Attributfeld „OBJECTID“ die ID, auf welche von den Kanten verwiesen wird, allerdings muss diese laut Datensatzbeschreibung der GIP zunächst noch modulo eine Milliarde gerechnet werden, damit die IDs der Knoten mit jenen der Kanten übereinstimmen.

Aus sämtlichen „FROM_NODE“ und „TO_NODE“ Einträgen wird eine Liste erstellt. Die Häufigkeit jedes Knotens, also jeder ID in dieser Liste, wird gezählt und in einem Dictionary gespeichert. In jeder Zeile der Tabelle „data_nodes“ wird dann der entsprechende Eintrag im soeben erstellten Dictionary im Attributfeld „Grad“ gesetzt und die veränderte CSV-Datei gespeichert. Der zugehörige Code ist hier gezeigt:

```

import pandas as pd
from collections import Counter

data_links = pd.read_csv("EXPORT_Rad_Links.csv", sep=',', decimal='.')
data_nodes = pd.read_csv("EXPORT_Rad_Nodes.csv", sep=',', decimal='.')
data_links["FROM_NODE"] = data_links["FROM_NODE"].astype('int64')
data_links["TO_NODE"] = data_links["TO_NODE"].astype('int64')
data_nodes["OBJECTID"] = data_nodes["OBJECTID"].astype('int64')

data_nodes["OBJECTID"] = data_nodes["OBJECTID"] % 1000000000
list_of_nodepoints = list(data_links["FROM_NODE"]) + list(data_links["TO_NODE"])
degree = Counter(list_of_nodepoints)
data_nodes["Grad"] = data_nodes["OBJECTID"].map(degree).fillna(0).astype(int)

data_nodes.to_csv("Rad_Nodes_neu.csv", index=False)

```

Die Daten aus den Tabellen müssen als Datentyp int64 ausgelesen werden, da es ansonsten zu einem arithmetischen Überlauf kommt. Jene Knoten, zu denen keine Kante gefunden wurde, werden mit dem Wert Grad=0 befüllt. Der %-Operator beschreibt den Divisionsrest.

Aufgrund der im Vergleich zur ursprünglichen Vorgangsweise reduzierten Berechnungskomplexität ist der Code innerhalb weniger Sekunden ausgeführt.

Die CSV-Datei wird in QGIS geladen und eine neue Spalte mit dem Namen „int_fid“ im Feldrechner mit dem Code *fid* befüllt, da alle Spalten durch den Import als Textfeld definiert sind. Anschließend wird das Feld „Grad“ zum ursprünglichen Datensatz der Knoten hinzugefügt, indem das in QGIS eingebaute Werkzeug „Attribute nach Feldwert verknüpfen“ verwendet wird. Das einzige Feld, welches dabei aus Layer 2, also aus der soeben berechneten

CSV-Datei, behalten werden soll, ist das Attribut „Grad“. Die restlichen Einstellungen werden auf den Standardeinstellungen belassen. Das Ergebnis wird gespeichert und der ursprüngliche Layer verworfen.

Eine visuelle Kontrolle der Ergebnisse wird durchgeführt, indem jedem Knoten in QGIS eine Beschriftung hinzugefügt wird, die den Grad des Knotens anzeigt und stichprobenartig die Knoten kontrolliert werden. Es können keine Fehler entdeckt werden.

Als letztes werden jene Knoten selektiert, deren $Grad = 2$ ist und diese Auswahl entfernt. 92.892 Knoten werden dadurch gelöscht. Darüber hinaus werden 272 Knoten entfernt, die den $Grad = 0$ aufweisen. Es verbleiben 282.345 Knoten im Datensatz.

Bevor die Anzahl der Kanten pro Polygon bestimmt werden kann, müssen Duplikate, die durch das Bestimmen der Infrastruktur in vorangegangenen Schritten entstanden sind, entfernt werden. Dafür wird das Werkzeug „Doppelte Geometrien löschen“ verwendet. Insgesamt werden bei dieser Operation 263.523 Kanten gelöscht, der Layer enthält danach noch 467.295 Kanten. Da diese Objekte in einem temporären Layer gespeichert werden, müssen alle Kanten aus dem neuen temporären Layer selektiert, kopiert und im ursprünglichen Layer eingefügt werden, nachdem dort alle Kanten gelöscht wurden.

Im Layer der Isochronen-Polygone wird der Feldrechner geöffnet und ein neues Feld namens „Anz_Kanten“ erstellt. Folgender Code wird verwendet, um die Anzahl der Kanten, die das Polygon schneiden, in dieses Feld zu schreiben:

```
aggregate('selektiert_radfahrerlaubnis_neu_93d19018_a234_4009_ad60_77f269663e00', 'count',  
"fid", intersects($geometry, geometry(@parent)))
```

Aufgrund großer Datenmengen dauert diese Berechnung etwa eine Stunde.

Die gleiche Operation muss nun mit den Knoten geschehen. Daher wird mit folgendem Code das neue Feld „Anz_Knoten“ befüllt:

```
aggregate('Nodes_Fahrrad_8b05b074_e7f7_40c8_bfd0_f5415273bd31', 'count', "fid",  
intersects($geometry, geometry(@parent)))
```

Nachdem die Datensätze bereinigt wurden, werden die Felder „alpha“, „beta“ und „gamma“ dem Layer der Isochronen-Polygone hinzugefügt und, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, berechnet. Beim Indikator „alpha“ wird die Anzahl der Subgraphen auf 1 gesetzt.

Schließlich werden die Indikatoren auf den Datensatz der Bahnhöfe mittels Aggregatsfunktion übertragen.

Kilometerbasierte Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur

Um die Länge der Verkehrsinfrastruktur für den Radverkehr zu messen, werden die Ränder der Isochronen-Polygone zunächst mit dem Werkzeug „Polygone zu Linien“ extrahiert und als temporärer Layer gespeichert. Anschließend wird der Layer der Radbefahrbarkeit

mithilfe dieser Linien und des Werkzeuges „Mit Linien teilen“ geteilt. Da diese Linien durch das Schneiden winzige Ungenauigkeiten aufweisen, liegen die Linien nicht vollständig innerhalb oder außerhalb des Polygons. Dieser Umstand verunmöglicht das simple Selektieren aller innerhalb einer Geometrie liegenden Kanten, weshalb zunächst die Polygone gepuffert werden. Mit dem Werkzeug „Puffer“ werden die Polygone des Layers der Isochronen-Polygone um 2 Zentimeter gepuffert und die Kanten der Radbefahrbarkeit, die innerhalb dieser gepufferten Polygone liegen, nach Position selektiert. Die Auswahl wird invertiert und die resultierende Auswahl gelöscht. 21.353 Kanten werden bei dieser Operation entfernt. Die Pufferung um 2 Zentimeter wird vorgenommen, um alle Elemente, die innerhalb des Polygons liegen, auszuwählen. Durch das vorige Schneiden der Linien an den Rändern berühren alle geschnittenen Linien den Rand der Polygone, unabhängig davon, ob diese innerhalb oder außerhalb des Polygons liegen. Durch diese Pufferung kann sichergestellt werden, dass nur jene Linienteile innerhalb des Polygons gewählt werden.

Als nächster Schritt wird analog mit dem Layer der Radverkehrsinfrastruktur verfahren. Aus diesem Layer werden 42.958 Elemente entfernt. Dies sind in etwa doppelt so viele Objekte wie im vorangegangenen Schritt, jedoch wurde der Datensatz der Radinfrastruktur im Gegensatz zum Datensatz der Radbefahrbarkeit nicht in einem vorigen Schritt auf Überschneidung mit den Isochronen-Polygonen vorbereitet.

In den beiden Layern Radbefahrbarkeit und Radinfrastruktur wird nun ein Feld „Länge“ des Datentyps Dezimalzahl erstellt und mittels Feldrechner mit *\$length* befüllt.

Im Layer der gepufferten Isochronen-Polygone wird nun ein neues Feld im Feldrechner mit dem Namen „len_infra“ erstellt und mit folgendem Code befüllt.

```
aggregate('Teilen_ff90643b_b3a3_41f8_bb47_3833bb7498a2', 'sum', "Länge",  
contains(geometry(@parent), $geometry))
```

Es werden somit alle Geometrien gesammelt, die vollständig innerhalb der gepufferten Geometrie liegen und deren Längen werden summiert. In diesem Schritt wird der Ausgabefeldtyp Ganzzahl (integer) gewählt, da die prozentuelle Abweichung bei anschließender Division durch die Länge des Netzwerkes, welches für Radfahrer:innen befahrbar ist, vernachlässigbar ist.

Für die Radbefahrbarkeit wird ein ähnlicher Code zu oben ausgeführt. Aufgrund der hohen Anzahl an Elementen im Radbefahrbarkeits-Layer benötigt die Ausführung dieses Codes in etwa 8 Stunden. Für jedes Polygon überprüft QGIS bei jedem Netzelement, ob es innerhalb des gerade betrachteten Polygons liegt. Der zugehörige Code ist folgend angeführt:

```
aggregate('Teilen_79333fab_afc4_4c75_ac51_40510e193424', 'sum', "Länge",  
contains(geometry(@parent), $geometry))
```

Abschließend wird mittels Feldrechner ein neues Feld mit dem Namen „qualität_rad“ erstellt, welches mit dem Code "len_infra" / "len_erlaubnis" befüllt wird. Ähnlich zu den vorigen Indikatoren wird dieser mittels hier nicht näher angeführter Aggregatsfunktion auf den Datensatz der Bahnhalttestellen übertragen.

3.2.7 Berechnen der Fußverkehrsnetzindikatoren

Ähnlich wie für die Radverkehrsnetzindikatoren wird auch hier zunächst das Gebiet definiert, in welchem die Fußverkehrsnetzindikatoren berechnet werden. Im Plugin „Travel-Time“ in QGIS 3.36.0 Desktop wird das Werkzeug „Time Map“ verwendet, um Isochronen rund um die Zugänge zu den betrachteten Bahnhöfen zu berechnen. Dafür wird der Layer der Bahnhofszugänge als Startpunkte herangezogen und der Parameter „Departure / Transportation / type [optional]“ mit „walking“ befüllt. Die maximale Reisezeit wird erneut mit 900 Sekunden (15 Minuten) festgelegt, da dies dem niedrigsten Anreisedauerintervall des Bahntest 2023 entspricht. Da beim Transportmodus „walking“ unabhängig von der Steigung eine konstante Geschwindigkeit von etwa 5km/h angenommen wird (TravelTime, 2024), ist es hier nicht erforderlich, die Isochronen-Polygone wie bei der Radbefahrbarkeit in beide Richtungen zu berechnen.

Nach der Berechnung der Polygone werden diese analog zum Vorgehen bei den Radverkehrsnetzindikatoren mithilfe des Werkzeuges „Auflösen“ zu einem Polygon pro Bahnhof vereint. Dieser Layer wird abgespeichert und in Folge weiter verwendet. Lediglich bei einem Polygon erscheint der Fehler, dass dieses eine ungültige Geometrie aufweist. Dieser Fehler wird behoben, indem ein Loch im Polygon, welches nur aus zwei Punkten besteht und daher kein vollständiges Loch darstellt, gelöscht wird.

Umwegfaktor

Da der Umwegfaktor ein Indikator für eine einzelne Strecke ist, hier jedoch die Fläche rund um Bahnhöfe betrachtet wird, muss die Berechnung dieses Indikators leicht angepasst werden. Untersucht werden soll hier konkret der durchschnittliche Umwegfaktor am Fußweg vom Bahnhof zum Rand der 15-Minuten-Isochrone, also zum Rand des zuvor betrachteten Polygons.

Dafür wird ein Layer mit dem Namen „Linien“ erstellt, indem das Werkzeug „Polygone zu Linien“ in QGIS auf den Layer der Isochronen-Polygone angewandt wird. Der resultierende Layer „Linien“, welcher die Umrisse der Polygone enthält, wird dann mithilfe des Werkzeuges „Linienschnittpunkte“ mit dem Layer der Begehbarkeit geschnitten und die Schnittpunkte werden in einem neuen Punktlayer gespeichert. Insgesamt ergeben sich so 28.611 Objekte, im Schnitt also etwa 59 Punkte pro Bahnhof.

Da alle Schnittpunkte auf den Rändern der Isochronen-Polygone liegen, dauert die Route von einem Schnittpunkt zum nächsten Stationseingang theoretisch immer genau

900 Sekunden. Die Geschwindigkeit, die zum Berechnen der Isochronen verwendet wurde, beträgt stets $1,4m/s$, somit entspricht die tatsächliche Distanz 1.260 Meter. Somit kann der Umwegfaktor durch Berechnung der Länge der Luftlinie zwischen den zwei Punkten und Division der 1.260 Meter durch diese Länge ermittelt werden.

Um die Luftlinie eines Schnittpunktes zum nächsten Stationszugang des Bahnhofes zu berechnen, werden zunächst alle in Frage kommenden Luftlinien mithilfe des Werkzeuges „Durch Linien verbinden (Verbindungslinien)“ erzeugt. Dieses Werkzeug schafft diese Verbindungslinien als Naben und Speichen, sodass jede Nabe mit jeder Speiche verbunden wird, solange die anzugebenden Attributfelder übereinstimmen. Als Naben werden die Bahnhofszugänge und als Speichen die Schnittpunkte ausgewählt. Als Attributfeld wird jeweils der Stationsname ausgewählt und das Werkzeug ausgeführt.

Den Linien wird über den Feldrechner das Feld „length“ mit dem Code `$length` als Gleitkommazahl hinzugefügt. Anschließend wird dem Layer der Schnittpunkte das Feld „length“ mit folgendem Code hinzugefügt:

```
aggregate('Knotenlinien_a3263b57_7cf5_4566_996c_0d4a6fcdd01e',  
'min', "length", touches($geometry, geometry(@parent)))
```

Dieser Code braucht einige Stunden zum Berechnen, da jeder Punkt mit jeder Linie verglichen wird, und liefert die Luftliniendistanz zum nächsten Bahnhofszugang.

Bevor die Daten weiter aufbereitet werden, muss eine manuelle qualitative Filterung vorgenommen werden, welche anhand von Abbildung 27 erläutert wird. Der Algorithmus zur Berechnung der Erreichbarkeitspolygone (Isochronen) hat in dieser Abbildung zu Recht den Fluss Enns aus dem Erreichbarkeitspolygon großteils ausgenommen. Dies führt zu Löchern in Polygonen oder in diesem Fall zu einem mehrteiligen Polygon. Bei Brücken kreuzt dann das Fußverkehrsnetz die Ränder dieser mehrteiligen Polygone, wenngleich der Weg dorthin nicht 1.260 Meter beträgt. Um die Ergebnisse nicht zu verfälschen, müssen Punkte, deren Distanz zum Bahnhof offenkundig nicht 1.260 Meter beträgt, aus dem Layer „Schnittpunkte“ entfernt werden.

Hierfür wird jedes Polygon separat betrachtet und nach bestem Wissen und Gewissen werden Punkte aussortiert, die nicht dem entsprechen, was ermittelt werden soll. Gleichzeitig sollen aber keine Punkte entfernt werden, die eine relevante Geometrie darstellen. Punkte auf Löchern in Geometrien werden entfernt, da sie mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Modellfehler und keine realen Gegebenheiten darstellen. Im Vergleich von Abbildung 27 zu Abbildung 28 ist erkennbar, dass die berechneten Schnittpunkte zwischen den beiden Teilen des Polygons entfernt werden. Insgesamt werden so 1.313 Punkte entfernt.

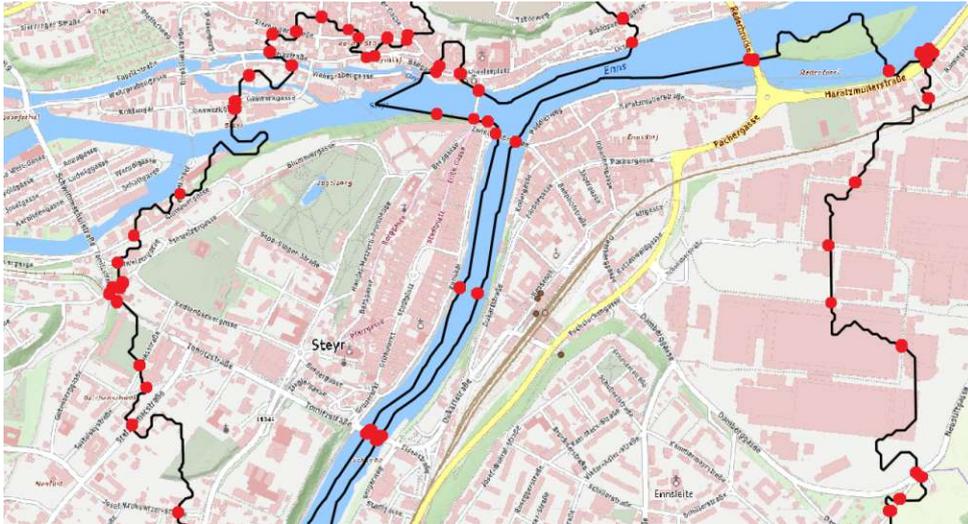


Abbildung 27: Berechnete Schnittpunkte zwischen Isochronen-Polygon und Fußverkehrsnetz (Grundkarte: basemap.at)

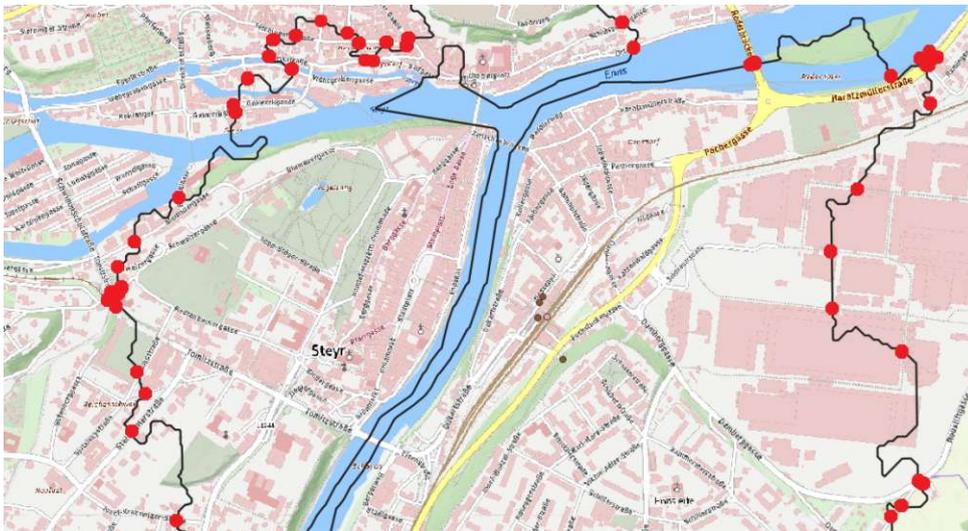


Abbildung 28: Bereinigte Schnittpunkte zwischen Isochronen-Polygon und Fußverkehrsnetz (Grundkarte: basemap.at)

Im nächsten Schritt muss der Mittelwert der Umwegfaktoren gebildet werden und auf die Isochronen-Polygone geschrieben werden. Dafür wird ein ähnlicher Code wie zuvor angewandt:

```
aggregate('schnittpunkte_a6635ec4_dcd1_40a0_84c6_197c8f6f617a', 'mean', "Luftlinie",  
attribute(@parent, 'original_departure_NAME_SNNB') = "original_departure_NAME_SNNB")
```

Die Bedingung für die aggregate-Funktion ist hierbei, dass das Feld „original_departure_NAME_SNNB“ bei beiden Geometrien übereinstimmt. Dann wird mit dem folgenden Code im Layer der Bahnhalttestellen das Feld „Umwegfaktor_fuss“ befüllt:

```
1260/  
aggregate('FINAL_FUSS_3147e905_5222_4199_bf81_9e09eff79a6a', 'mean',  
"mean_luftlinie", attribute(@parent,'NAME_SNNB') = "original_departure_NAME_SNNB" )
```

Alpha, Beta, Gamma

Für Alpha, Beta und Gamma wird die Anzahl von Kanten und Knoten in den Polygonen benötigt.

In einem ersten Schritt werden über das Tool „Nach Position selektieren“ jene Elemente des Netzes der Begehbarkeit ausgewählt, welche sich innerhalb der Isochronen-Polygone befinden oder diese schneiden. Diese Auswahl wird als neuer Layer gespeichert. Dadurch werden Elemente, welche nicht für die Berechnung von Routen relevant sind, aber deren Rechenzeit massiv beeinflussen, entfernt. Die Anzahl der betrachteten Linienobjekte wird durch diesen Schritt von 1.987.866 auf 193.556 Objekte um mehr als eine Größenordnung reduziert.

In Wien werden einige Begehbarkeits-Netze von Wegen auf Friedhöfen dominiert. Um diese Wege auszusortieren, werden alle Elemente selektiert und gelöscht, welche die „SUBNET_ID“ 321 aufweisen, nachdem durch eine visuelle Kontrolle sichergestellt wurde, dass nur Wege auf Friedhöfen gelöscht werden. 4.361 Objekte werden damit entfernt. In Klagenfurt und Innsbruck werden die Wege von Friedhöfen darüber hinaus manuell entfernt, da diese mit einer anderen „SUBNET_ID“ codiert sind.

Anschließend wird der GIP-Layer „NODE“ geöffnet und die Elemente werden mit dem Werkzeug „Nach Position selektieren“ vorselektiert. Nur Elemente, die sich innerhalb der Isochronen-Polygone befinden oder diese schneiden, werden gewählt. Danach wird die Auswahl als neuer Layer gespeichert.

Dieser neue Layer wird erneut durch Vergleich mit Objekten aus dem Netz der Begehbarkeit nach Position selektiert. Dabei wird geprüft, ob die Punktobjekte die Linienobjekte berühren bzw. schneiden. Die Auswahl wird invertiert und die gewählten Objekte gelöscht. Dabei werden 21.727 Objekte aussortiert und es verbleiben 137.652 Nodes im Layer.

Genau wie beim Netz der Radbefahrbarkeit auf Seite 53 müssen hier die Grade der Knoten neu berechnet werden, um Knoten mit $Grad = 2$ auszusortieren. Die Knoten und Kanten werden also aus QGIS als CSV-Datei exportiert und der Python-Code von der Radbefahrbarkeit wird lediglich um die Namen der Dateien abgeändert:

```
import pandas as pd
from collections import Counter

data_links = pd.read_csv("EXPORT_Fuß_Links.csv", sep=',', decimal='.')
data_nodes = pd.read_csv("EXPORT_Fuß_Nodes.csv", sep=',', decimal='.')
data_links["FROM_NODE"] = data_links["FROM_NODE"].astype('int64')
data_links["TO_NODE"] = data_links["TO_NODE"].astype('int64')
data_nodes["OBJECTID"] = data_nodes["OBJECTID"].astype('int64')

data_nodes["OBJECTID"] = data_nodes["OBJECTID"] % 1000000000
list_of_nodepoints = list(data_links["FROM_NODE"]) + list(data_links["TO_NODE"])
degree = Counter(list_of_nodepoints)
data_nodes["Grad"] = data_nodes["OBJECTID"].map(degree).fillna(0).astype(int)

data_nodes.to_csv("Fuß_Nodes_neu.csv", index=False)
```

Die CSV-Datei „Fuß_Nodes_neu.csv“ wird in QGIS importiert und das berechnete Feld „Grad“ durch das Werkzeug „Attribute nach Feldwert verknüpfen“ zum ursprünglichen Layer hinzugefügt, nachdem analog zu der Berechnung für das Radnetz zuerst im Feldrechner das Feld „int_fid“ hinzugefügt wurde.

Die resultierenden Daten werden erneut visuell auf Fehler überprüft, wobei keine Fehler festgestellt werden können. Ein Ausschnitt dieser Ansicht ist in Abbildung 29 dargestellt, die Zahl neben den Knoten entspricht deren Grad.

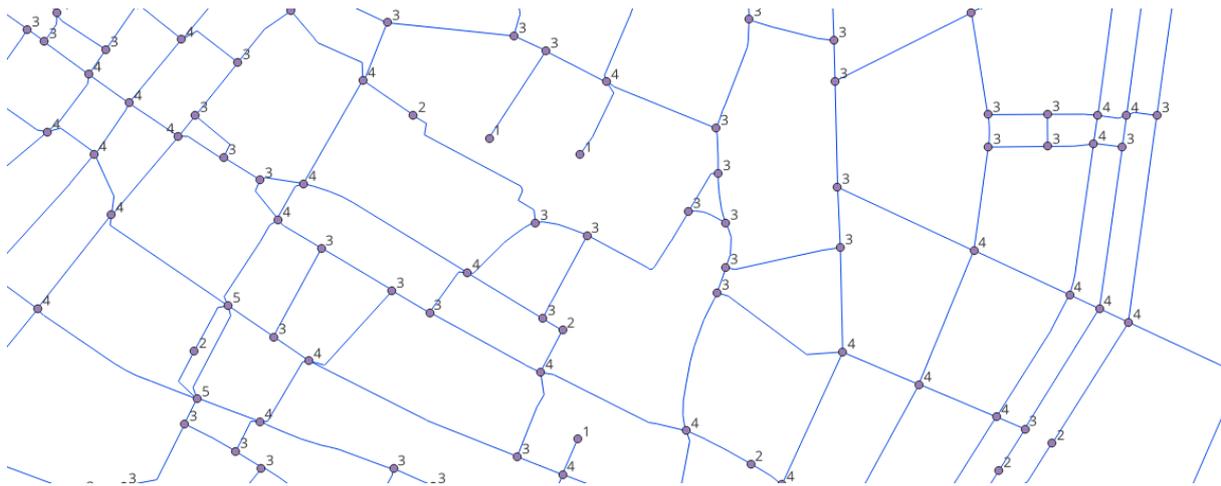


Abbildung 29: Knoten des Netzes der Fußbegehbarkeit und deren Grad, Ausschnitt aus Wien (Datengrundlage: gip.gv.at)

Die Knoten von $Grad = 2$ sowie $Grad = 0$ müssen nun noch entfernt werden, was mit dem Werkzeug „Objekte nach Wert wählen“ und dem Löschen dieser Auswahl einfach erledigt werden kann. 22.634 Objekte mit $Grad = 2$ und 1.531 Objekte mit $Grad = 0$ werden mithilfe dieser Operation gelöscht.

