



Potentialanalyse von Park & Ride –Plätzen mittels makroskopischer Nachfragemodellierung

MASTERARBEIT

vorgelegt von
Bojan Vujic, BSc.

bei
Univ. Prof. Dr. Ing. Martin Fellendorf
Technische Universität Graz
Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Mitbetreuender Assistent:
Dipl.-Ing. Karl Hofer
Technische Universität Graz
Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Mitbetreuender Assistent:
Dipl.-Ing. Michael Haberl
Technische Universität Graz
Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Graz, 29.03.2020

Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008
Genehmigung des Senats am 01.12.2008

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen / Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtliche und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit/Diplomarbeit identisch.

Graz, 29.03.2020

Bojan Vujic, BSc.

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources. This document is identical with the electronic version uploaded via TUGRAZonline.

Graz, 29.03.2020

Bojan Vujic, BSc.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Personen bedanken, die mich während meiner Studienzeit und dem Verfassen dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Für die Betreuung der Masterarbeit bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf. Ein weiterer Dank gebührt Herrn Dipl.-Ing. Karl Hofer und Herrn Dipl.-Ing. Michael Haberl, die mich während der Erstellung und Ausarbeitung der Masterarbeit mit hilfreichen Verbesserungsvorschlägen unterstützt haben.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern und meiner Schwester die mich während des gesamten Studiums unterstützt haben und es mir ermöglicht haben mein Studium abzuschließen. Ich danke auch meinem ganzen Familienkreis der mich in meiner Studienzeit stets motiviert hat. Ein besonderer Dank geht an meine Freundin die mich während der Verfassung der Arbeit unterstützt und mich immer wieder aufs Neue motiviert hat.

Abschließend möchte ich meinen Studienkollegen und Freunden danken, die mich während meiner Studienzeit begleitet haben. Ich danke für die zahlreichen unvergesslichen Momente und Erlebnisse, die ich mit euch erleben durfte und in Zukunft noch erleben darf.

Aufgabenstellung für die Masterarbeit

von Bojan Vujic

Graz, 20.07.2018

Potentialanalyse von Park & Ride –Plätzen mittels makroskopischer Verkehrsnachfragemodellierung

Problemstellung

Die wachsenden Bevölkerungszahlen in Städten und deren Umland führt zu einer stetigen Steigerung der Personenverkehrsleistung. Die Erwerbsstatistik 2015 zeigt, dass die Anzahl der PendlerInnen seit dem Beginn der Aufzeichnungen kontinuierlich ansteigt. Da der überwiegende Anteil der Pendlerbewegungen mit dem Pkw zurückgelegt wird, ergeben sich somit zur Hauptverkehrszeit wiederkehrende Überlastungen im Straßennetz. Gleichzeitig stößt der zur Verfügung gestellte Parkraum in den Ballungsräumen während den Nebenverkehrszeiten an die Kapazitätsgrenze. Um eine positive Entwicklung der Verkehrsqualität im hochrangigen Straßennetz herbeiführen zu können, ist die Betrachtung der gesamten Verkehrsinfrastruktur erforderlich. Dabei erscheint der Umstieg des Personenverkehrs auf die Schiene, dort wo eine Möglichkeit besteht, als eine sinnvolle Maßnahme.

Im europäischen Vergleich weist Österreich ein dichtes und modernes Schienen- und Straßennetz auf. Besonders in Ballungsräumen und deren Umland bringt dies Vorteile in Bezug auf multimodales Mobilitätsverhalten, da eine Vielzahl an Schnittstellen besteht. Durch Park & Ride – Anlagen (P&R) werden an Haltestellen des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) Abstellmöglichkeiten für den motorisierten Individualverkehr (mIV) zur Verfügung gestellt, womit eine Verlagerung von monomodalen Fahrten mit dem mIV hin zu multi- oder intermodalen Fahrten unter Einbindung des ÖPNV erreicht werden kann.

Um die Verlagerung des mIV in den überlasteten Bereichen zu ermöglichen, werden multimodale Verkehrsknoten genutzt. Diese Knoten werden an bundesweit bestehenden Bahnhöfen der ÖBB platziert, die eine gute Anbindung zum hochrangigen Straßennetz aufweisen. In vielen Fällen erfüllen die bestehenden Bahnhöfe jedoch nicht die Anforderungen für den angestrebten unkomplizierten Verkehrssystemwechsel, wodurch sie potentiellen Nutzern keinen Anreiz zu einer Verhaltensänderung hinsichtlich der Verkehrsmittelwahl bieten. Durch die Errichtung von P&R – Anlagen soll der Umstieg auf den Schienenverkehr bei Überlastungen ohne große Reisezeitverlängerung ermöglicht werden. Zudem besteht Bedarf an der Entwicklung einer ganzheitlichen P&R-Managementlösung, die für VerkehrsteilnehmerInnen attraktiv genug ist um zumindest Teile einer Fahrt mit dem Umweltverbund zurückzulegen. In dieser Arbeit soll geprüft werden, welche Bahnhöfe sich in den Ballungsräumen, in der Nähe der Engpässe im hochrangigen Netz, als potentielle Standorte für multimodalen Schnittstellen mit P&R – Anlagen anbieten.

Aufgabenstellung

In der Masterarbeit soll das Potential von multimodalen Schnittstellen bezogen auf die Entlastung des hochrangigen Straßennetzes betrachtet werden. Es soll durch eine bundesweite Verschneidung von Verfügbarkeits- und Leistungsfähigkeitsanalysen am hochrangigen A+S-Streckennetz der ASFINAG mit den Infrastrukturanlagen (speziell P&R Möglichkeiten) der ÖBB vollzogen werden, um darauf basierend Umsteigepotentiale für mögliche P&R Standorte abschätzen zu können. Für eine vertiefte Potentialanalyse wird das bestehende Verkehrsmodell der Ostregion mit dem Ballungsraum Wien verwendet. Dieses aktivitätenpaar-orientierte Nachfragemodell soll innerhalb der Masterarbeit, um die Möglichkeit multimodale Wegetappen abzubilden, erweitert werden, womit insbesondere die Modellierung von P&R ins Zentrum der Betrachtung rückt.