Im Layer der Isochronen-Polygone wird nun ein neues Feld mit dem Namen „anz_knoten“ erstellt, welches mit folgendem Code befüllt wird:

```
aggregate('Fu_bereinigt_1cbbbca1_5b55_4041_91d4_156ade300f80', 'count',
  "fid", intersects($geometry, geometry(@parent)))
```

Dabei wird die Anzahl der Elemente der Knoten gezählt, die innerhalb oder am Rand eines jeden Isochronen-Polygons liegen und in dieses Feld festgeschrieben.

Anschließend wird mit der Anzahl der Kanten analog vorgegangen. Es wird ein weiteres Feld im Layer der Isochronen-Polygone erstellt und „anz_kanten“ genannt. Mit folgendem Code wird dann die Anzahl jener Kanten in das jeweilige Feld geschrieben, die das entsprechende Polygon schneiden:

```
aggregate('modified_fuss_1_9ffef861_062b_4850_af58_e169fe687d76', 'count',
  "fid", intersects($geometry, geometry(@parent)))
```

Als nächstes werden die Felder „alpha“, „beta“ und „gamma“ hinzugefügt und wie in Kapitel 2.1 beschrieben berechnet. Beim Indikator „alpha“ wird die Anzahl der Subgraphen stets als 1 angenommen.

Schließlich werden die drei Attribute auf den Layer der Bahnhöfe übertragen, wofür erneut eine nicht näher angeführte Aggregatsfunktion verwendet wird. Die Felder werden „alpha_fuss“, „beta_fuss“ und „gamma_fuss“ genannt.

Flächenanteil der Fußverkehrsinfrastruktur

Das bereits vorbereitete Netz der Fußverkehrsinfrastruktur wird zuerst mit dem Werkzeug „mit Linien teilen“ am Rand der Isochronen-Polygone geschnitten. Der so erstellte temporäre Layer wird nach Position selektiert, um alle Objekte, die außerhalb der Isochronen-Polygone liegen, zu verwerfen. Da durch die vorige Operation viele Linien genau am Rand der Polygone enden, ist die Auswahl allerdings nicht perfekt. Daher wird mit dem Werkzeug „Puffer“ zunächst analog zur Berechnung bei der Radverkehrsinfrastruktur ein gepuffertes Polygon der Isochronen-Polygone erstellt, welches 2 Zentimeter größer ist als das ursprüngliche Polygon. Die restlichen Optionen werden auf den Voreinstellungen belassen.

Mit dem 2 Zentimeter gepufferten Layer wird nun die Selektion nach Position erneut mit der Einstellung „sind innerhalb“ durchgeführt. Die so erlangte Auswahl wird invertiert und die Auswahl gelöscht.

Im Layer der Isochronen-Polygone wird nun mit einem ähnlichen Code zu den vorigen Indikatoren die Information über die Flächenverteilung innerhalb des Polygons extrahiert. Zuerst wird dazu die Gesamtfläche der Elemente summiert und in dem Attributfeld „Verkehrsfläche“ gespeichert. Dazu wird folgender Code verwendet:

```
aggregate('Infra_modified_1_6dfcb15b_9824_4c61_b08e_fa79fd8b9097',  
'sum', "AREA", intersects($geometry, geometry(@parent)))
```

Dann wird mit einem dazu analogen Code die Verkehrsfläche summiert, welche Fußgänger:innen vorbehalten ist und in das Attribut „Verkehrsfläche_fuss“ geschrieben:

```
aggregate('Infra_modified_1_6dfcb15b_9824_4c61_b08e_fa79fd8b9097',  
'sum', "AREA_FOOT", intersects($geometry, geometry(@parent)))
```

Schließlich wird der Anteil der Fußverkehrsfläche mit folgendem Code berechnet und analog zu den vorigen Indikatoren auf den Layer der Bahnhaltstellen übertragen:

```
"Verkehrsfläche_fuss" / "Verkehrsfläche"
```

3.2.8 Berechnen der ÖV-Netzindikatoren

Haltstellenkategorien

Die Positionierung der Punkte von Bahnhöfen kann sich in unterschiedlichen Layern unterscheiden. Dies ist zum Beispiel beim Vergleich vom Layer der Haltstellenkategorien der ÖROK und dem Layer der Bahnhöfe, auf welchen die Indikatorwerte übertragen werden, der Fall. Um die Haltstellenkategorien auf den Datensatz der Bahnhaltstellen zu schreiben, muss daher letzterer zuerst in QGIS mithilfe des Werkzeuges „Puffer“ um 250 Meter zu Polygonen gepuffert werden. Auf diesem temporären Polygonlayer wird mithilfe des Feldrechners ein neues Feld namens „HstKat“ erstellt, welches mit folgendem Code befüllt wird:

```
aggregate('richtige_projektion_37dbce0a_8b54_4b8f_9112_99799c7e23a3', 'min', "HstKat_num",  
contains(geometry(@parent), $geometry))
```

Der Radius von 250 Metern wurde iterativ gefunden. Mit diesem Radius wird jedem Polygon die beste Haltstellenkategorie innerhalb dieser Entfernung zugewiesen. Eine Kombination über eine ID oder den Namen ist bei diesen Datensätzen nicht möglich, da Namensteile abgekürzt werden und unterschiedliche IDs verwendet werden. Der Bahnhof „Wiener Neustadt Hauptbahnhof“ bei den Haltstellenkategorien heißt im Layer der Bahnhöfe „Wiener Neustadt Hbf“ und deren Position unterscheidet sich um etwa 38 Meter. Das Feld „St_Nummer“ enthält eine 9-stellige Zahl, die im Layer der Bahnhöfe nicht hinterlegt ist.

Die so auf den gepufferten temporären Layer übertragene Haltstellenkategorie wird dann mit folgendem Code auf den Layer der Bahnhaltstellen übertragen. Dabei wird der Name der Bahnhaltstelle als gemeinsames Merkmal der beiden Layer verwendet:

```
aggregate('Gepuffert_52389f0a_c181_4bdc_af2c_5590890f4415', 'min', "HstKat",  
"NAME_SNNB" = attribute(@parent, 'NAME_SNNB'))
```

In Abbildung 30 sind die Haltstellenkategorien der 480 Bahnhöfe des VCÖ-Bahntests 2023 in Österreich verortet dargestellt. Die Häufigkeiten, mit denen die jeweiligen Haltstellenkategorien vorkommen, sind in Tabelle 16 aufgelistet. Die Haltstellenkategorie VIII ist nicht aufgeführt, da diese Kategorie für Bahnhöfe mit Eisenbahnverbindungen nicht vergeben wird (siehe Abbildung 18).

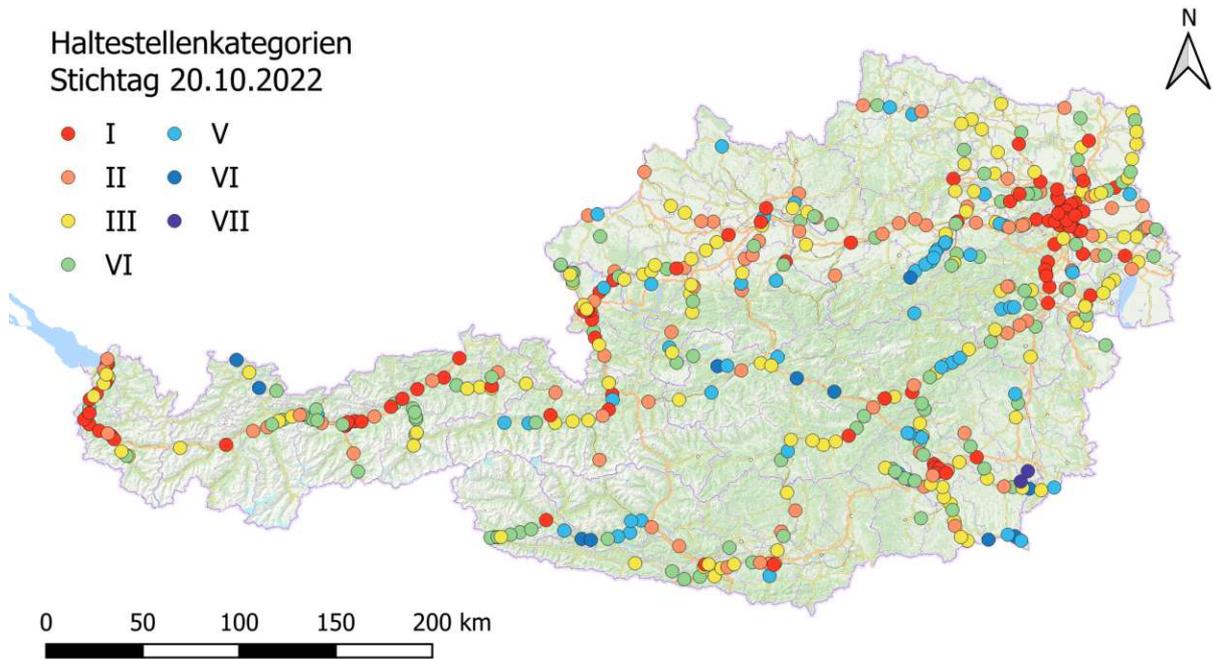


Abbildung 30: Haltestellenkategorien in Österreich des VCÖ-Bahntests 2023 (Datengrundlage: Haltestellenkategorien ÖROK, VCÖ-Bahntest 2023, Grundkarte: basemap.at.)

Haltestellenkategorie	Anzahl der Bahnhöfe
I	97
II	86
III	120
IV	104
V	58
VI	11
VII	2
-	2

Tabelle 16: Anzahl der Bahnhöfe pro Haltestellenkategorie (n=480)

Haltestellendichte

Um die Haltestellendichte zu bestimmen, wird erneut mit dem in QGIS inkludierten Werkzeug „Puffer“ ein kreisförmiges Polygon um jede der 480 Bahnhaltstellen generiert. Bei der Studie „Österreich unterwegs 2013/2014“ wird die durchschnittliche Weglänge beim Öffentlichen Verkehr mit 17 Kilometern angegeben (bmvit, 2016, S.58). Analog zu den Verkehrsmodi der Aktiven Mobilität soll auch beim Öffentlichen Verkehr ein Einzugsbereich von 15 Minuten betrachtet werden. Dieser Anteil entspricht zirka 30 % aller ÖV-Wege, wie in Abbildung 12 auf Seite 28 gezeigt ist. Wird dieser Anteil der Wege mit der Verteilung der Distanzen in der Studie „Österreich unterwegs 2013/2014“ verglichen, so ist ersichtlich, dass 36 % der Wege kürzer als 5 Kilometer waren, was die beste Approximation der 30 % darstellt. Aus diesem Grund wird als Größe des Puffers für diesen Indikator 5 Kilometer gewählt. Für die kreisförmige Pufferung wird die Anzahl der Segmente auf 50 gesetzt.

Innerhalb des gepufferten Layers wird mithilfe des Feldrechners ein neues Feld mit dem Namen „AnzHst“ erstellt, welches die Anzahl der Haltestellen zählt, die innerhalb des Polygons liegen. Der folgende Code wird hierzu verwendet:

```
aggregate('richtige_projektion_37dbce0a_8b54_4b8f_9112_99799c7e23a3', 'count', "fid",  
intersects($geometry, geometry(@parent)))
```

Um keine verzerrten Haltestellendichten an der Staatsgrenze zu erlangen, wird zunächst der Layer der Gemeinden Österreichs mithilfe des Werkzeuges „Auflösen“ aufgelöst, um ein Polygon der Fläche Österreichs zu erhalten. Mithilfe des Werkzeuges „Polygone zu Linien“ wird die Staatsgrenze als Linie exportiert. Im nächsten Schritt werden die erstellten gepufferten Kreise mit dem Werkzeug „Mit Linien teilen“ durch die Linie der Staatsgrenze geteilt. Die Elemente, die außerhalb Österreichs liegen, werden entfernt und die verbleibenden Elemente werden mit dem Werkzeug „Auflösen“ aufgelöst, wobei alle Elemente, die im Feld „PLC“ den gleichen Wert enthalten, zu einer Geometrie zusammengefügt werden. Der resultierende Layer hat wieder 480 Elemente.

Die Anzahl der Haltestellen pro Quadratkilometer wird dann ebenfalls mithilfe des Feldrechners mit folgendem Code berechnet. Das neue Feld wird „Haltestellendichte“ genannt:

```
"AnzHst" * 1000000 / $area
```

Der Faktor 1.000.000 in obigem Code dient der Umrechnung von Quadratmetern zu Quadratkilometern.

Schließlich wird das Ergebnis des Indikators auf den Stammdatensatz der Bahnhaltestellen mit folgendem Code übertragen:

```
aggregate( 'Aufgel_st_5e5f67e8_e639_47ac_9d04_9e6596a289ce', 'sum', "Haltestellendichte",  
attribute(@parent, 'NAME_SNNB') = "NAME_SNNB")
```

3.2.9 Bestimmen des Bundeslandes

Um zu einem Shape-File mit der Geometrie der Bundesländer zu kommen, wird der Datensatz „Verwaltungsgrenzen (VGD)“ heruntergeladen und in QGIS Desktop 3.36.0 geöffnet (BEV, 2023). Diese sind in Gemeinden unterteilt und enthalten viele zusätzliche Spalten mit Informationen über verschiedene Verwaltungsebenen. In der Spalte „BL_KZ“ ist die Bundesland-Kennzahl hinterlegt und in der Spalte „BL“ der Name des Bundeslandes.

Mit dem Werkzeug „Auflösen“ werden die Polygone zu den Bundesländern verschmolzen, indem als Eingabelayer der Datensatz „Verwaltungsgrenzen (VGD)“ gewählt wird und im Unterpunkt „Feld(er) auflösen [optional]“ das Feld „BL“ angegeben wird. Der daraus resultierende Layer enthält 9 Polygone der Bundesländer und wird als Geopackage gespeichert.

Im Layer der Bahnhaltstellen wird mittels Feldrechner ein neues Feld erstellt, das die Kennzahl des Bundeslandes enthalten soll und den Namen „BL“ trägt. Im Feldrechner wird dazu folgender Code ausgeführt:

```
aggregate('Aufgel_st_19044f8f_cbb8_4610_b60f_682e34c06c8a',  
'sum', "BL_KZ", intersects($geometry, geometry(@parent)))
```

Die „aggregate“ Funktion sammelt aus dem Layer mit der Kennung „Aufgel_st_19044f8f_cbb8_4610_b60f_682e34c06c8a“ den Wert des Feldes „BL_KZ“, sofern sich die beiden Geometrien schneiden, was immer dann der Fall ist, wenn der Punkt der Bahnhaltstelle innerhalb des Polygons (des Bundeslandes) liegt.

3.2.10 Bestimmen der Urban-Rural-Typologie

Die berechnete Urban-Rural-Typologie auf Gemeindeebene kann vom Datenviewer der Statistik Austria heruntergeladen werden (Statistik Austria, 2023b). Diese Daten liegen auf der Seite www.statistik.at/atlas/ zum freien Download vor, allerdings lediglich als CSV-Datei und damit nicht georeferenziert. Um die Daten georeferenziert weiter bearbeiten zu können, wird von der Website data.gv.at der Datensatz „Gliederung Österreichs in Gemeinden“ als SHP-File heruntergeladen (Statistik Austria, 2023a). Dieser Datensatz stammt ebenso von der Statistik Austria. Aufgrund der Tatsache, dass die Daten der Urban-Rural-Typologie aus 2022 stammen, wird für eine gute Vereinbarkeit die Gliederung auf Gemeindeebene ebenso vom Jahr 2022 gewählt, wenngleich eine aktuellere Datei von 2023 existiert. In QGIS Desktop 3.36.0 werden, nachdem der Header aus der CSV-Datei mittels Microsoft EXCEL entfernt wurde, beide Dateien geöffnet und mithilfe des eingebauten Werkzeugs „Attribute nach Feldwert verknüpfen“ miteinander anhand der ID der Gemeinden verknüpft. 23 Objekte können dabei nicht erfolgreich verknüpft werden, da Wien im Datensatz der Gemeinden in 23 Bezirke unterteilt ist, im Datensatz der Urban-Rural-Typologie allerdings nicht. Daher muss der Wert „101“ für „urbanes Großzentrum“ für die 23 Bezirke Wiens manuell nachgetragen werden. Als Ergebnis ist in Abbildung 31 die Urban-Rural-Typologie analog zu Abbildung 16 auf Seite 36 visualisiert. Zusätzlich sind alle genannten Abfahrtsbahnhöfe des VCÖ-Bahntests in dieser Graphik als Punkt eingetragen.

Letztendlich muss die Typologie-Kennzahl noch auf die Punktobjekte der Bahnhöfe übertragen werden. Dazu wird im Feldrechner in QGIS Desktop 3.36.0 ein neues Feld erzeugt, welches mit folgendem Code die Kennzahl des darunterliegenden Polygons extrahiert:

```
aggregate('2022_4e050727_9837_4ca0_9d46_b1312cf3ce5f', 'concatenate', "Wert",  
intersects($geometry, geometry(@parent)))
```

Die „aggregate“-Funktion nimmt als ersten Input den eindeutigen Namen des Layers, aus dem Daten kopiert werden sollen. „2022_4e050727_9837_4ca0_9d46_b1312cf3ce“ ist dabei der eindeutige Name des Layers, welcher die Urban-Rural-Typologie enthält.

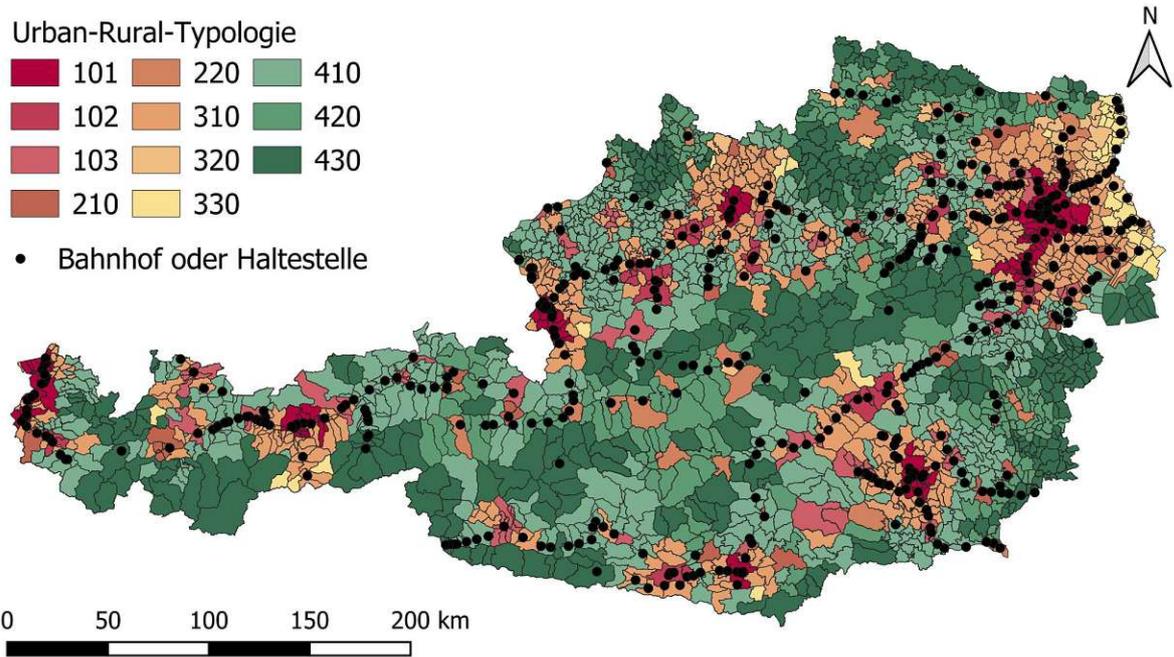


Abbildung 31: Urban-Rural-Typologie nach Gemeinden mit im Bahntest 2023 genannten Einstiegsbahnhöfen (Datengrundlage: Statistik Austria (2023a), Statistik Austria (2023b), VCÖ (2023a))

„concatenate“ übernimmt als Funktion lediglich die Zeichenkette, die im Layer enthalten ist. Da das Feld „Wert“, in dem die Typologie-Kennzahl hinterlegt ist, als Textfeld formatiert ist, muss diese Funktion gewählt werden. Der dritte Parameter, der an „aggregate“ übergeben wird, ist der Name des Feldes, aus dem Daten entnommen werden sollen. Als letztes wird eine Bedingung angegeben, wann der Wert übernommen werden soll. In diesem Fall muss die Geometrie des Punktobjekts, welches überprüft wird, die Geometrie der Gemeinde innerhalb des zuvor definierten Layers schneiden, damit die Zeichenkette innerhalb des Feldes „Wert“ übernommen wird. Nach etwa 60 Sekunden Rechenzeit sind sämtliche Bahnhöfe um die Urban-Rural-Typologie erweitert.

3.2.11 Bestimmen der Bevölkerungsdichte

Für den vorliegenden Umstand, in welchem die Bevölkerungsdichte in unmittelbarer Nähe des Bahnhofs bestimmt werden soll, ist das eigentlich relevante Maß die Siedlungsdichte, also die Dichte des besiedelten Gebiets. Sofern auf einer Seite eines Bahnhofs Feld und auf der anderen Seite Bebauung existiert, soll nur die Bevölkerungsdichte der Bebauung herangezogen werden, nicht aber die Bevölkerungsdichte des Feldes.

Hierfür wird der Adaptierte Siedlungsraum von Brezina et al. (2024) herangezogen. Die Siedlungseinheiten der Statistik Austria beinhalten etwa 87 % der österreichischen Bevölkerung, da Siedlungsräume unter 200 Bewohner:innen darin nicht enthalten sind. Diese Daten wurden im Adaptierten Siedlungsraum (ASR) um Land-Use-Daten ergänzt

und enthalten so rund 95% der österreichischen Bevölkerung (Brezina et al., 2024, S.9).

Diese Daten sind auf Zählsprengelebene verfügbar und enthalten pro Zählsprengele unter anderem die Anzahl der Bewohner:innen des ASR innerhalb des Sprengels, sowie die Fläche des ASR innerhalb des Sprengels.(Brezina et al., 2024, S.1)

Die Polygone der Zählsprengele werden von data.gv.at heruntergeladen (Statistik Austria, 2020) und in QGIS Desktop 3.36.0 geöffnet. Es werden die Daten aus dem Jahr 2020 heruntergeladen, da der Adaptierte Siedlungsraum auf diesem Stand ist (Brezina et al., 2024, S.1). In QGIS importiert wird weiters die Tabelle "0033_ASR-EW-2020_GKL_WTS.xlsx", welche die Daten über den ASR enthält.

In einem ersten Schritt werden die beiden Tabellen gejoined, indem im Werkzeug „Attribute nach Feldwert verknüpfen“ die Tabellen anhand der ID des Zählsprengeles mittels Eins-zu-eins-Verknüpfung vereint werden. Als Ergebnis sind die ASR-Daten nun georeferenziert, der Layer wird fortan „ASR“ genannt.

Um die Informationen der Siedlungsdichte auf die Bahnhöfe zu übertragen, soll nicht lediglich der Punkt des Bahnhofs entscheidend sein, sondern vielmehr die Umgebung des Bahnhofs, damit die Grenzlinien der Zählsprengele möglichst geringe Auswirkungen auf das Ergebnis haben. Deshalb wird in Anlehnung an die Methodik zur Berechnung der Fußweg-Polygone eine Distanz von 1.260 Metern gewählt, was circa 15 Minuten Fußweg entspricht, innerhalb welcher die Bevölkerungsdichte ermittelt werden soll.

Um diesen Indikator für alle Bahnhöfe berechnen zu können, wird aufgrund des unvollständigen Datensatzes der Isochronen-Polygone für die Bevölkerungsdichte lediglich ein Kreis mit einem Radius von 1.260 Meter um den Bahnhof gezogen. Dafür wird in QGIS das Werkzeug „Puffern“ verwendet, die Anzahl der (Kreis-)Segmente wird auf 20 gesetzt. Der resultierende Layer, der als Input-Layer die punktförmige Verortung der Bahnhöfe hat, wird „Bhf_gepuffert“ genannt. Im nächsten Schritt wird mit dem Werkzeug „Auflösen“ zunächst der Layer der Zählsprengele zu einem einzigen Polygon des Staates Österreich vereint und mithilfe des Werkzeugs „Mit Linien Teilen“ wird der Eingabelayer „Bhf_gepuffert“ durch die Linien der Staatsgrenzen in soeben erstelltem Layer geschnitten. Jene Teile der Kreise, die außerhalb Österreichs liegen und daher keine Information über die Bevölkerungsdichte enthalten, müssen nun noch entfernt werden.

Mit dem Werkzeug „Puffern“ wird ein neuer Layer aus dem Layer der Staatsgrenze Österreichs erstellt, indem dieser Layer um einen Zentimeter gepuffert wird. Dieser wird analog zu früheren Berechnungen in Vorkapiteln zur Selektion von Elementen benötigt. Mithilfe des Werkzeugs „nach Position selektieren“ werden nun jene Objekte des Layers der an der Staatsgrenze geteilten, gepufferten Bahnhofspunkte gewählt, die innerhalb des um 1cm gepufferten Layers der Staatsgrenze Österreichs liegt. Die Auswahl wird anschließend invertiert, um die Elemente zu wählen, die außerhalb Österreichs liegen und die Auswahl wird gelöscht. 17 Polygone werden somit entfernt und im Layer verbleiben die 480 Kreise, die

an der Grenze Österreichs abgeschnitten sind. Der Layer wird „Bhf_gepuffert_geschnitten“ genannt.

Nun wird der Layer „ASR“ bearbeitet. Mit dem Werkzeug „Mit Linien teilen“ wird der Layer durch den Layer „Bhf_gepuffert_geschnitten“ geteilt, sodass Zählsprengel, die nicht vollständig innerhalb des Kreises liegen, in einem späteren Schritt auch nur teilweise erfasst werden.

Im geteilten „ASR“-Layer gibt es mehrere Attribute, die für die weitere Berechnung benötigt werden. „ASRp_EW“ bezeichnet die Einwohner:innen-Zahl, die im ASR innerhalb des Sprengels wohnen. Das Attribut „ASR_FL_ha“ beschreibt die Fläche ebendieses ASR in Hektar, die innerhalb des Zählsprengels liegt. Das Attribut „ZSP_FL_ha“ enthält die Fläche des Zählsprengels in Hektar.