Die folgende Liste enthält wesentliche Bearbeitungspunkte der Masterarbeit; Abweichungen mit fortschreitendem Erkenntnisstand während der Bearbeitung sind möglich:

- Literaturrecherche zum Thema multimodale Verkehrsknotenpunkte und Park & Ride, sowie deren Modellierungsmöglichkeiten in makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen.
- Bundesweite Verschneidung des hochrangigen Straßennetzes und des Schienennetzes innerhalb eines aufzubauenden GIS-Modells, sowie einer darauf aufsetzenden Defizitanalyse von Kapazitätsengpässen und dadurch auftretende Verkehrsstauungen am Straßennetz.
- Anhand der Defizitanalyse sollen Bahnhöfe in Ballungsräumen und deren Umland identifiziert werden, die eine günstige Lage aufweisen um als multimodale Schnittstellen zwischen dem mIV und dem ÖPNV dienen zu können.
- Konzepterstellung zur Berücksichtigung multimodaler Wege anhand der Modellierung von P&R-Verkehre innerhalb von Aktivitätenpaar-orientierten Verkehrsnachfragemodellen.
- Umsetzung der Methodik zur Berücksichtigung multimodaler Wege im bestehenden Verkehrsmodell der Ostregion. Darauf basierend soll eine Potentialanalyse des neu zu installierenden multimodalen Mobilitätsknoten an dem zuvor identifizierten günstigen Standort realisiert werden, um die verkehrlichen Veränderungen (Verkehrsbelastungen, -auslastungen, Modal Split-Veränderungen, Umsteigerelationen, etc.) quantifizierbar zu machen.

Für die Anfertigung der Masterarbeit stehen die Verkehrsplanungssoftware VISUM der PTV-AG mit einem Aktivitätenpaar-orientiertem Verkehrsnachfragemodell sowie die GIS-Software ArcGis am Institut für Straßen- und Verkehrswesen zur Verfügung. Der Diplomand verpflichtet sich, die Software sowie die bereitgestellten Daten ausschließlich zur Anfertigung der Masterarbeit zu nutzen und bei der Datenaufbereitung und Datenanalyse der zur Verwendung gestellten Daten jegliche Datenschutzrichtlinien einzuhalten.

Die Arbeit ist zweifach mit allen Anlagen in DIN A4 gebunden einzureichen. Ein Datenträger mit dem Schriftstück der Masterarbeit, diverse Präsentationen sowie allen Modelldaten ist beizulegen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf
Tel. 0316 873 - 6220
martin.fellendorf@tugraz.at
Institut für Straßen- und
Verkehrswesen
TU Graz
Betreuer

Dipl.-Ing. Michael Haberl
Tel. 0316 873 - 6226
Michael.haberl@tugraz.at
Institut für Straßen- und
Verkehrswesen
TU Graz
Mitbetreuender Assistent

Dipl.-Ing. Karl Hofer
Tel. 0316 873 - 6725
karl.hofer@tugraz.at
Institut für Straßen- und
Verkehrswesen
TU Graz
Mitbetreuender Assistent

Kurzfassung

Potentialanalyse von Park & Ride –Plätzen mittels makroskopischer Nachfragemodellierung

110 Seiten, 55 Abbildungen, 26 Tabellen

Durch Park & Ride-Anlagen (P&R) kann die Verlagerung des Personenverkehrs von hochrangigen Straßen auf die Schiene erfolgen. Gerade in den Einzugsgebieten von Ballungsräumen nimmt der P&R-Verkehr einen maßgeblichen Anteil an der Entlastung des hochrangigen Straßennetzes ein. P&R-Verkehr wurde bisher in der Verkehrsmodellierung jedoch kaum Beachtung geschenkt, da die Datenlage mangelhaft und der Anteil am Gesamtverkehr gering ist.

Im Rahmen dieser Arbeit wird zuerst der Begriff P&R beschrieben und definiert, sowie die Entwicklung von multimodalen Knoten betrachtet. Anschließend wird eine Verschneidung des hochrangigen Straßennetzes mit dem Schienennetz für ganz Österreich durchgeführt. In einer GIS-basierten Standortanalyse wird, an bestehenden Bahnhöfen der österreichischen Bundesbahnen, das Potential zur Nutzung von P&R-Anlagen ermittelt.

Im zweiten Teil der Arbeit wird der Aufbau eines Verkehrsnachfragemodells, sowie die Modellierung von P&R durchgeführt. Dazu werden zuerst die methodischen Grundlagen von Verkehrsnachfragemodellen erklärt, um die Prozesse der Nachfragemodellierung nachvollziehen zu können. Dabei wird im speziellen auf den Standard-Vier-Stufen-Modell Ansatz eingegangen, der zur Modellierung von P&R-Verkehren angewendet wird. Ein bestehendes Aktivitätenpaar-orientiertes Verkehrsmodell wird in ein Standard-Vier-Stufen-Modell übergeführt um Park & Ride -Verkehre modellieren zu können. Im Zuge des Aufbaus des Nachfragemodells werden spezifische Park & Ride Verfahren integriert, sowie das bestehende Netzmodell um P&R-Anlagen erweitert. Dabei entstehen für den nördlichen Teil der Ostregion ein Basisfall, sowie Maßnahmenszenarien. Dabei handelt es sich um Szenarien die Kapazitätserweiterungen von Park & Ride Anlagen, sowie Veränderungen im hochrangigen Straßennetz oder im ÖV-Angebot darstellen. Abschließend werden die Umlegungsergebnisse der einzelnen simulierten Szenarien mit dem Basisfall verglichen und die daraus folgenden Veränderungen untersucht.

Mit dieser Arbeit ist es gelungen österreichweit geeignete Standorte für die Nutzung von Park & Ride zu ermitteln, sowie Park & Ride als eigener Modus in ein bestehendes Verkehrsmodell zu integrieren und darauf basierend Maßnahmenszenarien zu berechnen.

Abstract

Impact analysis of Park & Ride based on travel demand modeling

110 pages, 55 figures, 26 tables

Park & Ride facilities can shift passenger trips from high-level roads to rail. Especially in metropolitan areas, Park & Ride traffic plays a significant role in relieving the high-level road network. Park & Ride traffic is barely recognized in transport modeling, because the available data is sparse and the proportion of total volume is still low.

The first part of this master thesis deals with a description and definition of the term Park & Ride, as well as the development of multimodal hubs. Subsequent, the high-level road network of Austria is merged with the rail network. Therefore, it is possible to assess the potential of Park & Ride facilities at existing train stations with a GIS-system-based location analysis.