Dem geteilten „ASR“-Layer werden nun zwei neue Attribute mittels Feldrechner hinzugefügt. Das Attribut „bevölkerung“ berechnet mit folgendem Code den zugehörigen Anteil von „ASR_EW“ des Polygons, indem die Fläche des Polygons durch die Fläche des Zählsprengels geteilt wird:

```
"ASR_EW" * $area / 10000 / "ZSP_FL_ha"
```

Analog dazu wird außerdem die Fläche im Attribut „ASRarea“ hinterlegt:

```
"ASRp_FL_ha" * $area / 10000 / "ZSP_FL_ha"
```

Um die Einwohner:innendichte schließlich zu berechnen, wird zunächst der Layer „Bhf_gepuffert“ nochmals um einen Zentimeter mithilfe des Werkzeuges „Puffern“ gepuffert. Diesem Layer wird dann mittels Feldrechner ein neues Attribut mit dem Namen „Siedlungsdichte“ hinzugefügt. Folgender Code dividiert die Summe der Attribute „bevölkerung“ der Polygone, die innerhalb des „Bhf_gepuffert“-Polygons liegen, durch deren Summe des Attributs „ASRarea“, um die Siedlungsdichte zu erhalten:

```
aggregate('zsp_file_geteilt_888de27d_41ad_4b4d_904e_bab5a9d21a45',  
'sum', "bevölkerung", contains(geometry(@parent), $geometry))  
/  
aggregate('zsp_file_geteilt_888de27d_41ad_4b4d_904e_bab5a9d21a45',  
'sum', "ASRarea", contains(geometry(@parent), $geometry))
```

Nach der Berechnung wird das Attribut mittels folgendem Code auf den Stammdatensatz der Bahnhaltstellen übertragen:

```
aggregate('bhf_gepuffert1cm_cc243799_ccfb_4312_8821_036b4f5f92ac', 'sum',  
"Siedlungsdichte", attribute(@parent, 'NAME_SNNB') = "NAME_SNNB" )
```

4 Ergebnisse

Minimalkriterium

In folgendem Abschnitt werden die Ergebnisse der Analyse dargestellt. Um die Aussagekraft der Ergebnisse möglichst wenig durch den Zufall zu verfälschen und gleichzeitig eine ausreichende Anzahl an Klassen zu haben, wird der Modal Split von Klassen erst ab einer Anzahl von 50 Einträgen⁴ betrachtet. Klassen unter 50 Einträgen werden aus der Analyse ausgeschlossen und für diese Klassen liegt dann kein Ergebnis vor. Diese Grenze von 50 Einträgen soll ermöglichen, dass auch für den Verkehrsträger „Fahrrad“, der in der Gesamtbetrachtung (vgl. Abbildung 10 auf Seite 26) auf einen Modal Split-Anteil von 9 % kommt, realistische Ergebnisse zustande kommen können. In den zum Ergebnis zugehörigen Tabellen sind die Werte trotzdem abgebildet und grau hinterlegt.

Klassenanzahl

Beim Zusammenführen von mehreren Einträgen in eine Klasse bzw. ein Indikatoren-Intervall stellt sich die Frage der Anzahl der Klassen, in welche die Einträge aufgeteilt werden. Die gewählte Klassenanzahl kann einen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Werden zu viele Klassen gebildet, so ist das Ergebnis stark vom Zufall abhängig. Bei zu wenigen Klassen werden dagegen mitunter Ergebnisse verdeckt, wenn beispielsweise hunderte Einträge von Bahnhöfen mit geringer Einsteiger:innenzahl mit tausenden Einträgen weniger Bahnhöfe in einer Klasse zusammengefasst werden.

In vorliegendem Kapitel wird die Klassenwahl derart vorgenommen, dass in jeder Abbildung zwischen 6 und 11 Klassen dargestellt sind, in denen das Minimalkriterium erfüllt ist. Um die Lesbarkeit der Diagramme zu erleichtern, wurde weiters darauf geachtet, so wenige Nachkommastellen wie nötig in den Klassengrenzen zu belassen. Bei den Kategorien bzw. Indikatoren „Bundesland“, „Urban-Rural-Typologie“ und „Haltestellenkategorie“ ergibt sich die Frage der Anzahl an Klassen nicht, da die Klassierung hier schon durch den Indikator bzw. die Kategorie erfolgt.

⁴Als „Eintrag“ wird in diesem Abschnitt eine Zeile des Datensatzes, also eine befragte Person bezeichnet.

4.1 Modal Split nach Radverkehrsnetzindikatoren

4.1.1 Alpha-Index

In Abbildung 32 sind Modal Splits abhängig von dem Alpha-Index des Netzes der Radbefahrbarkeit innerhalb von 15 Minuten Entfernung dargestellt. Die Variation der Werte ist teilweise beachtlich, allerdings ist kein Trend bei dem Prozentsatz der Radfahrenden ablesbar. Mit steigendem Alpha-Index werden ÖV-Wege häufiger und MIV-Wege seltener. Der Anteil der Radfahrer:innen schwankt zwischen 3 % und 13 %, der des Öffentlichen Verkehrs von 15 % bis 63 %. 6 Einträge werden aus der Betrachtung ausgeschlossen, da deren Kategorien des Alpha-Index das Minimalkriterium von 50 Einträgen pro Kategorie nicht erfüllen. In Tabelle 17 ist die Anzahl der Einträge pro Intervall vermerkt.⁵

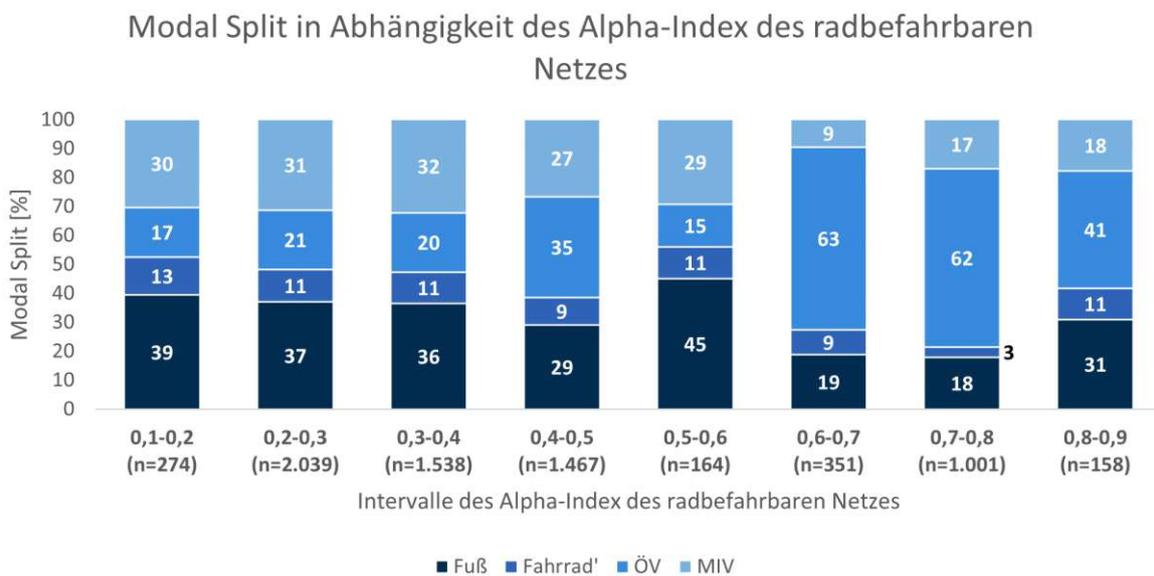


Abbildung 32: Modal Split nach Alpha-Index des radbefahrbaren Netzes

Intervall Alpha-Index	Anzahl der Einträge
0,1-0,2	274
0,2-0,3	2.039
0,3-0,4	1.538
0,4-0,5	1.467
0,5-0,6	164
0,6-0,7	351
0,7-0,8	1.001
0,8-0,9	158
0,9-1,0	2
1,1-1,2	4
4,2-4,3	1

Tabelle 17: Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen des Alpha-Index des radbefahrbaren Netzes (n=6.999)

⁵Einige Ergebnisse weisen ungültige Index-Werte auf. Aufgrund der Tatsache, dass die abgeschnittenen Netze, für welche die Indikatoren berechnet werden, offene Enden besitzen, die auch nicht durch einen Knoten begrenzt sind, kann das besonders bei kleinen Netzen zu Verfälschungen der Indizes α , β , γ führen.

4.1.2 Beta-Index

Die Modal Splits beim Beta-Indikator ähneln den Modal Splits des Alpha-Indikators bis auf einzelne Prozentpunkte Unterschied. Durch die zuvor beschriebene Methodik bei der Auswahl der betrachteten Klassen ergeben sich bei diesen beiden Indikatoren zufällig Aufteilungen, die nahezu äquivalent zueinander sind. Ein Vergleich der Anzahl der Einträge von Tabellen 17 und 18 verdeutlicht dies. Daher werden diese Ergebnisse, gezeigt in Abbildung 33 und Tabelle 18, hier nicht weiter beschrieben. 7 Einträge sind nicht in der Betrachtung enthalten, da das Minimalkriterium von 50 Einträgen pro Klasse nicht erfüllt wurde.

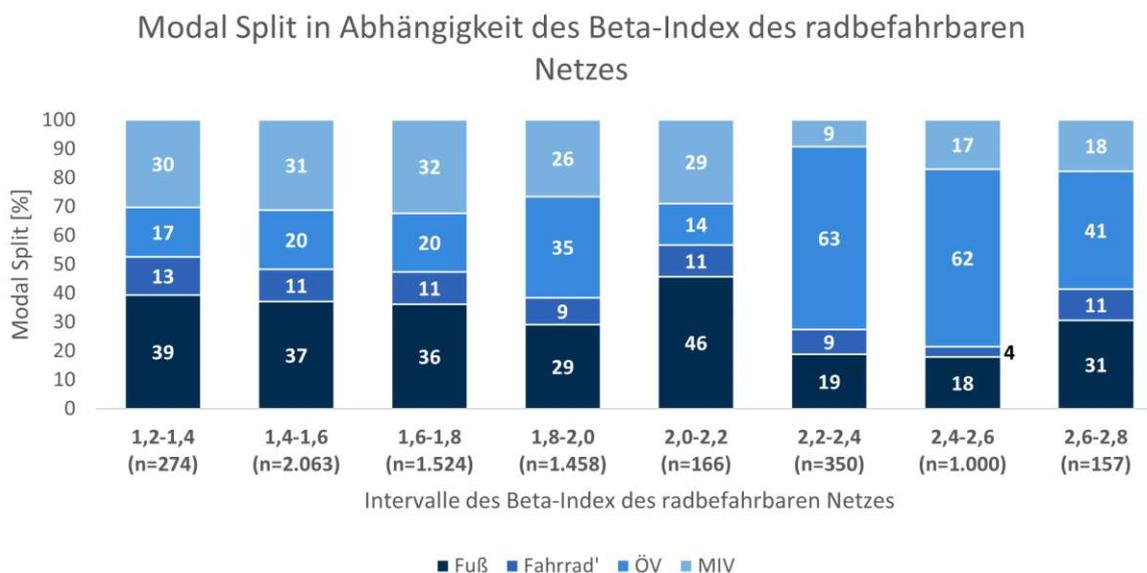


Abbildung 33: Modal Split nach Beta-Index des radbefahrbaren Netzes

Intervall Beta-Index	Anzahl der Einträge
1,2-1,4	274
1,4-1,6	2.063
1,6-1,8	1.524
1,8-2,0	1.458
2,0-2,2	166
2,2-2,4	350
2,4-2,6	1.000
2,6-2,8	157
2,8-3,0	2
3,2-3,4	4
5,0-5,2	1

Tabelle 18: Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen des Beta-Index des radbefahrbaren Netzes (n=6.999)

4.1.3 Gamma-Index

Beim Gamma-Index, dessen Modal-Split-Verlauf in Abbildung 34 gezeigt ist, wird eine von den Alpha- und Beta-Indizes unterschiedliche Klassenanzahl gewählt, weshalb die

Modal Splits hier abweichend von α und β sind. Der qualitative Verlauf mit steigendem Indikatorwert ähnelt jedoch den Verläufen von Alpha- und Beta-Index. Es können aus dieser Verteilung also keine neuen Informationen abgeleitet werden. 28 Einträge sind in der Betrachtung aufgrund des Minimalkriteriums von 50 Einträgen pro Klasse nicht enthalten. In Tabelle 19 ist die Anzahl der Einträge pro Klasse gezeigt.⁶

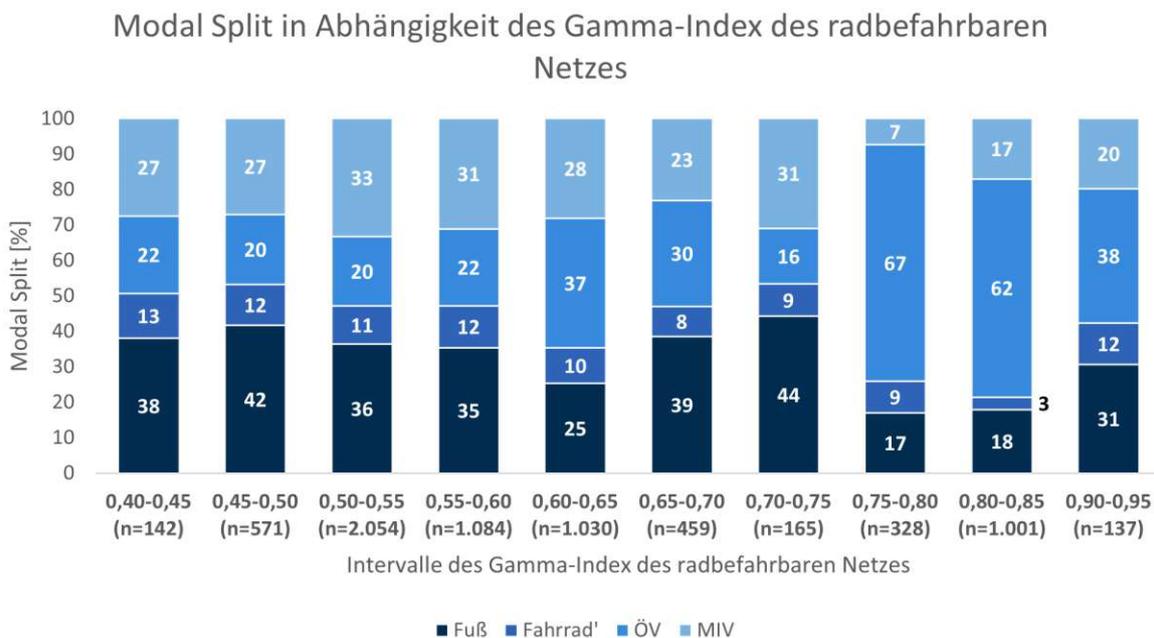


Abbildung 34: Modal Split nach Gamma-Index des Radbefahrbaren Netzes

Intervall Gamma-Index	Anzahl der Einträge
0,40-0,45	142
0,45-0,50	571
0,50-0,55	2.054
0,55-0,60	1.084
0,60-0,65	1.030
0,65-0,70	459
0,70-0,75	165
0,75-0,80	328
0,80-0,85	1.001
0,85-0,90	21
0,90-0,95	137
0,95-1,00	2
1,05-1,10	4
2,75-2,80	1

Tabelle 19: Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen des Gamma-Index des radbefahrbaren Netzes (n=6.999)

⁶Einige Ergebnisse weisen ungültige Index-Werte auf. Aufgrund der Tatsache, dass die abgeschnittenen Netze, für welche die Indikatoren berechnet werden, offene Enden besitzen, die auch nicht durch einen Knoten begrenzt sind, kann das besonders bei kleinen Netzen zu Verfälschungen der Indizes α , β , γ führen.

4.1.4 Kilometerbasierte Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur

Der Modal Split abhängig vom Anteil der Radverkehrsinfrastrukturlänge an der Länge des Netzes mit Radfahrerlaubnis ist in Abbildung 35 dargestellt. Die Variabilität aller Verkehrsmodi mit veränderlichem Anteil der Radverkehrsinfrastruktur ist groß. So schwankt der Anteil des MIV von 7 % bis 39 %, der Anteil des ÖV von 13 % bis 71 %, der Anteil der Kategorie Fahrrad' von 2 % bis 13 % und der Anteil der Fußwege von 15 % bis 46 %.

Bei steigendem Anteil der Radverkehrsinfrastruktur nimmt in dieser Analyse der Anteil des ÖV, mit gleichzeitiger Abnahme der Anteile aller anderen Verkehrsmodi inklusive des Radverkehrs, zu.

Insgesamt 50 Einträge in zwei Kategorien werden bei der Auswertung nicht berücksichtigt, da das Minimalkriterium von 50 Einträgen pro Kategorie nicht erfüllt ist. Die Anzahl der Datenpunkte innerhalb der verbleibenden Kategorien ist in Tabelle 20 aufgelistet.

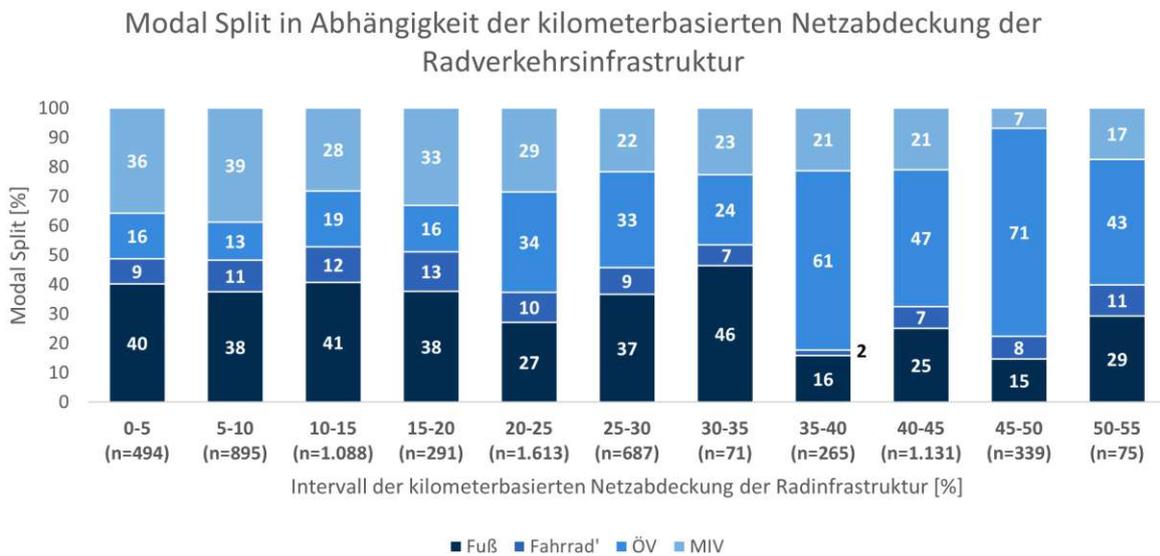


Abbildung 35: Modal Split nach kilometerbasierter Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur

Intervall der kilometerbasierten Netzabdeckung [%]	Anzahl der Einträge
0-5	494
5-10	895
10-15	1.088
15-20	291
20-25	1.613
25-30	687
30-35	71
35-40	265
40-45	1.131
45-50	339
50-55	75
55-60	35
60-65	15

Tabelle 20: Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen der kilometerbasierten Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur (n=6.999)

4.2 Modal Split nach Fußverkehrsnetzindikatoren

4.2.1 Umwegfaktor

Wird die Häufigkeit des Umwegfaktors für den Fußverkehr je Bahnhof aufgetragen, so ergibt sich die Häufigkeitsverteilung in Abbildung 36. Der geringste Wert des Umwegfaktors nimmt 1,21 an, der höchste 3,30. Neben einer Verteilung im Intervall (1,2), die einer rechtsschiefen Verteilung ähnelt, sind einige Ausreißer mit größeren Werten des Umwegfaktors sichtbar.

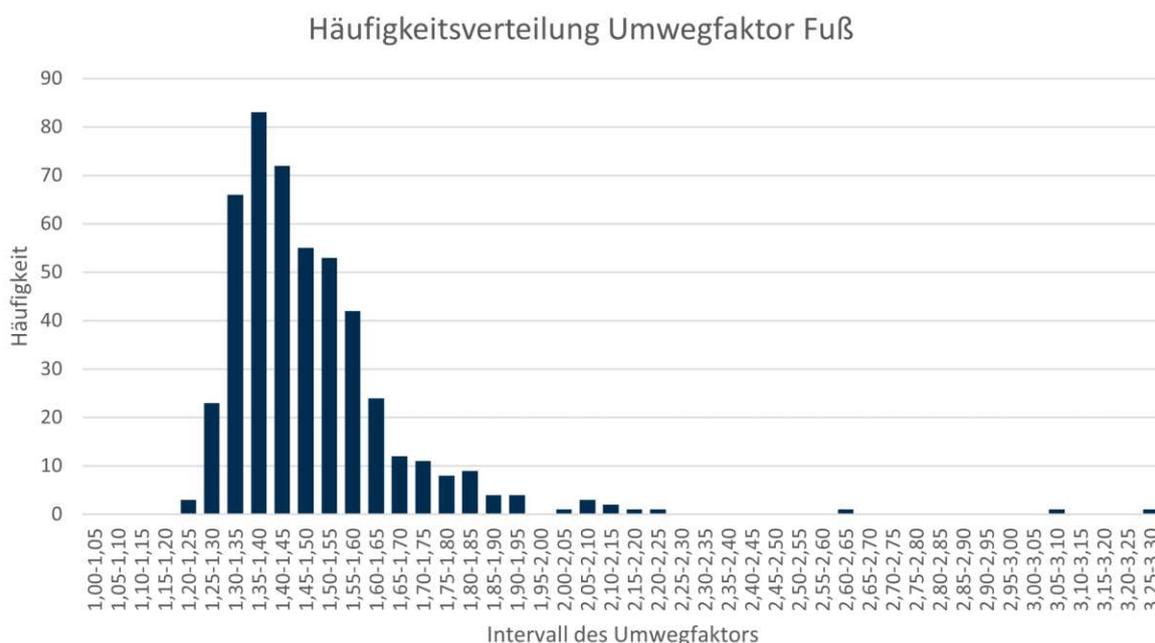


Abbildung 36: Häufigkeitsverteilung des Umwegfaktors des Fußverkehrs je Bahnhof

Nach einer Betrachtung der zugehörigen Polygone müssen die Indikatoren zum Fußverkehr dieser Bahnhaltstellen aus der Analyse ausgeschlossen werden, da es hier au-

genscheinlich einen Fehler bei der Berechnung der Polygone gab.⁷ Als Beispiel sei der Bahnhof Bad Mitterndorf in Abbildung 37 gezeigt, bei dem ein offensichtlicher Pfad vom Ausgang rechts auf der Graphik in Richtung Norden nicht im Polygon enthalten ist und somit essentielle Teile des Wegenetzes nicht analysiert wurden. Bei den anderen Ausreißern verhält es sich ähnlich.

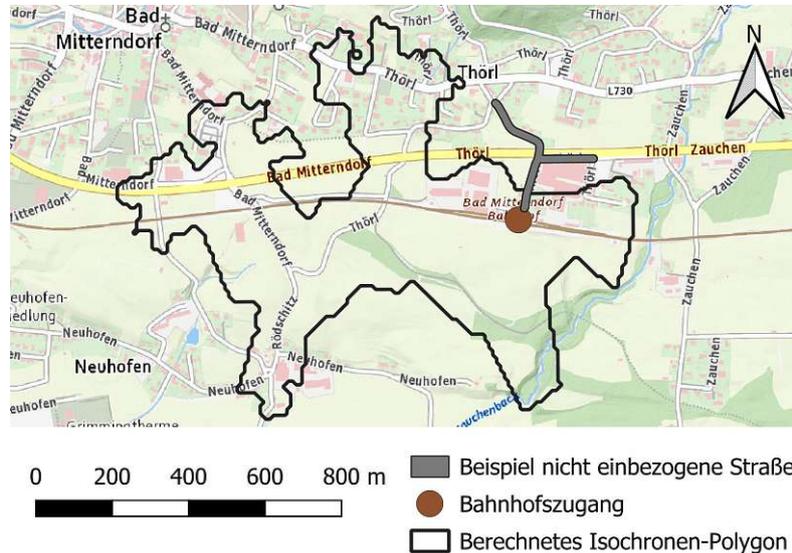


Abbildung 37: Isochronen-Polygon um den Bahnhof Bad Mitterndorf (Grundkarte: basemap.at)

Da das Polygon in diesen Fällen nicht den tatsächlichen Erreichbarkeiten entspricht, werden alle Bahnhöfe mit einem Umwegfaktor ≥ 2 aus der Analyse des Fußverkehrs ausgenommen.

Die Unterscheidung des Modal Splits nach dem Umwegfaktor für Fußwege ist in Abbildung 38 dargestellt. Der Umwegfaktor variiert nach der Bereinigung von circa 1,20 bis 1,95. Die höchsten Ergebnisse von 1,90 bis 1,95 sind in Abbildung 38 nicht angeführt, da die Klasse „1,9-2,0“ lediglich 18 Elemente aufweist und daher keine stichhaltige Aussage getroffen werden kann. Die Modal Splits der verschiedenen Indikatorenklassen variieren bedeutend. Der Anteil der Fußwege variiert von 28 % bis 46 %, der Anteil der ÖV-Wege von 21 % bis 38 %. Die Anteile des MIV schwanken zwischen 19 % und 33 % und jene der Kategorie „Fahrrad“ reichen von 7 % bis 14 %.

In Tabelle 21 ist die Anzahl der Einträge und Bahnhöfe pro Intervall des Umwegfaktors angegeben. Es ist ersichtlich, dass ein sehr großer Teil der Einträge in der Klasse „1,3-1,4“ liegt. Höhere Umwegfaktoren sind bedeutend seltener. 18 Einträge zugehörig zu 4 Bahnhöfen erfüllen das Minimalkriterium von 50 Einträgen pro Kategorie nicht und sind nicht in der Betrachtung enthalten. 36 Einträge in 11 Bahnhöfen wurden über den zu

⁷Die 11 ausgeschlossenen Bahnhöfe, alphabetisch gereiht, lauten: Bad Mitterndorf, Ebreichsdorf, Enzersdorf bei Staats, Feldkirch-Amberg, Imst-Pitztal, Nenzing, Nüziders, Schwarzach-St. Veit, Sigmundsherberg, Sulz-Röthis, Unter Oberndorf.