The second part of this thesis deals with the development of a transport model and the modeling of Park & Ride. First, the methodological foundations of transport models are explained in order to understand the processes of demand modeling. The explanations focus on the standard four step model approach, because this approach is used to model Park & Ride traffic. Therefore, an existing activity-based transport model is transformed into a standard four-step model. During the development of the transport model, specific Park & Ride procedures are integrated and the existing network model is extended by Park & Ride facilities. This creates a base case for the northern part of the Ostregion, as well as several scenarios. These scenarios deal with capacity expansions of park and ride facilities, as well as changes in the high-level road network or of the public transport supply. Finally, the results of the scenarios are compared with the base case and resulting changes are analyzed.

This master thesis successfully identifies suitable locations for Park & Ride facilities, and describes the integration of Park & Ride facilities into an existing transport model and the successful implementation of scenarios.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	iii
Tabellenverzeichnis.....	v
Abkürzungen.....	vi
1 Einführung.....	1
2 Park & Ride.....	3
2.1 Definition der Multimodalität und Intermodalität.....	3
2.2 Definition Park & Ride.....	4
2.3 Entstehung von Park & Ride -Anlagen.....	5
2.4 Einflussgrößen auf Park & Ride.....	7
2.4.1 Verwendungszwecke für Park & Ride -Anlagen.....	7
2.4.2 Hauptmotive zur Nutzung von Park & Ride –Anlagen.....	8
2.4.3 Nutzergruppen.....	9
2.5 Anteil von Park & Ride am Verkehrsaufkommen.....	10
2.5.1 Anteil von Park & Ride in Österreich.....	11
2.5.2 Anteil von Park & Ride in Wien.....	13
2.6 Klassifizierungsmöglichkeiten von Park & Ride –Anlagen.....	14
2.6.1 Lage und Einzugsbereich von Park & Ride -Anlagen.....	14
2.6.2 ÖV -Angebot.....	17
2.6.3 Größe und Ausstattung von Park & Ride -Anlagen.....	18
2.6.4 Benutzungskosten.....	19
2.7 Intermodale Mobilität und Vernetzung.....	19
2.7.1 Mobilitätstationen in urbanen Räumen.....	19
2.7.2 Park & Ride -Anlagen als Teil Multimodaler Mobilitätsknoten.....	20
2.8 Beispielregionen für Park & Ride Verkehre.....	21
2.8.1 Park & Ride –Anlagen in Österreich (VOR).....	21
2.8.2 Beispielregion Stuttgart.....	25
2.8.3 Beispielregion München.....	26
2.8.4 Beispielregion Zürich (SBB).....	28
3 GIS –basierte Standortanalyse.....	30
3.1 Datengrundlage.....	30
3.2 Methode und Kriterienwahl.....	31
3.2.1 Lage der Park & Ride –Anlagen (Siedlungsraum).....	33
3.2.2 Erreichbarkeit.....	36

3.2.3	LOS -Bewertung.....	43
3.2.4	Takt an den Bahnhöfen	45
3.2.5	P&R Stellplatzangebot und den Auslastungsgrad	46
3.2.6	Ergebnisse der Standortanalyse.....	46
4	Verkehrsmodellgestützte Detailanalyse	51
4.1	Kategorisierung von Verkehrsplanungsmodellen	51
4.1.1	Planungsraum und Untersuchungsgebiet.....	52
4.1.2	Verkehrsangebot.....	52
4.1.3	Verkehrsnachfrage	53
4.2	Vier-Stufen-Modell	53
4.2.1	Verkehrserzeugung	54
4.2.2	Verkehrsverteilung.....	55
4.2.3	Verkehrsaufteilungsmodelle (Verkehrsmittelwahlmodell).....	56
4.2.4	Verkehrsumlegungsmodelle (Routenwahlmodell)	56
4.3	Verkehrsnachfrage VisEVA	59
4.4	Verkehrsmodell für Wien, Niederösterreich und Burgenland	60
4.4.1	Planungsgebiet.....	61
4.4.2	Strukturdaten	62
4.5	Aufbau eines Standard-Vier-Stufen Nachfragemodells	65
4.5.1	Verhaltenshomogene Gruppen (Personas).....	66
4.5.2	Moduswahl.....	68
4.5.3	Umlegung.....	74
5	Modellierung von Park & Ride	75
5.1	Netzobjekte	75
5.2	Verfahrensablauf zur Modellierung von Park & Ride.....	78
5.3	Kalibration	82
5.4	Auswertung der Maßnahmenszenarien	86
6	Schlussfolgerungen und Ausblick	96
	Literaturverzeichnis.....	98
	Anhang	103

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beispielhafte Darstellung von multi- und intermodalem Verkehrsverhalten.....	3
Abbildung 2:	Park & Ride –Standorte im Verbund –Planungsraum.....	6
Abbildung 3:	Verwendungszweck der Park & Ride –Nutzung.....	8
Abbildung 4:	Hauptmotive zur Park & Ride –Nutzung	9
Abbildung 5:	Einpendelzentren in Österreich	10
Abbildung 6:	Verkehrsmittelwahl zu einem Bahnhof in Abhängigkeit der Lage.....	11
Abbildung 7:	Anteil intermodaler Wege an den ÖV-Wegen mit der Bahn im Werktagverkehr	12
Abbildung 8:	Zugangsverkehrsmittel zum ÖV nach Zeitabschnitten für Wien (Personen/Betriebszeit)	14
Abbildung 9:	Phasen des Systemwechsels bei Park & Ride	17
Abbildung 10:	Park & Ride –Anlagen in Wien	22
Abbildung 11:	Park & Ride und Bike & Ride –Anlagen in Niederösterreich.....	23
Abbildung 12:	Beispiel des Routenplaner VOR A nach B (Oberthorn nach Wien)	24
Abbildung 13:	Informationswunsch für eine Park & Ride –App (Anteil in %)	25
Abbildung 14:	Intermodale Wegekette für Park & Ride	26
Abbildung 15:	Belegungsprognosen der Park & Ride Anlagen im MVV-Raum	27
Abbildung 16:	PRÖVIMM - On-trip-Störungsmeldung mit Routenanpassung.....	28
Abbildung 17:	P+Rail-App der Schweizerischen Bundesbahn.....	29
Abbildung 18:	Anzahl der Einpendlerinnen und -pendler absolut nach politischen Bezirken.....	33
Abbildung 19:	Erwerbpendlerinnen und –pendler 2016 nach Distanz in Straßenkilometern und Entfernungskategorie.....	35
Abbildung 20:	Schematisches Vorgehen bei der Methode Puffer (ArcGIS)	35
Abbildung 21:	Analysekriterium Siedlungsraum am Beispiel Wien	36
Abbildung 22:	Erzeugung der Startpunkte für die Erreichbarkeitsanalyse	38
Abbildung 23:	Schematischer Aufbau eines Wegenetzes	39
Abbildung 24:	Schematisches Vorgehen Methoden Wegpuffer. Oben Wegpuffer rund, unten Wegpuffer eckig.....	42
Abbildung 25:	Erreichbarkeit eines Standortes je Zeitintervall.....	43
Abbildung 26:	Streckenabschnitt in Abhängigkeit der Richtung und des LOS	44
Abbildung 27:	Lage der Park & Ride –Anlagen	47
Abbildung 28:	Erreichbarkeit der Bahnhöfe und Haltestellen	47
Abbildung 29:	LOS-Bewertung in Bezug auf die Lage der Bahnhöfe.....	48
Abbildung 30:	Takt an den Bahnhöfen	49
Abbildung 31:	Gewählte Bahnhöfe aus der Standortanalyse	50
Abbildung 32:	Einteilung nach Planungsraum und Untersuchungsraum sowie den Verkehrsarten ..	52
Abbildung 33:	Unterscheidung von Verkehrsnachfragemodellen	54
Abbildung 34:	CR-Funktionstyp BPR mit $a=1$, $c=1$ und Variationen des Parameter b	59
Abbildung 35:	Schematischer Ablaufplan von VisEVA	59
Abbildung 36:	Abbildung des Planungsgebietes (blau) und des Untersuchungsgebietes (grau).....	61
Abbildung 37:	Vorgegebener Modell Split im Verkehrsmodell ITS Vienna Region.....	65
Abbildung 38:	Aufbau des 4-Stufen-Modells auf der Grundlage des ITS Vienna Region Modells.....	66
Abbildung 39:	Einteilung der Personas	67