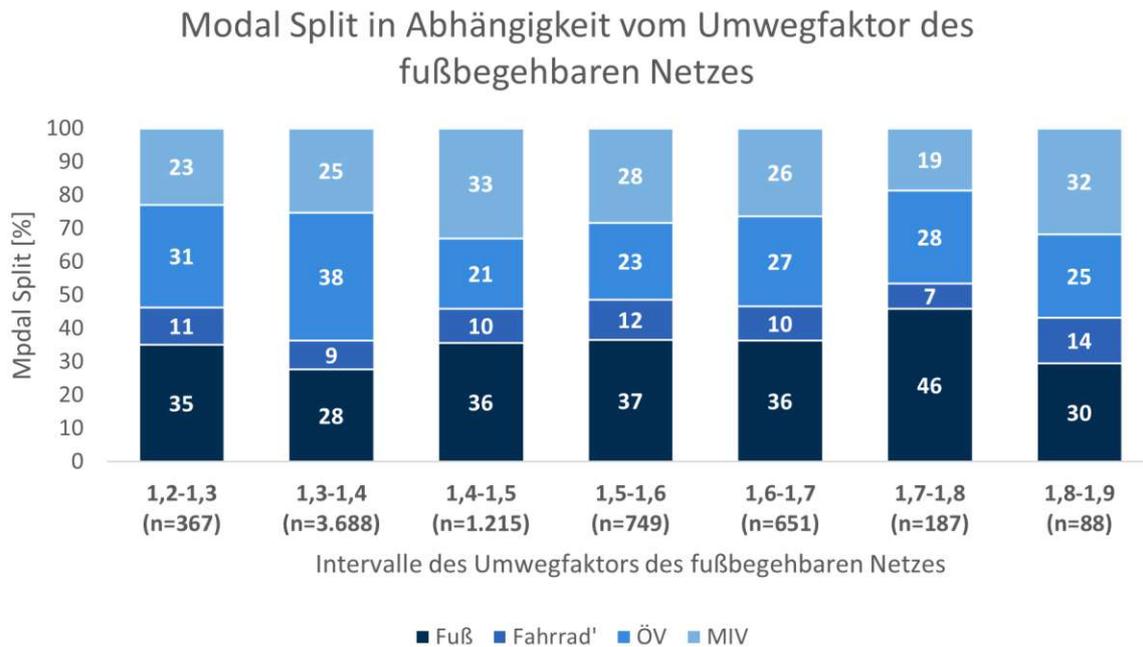


Abbildung 38: Modal Split nach Umwegfaktor des fußbegehbaren Netzes

großen Umwegfaktor aussortiert und sind ebenfalls nicht enthalten.

Intervall Umwegfaktor	Anzahl der Einträge	Anzahl der Bahnhöfe
1,2-1,3	367	26
1,3-1,4	3.687	148
1,4-1,5	1.215	127
1,5-1,6	749	95
1,6-1,7	651	36
1,7-1,8	187	19
1,8-1,9	88	13
1,9-2,0	18	4

Tabelle 21: Anzahl der Einträge (n=6.963) und Bahnhöfe (m=465) innerhalb der Klassen des Umwegfaktors des fußbegehbaren Netzes

4.2.2 Alpha-Index

In Abbildung 39 ist der Modal Split am Weg zur Bahn in Abhängigkeit vom Alpha-Index des begehbaren Straßennetzes abgebildet. Die Modal Splits der unterschiedlichen Alpha-Index-Intervalle unterscheiden sich sehr deutlich voneinander. Die Prozentpunkte des Öffentlichen Verkehrs variieren sehr stark von 15 % bei einem Alpha-Index von 0,20 bis 0,25 bis zu einem Wert von 49 % bei einem Alpha-Index von 0,40 bis 0,45. Ähnlich stark variieren die anderen Kategorien. So reichen die Prozentpunkte des Radverkehrs von 7 % bis 17 %, der Anteil des MIV variiert von 20 % bis 31 % und der Fußverkehrsanteil variiert von 24 % bis 44 %.

In Tabelle 22 sind die Häufigkeiten der Intervallklassen des Alpha-Index gegeben. 100 Einträge sind hier nicht enthalten, da die zugehörigen Klassen die Minimalbedingung von

Modal Split in Abhängigkeit des Alpha-Index des fußbegehbaren Netzes

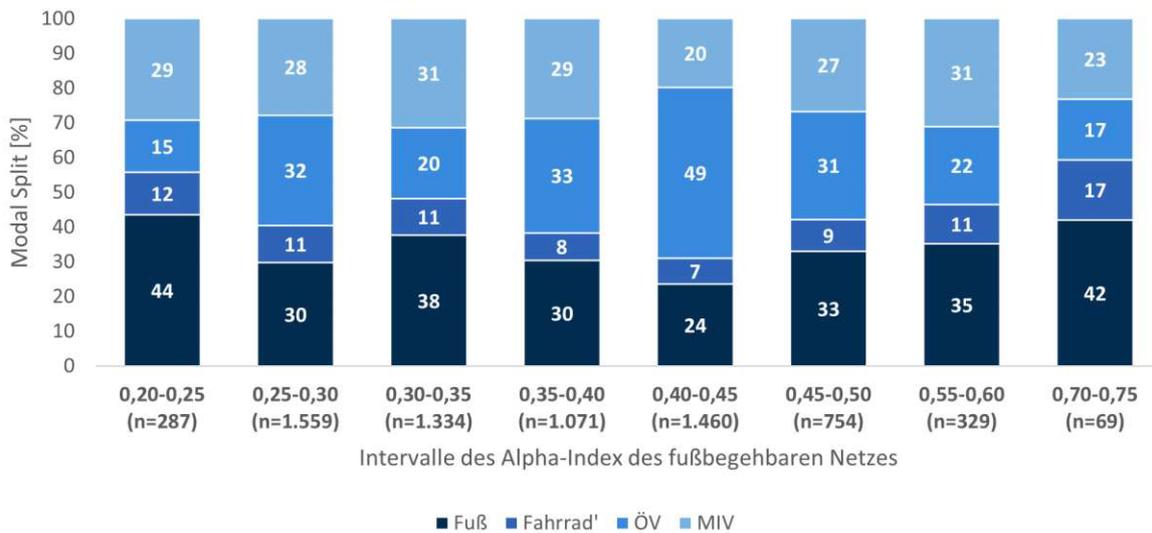


Abbildung 39: Modal Split nach Alpha-Index des fußbegehbaren Netzes

50 Einträgen pro Klasse nicht erfüllen.

Es ist sichtbar, dass der größte Anteil an Personen bei Bahnhöfen mit einem Alpha-Index von 0,25-0,45 eingestiegen ist. Die Kategorie mit sehr hohem Alpha-Index im Intervall „0,70-0,75“ kommt von lediglich 69 Einträgen.⁸

Intervall Alpha-Index	Anzahl der Einträge
0,05-0,10	2
0,15-0,20	34
0,20-0,25	287
0,25-0,30	1.559
0,30-0,35	1.334
0,35-0,40	1.071
0,40-0,45	1.460
0,45-0,50	754
0,50-0,55	33
0,55-0,60	329
0,60-0,65	19
0,65-0,70	7
0,70-0,75	69
0,75-0,80	2
0,80-0,85	1
1,05-1,10	1
1,20-1,25	1

Tabelle 22: Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen des Alpha-Index des fußbegehbaren Netzes (n=6.963)

⁸Einige Ergebnisse weisen ungültige Index-Werte auf. Aufgrund der Tatsache, dass die abgeschnittenen Netze, für welche die Indikatoren berechnet werden, offene Enden besitzen, die auch nicht durch einen Knoten begrenzt sind, kann das besonders bei kleinen Netzen zu Verfälschungen der Indizes α , β , γ führen.

4.2.3 Beta-Index

In Abbildung 40 ist der Modal Split in Abhängigkeit des Beta-Index gegeben. Die Verteilung auf die Verkehrsträger ist sehr ähnlich zur Verteilung des Alpha-Index in Abbildung 39. Die Prozentzahlen unterscheiden sich nur teilweise und nur um einzelne Prozentpunkte. Aus diesem Grund wird auf die Verteilung nicht näher eingegangen.

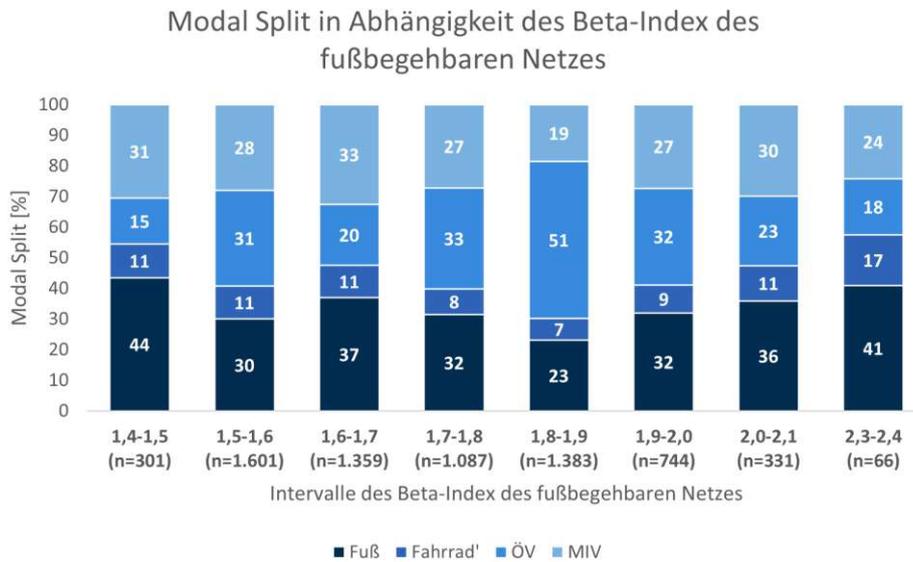


Abbildung 40: Modal Split nach Beta-Index des fußbegehbaren Netzes

In Tabelle 23 ist die Anzahl der Einträge pro Intervall des Beta-Index angegeben. Die absoluten Ergebnisse der Verteilung gleichen der Verteilung des Alpha-Index teilweise bis auf die zweite Stelle. Hier mussten 91 Einträge exkludiert werden, da deren Kategorien das Minimalkriterium von 50 Einträgen pro Kategorie nicht erfüllen.

Intervall Beta-Index	Anzahl der Einträge
1,1-1,2	2
1,3-1,4	42
1,4-1,5	301
1,5-1,6	1.601
1,6-1,7	1.359
1,7-1,8	1.087
1,8-1,9	1.383
1,9-2,0	744
2,0-2,1	331
2,1-2,2	21
2,2-2,3	18
2,3-2,4	66
2,4-2,5	8

Tabelle 23: Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen des Beta-Index des fußbegehbaren Netzes (n=6.963)

4.2.4 Gamma-Index

Für den Gamma-Index ist in Abbildung 41 der Modal Split abhängig vom Gamma Index gezeigt. Auch diese Modal Splits ähneln jenen von Alpha- und Beta-Index stark, wengleich die Ergebnisse hier auf mehrere Klassen aufgeteilt sind. Qualitativ sind die beiden Verteilungen jedoch sehr ähnlich.

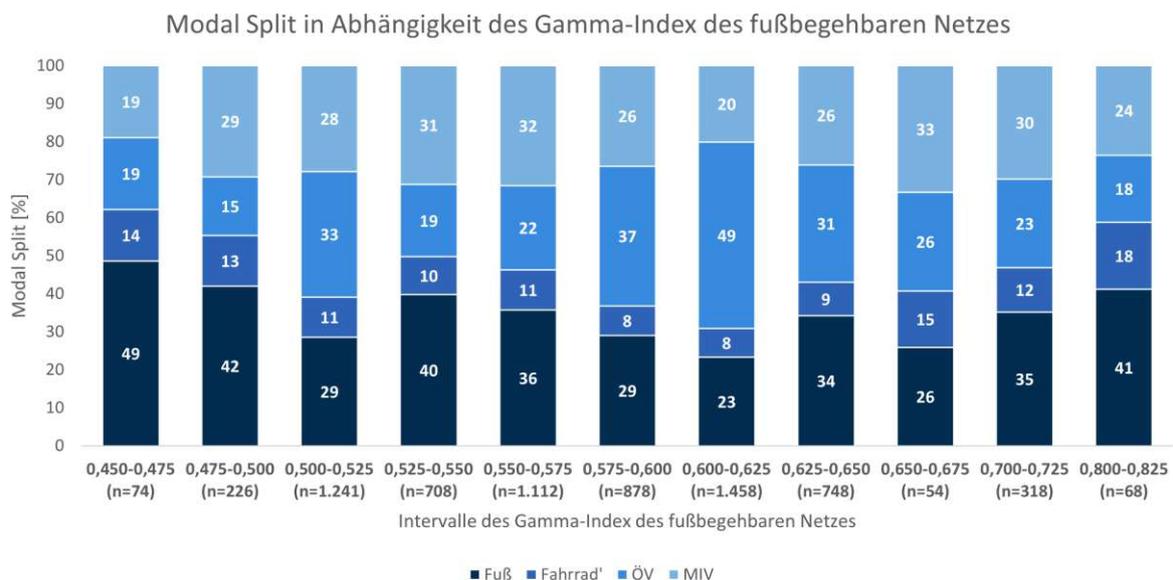


Abbildung 41: Modal Split nach Gamma-Index des fußbegehbaren Netzes

Die Klassenanzahl und die Verteilung der Mengen innerhalb der Klassen unterscheidet sich beim Gamma-Index von Alpha- und Beta-Index. Aufgrund des Minimalkriteriums von 50 Einträgen pro Klasse werden 76 Elemente nicht berücksichtigt. Die meisten Gamma-Indizes liegen im Bereich von 0,500 bis 0,625. In etwa drei Viertel aller befragten Personen sind von einem Bahnhof abgefahren, dessen Netz der Fußbegehrbarkeit mit einem Gamma-Index in diesem Bereich bewertet wird.⁸

Intervall Gamma-Index	Anzahl der Einträge
0,375-0,400	2
0,425-0,450	6
0,450-0,475	74
0,475-0,500	226
0,500-0,525	1.241
0,525-0,550	708
0,550-0,575	1.112
0,575-0,600	878
0,600-0,625	1.458
0,625-0,650	748
0,650-0,675	54
0,675-0,700	27
0,700-0,725	318
0,725-0,750	30
0,775-0,800	5
0,800-0,825	68
0,825-0,850	4
0,850-0,875	1
0,875-0,900	1
1,050-1,075	1
1,125-1,150	1

Tabelle 24: Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen des Gamma-Index des fußbegehrbaren Netzes (n=6.963)

4.2.5 Flächenanteil der Fußverkehrsnetzinfrastruktur

In Abbildung 42 ist der Modal Split in Abhängigkeit des prozentuellen Anteils der Fußverkehrsfläche an der Straßenfläche gezeigt. Diese Verteilung zeigt eine ähnliche Charakteristik wie die der vorigen Indikatoren. Auch hier steigt die Prozentzahl des Öffentlichen Verkehrs bei hohen Indikatorwerten stark an, von 16 % bei geringen Anteilen der Fußverkehrsinfrastruktur am Straßenverkehr auf 53 % bei hohen Anteilen. Ebenfalls ist erneut eine Verringerung des Fußverkehrs am Weg zur Bahn bei höherem Anteil an Fußverkehrsinfrastruktur erkennbar, lediglich bei den ersten beiden Intervallklassen lässt sich eine Steigerung des Fußwegeanteils von 39 % auf 43 % bei einer Steigerung der Fläche der Fußwege feststellen.

Die Verteilung auf die verschiedenen Prozentsätze ist hier vergleichsweise gleichmäßig. 37 Einträge erfüllen das Minimalkriterium von 50 Einträgen pro Klasse nicht und werden aus der Betrachtung ausgeschlossen.

Modal Split in Abhängigkeit des Flächenanteils der Fußverkehrsinfrastruktur am Straßenraum

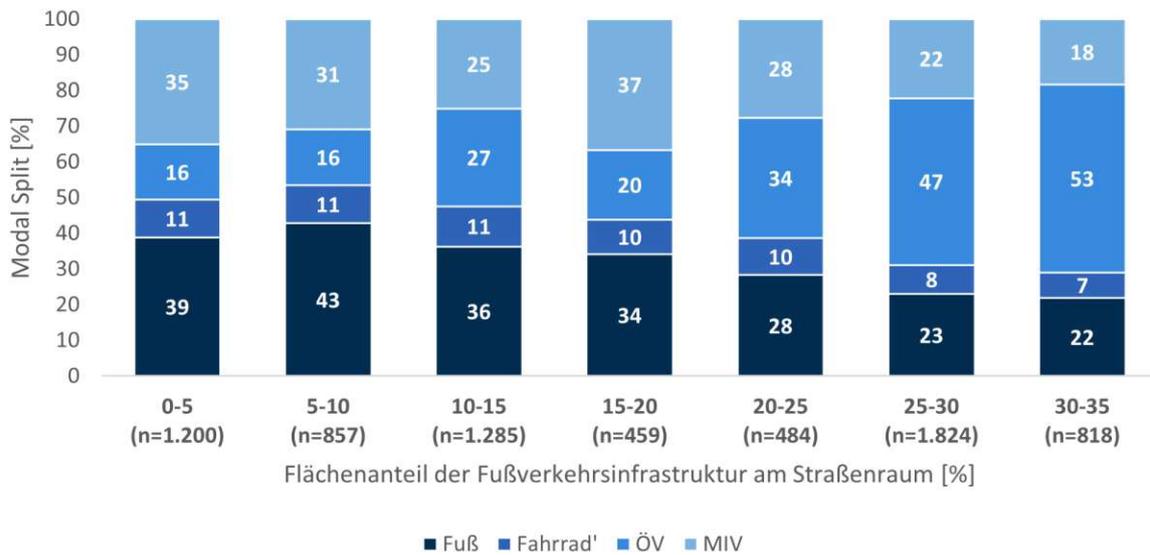


Abbildung 42: Modal Split nach Flächenanteil der Fußverkehrsnetzinfrastruktur

Intervall Flächenanteil [%]	Anzahl der Einträge
0-5	1.200
5-10	857
10-15	1.285
15-20	459
20-25	484
25-30	1.824
30-35	818
35-40	37

Tabelle 25: Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen des Flächenanteils der Fußverkehrsnetzinfrastruktur (n=6.963)

4.3 Modal Split nach ÖV-Netzindikatoren

4.3.1 Haltestellenkategorie

In Abbildung 43 ist der Modal Split nach der Haltestellenkategorie gezeigt. Die Haltestellenkategorien VI und VII erfüllen mit 19 bzw. 2 Einträgen das Minimalkriterium von 50 Einträgen pro Kategorie nicht und sind daher nicht aufgeführt. Die Haltestellenkategorie VIII wird bei Bahnhaltstellen nicht vergeben, weshalb hier keine Einträge vorhanden sind. 2 Bahnhöfe mit 4 Datenpunkten weisen keine Haltestellenkategorie auf. Auch diese Klasse ist daher zu klein, um ausgewertet zu werden.

Bis auf den Anteil der Kategorie Fahrrad', der von 9 % bis 12 % variiert, weisen die restlichen Verkehrsmittel stark variierende Anteile im Modal Split auf. Der Anteil des Öffentlichen Verkehrs variiert am stärksten, die Prozentzahlen im Modal Split reichen in den

unterschiedlichen Haltestellenkategorien von 10 % bis 39 %. Die Anzahl der Datenpunkte sowie die Anzahl der Bahnhöfe pro Haltestellenkategorie ist in Tabelle 26 angeführt. Sichtbar ist hier, dass die Haltestellenkategorie I mit 4.987 Einträgen die mit Abstand meisten Datenpunkte aufweist, die Anzahl an Bahnhöfen allerdings vergleichbar mit den anderen Kategorien ist.

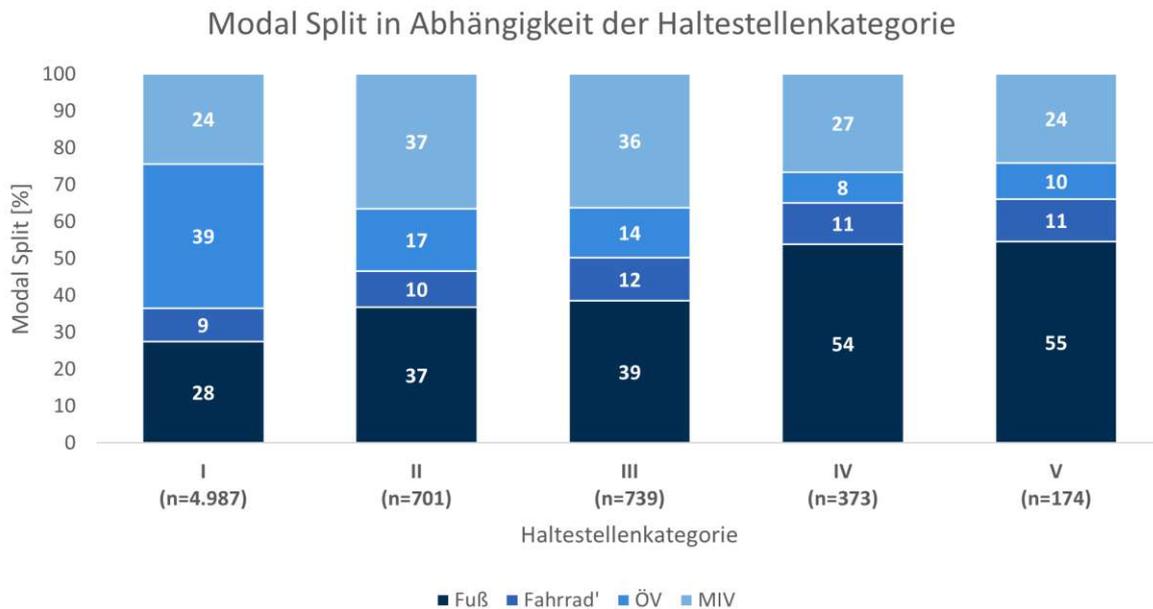


Abbildung 43: Modal Split nach Haltestellenkategorie

Haltestellenkategorie	Anzahl der Einträge	Anzahl der Bahnhöfe
I	4.987	97
II	701	86
III	739	120
IV	373	104
V	174	58
VI	19	11
VII	2	2
-	4	2

Tabelle 26: Anzahl der Einträge und Bahnhöfe pro Haltestellenkategorie (n=6.999)

4.3.2 Haltestellendichte

Der Modal Split in Abhängigkeit von der Haltestellendichte ist in Abbildung 44 dargestellt. Eine stetige Erhöhung des Anteils des Verkehrsmodus ÖV ist mit steigender Haltestellendichte erkennbar. Dieser Anteil steigt von 14 % auf 66 %, während die Anteile der verbleibenden Verkehrsmodi tendenziell mit steigender Haltestellendichte sinken.

In Tabelle 27 ist die Anzahl der Einträge und Bahnhöfe pro Intervall der Haltestellendichte angegeben. Alle Intervalle der Haltestellendichte erfüllen das Minimalkriterium von 50 Einträgen pro Kategorie, weshalb kein Eintrag ausgelassen werden muss. Mit 389 Bahnhöfen liegt der überwiegende Anteil der insgesamt 480 Bahnhöfe im niedrigen Bereich

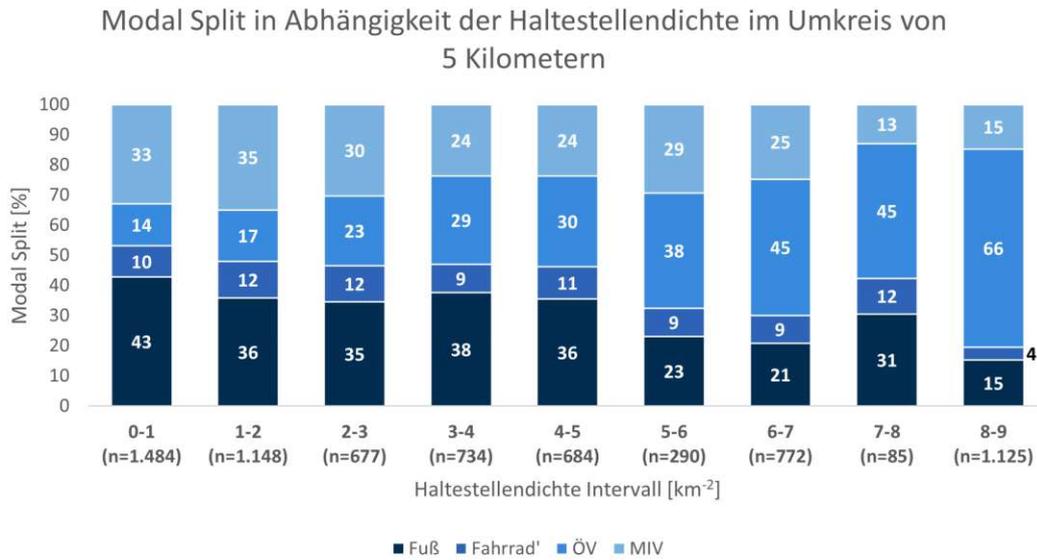


Abbildung 44: Modal Split nach Haltestellendichte

von 0 bis 2 Haltestellen pro Quadratkilometer. Lediglich 3 Bahnhöfe weisen eine sehr hohe Haltestellendichte von 8 bis 9 Haltestellen pro Quadratkilometer auf. Dabei handelt es sich um „Wien Hauptbahnhof“, „Wien Meidling“ sowie „Wien Westbahnhof“. Sämtliche Bahnhöfe mit einer Haltestellendichte über 6 Haltestellen pro Quadratkilometer befinden sich in Graz oder Wien.

Haltestellendichte [km ⁻²]	Anzahl der Einträge	Anzahl der Bahnhöfe
0-1	1.484	297
1-2	1.148	92
2-3	677	24
3-4	734	30
4-5	684	12
5-6	290	10
6-7	772	6
7-8	85	6
8-9	1.125	3

Tabelle 27: Anzahl der Einträge und Bahnhöfe innerhalb der Klassen der Haltestellendichte (n=6.999)

4.4 Modal Split nach Bundesland

In Abbildung 45 ist der Modal Split pro Bundesland gezeigt. Wien sticht hier mit 63 % hervor, einem deutlich überdurchschnittlichen ÖV-Anteil unter den Personen, die zur Bahn reisen. Den zweithöchsten ÖV-Anteil am Modal Split weist Vorarlberg mit 30 % auf, also mit lediglich knapp der Hälfte des Anteils von Wien. Dieser Extremwert bedingt auch, dass Wien prozentuell in allen anderen Verkehrsträgern Schlusslicht in Österreich ist. So hat Wien mit 18 % den geringsten Fußwegeanteil, mit 5 % den geringsten Fahrradanteil und mit 14 % den geringsten MIV-Anteil am Modal Split am Zugangsweg zur Bahn.