Abbildung 40: Personengruppenanteil an den Personas	68
Abbildung 41: Verfahrensablauf für die Erstellung einer Verteilungsmatrix.....	69
Abbildung 42: Vergleich der Reiseweitenverteilung Wohnen-Arbeiten	72
Abbildung 43: Vergleich der Reiseweitenverteilung Sonstiges-Sonstiges	72
Abbildung 44: Vergleich von Zählwerten und modellierten Verkehrsstärken.....	74
Abbildung 45: Darstellung der Park & Ride Anlagen in der Gemeinde Hausleiten.....	76
Abbildung 46: Gewähltes Teilgebiet der VOR-Region zur Modellierung von Park & Ride.....	77
Abbildung 47: Abbildung eines erstellten Park & Ride Bezirks	78
Abbildung 48: Verfahrensablauf für die Modellierung von Park & Ride.....	79
Abbildung 49: Park & Ride Stellplatzauslastung in der Ost Region (ohne Wien).....	82
Abbildung 50: Zoneneinteilung für den Korrekturfaktor	83
Abbildung 51: Park & Ride Basisfall.....	85
Abbildung 52: Einzugsgebiet des Einfahrtskorridor Stockerau	87
Abbildung 53: Maßnahmenszenario 1 „Kapazitätserweiterung der Park & Ride Anlage Stockerau“	89
Abbildung 54: Auslastung der Park & Ride Anlage Stockerau bei steigender Stellplatzverfügbarkeit	89
Abbildung 55: Veränderung der Park & Ride Wege zum Basisfall	92

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Historische Daten zum Park & Ride –Angebot in europäischen Städten	5
Tabelle 2:	PendlerInnen stadteinwärts nach Wien	13
Tabelle 3:	Untersuchung Park & Ride –Anlagen in der Schweiz.....	15
Tabelle 4:	Beispiel einer Mobilitätsstation Wien Simmering	20
Tabelle 6:	Übersicht der vorhandenen Daten und deren Quellen.....	31
Tabelle 7:	Siedlungsräume bestehend aus den folgenden Gemeinden.....	34
Tabelle 8:	Nicht vorhandene „maxspeed“-Daten im OSM-Netz	40
Tabelle 9:	Zuweisung von „maxspeed“ in Abhängigkeit des Straßentyps	40
Tabelle 10:	Abminderungsfaktor für die Durchschnittsgeschwindigkeit	41
Tabelle 11:	Qualität des Verkehrsablaufs.....	44
Tabelle 12:	Daten des Planungsgebiets ITS Vienna Region.....	62
Tabelle 13:	Verhaltenshomogene Gruppen im ITS Vienna Region Modell.....	62
Tabelle 14:	Quell-Ziel-Gruppen im Verkehrsmodell ITS Vienna Region.....	63
Tabelle 15:	Verhaltenshomogene Gruppe im Standard-Vier-Stufen-Modell.....	67
Tabelle 16:	Annäherung des Modal Split an das VisEVA-Modell	70
Tabelle 17:	Park & Ride Anlagen mit höchster Stellplatznachfrage	85
Tabelle 18:	Durchgeführte Maßnahmenzenarien	87
Tabelle 19:	Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenzenario 1	88
Tabelle 20:	Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenzenario 2	90
Tabelle 21:	Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenzenario 3	91
Tabelle 22:	Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenzenario 4	91
Tabelle 23:	Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenzenario 5	93
Tabelle 24:	Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenzenario 6	93
Tabelle 25:	Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenzenario 7	94
Tabelle 26:	Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenzenario 8	95

Abkürzungen

BPR-Funktion	Bureau of public road Function
CR-Funktion	Capacity Restraint Function
GIP	Graphenintegrations-Plattform
GIS	Geographisches Informationssystem
IV	Individualverkehr
Kfz	Kraftfahrzeug
mIV	Motorisierter Individualverkehr
OSM	OpenStreetMap
ÖV	Öffentlicher Verkehr
P&R	Park & Ride
Pkw	Personenkraftwagen
QV	Quellverkehrsaufkommen
QZG	Quelle-Ziel-Gruppe
VHG	Verhaltenshomogene Gruppe
VisEVA	Verkehr in Städten und Regionen Erzeugung Verteilung Aufteilung
VISUM	Programm zur makroskopischen Modellierung der Verkehrsnachfrage der PTV AG Karlsruhe
VOR	Verkehrsverbund Ost-Region
ZV	Zielverkehrsaufkommen