In fast allen übrigen Bundesländern liegt der Anteil am Modal Split des Verkehrsmittels „Fahrrad“ zwischen 10 % und 12 %. Lediglich im Burgenland liegt dieser bei 6 %, wobei beachtet werden muss, dass aufgrund der geringen Anzahl der Einträge im Datensatz diese 6 % nur 4 Personen entsprechen. Am wenigsten wird in den Bundesländern Kärnten und Niederösterreich mit dem ÖV zur Bahn gereist mit 15 % Anteil am Modal Split in Kärnten bzw. 16 % Anteil am Modal Split in Niederösterreich.

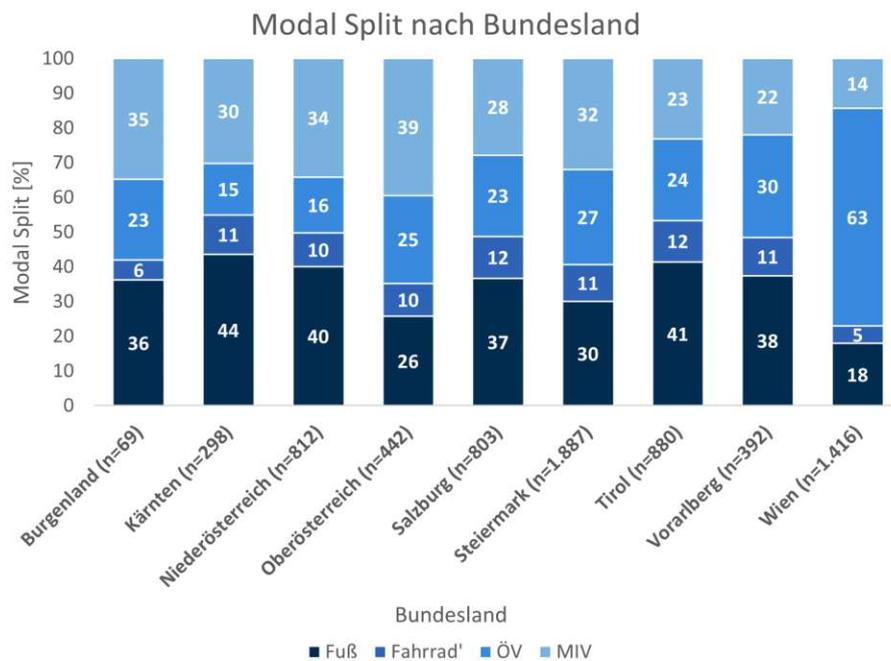


Abbildung 45: Modal Split am Weg zur Bahn nach Bundesland

In Tabelle 28 ist die Anzahl der Bahnhöfe sowie der Personen, die an diesen Bahnhöfen abgefahren sind, für jedes Bundesland angeführt. Die meisten Personen sind von Bahnhöfen in der Steiermark abgefahren (27 % der Personen im Datensatz). Die Abfahrtsbahnhöfe in Wien sind bei etwa 20 % der Einträge zugeordnet. Am geringsten ist die Datenlage im Burgenland, wo lediglich 69 Personen, also knapp 1 % aller befragten Personen ihren Abfahrtsbahnhof angaben.

Bundesland	Anzahl Bahnhöfe	Anzahl Personen
Burgenland	18	69
Kärnten	33	298
Niederösterreich	141	812
Oberösterreich	55	442
Salzburg	39	803
Steiermark	88	1.887
Tirol	60	880
Vorarlberg	24	392
Wien	22	1.416
Gesamt	480	6.999

Tabelle 28: Anzahl an Bahnhöfen und Personen der 9 Bundesländer

In Abbildung 46 ist die Anreisedauerverteilung pro Bundesland gezeigt. In Wien wird die

meiste Zeit für die Anreise zur Bahn aufgewandt, während im Burgenland das Zeitintervall „<15min“ deutlich häufiger angegeben wurde.

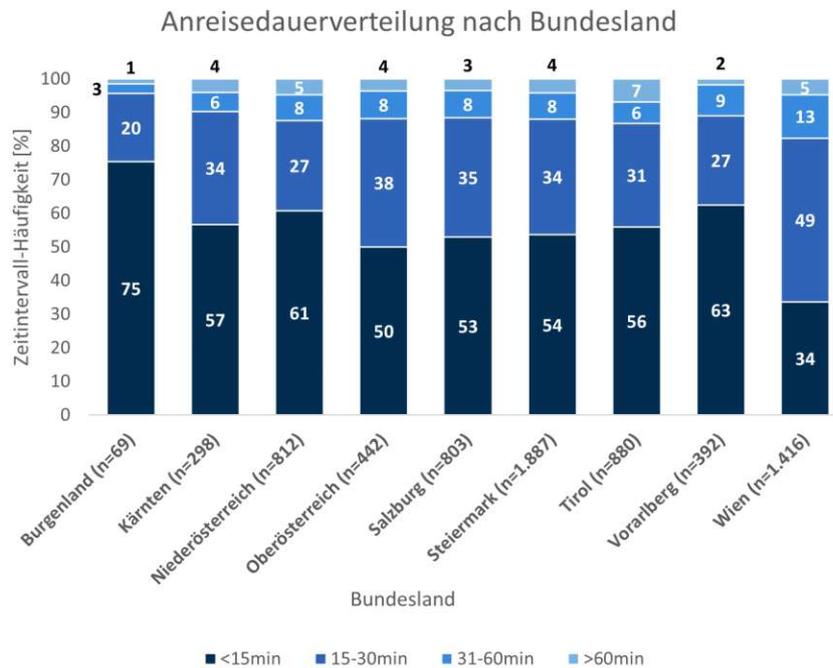


Abbildung 46: Anreisedauerverteilung am Weg zur Bahn nach Bundesland

4.5 Modal Split nach Urban-Rural-Typologie

In Abbildung 47 ist der Modal Split in Abhängigkeit der Urban-Rural-Typologie abgebildet. Die Kategorien 320 und 330 sind aufgrund des Minimalkriteriums nicht enthalten. Die Variabilität unter den verschiedenen Klassen ist groß. In urbanen Großzentren (Code 101) ist der Öffentliche Verkehr mit 44 % der meistgenutzte Verkehrsträger, während dieser im ländlichen, peripheren Raum (430) mit 4 % Anteil am Modal Split kaum eine Rolle spielt. Im ländlichen peripheren Raum (430) ist der Anteil des Fußverkehrs mit 53 % sehr hoch, während der Anteil des MIV mit 24 % annähernd so gering ist, wie in urbanen Großzentren. Im zentralen ländlichen Raum im Umland von Zentren (310) ist der Anteil der Fußgänger:innen mit 47 % hoch, wenngleich der Anteil des MIV mit 34 % deutlich höher als im peripheren ländlichen Raum (430) ist.

Die Häufigkeitsverteilung der Urban-Rural-Typologien der Einstiegsbahnhöfe in Tabelle 29 zeigt eine große Variabilität. Während Bahnhöfe in „Ländlicher Raum, zentral“ (410) 121 Mal enthalten sind, fallen lediglich 8 Bahnhöfe in die Klasse „Umland von Zentren, peripher“ (330), die anderen Häufigkeiten liegen dazwischen. Insgesamt sind also alle 11 Klassen jeweils zumindest 8 Mal vertreten.

Wird die Anzahl der Personen betrachtet, die pro Typologie im Datensatz vertreten sind, so fällt auf, dass mit 3.788 Personen mehr als die Hälfte der Fahrgäste in einem der

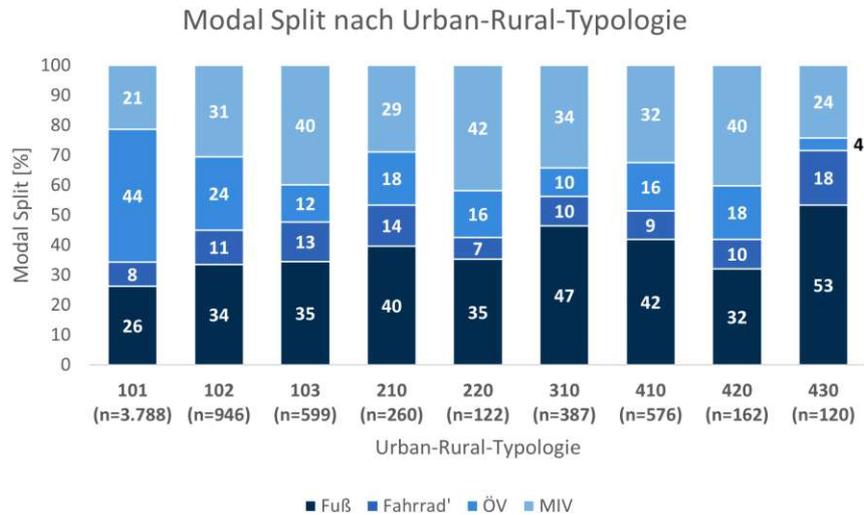


Abbildung 47: Modal Split am Weg zur Bahn nach Urban-Rural-Typologie

Urban-Rural-Typologie	Anzahl Bahnhöfe	Anzahl Personen
101 - Urbane Großzentren	89	3.788
102 - Urbane Mittelzentren	27	946
103 - Urbane Kleinzentren	36	599
210 - Regionale Zentren, zentral	24	260
220 - Regionale Zentren, intermediär	18	122
310 - Umland von Zentren, zentral	96	387
320 - Umland von Zentren, intermediär	11	19
330 - Umland von Zentren, peripher	8	20
410 - Ländlicher Raum, zentral	121	576
420 - Ländlicher Raum, intermediär	25	162
430 - Ländlicher Raum, peripher	25	120
Gesamt	480	6.999

Tabelle 29: Anzahl an Bahnhöfen und Personen der unterschiedlichen Urban-Rural-Typologien

89 Bahnhöfe eingestiegen sind, denen die Urban-Rural-Typologie 101 zugewiesen wurde. In den Urban-Rural-Typologien der Klassen 320 und 330 sind nur 19 bzw. 20 Einträge vorhanden, weshalb deren Ergebnisse nicht betrachtet werden.

Beim Vergleich der Anreisedauern der verschiedenen Urban-Rural-Typologien in Abbildung 48 sind in den Klassen 310 und 430 die geringsten Anreisedauern feststellbar. In Urbanen Großzentren (101), intermediären regionalen Zentren (220) sowie urbanen Mittelzentren (102) sind die Anreisedauern besonders hoch.

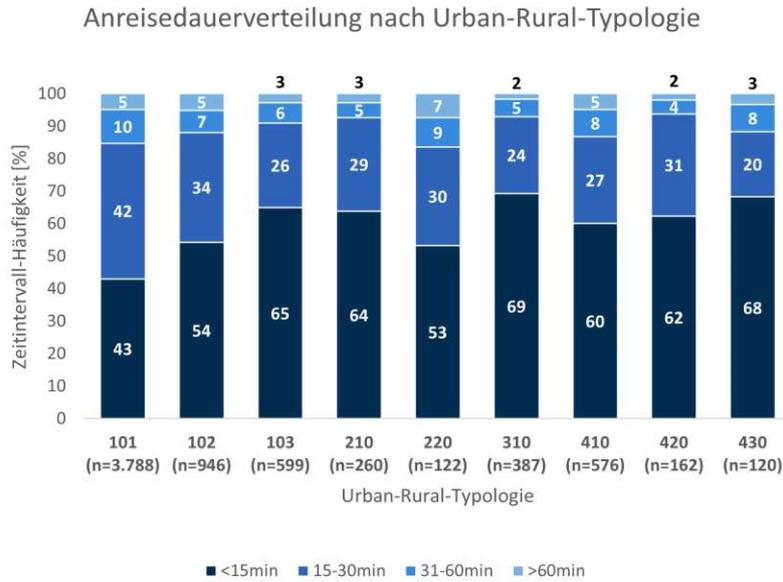


Abbildung 48: Anreisedauerverteilung nach Urban-Rural-Typologie

4.6 Modal Split nach Bevölkerungsdichte

In Abbildung 49 ist der Modal Split in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte in einem Umkreis von 1.260 Meter aufgetragen. In Tabelle 30 sind dieselben Werte in tabellarischer Form dargestellt.

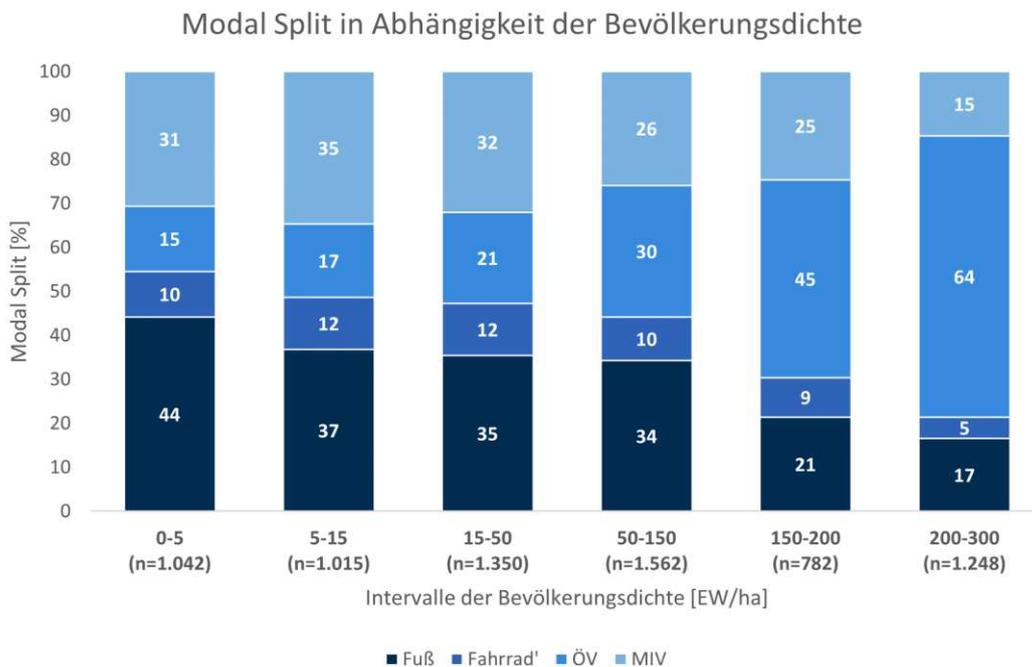


Abbildung 49: Modal Split in Abhängigkeit der Bevölkerungsdichte im Umkreis von 1.260 Metern

Aufgrund der Verteilung der Werte der Bevölkerungsdichte über mehrere Größenordnungen wird bei diesem Indikator keine äquidistante Klasseneinteilung gewählt. Stattdessen werden 6 Klassen erstellt, die bei leicht lesbaren Klassengrenzen eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Werte über die Klassen erlaubt. Die Variabilität bei den Anteilen der Verkehrsträger am Modal Split ist sehr hoch. Der Anteil des MIV variiert von 15 % bis 35 %, der des ÖV sogar von 15 % bis 64 %. Auch die Anteile der Aktiven Mobilität weisen eine hohe Variabilität auf, die Kategorie „Fahrrad“ bewegt sich zwischen 5 % und 12 %, der Anteil des Fußverkehrs zwischen 17 % und 44 %.

Intervall Bevölkerungsdichte [EW/ha]	Anzahl Personen
0-5	1.042
5-15	1.015
15-50	1.350
50-150	1.562
150-200	782
200-300	1.248
Gesamt	6.999

Tabelle 30: Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen der Bevölkerungsdichte (n=6.999)

5 Diskussion

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse besprochen und mögliche Bedeutungen oder Ursachen der Ergebnisse diskutiert.

5.1 Modal Split nach Radverkehrsnetzindikatoren

5.1.1 Alpha-Index

Mit steigendem Alpha-Index sinkt der Anteil der Radfahrenden leicht, ein starker Trend ist nicht erkennbar. Der Alpha-Indikator ist bei diesem Datensatz kein belastbarer Indikator für den Radverkehrsanteil im Modal Split.

5.1.2 Beta-Index

Der Beta-Index liefert ein ähnliches Bild wie der Alpha-Index und auch hier lassen sich daher keine Zusammenhänge zwischen dem Wert dieses Indikators und der Wahl des Fahrrads als Verkehrsmodus ableiten.

5.1.3 Gamma-Index

Obwohl sich die Anzahl der Klassen beim Gamma-Index von jenen bei Alpha und Beta unterscheidet, ist auch hier kein Zusammenhang zwischen den Indikatorwerten und dem Mobilitätsverhalten am Weg zur Bahn erkennbar.

Die Indikatoren Alpha, Beta und Gamma bewerten auf unterschiedliche Art die Konnektivität eines Graphen anhand derselben Input-Parameter, weshalb es wenig überraschend ist, dass sich deren Ergebnisse qualitativ ähneln. Anhand der Ergebnisse ist keiner der 3 Indikatoren der Konnektivität bei diesem Datensatz ein guter Indikator für den Anteil der Radfahrenden am Modal Split.

5.1.4 Kilometerbasierte Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur

Wenngleich ein größerer Anteil der Straßen mit Radverkehrsinfrastruktur mit einem höheren ÖV-Anteil und einem geringeren Fuß- sowie MIV-Anteil zusammenhängt, so lässt sich über den Radverkehr anhand dieses Indikators keine Aussage treffen. Es ist kein klarer, durchgängiger Trend in den Daten erkennbar, weshalb die Aussagekraft dieses Indikators anhand vorliegender Daten ebenfalls nicht belegt werden kann.

Eine mögliche Begründung liegt auch hier am steigenden ÖV-Anteil in Umgebungen mit viel Radinfrastruktur, was die Vermutung nahe legt, dass mit einem guten Öffentlichen Verkehr eine gute Radinfrastruktur einhergeht.

5.2 Modal Split nach Fußverkehrsnetzindikatoren

5.2.1 Umwegfaktor

Wird der Fußverkehr in Abbildung 38 auf Seite 78 betrachtet, so ist kein Trend erkennbar, der einen niedrigeren Umwegfaktor, also direktere Wege, mit einem höheren Fußweganteil am Weg zur Bahn in Zusammenhang stellen würde. Die Prozentpunkte des Öffentlichen Verkehrs sind in den Kategorien mit dem geringsten Umwegfaktoren am höchsten, weshalb vermutet wird, dass ein geringer Umwegfaktor für Fußwege mit einem städtischen Gebiet korreliert. Aufgrund der nicht von Steigungen beeinflussten angenommenen Gehgeschwindigkeit ergeben sich mit dieser Methodik möglicherweise unrealistische Distanzen.

5.2.2 Alpha-Index

Die Ergebnisse des Modal Split in Abhängigkeit des Alpha-Index für Fußwege sind überraschend. Diese Zahlen legen nahe, dass ein geringer Alpha-Index, der für eine geringe Konnektivität des Netzes steht, zu höheren Fußweganteilen führt. Betrachtet man allerdings den Anteil des ÖV, so führen höhere Konnektivitäten zu höheren ÖV-Anteilen, was a priori unkorreliert scheint. Eine Hypothese dazu ist, dass Städte im Vergleich zum ländlichen Raum typischerweise ein dichteres ÖV-Netz, sowie auch eine höhere Konnektivität im Straßennetz aufweisen.

Um diese Hypothese zu überprüfen, ist in Abbildung 50 der Alpha-Index abhängig von der Urban-Rural-Typologie dargestellt und die einzelnen Werte sind durch Boxplots zusammengefasst. In dieser Darstellung lässt sich keine generelle Tendenz ableiten, dass sich die Konnektivität in städtischen Gebieten von jener in ruralen Gebieten merklich unterscheiden würde.

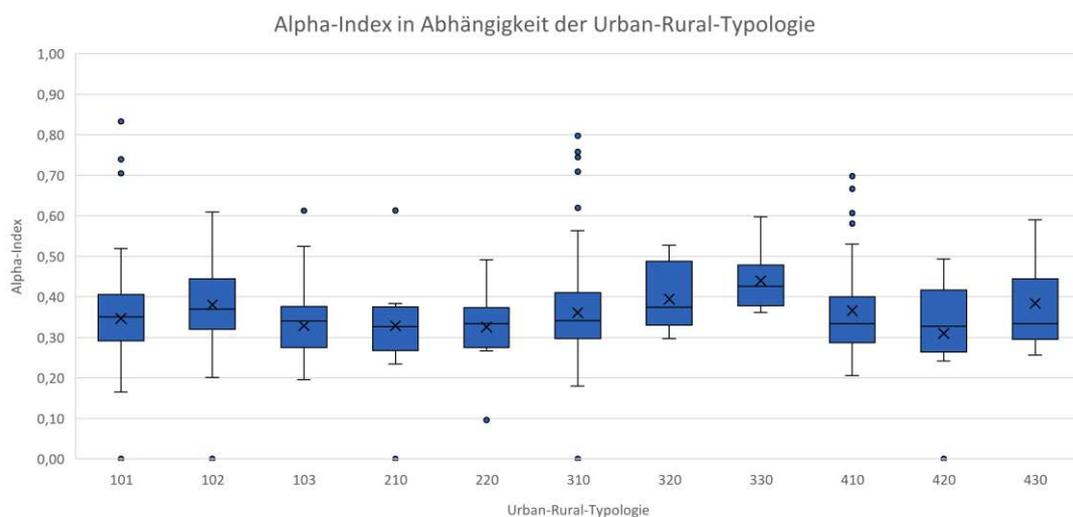


Abbildung 50: Alpha-Index des fußbegehbaren Netzes in Abhängigkeit von der Urban-Rural-Typologie

Der einzige erkennbare Trend wäre in den Typologien 310, 320 und 330, der jedoch nicht valide ist, da letztere beide Typologien aufgrund des Minimalkriteriums von 50 Einträgen pro Klasse nicht aussagekräftig sind.

Vonseiten des Autors wird vermutet, dass die Variation des Anteils des Fußverkehrs in Abbildung 39 auf Seite 79 nicht primär aufgrund der Variation des Alpha-Index stattfindet. Möglicherweise korreliert der Alpha-Index mit anderen Parametern, welche wiederum stark mit dem ÖV-Anteil im Modal Split zusammenhängen.

5.2.3 Beta-Index

Der Modal Split in Abhängigkeit des Beta-Index zeigt eine ähnliche Charakteristik wie jener des Alpha-Index, vermutlich da beide Indizes lediglich die Anzahl der Knoten und Kanten als Input betrachten und ein Verhältnis beider bilden.

5.2.4 Gamma-Index

Die erste Klasse in Abbildung 41 auf Seite 81 unterscheidet sich zwar deutlich von jenen Prozentzahlen in den Alpha- und Beta-Indizes, jedoch kann dies mit Blick auf die Häufigkeiten pro Klasse in Tabelle 24 auf Seite 82 relativiert werden. Da in der ersten Klasse beim Gamma-Index nur 74 Einträge vorhanden sind (im Vergleich mit 287 bzw. 301 in der ersten Alpha- bzw. Beta-Index-Klasse), wird angenommen, dass durch die vergleichsweise kleine Stichprobe bei γ die unterschiedlichen durchschnittlichen Werte zustande kommen, und die Verteilungen von Abbildungen 39 und 40 durch eine andere Definition der Intervalle des Gamma-Index reproduziert werden können.

Die drei Indizes Alpha, Beta und Gamma liefern also allesamt ähnliche, nicht eindeutige Ergebnisse, was auch erwartbar ist, da alle drei Indikatoren ein Maß der Konnektivität eines Graphen sind und unterschiedliche Ergebnisse nicht konsistent wären. Diese Tatsache ist auf den vier Scatterplots in Abbildung 51 verdeutlicht. Auf der linken Seite ist der Indikator Beta in Abhängigkeit von Alpha aufgetragen, auf der rechten Seite ist Gamma in Abhängigkeit von Alpha gezeigt. Sowohl auf den beiden oberen Plots zum fußbegehbaren Netz, als auch auf den unteren Scatterplots zum radbefahrbaren Netz ist ein nahezu perfekter linearer Zusammenhang zwischen den Indikatoren sichtbar, was zeigt, dass die drei Indikatoren gleiche Inputparameter gleich bewerten.

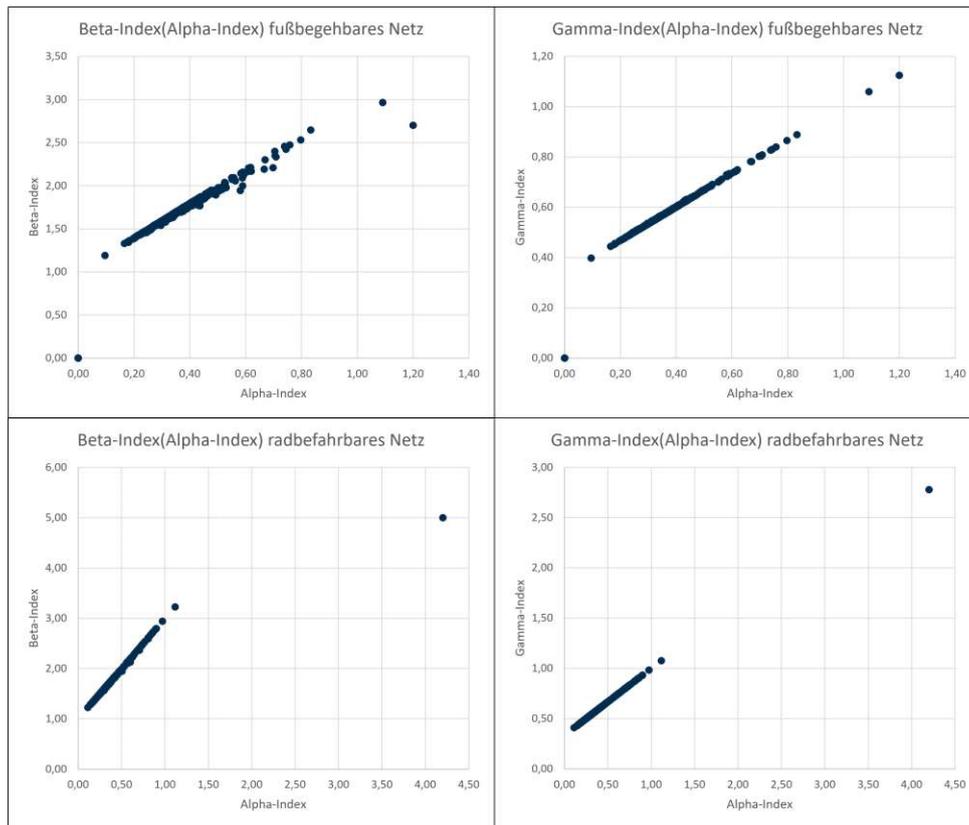


Abbildung 51: Beta- und Gamma-Index in Abhängigkeit des Alpha-Indexes von fußbegehbaren und radbefahrbaren Netzen

5.2.5 Flächenanteil der Fußverkehrsinfrastruktur

Der Modal Split in Abhängigkeit des Flächenanteils der Fußwege an der Verkehrsinfrastruktur zeigt ein ähnliches Verhalten wie die restlichen betrachteten Indikatoren zur Güte des Fußverkehrsnetzes. Mit steigendem Flächenanteil wird der ÖV dominant und die Fußwege werden „verdrängt“.