1 Einführung

Der motorisierte Individualverkehr in Österreich stößt in den Ballungsräumen an die Grenzen der technischen Leistungsfähigkeit. Im dicht ausgebauten hochrangigen Straßennetzes kommt es im Bereich der Ballungsräume zu Überlastungen, zudem nehmen in den Städten die externen Belastungen, wie der begrenzte Parkraum, ebenfalls zu. Einen wesentlichen Anteil an der Überlastung des hochrangigen Straßennetzes in den Ballungsräumen und deren Umlandbereichen tragen die täglich einströmenden Pendler und Pendlerinnen. Im Jahr 2016 pendelten 32,1% aller unselbstständig erwerbstätigen Auspendlerinnen und Auspendler Österreichs (701.961 Personen), aus ihrer Wohngemeinde, um in einem der großen Einpendlerzentren zu arbeiten. Dies sind: Wien und die Landeshauptstädte Linz, Graz, Salzburg, Innsbruck, Klagenfurt am Wörthersee und Sankt Pölten sowie die Gemeinden Wels, Schwechat und Wiener Neustadt. Allein nach Wien pendeln 263.025 Personen aus anderen Bundesländern, um dort ihren Arbeitsplatz aufzusuchen. Durch die voranschreitende Suburbanisierung steigen die zurückgelegten Entfernungen der Pendler und Pendlerinnen, wobei der motorisierte Individualverkehr bei der Verkehrsmittelwahl dominiert (Statistik Austria, 2016, p. 49). Eine Verlagerung der Pendlerströme auf die Schiene gestaltet sich als schwierig, da das Schienennetz bei der Erschließung, aufgrund der Suburbanisierung, an seine Grenzen stößt.

Um diesen Effekten entgegenzuwirken, können durch multimodale Schnittstellen die Vorteile der einzelnen Verkehrssysteme kombiniert werden und somit der motorisierte Individualverkehr verringert werden. Durch Park & Ride –Anlagen an multimodalen Knoten kann eine Verlagerung des Personenverkehrs vom hochrangigen Straßennetz auf die Schiene erfolgen. Am Gesamtverkehr in Österreich spielt der kombinierte Verkehr mit einem Anteil von 1.6% eine relativ geringe Rolle, wobei durch den stetigen Ausbau multimodalen Knoten dieser Anteil zunimmt. (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016, p. 91)

Eine Möglichkeit die Akzeptanz und Bequemlichkeit bei der Kombination von motorisierten Individualverkehr und dem öffentlichen Verkehr zu steigern, kann durch die Entwicklung einer mobil verwendbaren Softwarelösung in Form einer App geschaffen werden. Die Möglichkeit einer Statusanzeige oder der Buchung von Park & Ride –Stellplätzen könnte attraktiv genug sein, um einen Teil der Strecke, anstatt mit dem Pkw, mit dem öffentlichen Verkehr zurückzulegen.

Auf dem Gebiet der Verkehrsmodellierung wird Park & Ride –Anlagen bisher nur wenig Beachtung geschenkt. Die Ursache dafür liegt an dem geringen Gesamtverkehrsanteil in Statistiken und Befragungen den die Kombination von motorisierten Individualverkehr und dem öffentlichen Verkehr einnimmt. Auch im bestehenden Verkehrsmodellen werden Park & Ride –Anlagen nicht adäquat eingebunden, obwohl sie eine signifikante Rolle aufweisen können. In der vorliegenden Arbeit soll durch eine Standortanalyse das Potential von Park & Ride –Anlagen, an bestehenden Bahnhöfe der österreichischen Bundesbahnen, ermittelt werden. Zusätzlich soll eine Methodik gefunden werden, welche die Nutzung von Park & Ride, anhand eines bestehenden Verkehrsmodells, ermöglicht.

Nach diesem einführenden Kapitel wird im zweiten Kapitel dieser Arbeit der Begriff Park & Ride erklärt und genauer definiert. Dabei werden die Entwicklungen von Park & Ride- Anlagen, sowie deren Entwicklungen bis zu multimodalen Knoten betrachtet. Wichtig dabei ist die Klassifizierung der Anlagen, um geeignete Park & Ride Standorte, anschließend in einem Nachfragemodell zu integrieren. In Kapitel 3 wird eine GIS –basierte Analyse zur Standortwahl, welche potentielle Standorte zur Einführung mobil verwendbarer Softwarelösungen in Form einer App für Park & Ride –Anlagen ermittelt, durchgeführt.

Kapitel 4 bildet jenen Teil der Arbeit, wobei zuerst der Aufbau eines Verkehrsmodells erläutert wird. Dabei wird hauptsächlich auf den Standard-Vier-Stufen-Modell Ansatz eingegangen, der zur Modellierung von Park & Ride-Verkehren angewendet wird. Ein bestehendes Aktivitätenpaar-orientiertes Verkehrsmodell wird als Grundlage genutzt um das Standard-Vier-Stufen-Modell zu modellieren.

Den Abschluss der Arbeit bildet Kapitel 5 wo die Modellierung von Park & Ride sowie die Berechnung der Park & Ride Nachfrage in diesem Nachfragemodell. Dabei werden aufgrund einer durchgeführten Befragung im Betrachtungsgebiet, verkehrliche Kenngrößen geliefert, die zur Entwicklung von Szenarien angewendet werden. Anschließend erfolgt die Auswertungen der Ergebnisse, welche das Verkehrsnachfragemodell ausgibt. Dabei sollen die verkehrlichen Veränderungen, aufgrund der multimodalen Verkehrsknoten ausgewertet werden. Kapitel 6 liefert eine Zusammenfassung der Arbeit, sowie ein Ausblick für zukünftige Modellierungen multimodaler Mobilitätsknoten.

2 Park & Ride

Im ersten, allgemeinen Teil dieser Arbeit werden zuerst die Definitionen von Multimodalität, Intermodalität und Park & Ride erläutert. Darauf folgt die Entstehung von Park & Ride sowie die Einflussgrößen. Anschließend folgt ein Abschnitt, der sich mit den Klassifizierungsmöglichkeiten für Park & Ride-Anlagen auseinandersetzt. Den Abschluss des Kapitels bilden die Entwicklung von Park & Ride –Anlagen zu multimodalen Mobilitätsknoten, sowie Beispielregionen, welche einen hohen Fortschritt im Bereich der multimodalen Vernetzung aufweisen.