5.3 Scatterplots von Netzindikatoren

Um zu belegen, dass die unintuitiven Ergebnisse, nach welchen eine Infrastruktur von höherer Qualität zu geringerer Nutzung dieser Infrastruktur zu führen scheint, nicht durch die Klassenwahl verursacht werden, werden ausgewählte Ergebnisse folgend als Scatterplot gezeigt. Auf der Abszisse ist dabei der jeweilige Indikatorwert aufgetragen, auf der Ordinate der Anteil des betroffenen Verkehrsmittels am Modal Split. In den Abbildungen 52, 53 und 54 werden Indikatoren zum Fußverkehr betrachtet, in den Abbildungen 55 und 56 Indikatoren zum Radverkehr. Da es zahlreiche Bahnhöfe gibt, bei denen im Datensatz nur eine oder wenige Personen zugestiegen sind, sind in den jeweils linken Diagrammen Häufungen bei den Modal-Split-Anteilen 0 %, 50 %, 100 %, 33 %, usw. zu sehen. Aus diesem Grund ist in den jeweils rechten Diagrammen der gleiche Datensatz gezeigt, jedoch lediglich

mit Bahnhöfen mit mindestens 10 Personen. Die gepunktete Linie in den Diagrammen zeigt die jeweilige lineare Trendlinie.⁹

In Abbildung 52 ist links ein negativer Zusammenhang erkennbar, rechts nach dem Ausordern der Bahnhöfe unter 10 einsteigenden Personen allerdings nicht mehr, wie auch in Abbildung 38 auf Seite 78. Der negative Zusammenhang von den Indikatoren Alpha-Index sowie dem Flächenanteil der Fußverkehrsinfrastruktur mit dem Modal Split-Anteil der Zufußgehenden in den Abbildungen 53 und 54 entspricht den festgestellten Zusammenhängen der Kapitel 4.2.2 und 4.2.5. Auch der negative Trend, der beim Alpha-Index des radbefahrbaren Netzes in Abbildung 55 abgebildet ist, konnte in der klassenbasierten Betrachtung nicht herausgelesen werden. Bei der kilometerbasierten Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur wurde in der klassenbasierten Betrachtung ein negativer Trend des Anteils der Kategorie „Fahrrad“ mit steigender Netzabdeckung festgestellt. Dieser Trend ist in Abbildung 56 nicht sichtbar.

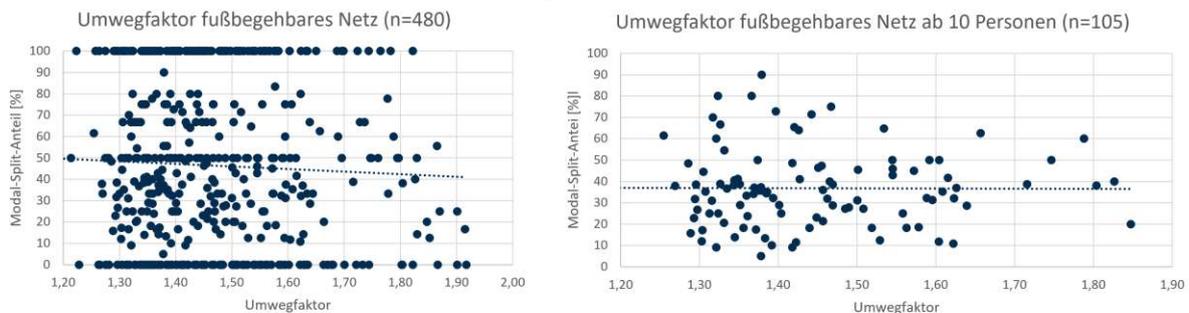


Abbildung 52: Scatterplots des Umwegfaktors des fußbegehbaren Netzes

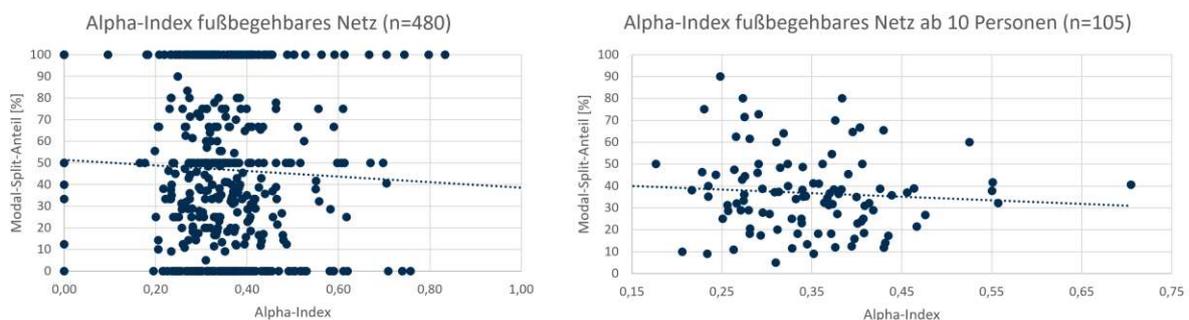


Abbildung 53: Scatterplots des Alpha-Index des fußbegehbaren Netzes

⁹Geradengleichungen der Trendlinien:

Abb. 52 links: $y = -12,008x + 64,035$, Abb. 52 rechts: $y = -0,8162x + 37,936$,
 Abb. 53 links: $y = -12,848x + 51,372$, Abb. 53 rechts: $y = -16,305x + 42,369$,
 Abb. 54 links: $y = -0,115x + 47,59$, Abb. 54 rechts: $y = -0,1973x + 39,096$,
 Abb. 55 links: $y = -4,1399x + 12,708$, Abb. 55 rechts: $y = -5,981x + 13,402$,
 Abb. 56 links: $y = 0,0124x + 11,073$, Abb. 56 rechts: $y = 0,019x + 10,944$
 Die y -Werte sind als Prozentwerte angegeben.

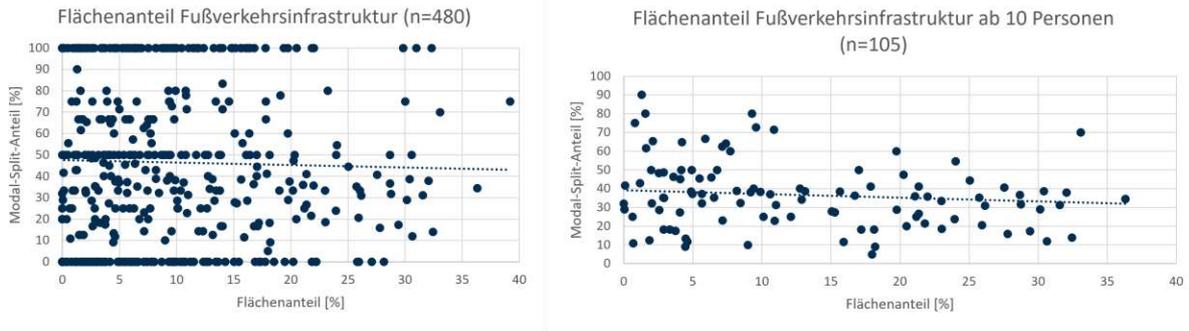


Abbildung 54: Scatterplots des Flächenanteils der Fußverkehrsinfrastruktur

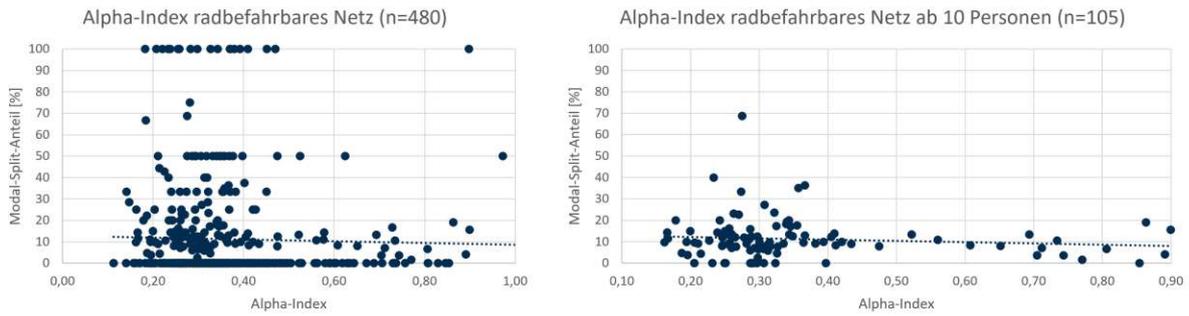


Abbildung 55: Scatterplots des Alpha-Index des radbefahrenen Netzes

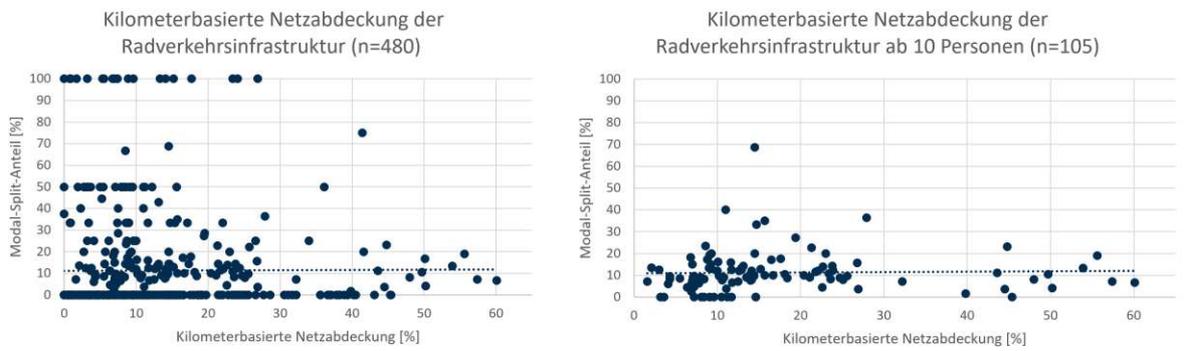


Abbildung 56: Scatterplots der kilometerbasierten Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur

Oben gezeigte Scatterplots zeigen, dass die klassenbasierte Betrachtung nicht zwingend ungenauere Ergebnisse bringt. Im Großteil der Fälle lässt sich in beiden Darstellungsarten derselbe Trend feststellen. Ein Nachteil der Scatterplots ist, dass Bahnhöfe mit geringen Einsteiger:innenzahlen nicht sinnhaft mitanalysiert werden können, da diese Daten entweder das Ergebnis durch zu hohe oder zu niedrige Anteile am Modal Split verzerren, oder gänzlich ausgeschlossen werden müssen, wobei bei letzterer Methodik Bahnhöfe in ruralen Gegenden unterrepräsentiert werden.

5.4 Modal Split nach ÖV-Netzindikatoren

5.4.1 Haltestellenkategorie

Die Ergebnisse des Modal Split nach Haltestellenkategorie in Kapitel 4.3.1 auf sind vielversprechend. Mit steigender, also schlechter bewerteter Haltestellenkategorie ist ein klar negativer Trend des ÖV-Anteils am Modal Split zu erkennen. Mit schlechter bewerteter Haltestellenkategorie steigt gleichzeitig der Fußverkehr stark und der Radverkehr leicht.

Wird in Microsoft EXCEL mit der Funktion „KORREL“ die Korrelation zwischen dem Indikatorwert und dem Anteil des Öffentlichen Verkehrs berechnet, so ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von zirka $-0,85$ und damit eine starke negative Korrelation. Noch stärker ist die Korrelation zwischen dem Anteil des Fußverkehrs und der Haltestellenkategorie mit einem Korrelationskoeffizienten von zirka $0,96$, also eine beinahe perfekte Übereinstimmung. Auch beim Fahrrad' ist ein hoher Wert der Korrelation von $0,87$ mit der Haltestellenkategorie feststellbar. Beim MIV ergibt sich lediglich eine schwache Korrelation von $-0,26$. Bei diesen Korrelationen ist jedoch zu beachten, dass hier der Wert aus geclusterten Werten gebildet wird, da die Anteile am Modal Split ansonsten nur 0% oder 100% betragen würden. Aus diesem Grund würde eine scheinbar perfekte Korrelation von $1,0$ hier nicht zwingend einer perfekten Korrelation der ungeclusterten Daten entsprechen.

Da die Existenz einer guten und damit niedrigen Haltestellenkategorie eine hohe Frequenz und damit eine gute Qualität an Verbindungen des Öffentlichen Verkehrs darstellt, und diese mit geringeren Anteilen der Aktiven Mobilität am Modal Split korrelieren, wird die Hypothese aufgestellt, dass Menschen ein gutes ÖV-Angebot nutzen, sofern es vorhanden ist, anstatt sich aktiv mobil zum Bahnhof zu begeben.

5.4.2 Haltestellendichte

Eine noch höhere Übereinstimmung mit dem Mobilitätsverhalten hat die Haltestellendichte im Umkreis von 5 Kilometern um den Einstiegsbahnhof. Je mehr Haltestellen pro Quadratkilometer in diesem Bereich existieren, desto häufiger wird der ÖV zur Anreise zum Bahnhof gewählt und desto seltener werden andere Verkehrsmodi gewählt. Die in Microsoft EXCEL berechnete Korrelation zwischen Haltestellendichte und Anteil der ÖV-Wege am Modal Split, gruppiert in die in Abbildung 44 auf Seite 85 bzw. Tabelle 27 auf Seite 85 gezeigten Klassen, ist mit einem Koeffizienten von zirka $0,96$ sehr stark. Die Haltestellendichte ist damit in diesem Datensatz ein guter Indikator für den Anteil der ÖV-Wege am Weg zur Bahn.

Darüber hinaus weist bei gleicher Berechnungsmethodik die Haltestellendichte starke negative Korrelationskoeffizienten für den Anteil der MIV-Wege ($-0,87$) sowie für den Anteil der Fußwege ($-0,85$) auf. Der Anteil der Wege innerhalb der Kategorie Fahrrad' korreliert mit einem Korrelationskoeffizienten von $-0,59$ mittelstark mit der Haltestellendichte.

Diese Koeffizienten sind ähnlich wie bei der Haltestellenkategorie abhängig von der Klassenbildung und damit in der Aussagekraft nicht vergleichbar mit Korrelationskoeffizienten, die an anderer Stelle dieser Arbeit gezeigt sind.

5.5 Modal Split nach Bundesland

Durch den hohen ÖV-Anteil in Wien, der vermutlich durch die Qualität des Öffentlichen Verkehrs verursacht wird, ist die Anreisedauer in Wien überdurchschnittlich hoch. Dieser Zusammenhang wurde schon in der Datensatzanalyse festgestellt. Generell scheint der ÖV-Anteil aber nicht (alleine) für eine höhere Anreisedauer verantwortlich zu sein, da beispielsweise in Tirol und Vorarlberg die ÖV-Anteile 24 % bzw. 30 % betragen, jedoch die Anreisedauer in Vorarlberg trotz höherem ÖV-Anteil geringer ist als jene in Tirol.

5.6 Modal Split nach Urban-Rural-Typologie

Dass der Öffentliche Verkehr in urbanen Groß- (101) und Mittelzentren (102) eine übergeordnete Rolle spielt, entspricht den Erwartungen. Die damit einhergehende höhere Anreisedauerverteilung in diesen entspricht dem Umstand der höheren Anreisedauer beim Verkehrsmittel Öffentlicher Verkehr, wie in Kapitel 3.1 bereits festgestellt wurde. Als überraschend hoch wird der Fußweganteil in den Typologien „Umland von Zentren, zentral“ (310) und „Ländlicher Raum, peripher“ (430) angesehen. Eine Hypothese diesbezüglich ist, dass Bahnhaltstellen, die sich innerhalb einer Gemeinde mit dieser Typologie befinden, häufig am Rand oder innerhalb einer kleinen Siedlung liegen. Dadurch könnten Fußwege zur Station kurz und damit attraktiv sein. Dieser Hypothese wird an dieser Stelle nicht weiter nachgegangen und kann in einer weiterführenden Arbeit betrachtet werden.

5.7 Modal Split nach Bevölkerungsdichte

Der Modal Split in Abhängigkeit der Bevölkerungsdichte ähnelt qualitativ dem Modal Split in Abhängigkeit der Haltestellendichte. Mit steigender Bevölkerungsdichte steigt der Anteil des ÖV am Modal Split stark an, die restlichen Verkehrsträger verlieren gleichzeitig am Modal Split.

Die negativen Zusammenhänge zwischen den Indikatoren zur Aktiven Mobilität mit dem Mobilitätsverhalten, sowie der positive Zusammenhang der Indikatoren zum ÖV mit dem Mobilitätsverhalten finden sich in Abbildung 49 auf Seite 89 grob wieder. Daher wird die Hypothese aufgestellt, dass die Indikatoren für den Öffentlichen Verkehr und die Aktive Mobilität abhängig von der Bevölkerungsdichte sind. Mit steigender Bevölkerungsdichte würde also die Qualität von ÖV, Radverkehrsinfrastruktur und Fußverkehrsinfrastruktur steigen. Durch eine unterschiedlich stark steigende Qualität könnte die Dominanz des Öffentlichen Verkehrs als Zubringer zur Bahn in dicht besiedelten Gebieten erklärt werden.

Zur Untersuchung dieser Hypothese wird der Pearson-Koeffizient zwischen der Bevölkerungsdichte und sämtlichen anderen berechneten Indikatoren der 480 Bahnhöfe berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 31 dargestellt. Die Indikatoren des fußbegehbaren Netzes korrelieren sehr schwach bis gar nicht mit der Bevölkerungsdichte, die Indikatoren des radbefahrbaren Netzes sowie die Haltestellenkategorie korrelieren schwach mit der Bevölkerungsdichte. Die stärksten Korrelationen mit der Bevölkerungsdichte weisen die Indikatoren „Flächenanteil der Fußverkehrsinfrastruktur am Straßenraum“, „Kilometerbasierte Netzabdeckung Radverkehrsinfrastruktur“ und „Haltestellendichte“ auf, letzterer sogar mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,86. Diese drei Zusammenhänge sollen näher betrachtet werden.

Indikator	Pearson-Koeffizient
Alpha-Index fußbegehbares Netz	0,03
Beta-Index fußbegehbares Netz	0,07
Gamma-Index fußbegehbares Netz	0,03
Umfwegfaktor fußbegehbares Netz	-0,17
Flächenanteil der Fußverkehrsinfrastruktur am Straßenraum	0,59
Alpha-Index radbefahrbares Netz	0,32
Beta-Index radbefahrbares Netz	0,47
Gamma-Index radbefahrbares Netz	0,35
Kilometerbasierte Netzabdeckung Radverkehrsinfrastruktur	0,77
Haltestellenkategorie	-0,45
Haltestellendichte	0,86

Tabelle 31: Korrelationskoeffizienten verschiedener Indikatoren mit der Bevölkerungsdichte

In den folgenden drei Abbildungen 57, 58 und 59 sind die drei oben genannten Indikatoren in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte als Scatterplot dargestellt. Aufgrund der Verteilung der Indikatoren über mehrere Größenordnungen wird in den Diagrammen eine doppellogarithmische Darstellung gewählt.

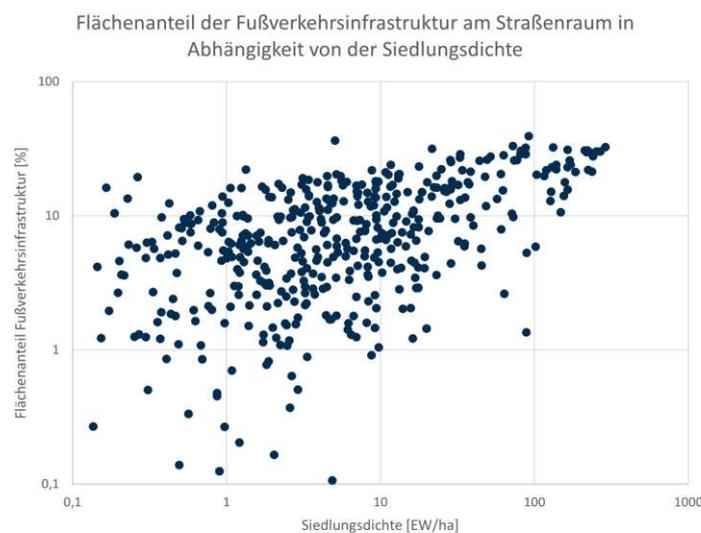


Abbildung 57: Flächenanteil der Fußverkehrsinfrastruktur am Straßenraum in Abhängigkeit der Bevölkerungsdichte

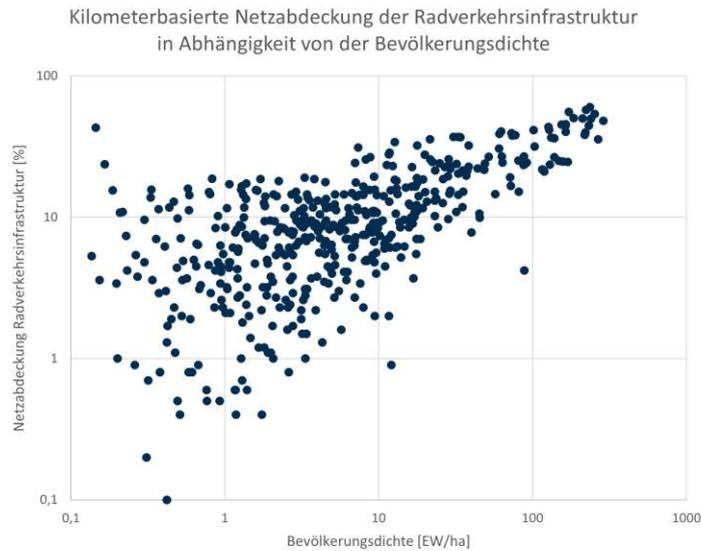


Abbildung 58: Kilometerbasierte Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur in Abhängigkeit der Bevölkerungsdichte

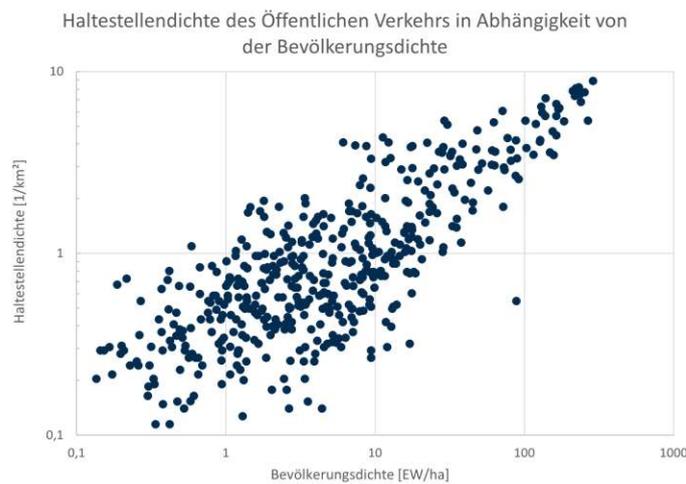


Abbildung 59: Haltestellendichte des Öffentlichen Verkehrs in Abhängigkeit der Bevölkerungsdichte

In allen drei Diagrammen ist ein Zusammenhang der jeweiligen Indikatoren festzustellen. Besonders deutlich ist dies beim Vergleich der Bevölkerungsdichte mit den Indikatoren zur Radverkehrsinfrastruktur (siehe Abbildung 58) und zum Öffentlichen Verkehr (siehe Abbildung 59) sichtbar, was auch die Korrelationskoeffizienten aus Tabelle 31 belegen.

Diese Betrachtungen legen nahe, dass die Bevölkerungsdichte, welche einen großen Einfluss auf das Mobilitätsverhalten hat, eine möglicherweise existierende Aussage der betrachteten Indikatoren der Aktiven Mobilität verschleiert. Eine Analyse, wie und ob dieser „Störfaktor“ herausgefiltert werden kann, könnte in einer weiterführenden Arbeit untersucht werden.

5.8 Multiple Lineare Regression

In diesem Abschnitt wird eine Multiple Lineare Regression durchgeführt, um zu überprüfen, wie gut sich die Modal-Split-Anteile der jeweiligen Verkehrsträger als Linearkombination der untersuchten Indikatoren darstellen lassen. Dafür werden jene Indikatoren herangezogen, deren Werte einer Ordinalskala entsprechen. Bei den Indikatoren „Urban-Rural-Typologie“ und „Bundesland“ ist es nicht möglich, die Werte zu reihen. Daher werden sie in der Multiplen Linearen Regression nicht betrachtet. Bei den Indikatoren Alpha, Beta und Gamma wird pro Verkehrsträger lediglich der Alpha-Index herangezogen, da die Ergebnisse der drei Indikatoren jeweils nahezu identisch sind.

Die Multiple Lineare Regression wird mit der Microsoft EXCEL-Funktion „RGP“ durchgeführt. Diese Funktion liefert neben den Koeffizienten der unabhängigen Variablen auch das Bestimmtheitsmaß r^2 , mit dem die Korrelation der optimierten Funktion mit der abhängigen Variable verglichen werden kann. Das Bestimmtheitsmaß kann dabei Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei ein Wert von 1 einer perfekten Übereinstimmung entspricht. Ein Wert von 0 zeigt, dass die Regressionsgerade keine Vorhersage für die abhängige Variable treffen kann (Microsoft Corporation, 2024).

Insgesamt werden 24 Analysen durchgeführt. Für jeden Verkehrsträger (Fuß, Fahrrad, ÖV und MIV) werden jeweils 6 Sets an Indikatoren verglichen. Die Indikatoren „Bevölkerungsdichte“ (Indikator 1), „Haltestellenkategorie“ (Indikator 4) sowie „Haltestellendichte“ (Indikator 5) sind in jedem der Sets enthalten. Dazu kommt jeweils ein Indikator der Verkehrsträger „Fuß“ (Indikator 2) und „Fahrrad“ (Indikator 3) laut Tabelle 33. Eine übersichtliche Darstellung der Indikatorenauswahl ist in Tabelle 32 gezeigt.