2.1 Definition der Multimodalität und Intermodalität

Der Begriff Multimodalität erlangt im Personenverkehr eine stetig zunehmende Bedeutung. Es gibt im Personenverkehr keine einheitliche Definition für diesen Begriff. Wie auch die Intermodalität stammen diese aus dem Güterverkehr und weisen dort eine etwas andere Bedeutung auf. Multimodalität kann, indem man angebotsseitige als auch nachfrageseitige Aspekte berücksichtigt, unterschiedlich definiert werden (Gronalt, et al., 2010, p. 15). Nach Neumann, et al. [2016] beinhaltet das multimodale Angebot in der angebotsseitig orientierten Definition, Verkehrsmittel, welche zu vordefinierten Uhrzeiten an einem bestimmten Ort, für den Verkehrsteilnehmer/-innen zur Verfügung stehen. Dieses Angebot ermöglicht es den Nutzern einen Weg durch das zur Verfügung stehende Angebot zurückzulegen. Angebotsseitig wird in der Literatur hauptsächlich der Begriff multimodales Verkehrssystem genutzt, wenn Verkehrsteilnehmer, für das zurücklegen ihrer Wege zwischen mindestens zwei verschiedenen Verkehrssystemen oder Modi (z.B. Pkw und S-Bahn) wählen können. (Neumann, et al., 2016, p. 13)

Das tatsächliche beziehungsweise potentielle Mobilitätsverhalten von Verkehrsteilnehmer/-innen wird als nachfrageseitig orientierte Definition der Multimodalität bestimmt. Das konkrete Mobilitätsverhalten wird durch unterschiedliche Qualitätskriterien wie finanzielles Budget, Zeit sowie deren Beurteilungen festgelegt. Als nachfrageseitig wird das multimodale Verhalten einer Person bezeichnet, wenn diese bereit ist unterschiedliche Verkehrsmittel und das für jeden Weg optimale Verkehrsmittel zu wählen. (Neumann, et al., 2016, p. 15)



Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung von multi- und intermodalem Verkehrsverhalten¹

Die Begriffe der Multimodalität und der Intermodalität lassen wie folgt abgrenzen. Grundsätzlich wird das multimodale Verkehrsverhalten, in der Literatur, als das zurücklegen mehrerer Wege in einem

¹ www.tu-braunschweig.de/soziologie/schwerpunkte/sozialstruktur/forschung/drittm/fahrrad (27.07.2018 - 16:30)

bestimmten Zeitraum mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln beschrieben. Das Mobilitätsverhalten wird als multimodal bezeichnet, wenn eine Person in einem bestimmten Zeitraum unterschiedliche Verkehrsmittel nutzt. Die Intermodalität wird, als die Nutzung verschiedener Verkehrsmittel auf einem Weg, definiert und kann somit als eine Sonderform der Multimodalität betrachtet werden. Abbildung 1 zeigt eine beispielhafte Darstellung von multimodalen und intermodalem Verkehrsverhalten. (Neumann, et al., 2016)

Die Definition des intermodalen Mobilitätsverhalten trifft daher auch auf Park & Ride sowie andere ähnliche Systeme zu, wobei Park & Ride in dieser Arbeit als zentrales Thema behandelt wird.

2.2 Definition Park & Ride

Park & Ride (P&R) ist jene Form der Mobilität, bei der man ein öffentliches Verkehrsmittel mit einem privaten Fahrzeug erreicht und anschließend die Fahrt mit einem öffentlichen Verkehrsmittel fortsetzt. Das private Fahrzeug wird an einer dafür zugeordneten Parkfläche oder Anlage, einer Haltestelle oder eines Bahnhofes abgestellt. Es handelt sich dabei um eine intermodale Wegekette, bei der mehr als ein Verkehrsmittel für das zurücklegen eines Weges genutzt wird. Die Art des eigenen Fahrzeuges oder des öffentlichen Verkehrsmittels (ÖV) ist dabei nicht festgelegt. Generell handelt es sich bei dem Begriff Park & Ride jedoch um die Kombination von motorisierten Individualverkehr in Form von einem Pkw und schienengebundenen öffentlichen Verkehr als Eisenbahn oder Schnellbahn. Weitaus seltener werden Pkw mit dem Bus oder der Straßenbahn kombiniert. (Steierwald, et al., 2005, p. 585)

Betreffend der kombinierten Mobilität mit öffentlichen Verkehrsmitteln kann durch die folgenden Begriffe unterschieden werden:

- Park & Ride (P & R)
- Park + Rail (P + Rail)
- Bike & Ride (B & R)
- Kiss & Ride (K & R)

Als Park & Ride kann ebenfalls der Umstieg vom Fahrrad auf ein öffentliches Verkehrsmittel bezeichnet werden, wobei hier auch die Bezeichnung Bike & Ride genutzt wird. Park + Rail beschreibt die gleiche Kombination wie Park & Ride, wird in Deutschland jedoch ausschließlich für den kombinierten Verkehr von Auto und Bahnfernverkehr verwendet. Die Schweizer Bundesbahnen (SBB) verwenden den Begriff Park +Rail sowohl im Bahnfernverkehr als auch im Regionalverkehr für die Kombination mit einem Pkw. Zu erwähnen ist auch der Begriff Kiss + Ride, obwohl dieser nicht unter den Begriff Park & Ride fällt. Bei dieser Form werden Personen mit dem Auto zum öffentlichen Verkehr gebracht, jedoch wird das Auto vom Fahrer nicht auf einer Parkfläche abgestellt, sondern verlässt den Bahnhof oder die Haltestelle wieder. Es ist anzumerken, dass in dieser Arbeit die Definition Park & Ride für die Kombination von einem Pkw mit der Eisenbahn oder Schnellbahn verwendet wird. Aus diesem Begriff leitet sich der Begriff Park & Ride –Anlage ab, der als Verbindung zwischen motorisierten Individualverkehr und öffentlichem Verkehr dient. (Baudirektion des Kantons Zug, 2003, p. 9)

Nach der Richtlinie für Park & Ride –Anlagen des BMVIT wird unter dem Begriff „P&R –Anlage“ eine flächige Anlage oder ein Parkdeck zum Abstellen von Pkw und oder Zweiräder einschließlich der mit der Anlage verbundenen Nebenanlagen, Zufahrtsstraßen, Gehwege etc. verstanden. (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2017, p. 5)

Park & Ride –Anlagen haben in aktuellen Verkehrskonzepten in erster Linie die Aufgabe folgende Punkte zu erfüllen:

- durch das Anbieten einer intermodalen Schnittstelle die Multimodalität fördern
- den öffentlichen Verkehr im Modal Split stärken
- in den Ballungsräumen den Pkw-Anteil verringern und höherrangige Straßen entlasten
- die Wege des Pkw-Verkehrs und damit auch die Umweltfolgewirkungen reduzieren

(Amt der Kärntner Landesregierung, 2016)

2.3 Entstehung von Park & Ride -Anlagen

Park & Ride entwickelte sich ungeplant zu Beginn der fünfziger Jahre in verschiedenen Großstadregionen der USA. Eine vergleichbare Entwicklung mit Verkehrsunternehmern als Betreiber und mit im wesentlichen betriebswirtschaftlichen Zielsetzungen fand in Europa zunächst nur im Raum London statt, wo versucht wurde, mit dem Angebot von Parkplätzen an U-Bahn- und Eisenbahnstationen Kunden für die öffentlichen Verkehrsmittel zu gewinnen. Anfang der 1960er Jahre setzte der Park & Ride –Boom in Europa ein. In vielen Regionen wurde Park & Ride in verkehrspolitische Programme eingegliedert. In Paris begann man im Jahr 1962 mit einer systematischen Park & Ride Politik und verzeichnete dabei Erfolge. Erste Ansätze in deutschen Städten wie Stuttgart, Frankfurt oder München verliefen anfangs weniger erfolgreich. Lediglich in Hamburg wurde in den sechziger Jahren eine vergleichsweise konsequente Park & Ride-Politik verfolgt und seit 1963 das Angebot stetig ausgeweitet. Anfang der siebziger Jahre setzte ein erneuter Auftrieb ein, da sich mittlerweile die innerstädtischen Verkehrsverhältnisse in fast allen großen westeuropäischen Städten spürbar verschlechtert hatten. München etwa verfolgte ab 1972 eine großzügige Ausbaupolitik im Bereich des Park & Ride und hatte die Zahl der Stellplätze stark gesteigert. Park & Ride in nennenswertem Ausmaß gab es im Raum Bologna, Frankfurt, Hannover, Rotterdam, Stockholm und Stuttgart, siehe Tabelle 1. (Fauland, 1983, p. 9)

Tabelle 1: Historische Daten zum Park & Ride –Angebot in europäischen Städten

Stadt:	Paris	Hamburg	München	Frankfurt	Stuttgart	Stockholm	London
Beginn von planmäßigen P & R -Maßnahmen	1962	1963	1978	1978	1965	-	50erJahre
P & R –Anlagen (Bestand)	319 (1980)	48 (1981)	68 (1981)	56 (1980)	38 (1981)	21 (1981)	132 (1980)
P & R –Stellplätze (Bestand)	80.586	7.242	8.744	3.599	3.454	ca. 3.100	ca. 17.000

Auffallend ist, dass Park & Ride Anfang der siebziger Jahre in der Literatur wenig Erwähnung findet. Erst Mitte der siebziger Jahre erhielt das Park & Ride in der Theorie und Praxis erneuten Auftrieb, aufgrund der innerstädtischen Verkehrsverhältnisse die sich in den meisten westeuropäischen Städten verschlechtert hatten. Die positiven Effekte von Park & Ride für den innerstädtischen Verkehr waren ausschlaggebend und negative Effekte auf die Einzugsgebiete der Anlagen wurden nur vereinzelt untersucht. Die Verkehrsplanung bevorzugte Park & Ride –Anlagen in der Nähe von Stadtzentren und bewirkte aufgrund des immer weiter ansteigenden Motorisierungsgrades eine zusätzliche Belastung für die Ballungsräume und die Einzugsgebiete der Anlagen.

Am Beispiel des heutigen Verkehrsverbund Ost-Region (VOR), welches die Bundesländer Wien, Niederösterreich und das Burgenland umfasst, wird die Entstehung von Park & Ride –Anlagen in

Österreich genauer betrachtet. Das im Jahr 1980 beschlossene Verkehrskonzept für Wien betonte die Wichtigkeit und den Vorrang des öffentlichen Verkehrs. Es wurden neben den weiteren Ausbau des U-Bahn-Netzes und des S-Bahn-Netzes auch die Errichtung von Park & Ride –Anlagen vorgesehen. Das Programm setzte im Wesentlichen den Schwerpunkt bei der Bewältigung von Verkehrs- und Umweltproblemen. Die damalige Planungsgemeinschaft Ost bestimmte anhand von Untersuchungen, dass im Einzugsgebiet des Schnellbahn- und U-Bahnnetzes 40 Standorte für die Errichtung von Park & Ride-Anlagen geeignet waren, Abbildung 2. Die Errichtung der Anlagen war zu diesem Zeitpunkt noch von Ausbau des öffentlichen Verkehrsnetzes (U-Bahn-Ausbau) abhängig. Bereits im Jahr 1983 waren bereits acht Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 1982 Stellplätzen in Niederösterreich und dem Burgenland errichtet worden.