Indikator Nr.	Indikator
1	Bevölkerungsdichte
2	Indikator zum Fußverkehr, siehe Tabelle 33
3	Indikator zum Radverkehr, siehe Tabelle 33
4	Haltestellenkategorie
5	Haltestellendichte

Tabelle 32: Indikatoren 1 bis 5 für die Multiple Lineare Regression

Set Nr.	Indikator 2	Indikator 3
1	Flächenanteil der Fußverkehrsnetzinfrastruktur	Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur
2	Umwegfaktor	Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur
3	Alpha-Index (Fußverkehr)	Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur
4	Flächenanteil der Fußverkehrsnetzinfrastruktur	Alpha-Index (Radverkehr)
5	Umwegfaktor	Alpha-Index (Radverkehr)
6	Alpha-Index (Fußverkehr)	Alpha-Index (Radverkehr)

Tabelle 33: Indikatoren 2 und 3 der verschiedenen Indikatoren-Sets für die Multiple Lineare Regression

Mithilfe der Excel-Formel

$$= RGP(\$AC\$2 : \$AC\$481; \$AE\$2 : \$AI\$481; WAHR; WAHR) \quad (15)$$

wird für jedes Indikator-Set die Multiple Lineare Regression berechnet. Der Erste Bereich umfasst die abhängige Variable (den Modal-Split-Anteil eines Verkehrsträgers). Der zweite Bereich beinhaltet die 5 Spalten der unabhängigen Variablen (der Indikatoren). Diese Bereiche umfassen Werte von allen 480 ausgewerteten Bahnhöfen des VCÖ-Bahntests 2023.¹⁰ Das „WAHR“ im dritten Argument bedingt, dass der konstante Term in der Multiplen Linearen Regression von 0 unterschiedlich sein darf und das „WAHR“ im letzten Argument besagt, dass Metriken wie der r^2 -Wert ausgegeben werden sollen (Microsoft Corporation, 2024). Die Ausgabe dieser Formel ist eine 5x5 Matrix, die 24 Mal berechnet wird.

Um die Relevanz der jeweiligen Regression bewerten zu können, wird das Bestimmtheitsmaß r^2 betrachtet. In folgender Matrix in Tabelle 34 ist dieses für jeden Verkehrsträger-Anteil am Modal Split und jedes Indikatoren-Set angegeben. Die Werte sind auf zwei Nachkommastellen gerundet.

Set Nr.	Fuß	Fahrrad'	ÖV	MIV
1	0,06	0,01	0,12	0,07
2	0,07	0,01	0,13	0,06
3	0,07	0,01	0,11	0,07
4	0,05	0,01	0,12	0,05
5	0,05	0,01	0,13	0,04
6	0,05	0,01	0,12	0,05

Tabelle 34: Bestimmtheitsmaße der 24 Multiplen Linearen Regressionen

Die Bestimmtheitsmaße in Tabelle 34 sind für alle Verkehrsträger sehr gering. Die höchsten Bestimmtheitsmaße weisen die Kombinationen mit dem Modal-Split-Anteil des Öffentlichen Verkehrs auf, wobei es hier zwischen den Indikatoren-Sets wenig Unterschied im Bestimmtheitsmaß gibt. Das ist wenig überraschend, da in vorangegangenen Kapiteln bereits ein starker Zusammenhang der Indikatoren 1, 4 und 5 mit dem Modal-Split-Anteil des Öffentlichen Verkehrs festgestellt wurde. Die Bestimmtheitsmaße der übrigen Verkehrsträger variieren stärker mit der Wahl des Indikatoren-Sets, weisen jedoch sehr geringe Bestimmtheitsmaße auf. Da aus diesen Multiplen Linearen Regressionen aufgrund des geringen Bestimmtheitsmaßes keine stichhaltige Aussage extrahiert werden kann, werden die Ergebnisse der Regressionen in dieser Arbeit nicht näher betrachtet.

¹⁰Ungültige Werte, die aus den Berechnungen der Indikatoren in den vorangegangenen Kapiteln resultieren, werden wie folgt ersetzt:

Flächenanteil der Fußverkehrsinfrastruktur: Werte -1 werden durch 0 ersetzt.

Alpha-Index (Fußverkehr) und Alpha-Index (Radverkehr): Werte > 1 werden durch 1 ersetzt.

Umwegfaktor: Werte 0 durch 1,5 ersetzt.

6 Conclusio & Ausblick

Conclusio

Die größte Übereinstimmung zwischen dem Mobilitätsverhalten am Weg zur Bahn und der Mobilitätsinfrastruktur rund um die 480 betrachteten Bahnhöfe kann anhand von Indikatoren zum Öffentlichen Verkehr beobachtet werden.

Die Haltestellendichte im Umkreis von 5 Kilometern um den betrachteten Bahnhof ist ein guter Indikator für den Anteil des Öffentlichen Verkehrs am Modal Split. Gleichzeitig geht dieser Indikator einher mit einem fallenden Anteil des MIV und mit dem Anteil an Fußwegen am Weg zum Bahnhof.

Auch die Haltestellenkategorie der ÖROK, welche die Basis der ÖV-Güteklassen bildet, korreliert mit dem Anteil der ÖV-Wege am Modal Split am Weg zur Bahn. Aus einer besseren Haltestellenkategorie folgt ein geringerer Anteil der Fußwege am Modal Split, ebenso ein geringerer Anteil der zusammengefassten Kategorie „Fahrrad“, die sich aus den Kategorien des Bahntests 2023 „Fahrrad“ und „E-Scooter, Roller, Skateboard...“ zusammensetzt.

Wird die Auswirkung der Bevölkerungsdichte rund um die Bahnstationen betrachtet, so ergibt sich ein starker Zusammenhang mit dem Mobilitätsverhalten am Weg zur Bahn. Bei steigender Bevölkerungsdichte steigt der Anteil des ÖV am Weg zur Bahn stark, während alle anderen Verkehrsträger an Anteil verlieren.

Die betrachteten Indikatoren zu Umwegfaktor, Konnektivität und Qualität der Verkehrsinfrastruktur für die Aktive Mobilität erlauben keinen Schluss auf die Wahl der Verkehrsmittel. Hier ist kein erwartbarer Zusammenhang erkennbar. Teilweise besteht ein Trend, bei dem mit schlechterer Infrastruktur die Nutzung steigt. Es wird vermutet, dass die Güte der Infrastruktur für die Aktive Mobilität mit der Güte des Netzes des Öffentlichen Verkehrs korreliert, wodurch die Ergebnisse verzerrt werden. Das Mobilitätsverhalten in diesem Datensatz ist stark abhängig von der Bevölkerungsdichte, darüber hinaus lassen sich starke Korrelationen zwischen Bevölkerungsdichte und der Qualität von Verkehrsinfrastruktur für Fußgänger:innen, Radfahrende und den Öffentlichen Verkehr finden, was obige Vermutung stärkt.

Im Mobilitätsverhalten sind deutliche regionale Unterschiede erkennbar. Besonders in Wien ist der Anteil der ÖV-Wege am Weg zur Bahn in etwa 2-Mal bis 4-Mal höher als in den übrigen Bundesländern. Auch innerhalb der verschiedenen Klassen der Urban-Rural-Typologie sind große Variabilitäten der Anteile der einzelnen Verkehrsmodi zu erkennen. Der Anteil des Öffentlichen Verkehrs schwankt um bis zu einem Faktor 10 zwischen den einzelnen Kategorien.

Ausblick

Die vorliegende Analyse könnte mit analoger Methodik auf die Datensätze mehrerer VCÖ-Bahntests ausgeweitet werden, um die Anzahl der Datenpunkte nochmals zu erhöhen und stichhaltigere Ergebnisse zu produzieren. Auch eine zeitliche Entwicklung der Parameter könnte damit untersucht werden. Dabei müsste jedoch bei größeren Zeiträumen die Veränderung der Infrastruktur in Betracht gezogen werden. In zukünftigen Bahntests wäre es außerdem sinnvoll, die Anreisezeit detaillierter zu erfassen, da die zurückgelegten Distanzen durch die groben Klassen der Anreisezeit nicht gut reproduzierbar sind. Besonders gilt dies bei Fuß- und Radwegen. Durch eine Abfrage des Zielbahnhofes, der dortigen Verkehrsmittelwahl und der geschätzten Weiterreisezeit mit diesem Verkehrsmittel könnte die Anzahl der Datenpunkte verdoppelt werden. Darüber hinaus wären Aussagen über die Bahnfahrt selbst möglich, die zahlreiche weitere Analysemöglichkeiten schaffen würden. In der Auswahl des Verkehrsmittels beim VCÖ-Bahntest wäre es hilfreich, auf Kategorien zu verzichten, die legistisch unterschiedlich behandelte Verkehrsmittel vereinen. Als Beispiel ist hier die Kategorie „E-Scooter, Roller, Skateboard...“ anzuführen. Außerdem könnte das Datum und die Uhrzeit der Reise erfasst werden, um Analysen des Einflusses des Wochentags, des Wetters oder besonderer Umstände wie Umleitungen, Bauarbeiten oder Ähnliches berücksichtigen zu können.

Die Datenmenge bei der Verschneidung des VCÖ-Bahntests 2023 mit diversen Infrastrukturdaten ist so groß, dass in vorliegender Arbeit nur ein kleiner Teil dieser Daten betrachtet werden konnte. Eine weiterführende Analyse, besonders eine Kombination von mehreren Variablen könnte spannende Ergebnisse liefern. Auch wurden viele Variablen des Datensatzes nicht verwendet, wie zum Beispiel der Wegzweck oder das subjektive Empfinden der Erreichbarkeit. In weiterführenden Betrachtungen wäre darüber hinaus eine differenzierte Betrachtung der Gehgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Steigungen interessant.

Im Rahmen der Ergebnisse vorliegender Arbeit wäre eine weitere Untersuchung möglich, in welcher der Einfluss der Bevölkerungsdichte genauer betrachtet werden könnte. Diese weiterführenden Untersuchungen können Aufschluss darüber geben, mit welchen Maßnahmen das Mobilitätsverhalten am Weg zur Bahn abseits der gegebenen Bevölkerungsdichte beeinflusst werden kann, sodass Bahnhofsumfelder entsprechend umgestaltet werden können.

Um zu eindeutigeren Ergebnissen zu gelangen, kann es darüber hinaus sinnvoll sein, zwischen Pendler:innen und reisenden Personen zu unterscheiden, deren Verhalten sich womöglich stark unterscheidet.

Literatur

- Airbus und Google (2024). Google Maps. URL: <https://www.google.com/maps/@48.1856522,16.3742485,50m/data=!3m1!1e3?entry=tту> (abgerufen am 07. 05. 2024).
- Anderl, Michael et al. (2023). Klimaschutzbericht 2023. DOI: 10.13140/RG.2.2.26584.47361.
- Berrigan, David, Linda W. Pickle und Jennifer Dill (2010). Associations between street connectivity and active transportation. In: *International Journal of Health Geographics* 9.1, S. 20. ISSN: 1476-072X. DOI: 10.1186/1476-072X-9-20.
- BEV (2023). VGD-Oesterreich_gen_50_01.04.2021.zip. URL: <https://nextcloud.bev.gv.at/nextcloud/index.php/s/4cPaobJc73GqC3s> (abgerufen am 13. 06. 2024).
- BMK (2021). Mobilitätsmasterplan 2030 – Neuausrichtung des Mobilitätssektors. URL: <https://www.bmk.gv.at/themen/mobilitaet/mobilitaetsmasterplan/mmp2030.html> (abgerufen am 18. 01. 2024).
- BMK (2023). Fahrrad im Straßenverkehr. URL: https://www.oesterreich.gv.at/themen/mobilitaet/rad_fahren/Seite.610300.html (abgerufen am 04. 03. 2024).
- BMK (2024a). Boards, Scooters und Roller. URL: https://www.bmk.gv.at/themen/mobilitaet/fuss_radverkehr/recht/boards.html (abgerufen am 13. 06. 2024).
- BMK (2024b). Nachhaltige Klimaschutz-Maßnahmen. URL: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/agenda2030/bericht-2020/nachhaltigkeit.html (abgerufen am 18. 01. 2024).
- bmvit (2016). Österreich unterwegs 2013/2014. Wien.
- Brezina, Tadej und Manuel Hammel (2024). Adaptierter Siedlungsraum für Einwohner:innen (2020) und Beschäftigte (2018) in Österreich. DOI: 10.48436/dwvwwk-brr04. URL: <https://researchdata.tuwien.at/records/dwvwwk-brr04> (abgerufen am 05. 10. 2024).
- Broach, Joseph, Jennifer Dill und John Gliebe (2012). Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 46.10, S. 1730–1740. DOI: 10.1016/j.tra.2012.07.005. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856412001164> (abgerufen am 01. 10. 2024).
- Brouwer, I. (2010). Fixing the Link - Creating a strong, vital and attractive link between the Dutch central railway station and city centre. In: URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A6bbfcc6f-9908-421b-b665-89df1dba9efc> (abgerufen am 14. 05. 2024).
- Buehler, Ralph und John Pucher (2012). Cycling to work in 90 large American cities: new evidence on the role of bike paths and lanes. In: *Transportation* 39.2, S. 409–432. DOI: 10.1007/s11116-011-9355-8.

Castañon, Ugo N. und Paulo J. G. Ribeiro (2021). Bikeability and Emerging Phenomena in Cycling: Exploratory Analysis and Review. In: *Sustainability* 13.4. Number: 4 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, S. 2394. DOI: 10.3390/su13042394.

data.gv.at (2024). Suche | data.gv.at. URL: <https://www.data.gv.at/suche/?searchterm=fahrrad> (abgerufen am 07.05.2024).

Domènech, Antoni und Aaron Gutiérrez (2017). A GIS-Based Evaluation of the Effectiveness and Spatial Coverage of Public Transport Networks in Tourist Destinations. In: *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6.3, S. 83. ISSN: 2220-9964. DOI: 10.3390/ijgi6030083. URL: <https://www.mdpi.com/2220-9964/6/3/83> (abgerufen am 18.09.2024).

Fahrmeir, Ludwig et al. (2023). Statistik: Der Weg zur Datenanalyse. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-662-67525-0 978-3-662-67526-7. DOI: 10.1007/978-3-662-67526-7.

Frank, Lawrence D. et al. (2005). Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form. In: *American Journal of Preventive Medicine* 28.2, S. 117–125. ISSN: 07493797. DOI: 10.1016/j.amepre.2004.11.001.

Frey, Harald, Tadej Brezina und Günter Emberger (2023). Kapitel 6. Mobilität. In: *APCC Special Report: Strukturen für ein klimafreundliches Leben*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 271–284. ISBN: 978-3-662-66496-4. DOI: 10.1007/978-3-662-66497-1_10.

FSV (2022). RVS 03.02.13 Radverkehr. Wien. URL: <https://www.fsv.at/shop/agliste.aspx?ID=3156234c-555a-4b8c-8a24-bb156a19e866>.

Garrard, Jan, Geoffrey Rose und Sing Kai Lo (2008). Promoting transportation cycling for women: The role of bicycle infrastructure. In: *Preventive Medicine* 46.1, S. 55–59. ISSN: 00917435. DOI: 10.1016/j.ypmed.2007.07.010.

Gershman, Samuel J. und Tomer D. Ullman (2023). Causal implicatures from correlational statements. In: *PLOS ONE* 18.5, e0286067. ISSN: 1932-6203. DOI: 10.1371/journal.pone.0286067.

gip.gv.at (2024). Dokumentation Intermodales Verkehrsreferenzsystem Österreich. URL: https://www.gip.gv.at/assets/downloads/2402_dokumentation_gipat_ogd.pdf (abgerufen am 29.04.2024).

Handy, Susan L. und Yan Xing (2011). Factors Correlated with Bicycle Commuting: A Study in Six Small U.S. Cities. In: *International Journal of Sustainable Transportation* 5.2, S. 91–110. ISSN: 1556-8318. DOI: 10.1080/15568310903514789.

-
- Harris, Charles R. et al. (2020). Array programming with NumPy. In: *Nature* 585.7825. Publisher: Springer Science and Business Media LLC, S. 357–362. DOI: 10.1038/s41586-020-2649-2.
- Heller und Schreiner (2019). VCÖ 2019 Je mehr Fläche für das Gehen, umso mehr wird gegangen.jpg (JPEG-Grafik, 1200 × 737 Pixel). URL: <https://vcoe.at/files/vcoe/uploads/Infografiken%20NEU/Aktive%20Mobilit%C3%A4t/VC%C3%96%202019%20Je%20mehr%20Fla%CC%88che%20fu%CC%88r%20das%20Gehen%2C%20umso%20mehr%20wird%20gegangen.jpg> (abgerufen am 03.06.2024).
- Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D graphics environment. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3. Publisher: IEEE COMPUTER SOC, S. 90–95. DOI: 10.1109/MCSE.2007.55.
- IPCC (2022). Climate Change 2022, Mitigation of Climate Change. Summary for Policy-makers. ISBN: 978-92-9169-160-9. DOI: 10.1017/9781009157926.001.
- IPCC (2023a). Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 1. Aufl. ISBN: 978-1-00-915789-6. DOI: 10.1017/9781009157896.
- IPCC (2023b). Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 1. Aufl. ISBN: 978-1-00-932584-4. DOI: 10.1017/9781009325844.
- Joyce, Mark (2009). A proposed methodology for Measuring Public Transport Accessibility to Employment Sites in the Auckland CBD. In: URL: https://australasiantransportresearchforum.org.au/wp-content/uploads/2022/03/2009_Joyce_Dunn.pdf (abgerufen am 18.09.2024).
- Knoflacher, Hermann (1987). Verkehrsplanung für den Menschen. 1: Grundstrukturen. Wien: Wirtschaftsverl. Orac. ISBN: 978-3-7015-4129-4.
- Knoflacher, Hermann (2017). Verkehr ist kein Schicksal. Wien: echomedia buchverlag. ISBN: 978-3-903113-3-0.
- Kuhnimhof, Tobias und Claudia Nobis (2018). Mobilität in Deutschland - MiD Ergebnisbericht. Bonn. URL: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/mid-ergebnisbericht.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen am 06.05.2024).
- Lefebvre-Ropars, Gabriel et al. (2017). Spatial transferability assessment of a composite walkability index: The Pedestrian Index of the Environment (PIE). In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 57, S. 378–391. ISSN: 1361-9209. DOI: 10.1016/j.trd.2017.08.018.

-
- MA 18 (2024). Hauptradverkehrsnetz Wien. URL: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/verkehrsplanung/radwege/pdf/hauptradverkehrsnetz.pdf> (abgerufen am 04.03.2024).
- McKinney, Wes et al. (2010). Data structures for statistical computing in python. In: *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*. Bd. 445. Austin, TX, S. 51–56.
- Microsoft Corporation (2024). RGP-Funktion - Microsoft-Support. URL: <https://support.microsoft.com/de-de/office/rgp-funktion-84d7d0d9-6e50-4101-977a-fa7abf772b6d> (abgerufen am 11.12.2024).
- Newbold, Paul, William L. Carlson und Betty M. Thorne (2013). *Statistics for business and economics*. 8. ed., global ed. Always learning. Boston, Mass. Munich: Pearson. ISBN: 978-0-273-76706-0.
- ÖBB-Infrastruktur AG (2022). Haltestellen. URL: https://data.oebb.at/dam/jcr:f0f3dd7a-7fd2-44ef-bfb2-10afc25fb1bc/GIP_PV_STOPS_EU_DEL_V_SHP.zip (abgerufen am 05.03.2024).
- ÖBB-Infrastruktur AG (2023). Datensätze. URL: <https://data.oebb.at/de/datensaetze> (abgerufen am 05.03.2024).
- Openstreetmap Foundation (2023). DE:Über OSM – OpenStreetMap Wiki. URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:%C3%9Cber_OSM (abgerufen am 07.05.2024).
- Openstreetmap Foundation (2024). Overpass API/Overpass QL – OpenStreetMap Wiki. URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Overpass_API/Overpass_QL (abgerufen am 10.05.2024).
- ÖROK, Hrsg. (2022). *Die Österreichweiten ÖV-Güteklassen Rahmen, Struktur & Beispiele*. Wien: ÖSTERREICHISCHE RAUMORDNUNGSKONFERENZ.
- Osama, Ahmed und Tarek Sayed (2016). Evaluating the impact of bike network indicators on cyclist safety using macro-level collision prediction models. In: *Accident Analysis & Prevention* 97, S. 28–37. ISSN: 0001-4575. DOI: 10.1016/j.aap.2016.08.010.
- Parkin, John, Mark Wardman und Matthew Page (2008). Estimation of the determinants of bicycle mode share for the journey to work using census data. In: *Transportation* 35.1, S. 93–109. ISSN: 1572-9435. DOI: 10.1007/s11116-007-9137-5.
- Raifer, Martin (2024). overpass turbo. URL: <https://overpass-turbo.eu/#> (abgerufen am 07.05.2024).
- Rodrigue, Jean-Paul, Claude Comtois und Brian Slack (2013). *The geography of transport systems*. Third edition. London ; New York: Routledge. ISBN: 978-0-415-82253-4 978-0-415-82254-1.

-
- Saelens, Brian E. et al. (2003). Environmental correlates of walking and cycling: Findings from the transportation, urban design, and planning literatures. In: *Annals of Behavioral Medicine* 25.2, S. 80–91. DOI: 10.1207/s15324796abm2502_03.
- Saghapour, Tayebeh, Sara Moridpour und Russell G. Thompson (2016). Public transport accessibility in metropolitan areas: A new approach incorporating population density. In: *Journal of Transport Geography* 54, S. 273–285. ISSN: 0966-6923. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.06.019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692316303441> (abgerufen am 18. 09. 2024).
- Sallis, James F. et al. (2009). Neighborhood built environment and income: Examining multiple health outcomes. In: *Social Science & Medicine* 68.7, S. 1285–1293. ISSN: 0277-9536. DOI: 10.1016/j.socscimed.2009.01.017.
- Saul, Sibylle (2021). Urban-Rural-Typologie. In: URL: <https://www.statistik.at/fileadmin/pages/453/urbanRuralTypologie.pdf> (abgerufen am 10. 12. 2023).
- Saul, Sibylle (2024). Frage zur Berechnung der Tagesbevölkerung, E-Mail Konversation.
- Scheltema, E. B. (2012). ReCYCLE City: Strengthening the bikeability from home to the Dutch railway station. In: URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A44ccd153c-133e-4bc9-981c-0e03a4f425bc>.
- Schwendinger, Michael (2022). VCÖ-Factsheet: Ausbau der Infrastruktur auf Klimakurs bringen - Mobilität mit Zukunft. URL: <https://vcoe.at/publikationen/vcoe-factsheets/detail/ausbau-der-infrastruktur-auf-klimakurs-bringen> (abgerufen am 18. 01. 2024).
- Schwendinger, Michael (2023). VCÖ-Bahntest: Verstärkter Angebotsausbau gewünscht - Mobilität mit Zukunft. URL: <https://vcoe.at/publikationen/vcoe-factsheets/detail/vcoe-bahntest-verstaerker-angebotsausbau-gewuenscht> (abgerufen am 10. 12. 2023).
- Seif, Christopher (2023). Pottendorfer Linie – neuer Bahnhof Ebreichsdorf eröffnet. URL: https://presse-oebb.at/News_Detail.aspx?id=184744&menueid=27021&l=deutsch (abgerufen am 05. 06. 2024).
- Statistik Austria (2020). Gliederung Österreichs in Statistische Zählsprengel - data.gv.at. URL: <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/11571547-64e8-3565-a6e3-f94461611fd2#resources> (abgerufen am 07. 10. 2024).
- Statistik Austria (2023a). Gliederung Österreichs in Gemeinden - data.gv.at. URL: <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/566c99be-b436-365e-af4f-27be6c536358#resources> (abgerufen am 22. 05. 2024).
- Statistik Austria (2023b). STATatlas. URL: https://www.statistik.at/atlas/?mapid=topo_stadt_land (abgerufen am 22. 05. 2024).

-
- Statistik Austria (2024). Bevölkerung nach Alter/Geschlecht. URL: <https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/bevoelkerung/bevoelkerungsstand/bevoelkerung-nach-alter/geschlecht> (abgerufen am 05.06.2024).
- Sučić-Cikič, Marin (2019). Entwicklung und Analyse räumlicher Indikatoren des öffentlichen Verkehrs. In: Artwork Size: 120 pages Medium: application/pdf Publisher: TU Wien, 120 pages. DOI: 10.34726/HSS.2019.65007.
- Thaler, Robert et al. (2022). Besser Gehen in Österreich! Masterplan gehen 2030. URL: https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:4ee966d5-ea82-43c0-8a0f-a042da9d0117/BMK_Masterplan_Gehen_UA.pdf (abgerufen am 13.06.2024).
- TravelTime (2024). How do you calculate journey times? | TravelTime Help Centre. URL: <https://help.traveltime.com/en/articles/8523640-how-do-you-calculate-journey-times> (abgerufen am 18.06.2024).
- Van Rossum, Guido und Fred L. Drake (2009). Python 3 Reference Manual. Scotts Valley, CA: CreateSpace. ISBN: 1-4414-1269-7.
- VCÖ (2023a). VCÖ-Bahntest: Jetzt mitmachen!
- VCÖ (2023b). Website VCÖ-Bahntest 2023 – Was die Fahrgäste wünschen - Mobilität mit Zukunft. URL: <https://vcoe.at/bahntest> (abgerufen am 05.06.2024).
- Waskom, Michael L. (2021). seaborn: statistical data visualization. In: *Journal of Open Source Software* 6.60. Publisher: The Open Journal, S. 3021. DOI: 10.21105/joss.03021.

Abbildungsverzeichnis

1	THG-Emissionen Österreichs zwischen 1990 und 2022 (Anderl et al., 2023)	2
2	Modal Split in Österreich von 1950 bis 2020 (Datengrundlage: Thaler et al., 2022, S.16)	4
3	Modal Split 2018 und Ziel 2040 (Datengrundlage: BMK, 2021, S.12)	5
4	Aus dem VCÖ-Bahntest 2023 ermittelter Modal Split am Weg zur Bahn (Datengrundlage: VCÖ, 2023a, S.3)	6
5	Gegenüberstellung der Fläche von Fußwegen, Fußgängerzonen und Fahrbahnteilern mit dem Fußwegeanteil am Modal Split (Heller et al., 2019)	13
6	Fehlerhafte Angaben in den Fragebögen des VCÖ-Bahntests 2023 der Spalten Anreisedauer, Verkehrsmittel und Abfahrtsbahnhof. (n=2.025, Datengrundlage: VCÖ, 2023a)	23
7	Vorgangsweise bei der Datensatzbereinigung	24
8	Häufigkeiten von Geschlecht und Alter beim VCÖ-Bahntest (Datengrundlage: VCÖ, 2023a)	25
9	Häufigkeiten von Geschlecht und Alter in Österreich, 2023 (Datengrundlage: Statistik Austria, 2024)	26
10	Modal Split am Weg zur Bahn beim VCÖ-Bahntest 2023, bereinigt um Einträge, die in Folge nicht weiter betrachtet werden können (Datengrundlage: VCÖ, 2023a)	26
11	Verteilung der Häufigkeiten der angegebenen Bahnhöfe des bereinigten Datensatzes (Datengrundlage: VCÖ, 2023a)	27
12	Anreisedauerverteilung nach Verkehrsmittel (Datengrundlage: VCÖ, 2023a)	28
13	Geschlechterverteilung abhängig vom Verkehrsmittel (Datengrundlage: VCÖ, 2023a)	28
14	Altersverteilung abhängig vom Verkehrsmittel (Datengrundlage: VCÖ, 2023a)	29
15	Korrelationsmatrix der Attribute des VCÖ-Bahntest 2023	32
16	Urban-Rural-Typologie nach Gemeinden Österreichs (Saul, 2021, S.22)	36
17	Radabstellanlagen in Österreich (Datengrundlage: OpenStreetMap, Grundkarte: basemap.at)	38
18	Definition der Haltestellenkategorien (ÖROK, 2022, S.12)	39
19	Haltestellenkategorien in Österreich (Datengrundlage: Haltestellenkategorien ÖROK, Grundkarte: basemap.at.)	40
20	Anzahl der Eingänge pro Bahnhof	43
21	Ausschnitt Wiens, Netz der Straßen mit Radfahrerlaubnis (Datenquelle: gip.gv.at, Grundkarte: basemap.at)	44
22	Ausschnitt Wiens, Radverkehrsinfrastruktur (Datenquelle: gip.gv.at, Grundkarte: basemap.at)	46

23	Ausschnitt Wiens, Radverkehrsinfrastruktur ergänzt um Fahrverbote ausg. Radfahrende (Datenquelle: gip.gv.at, Grundkarte: basemap.at)	47
24	Isochronen-Polygone der An- und Abreise mit dem Fahrrad des Bahnhofes Mariazell (Datengrundlage: TravelTime Plugin, Grundkarte: basemap.at)	51
25	Resultierendes Isochronen-Polygon des Bahnhofes Mariazell (Datengrundlage: TravelTime Plugin, Grundkarte: basemap.at)	52
26	Vergleich der Anzahl der Rechenoperationen abhängig von der Anzahl an Elementen	54
27	Berechnete Schnittpunkte zwischen Isochronen-Polygon und Fußverkehrsnetz (Grundkarte: basemap.at)	60
28	Bereinigte Schnittpunkte zwischen Isochronen-Polygon und Fußverkehrsnetz (Grundkarte: basemap.at)	60
29	Knoten des Netzes der Fußbegehrbarkeit und deren Grad, Ausschnitt aus Wien (Datengrundlage: gip.gv.at)	62
30	Haltstellenkategorien in Österreich des VCÖ-Bahntests 2023 (Datengrundlage: Haltstellenkategorien ÖROK, VCÖ-Bahntest 2023, Grundkarte: basemap.at.)	65
31	Urban-Rural-Typologie nach Gemeinden mit im Bahntest 2023 genannten Einstiegsbahnhöfen (Datengrundlage: Statistik Austria (2023a), Statistik Austria (2023b), VCÖ (2023a))	68
32	Modal Split nach Alpha-Index des radbefahrbaren Netzes	72
33	Modal Split nach Beta-Index des radbefahrbaren Netzes	73
34	Modal Split nach Gamma-Index des Radbefahrbaren Netzes	74
35	Modal Split nach kilometerbasierter Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur	75
36	Häufigkeitsverteilung des Umwegfaktors des Fußverkehrs je Bahnhof	76
37	Isochronen-Polygon um den Bahnhof Bad Mitterndorf (Grundkarte: basemap.at)	77
38	Modal Split nach Umwegfaktor des fußbegehrbaren Netzes	78
39	Modal Split nach Alpha-Index des fußbegehrbaren Netzes	79
40	Modal Split nach Beta-Index des fußbegehrbaren Netzes	80
41	Modal Split nach Gamma-Index des fußbegehrbaren Netzes	81
42	Modal Split nach Flächenanteil der Fußverkehrsnetzinfrastruktur	83
43	Modal Split nach Haltstellenkategorie	84
44	Modal Split nach Haltstellendichte	85
45	Modal Split am Weg zur Bahn nach Bundesland	86
46	Anreisedauerverteilung am Weg zur Bahn nach Bundesland	87
47	Modal Split am Weg zur Bahn nach Urban-Rural-Typologie	88
48	Anreisedauerverteilung nach Urban-Rural-Typologie	89

49	Modal Split in Abhängigkeit der Bevölkerungsdichte im Umkreis von 1.260 Metern	89
50	Alpha-Index des fußbegehbaren Netzes in Abhängigkeit von der Urban-Rural-Typologie	92
51	Beta- und Gamma-Index in Abhängigkeit des Alpha-Indexes von fußbegehbaren und radbefahrbaren Netzen	94
52	Scatterplots des Umwegfaktors des fußbegehbaren Netzes	95
53	Scatterplots des Alpha-Index des fußbegehbaren Netzes	95
54	Scatterplots des Flächenanteils der Fußverkehrsinfrastruktur	96
55	Scatterplots des Alpha-Index des radbefahrbaren Netzes	96
56	Scatterplots der kilometerbasierten Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur	96
57	Flächenanteil der Fußverkehrsinfrastruktur am Straßenraum in Abhängigkeit der Bevölkerungsdichte	99
58	Kilometerbasierte Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur in Abhängigkeit der Bevölkerungsdichte	100
59	Haltestellendichte des Öffentlichen Verkehrs in Abhängigkeit der Bevölkerungsdichte	100

Tabellenverzeichnis

1	Indikatoren, die den Weg vom Bahnhof ins Stadtzentrum bewerten (Brouwer, 2010, S.219ff.)	11
2	Zusammenfassung aller vorgestellten Indikatoren	17
3	Codierung S01 (VCÖ, 2023a)	20
4	Codierung S04.B (VCÖ, 2023a)	21
5	Codierung S07 (VCÖ, 2023a)	21
6	Codierung f01 (VCÖ, 2023a)	21
7	Codierung f02 (VCÖ, 2023a)	22
8	Codierung f07 (VCÖ, 2023a)	22
9	Codierung f11 (VCÖ, 2023a)	22
10	Häufigkeiten der am öftesten genannten Einstiegsbahnhaltstellen im gefilterten Datensatz	27
11	Unterteilung, Hinzufügen und Ausfiltern von Parametern als Vorbereitung für die Korrelationsanalyse	31
12	10 Attributpaare mit den größten absoluten Pearson-Koeffizienten	34
13	Klassifizierung des Raumes laut Urban-Rural-Typologie (Saul, 2021, S.8ff.)	37
14	Bikefeatures und deren Codes (Auswahl) (gip.gv.at, 2024)	47
15	Für Gehwegbreiten relevante Basetypes der GIP (gip.gv.at, 2024)	49
16	Anzahl der Bahnhöfe pro Haltestellenkategorie (n=480)	65
17	Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen des Alpha-Index des radbefahrenen Netzes (n=6.999)	72
18	Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen des Beta-Index des radbefahrenen Netzes (n=6.999)	73
19	Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen des Gamma-Index des radbefahrenen Netzes (n=6.999)	74
20	Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen der kilometerbasierten Netzabdeckung der Radverkehrsinfrastruktur (n=6.999)	76
21	Anzahl der Einträge (n=6.963) und Bahnhöfe (m=465) innerhalb der Klassen des Umwegfaktors des fußbegehbaren Netzes	78
22	Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen des Alpha-Index des fußbegehbaren Netzes (n=6.963)	79
23	Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen des Beta-Index des fußbegehbaren Netzes (n=6.963)	81
24	Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen des Gamma-Index des fußbegehbaren Netzes (n=6.963)	82
25	Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen des Flächenanteils der Fußverkehrsnetzinfrastruktur (n=6.963)	83

26	Anzahl der Einträge und Bahnhöfe pro Haltestellenkategorie (n=6.999) . . .	84
27	Anzahl der Einträge und Bahnhöfe innerhalb der Klassen der Haltestellen- dichte (n=6.999)	85
28	Anzahl an Bahnhöfen und Personen der 9 Bundesländer	86
29	Anzahl an Bahnhöfen und Personen der unterschiedlichen Urban-Rural- Typologien	88
30	Anzahl der Einträge innerhalb der Klassen der Bevölkerungsdichte (n=6.999)	90
31	Korrelationskoeffizienten verschiedener Indikatoren mit der Bevölkerungsdichte	99
32	Indikatoren 1 bis 5 für die Multiple Lineare Regression	101
33	Indikatoren 2 und 3 der verschiedenen Indikatoren-Sets für die Multiple Lineare Regression	101
34	Bestimmtheitsmaße der 24 Multiplen Linearen Regressionen	102

6.1 Anhang A: VCÖ-Bahntest Fragebogen (VCÖ, 2023a)



VCÖ-Bahntest: Jetzt mitmachen!

Der „VCÖ – Mobilität mit Zukunft“ befragt jährlich die Fahrgäste zu ihrer Zufriedenheit mit den Bahnen in Österreich. Bitte nehmen Sie sich etwas Zeit, um diese Fragen zu beantworten. Ihre Bewertung ist wichtig, um die Qualität des Bahnfahrens in Österreich laufend zu verbessern.

vcö bahntest



„Der VCÖ ist eine gemeinnützige Organisation. Wir setzen uns für klimaverträgliche, sozial gerechte und gesunde Mobilität ein und damit auch für besseren Öffentlichen Verkehr. Bitte unterstützen Sie uns dabei!“

Ulla Rasmussen
VCÖ-Geschäftsführung

Machen Sie mit und werden beschenkt

Wenn Sie möchten, schenken wir Ihnen als Dankeschön für Ihre Teilnahme die **VCÖ-AktivMobil-Versicherung** bis Ende des Jahres 2023. Details dazu im Antwortkupon unten.

Füllen Sie diesen bitte aus.

Der VCÖ-Bahntest wird anonym ausgewertet. Der Kupon wird vom Fragebogen abgetrennt und geht direkt an den VCÖ.

Nähere Informationen zum VCÖ:

www.vcoe.at
vcoe@vcoe.at
+43 1 893 26 97



Bitte füllen Sie den Kupon aus. Wenn Sie möchten, informieren wir Sie gerne über die **Ergebnisse des VCÖ-Bahntests**. **Der Kupon wird abgetrennt, damit Ihre Antworten anonym bleiben.**

Antwortkupon

Ja, bitte senden Sie mir die Ergebnisse des VCÖ-Bahntests.

Sie erhalten zusätzlich eine Fachpublikation des VCÖ als Geschenk kostenlos zugesendet.

Ja, ich möchte die VCÖ-AktivMobil-Versicherung (Wert 60 Euro) als Dankeschön kostenlos erhalten.

Damit sind Sie auf Ihren privaten Wegen zu Fuß, mit dem Fahrrad und im Öffentlichen Verkehr bei Verkehrsunfällen unfall-, haftpflicht- und rechtsschutzversichert. Die Versicherung ist für Sie bis zum Jahresende kostenlos und endet automatisch – **Sie müssen nicht kündigen.** (Versicherungspartner: Allianz Elementar Versicherungs-AG). Keine Barablässe.

Titel	Vor- und Nachname	Geburtsdatum <small>Tag Monat Jahr</small>
Straße/Haus-Nr./Stiegen-Nr./Tür-Nr.		PLZ/Ort
E-Mail	Telefon	

Der **VCÖ als Verantwortlicher nach Artikel 4 Z7 DSGVO** speichert und verarbeitet Ihre hier angegebenen Daten, um Sie über Ergebnisse, Verlosung, Versicherungsangebot und die VCÖ-Tätigkeit im Allgemeinen zu informieren. Alle persönlichen Angaben werden nach der DSGVO und den Anpassungsgesetzen Österreichs vertraulich behandelt. Sie haben das Recht auf jederzeitigen Widerruf der Einwilligung zur Datenverarbeitung und -verwendung. Senden Sie dazu einfach eine E-Mail an **vcoe@vcoe.at**.

Deckblatt

Fragen zu Ihrer heutigen Bahnfahrt

VCÖ-Bahntest 2023



1. Wie sind Sie heute zum Zug gekommen? (bitte nur eine Antwort)

zu Fuß Fahrrad
 Auto selbstlenkend Auto mitfahrend, Taxi
 öffentliches Verkehrsmittel Carsharing, Mietauto
 E-Scooter, Roller, Skateboard... Moped oder Motorrad

2. Welchen Zweck hat Ihre heutige Bahnfahrt? (bitte nur eine Antwort)

von oder zur Arbeit
 von oder zur Ausbildung (Schule, Lehre, Hochschule...)
 dienstliche oder geschäftliche Erledigung
 private Erledigung (Hol-/Bring-Dienste, Einkauf, Arzt...)
 Freizeit, Tagesausflug ohne Übernachtung
 kurze, private Reise mit Übernachtung (maximal 3 Tage)
 längere, private Reise mit Übernachtung (mehr als 3 Tage)

(😊 = sehr zufrieden, 😞 = gar nicht zufrieden)

3. Bitte bewerten Sie die heutige Bahnfahrt

1. Wie zufrieden sind Sie mit der heutigen Bahnfahrt ganz allgemein?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

2. Wie sauber ist Ihr Sitzplatzbereich in diesem Zug?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

3. Wie sauber wirkt dieser Zug innen?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

4. Wie bequem empfinden Sie Ihren Sitzplatz in diesem Zug?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

5. Wie zufrieden sind Sie mit dem Sitzplatz-Angebot in diesem Zug?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

6. Wie zufrieden sind Sie mit Klimaanlage bzw. Heizung in diesem Zug?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

7. Wie deutlich (verständlich/hörbar) sind die Durchsagen in diesem Zug?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

8. Wie zufrieden sind Sie mit der Anzahl der Zugverbindungen auf der aktuellen Strecke, auf der Sie heute unterwegs sind?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

9. Wie gut war beim Einsteigen am Zug zu erkennen, wohin der Zug fährt?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

10. Wie passen für Sie die öffentlichen Anschlussverbindungen an diesen Zug?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

11. Wie zufrieden sind Sie mit den Gepäckablage-Möglichkeiten im Zug?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

4. Sind Sie von einem anderen Zug in diesen Zug umgestiegen?

ja nein

1. **Wenn JA:** Wie zufrieden waren Sie mit den Anschlussmöglichkeiten?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

2. Wie stressfrei konnten Sie vom vorherigen Zug auf diesen umsteigen?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

5. Ist begleitendes Zugpersonal in diesem Zug?

ja nein weiß nicht

1. **Wenn JA:** Wie hilfsbereit ist das Zugpersonal in diesem Zug?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞 weiß nicht

2. Wie sehr vermittelt das Zugpersonal Sicherheit in diesem Zug?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞 weiß nicht

3. Wie freundlich ist das Zugpersonal in diesem Zug?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞 weiß nicht

6. Haben Sie heute im Zug Speisen oder Getränke gekauft?

ja nein es gibt kein Angebot im Zug

1. **Wenn JA:** Wie zufrieden sind Sie mit der Qualität der Speisen und Getränke?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

2. Wie zufrieden sind Sie mit dem Servicepersonal?
 😊 😊 😊 😊 😊 😞

7. Wie lange waren Sie heute zum Bahnhof unterwegs?

unter 15 Minuten 15-30 Min. 31-60 Min. über 60 Minuten

8. Wie pünktlich ist dieser Zug, in dem Sie sich gerade befinden?

😊 😊 😊 😊 😊 😞

1. **Falls unpünktlich:** Ist Ihre Anschluss-Verbindung gefährdet?
 ja nein Ich brauche keine Anschluss-Verbindung

9. Wie zufrieden sind Sie generell mit der Pünktlichkeit der Bahn?

😊 😊 😊 😊 😊 😞

10. Bei welchem Bahnhof oder welcher Bahnhaltestelle sind Sie in diesen Zug eingestiegen?

11. Bitte bewerten Sie diesen Bahnhof / diese Bahnhaltestelle

1. Erreichbarkeit mit dem Öffentlichen Verkehr	<input type="checkbox"/> 😊 <input type="checkbox"/> 😞
2. Erreichbarkeit zu Fuß	<input type="checkbox"/> 😊 <input type="checkbox"/> 😞
3. Erreichbarkeit mit dem Fahrrad	<input type="checkbox"/> 😊 <input type="checkbox"/> 😞
4. Anzahl / Qualität Fahrradabstellplätze	<input type="checkbox"/> 😊 <input type="checkbox"/> 😞
5. Sauberkeit des Bahnhofs	<input type="checkbox"/> 😊 <input type="checkbox"/> 😞
6. Sicherheitsgefühl am Bahnhof	<input type="checkbox"/> 😊 <input type="checkbox"/> 😞
7. Beleuchtung / Helligkeit	<input type="checkbox"/> 😊 <input type="checkbox"/> 😞
8. Wartebereich / Witterungsschutz	<input type="checkbox"/> 😊 <input type="checkbox"/> 😞
9. Erhaltungszustand des Bahnhofs	<input type="checkbox"/> 😊 <input type="checkbox"/> 😞
10. WC und Sanitäranlagen	<input type="checkbox"/> 😊 <input type="checkbox"/> 😞
11. Barrierefreiheit (Aufzug, Rampen, Bodenleitsystem, Information...)	<input type="checkbox"/> 😊 <input type="checkbox"/> 😞
12. Fahrgast-Information / Orientierung	<input type="checkbox"/> 😊 <input type="checkbox"/> 😞
13. Ihr Einstiegsbahnhof allgemein	<input type="checkbox"/> 😊 <input type="checkbox"/> 😞

12. Welcher Bahnhof in Österreich gefällt Ihnen am besten?

Statistische Fragen zu Ihrer Person

männlich weiblich divers Geburtsjahr

Wohnort: Postleitzahl Staat

Aktuelle Tätigkeit:

Ausbildung (Schule, Lehre, Hochschule...)
 berufstätig nicht berufstätig
 Pension/Rente sonstiges

Wie häufig fahren Sie mit der Bahn?

(fast) täglich mehrmals pro Woche mehrmals pro Monat
 mehrmals pro Jahr einmal im Jahr oder seltener

Bitte ankreuzen, was auf Sie zutrifft: (Mehrfachnennung möglich)

Mein Haushalt besitzt: keinen Pkw einen Pkw mehrere Pkw
 Ich habe einen Pkw-Führerschein
 Ich lenke mehrmals in der Woche selbst ein Auto
 Ich habe ein Klimaticket Österreich
 Ich habe ein Klimaticket Bundesland
 Ich habe eine andere Zeitkarte für den Öffentlichen Verkehr
 Ich nutze die Kombination Fahrrad und Bahn
 Ich bin bei einem Carsharing-Angebot registriert
 Ich nutze Sharing-Angebote für Fahrrad, E-Scooter etc.

Bitte umblättern

Fragebogen 1

Allgemeine Fragen zum Bahnfahren

VCÖ-Bahntest 2023



13. Wie häufig fahren Sie heuer im Vergleich zum Vorjahr Bahn?
 eher häufiger etwa gleich oft eher seltener

14. Haben Sie in den vergangenen 12 Monaten eine Urlaubsreise mit der Bahn gemacht?
 ja, per Nachtzug nein, plane ich aber die nächsten 12 Monate
 ja, untertags nein, plane ich auch in Zukunft nicht

(😊 = sehr gut / sehr großer Einfluss, 😞 = gar nicht gut / gar kein Einfluss)

15. Wie empfinden Sie das Suchen, Finden und Buchen von...

- 1 ...direkten Bahnverbindungen in Österreich 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 2 ...kombinierten Fahrten (Bahn, Bus, Rufbus...) 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 3 ...internationalen Bahnverbindungen 😊 😊 😊 😊 😊 😊

16. Wie zufrieden sind Sie mit der Anzahl an Zugverbindungen?

- 1 Allgemein in Österreich 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 2 Nah- und Regionalzüge allgemein 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 3 Angebot außerhalb der Hauptverkehrszeiten 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 4 Überregional und Fernzüge in Österreich 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 5 Direktverbindungen in Metropolen Europas 😊 😊 😊 😊 😊 😊

17. Wie hat sich für Sie persönlich das Bahnfahren in Österreich in den vergangenen 12 Monaten entwickelt?

- 1 Qualität/Komfort des Bahnfahrens insgesamt 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 2 Pünktlichkeit der Bahn insgesamt 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 3 Qualität eingesetzter Waggons insgesamt 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 4 Häufigkeit der Zugverbindungen insgesamt 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 5 Information und Service 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 6 Anwesenheit von Zugpersonal 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 7 Barrierefreiheit der Bahnhöfe 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 8 Barrierefreiheit der Waggons 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 9 Abstimmung zwischen Bahn, Bus etc. 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 10 Verbindungsqualität/Netzqualität für Mobiltelefon/Internet in den Zügen 😊 😊 😊 😊 😊 😊

18. Fahren Sie heute Wege mit der Bahn, die Sie früher mit dem Auto gefahren sind?
 ja, viele ja, manche nein, keine

Wenn JA: Welchen Einfluss hatten dabei die folgenden Gründe?

- 1 Ich habe jetzt ein Klimaticket 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 2 Verbesserungen beim Bahnangebot 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 3 Anbindung des Bahnhofs verbessert 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 4 Nutzbare Zeit in der Bahn 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 5 Wechsel Arbeitsplatz oder Ausbildungsort 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 6 Veränderte Lebensumstände (Umzug...) 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 7 Auto ist jetzt schlechter verfügbar 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 8 Parkraumbewirtschaftung am Zielort 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 9 Gestiegene Spritpreise 😊 😊 😊 😊 😊 😊

19. Und umgekehrt: Gibt es Wege, die Sie heute mit dem Auto zurücklegen und früher mit der Bahn gefahren sind?
 ja, viele ja, manche nein, keine

Wenn JA: Welchen Einfluss hatten dabei die folgenden Gründe?

- 1 Schlechteres Bahn-Angebot/Unzuverlässigkeit 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 2 Längere Gesamt-Reisezeit der Bahn als bisher 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 3 Wechsel Arbeitsplatz oder Ausbildungsort 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 4 Veränderte Lebensumstände (Umzug...) 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 5 Schlechterer Komfort/Qualität der Bahn 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 6 Anbindung des Bahnhofs verschlechtert 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 7 Auto ist jetzt besser verfügbar 😊 😊 😊 😊 😊 😊

20. Gibt es Wege, die Sie mit der Bahn statt mit dem Auto zurücklegen würden, wenn... viele / manche / keine

- 1 ...es häufigere Bahnverbindungen gäbe?
- 2 ...die Gesamtreisezeit mit der Bahn kürzer wäre?
- 3 ...das Angebot außerhalb der Hauptverkehrszeiten, an Tagesrandzeiten und Feiertagen besser wäre?
- 4 ...der Bahnhof besser öffentlich angebunden wäre?
- 5 ...der Bahnhof besser per Fahrrad erreichbar wäre?
- 6 ...Sie für Arbeitswege ein Öffi-Jobticket erhielten?
- 7 ...die Gepäck-Mitnahme im Zug einfacher wäre?
- 8 ...die Kosten für die Auto-Nutzung steigen würden?

21. Wie zufrieden sind Sie allgemein mit den Kombinationsmöglichkeiten der Bahn mit anderen Verkehrsmitteln?

- 1 Auskunft / Buchung mehrteiliger Wegekettens im Öffentlichen Verkehr 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 2 Öffentliche Anbindung von Bahnhöfen an Hauptverkehrszeiten 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 3 Öffentliche Anbindung von Bahnhöfen außerhalb von Hauptverkehrszeiten 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 4 Angebot flexibler Mobilitätsdienstleistungen an Bahnhöfen (Rufbus, Sammeltaxi...) 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 5 Fahrradabstellanlagen an Bahnhöfen 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 6 Fahrradmitnahme im Zug 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 7 Bikesharing-Angebot an Bahnhöfen 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 8 Carsharing-Angebot an Bahnhöfen 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 9 Park&Ride-Anlagen 😊 😊 😊 😊 😊 😊

22. Haben Sie eine Jahresnetzkarte für den Öffentlichen Verkehr?
 Ja Nein, werde aber künftig eine kaufen Nein

Wenn JA: Seit ich eine Jahresnetzkarte habe, nutze ich die Bahn...

- 1 Insgesamt: viel häufiger häufiger gleich viel seltener
- 2 Speziell in der Freizeit, etwa für Ausflüge: viel häufiger häufiger gleich viel seltener

23. Wie gut können Sie allgemein die Zeit in der Bahn nutzen?
 😊 😊 😊 😊 😊 😊

Wie gut lässt sich die Zeit in der Bahn nutzen, um zu...?

- 1 ...arbeiten 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 2 ...lesen 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 3 ...entspannen 😊 😊 😊 😊 😊 😊

24. Betriebe können Beschäftigten steuerfrei ein Öffi-Jobticket zur Verfügung stellen. Kennen Sie das Angebot Öffi-Jobticket?
 Ja Nein

Wenn JA: Nutzen Sie ein Öffi-Jobticket?
 Ja, nutze ein Öffi-Jobticket
 Nein, es wird nicht angeboten
 Nein, es wird aber angeboten
 Nein, ich bin nicht berufstätig

25. Wie schätzen Sie folgende Maßnahmen ein, um die Auslastung in Zügen generell besser zu verteilen?

- 1 Flexiblere Beginnzeiten bei Arbeit / Ausbildung, um Stoßzeiten vermeiden zu können 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 2 Bessere Informationen zur Zug-Auslastung 😊 😊 😊 😊 😊 😊
- 3 Anreize, um Fahrten hin zu Zeiten mit geringerer Auslastung zu verlagern 😊 😊 😊 😊 😊 😊

Vielen Dank! Wollen Sie die Ergebnisse des VCÖ-Bahntests erhalten oder ein Dankeschön für Ihre Teilnahme?
Dann füllen Sie bitte den Kupon auf der ersten Seite (Deckblatt) aus. Der Kupon wird abgetrennt, Ihre Antworten bleiben anonym.