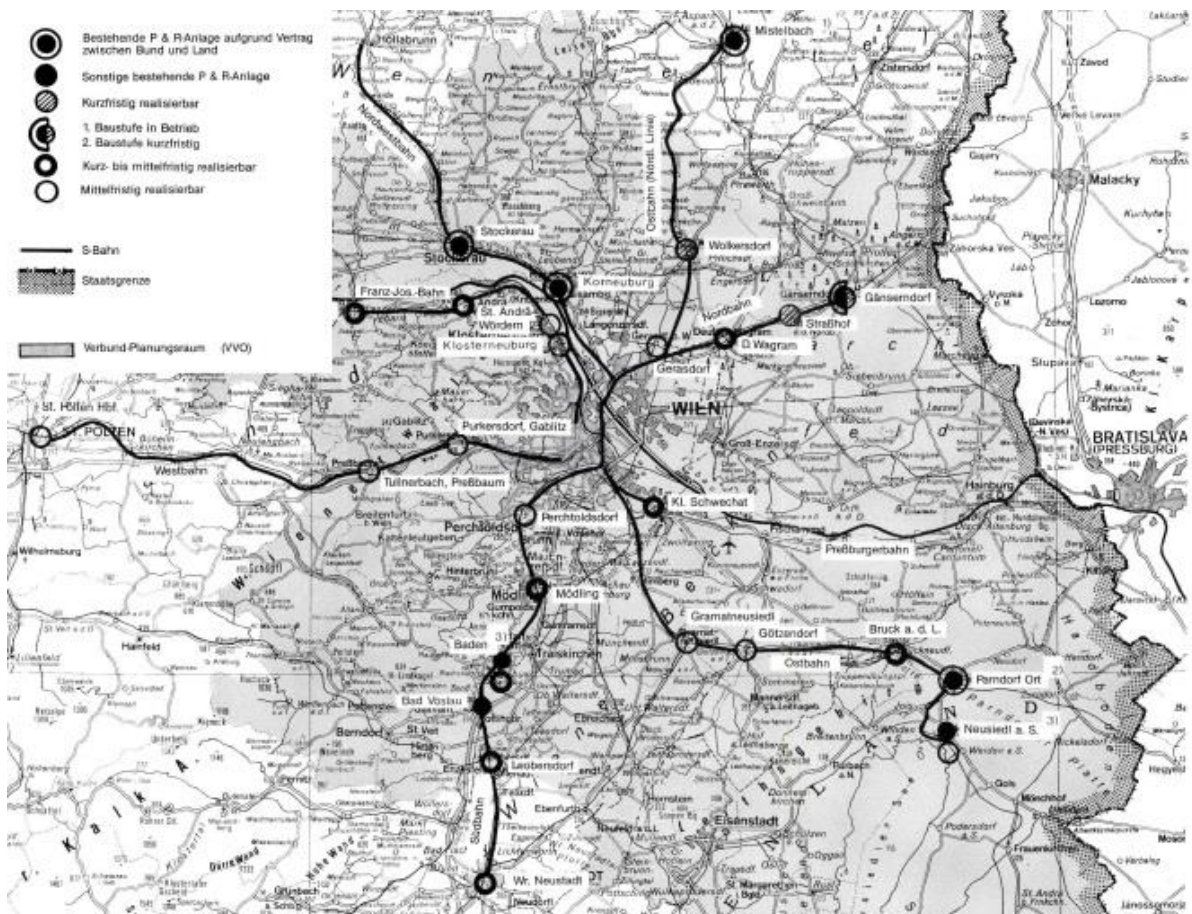


Abbildung 2: Park & Ride –Standorte im Verbund –Planungsraum (Fauland, 1983)

Der Ausbau der Park & Ride –Anlagen hat sich im Vor-Gebiet sowie im restlichen Österreich bis heute stark entwickelt. Bis heute stehen allein in den Bundesländern Wien, Niederösterreich und dem Burgenland über 40.000 Parkplätze bei über 200 Park & Ride –Anlagen zur Verfügung. Die Lage zum Ausbau von Park & Ride –Anlagen hat sich in den letzten Jahren durch neue Möglichkeiten der Vernetzung und der Entstehung von multimodalen Mobilitätsknoten stark gewandelt.

2.4 Einflussgrößen auf Park & Ride

2.4.1 Verwendungszwecke für Park & Ride -Anlagen

Eine Grundvoraussetzung für die Nutzung von Park & Ride ist die ständige Autoverfügbarkeit. Daher ergeben sich als Zielgruppe zum größten Teil erwerbstätige Personen über 18 Jahre sowie Auszubildende mit einem Pkw.

Im Entwurf neuer Park & Ride Konzepte wird immer häufiger versucht auch Zielgruppen, die im Einkauf oder im Tourismus eingegliedert sind, verstärkt einzubinden. Prinzipiell lassen sich laut Steirerwald et al., nach den Angaben der VDV-Schrift und der Umfrage des Deutschen Städtetags bei der Planung von Park & Ride -Anlagen drei grundlegende Anwendungsfälle unterscheiden. Diese können gegeben falls um die jeweiligen Anforderungen zu erfüllen, auch miteinander kombiniert werden. (Steirerwald, et al., 2005, p. 586)

- Anwendungsfall Berufsverkehr:

Städte, die ein gut ausgebautes öffentliches Verkehrsnetz aufweisen und viele Arbeitsplätze bieten nutzen die Möglichkeit Park & Ride –Anlagen zu errichten und den Berufsverkehr von der Straße auf den schienengebunden öffentlichen Verkehr zu bewegen. Es handelt sich überwiegend um Städte die mehr als 200.000 Einwohner haben.

Für einen großen Zuspruch sind folgende Randbedingungen entscheidend:

- Die Lage der Park & Ride -Anlage außerhalb des dichtbebauten Stadtgebietes sowie die Abdeckung eines größtmöglichen Einzugsgebietes
- Eine hohe ÖV-Taktdichte, ausreichendes Kapazitätsangebot sowie eine hohe Reisegeschwindigkeit des ÖVs

(Steirerwald, et al., 2005, p. 587)

- Anwendungsfall Einkaufsverkehr:

Für diesen Fall richten sich die Anforderungen der Park & Ride –Anlagen an die Haupteinkaufstage. Die Einwohnerzahl der Städte die diesen Service an den Werktagen anbieten liegt meist zwischen 50.000 und 100.000. Im Gegensatz zu dem Berufsverkehr, kann hier durch andere Maßnahmen eine gute Akzeptanz erreicht werden:

- Eine zentrale Lage der P&R –Anlage sollte gegeben sein
- Es besteht ein regelmäßiges Angebot
- Ein hohes ÖV-Angebot ist gegeben
- Das Parken des Pkw sowie der Transfer mit den öffentlichen Verkehrsmitteln soll kostenlos zur Verfügung stehen

(Steirerwald, et al., 2005, p. 587)

- Anwendungsfall Veranstaltungs- oder Tourismusverkehr:

Die Entscheidung Park & Ride –Anlagen für die Nutzung im Tourismus oder bei Veranstaltungen einzusetzen, beruht im Gegensatz zu den vorherigen beiden Fällen auf einer anderen Grundlage. Es soll dazu beitragen den Flächenverbrauch zu verringern und den Lärm sowie Schadstoffausstöße zu vermeiden. Zusätzlich soll die historische Bausubstanz von Städten geschont werden. Um eine größtmögliche Nutzung zu erreichen, müssen bei diesem Angebot folgende Punkte berücksichtigt werden:

- die Bekanntmachung des Angebots durch die Verknüpfung der Informationen mit der Werbung von Veranstaltern sowie der touristischen Ziele
- einfache und deutliche Hinweise zur Anfahrt
- eine Möglichkeit zur kombinierten Bezahlung des Park & Ride –Angebotes, der Nutzung des ÖV sowie der Eintritte
- die Nutzer sollen mit dem öffentlichen Verkehrsmittel möglichst direkt an das Ziel befördert werden

(Steierwald, et al., 2005, p. 587)

In den Nachbarländern Schweiz und Deutschland werden schon seit dem Ende der 1960er Jahre umfangreiche Park & Ride –Befragungen durchgeführt. Schon damals wurde diese Art des Reisens hauptsächlich für die Fahrten zum Arbeitsplatz genutzt. Die Ergebnisse zeigen, dass der mehrheitliche Reisezweck bei der Park & Ride –Nutzung der Weg zur Arbeit oder Ausbildungsstelle ist, siehe Abbildung 3. (Weidmann, et al., 2012, p. 20)

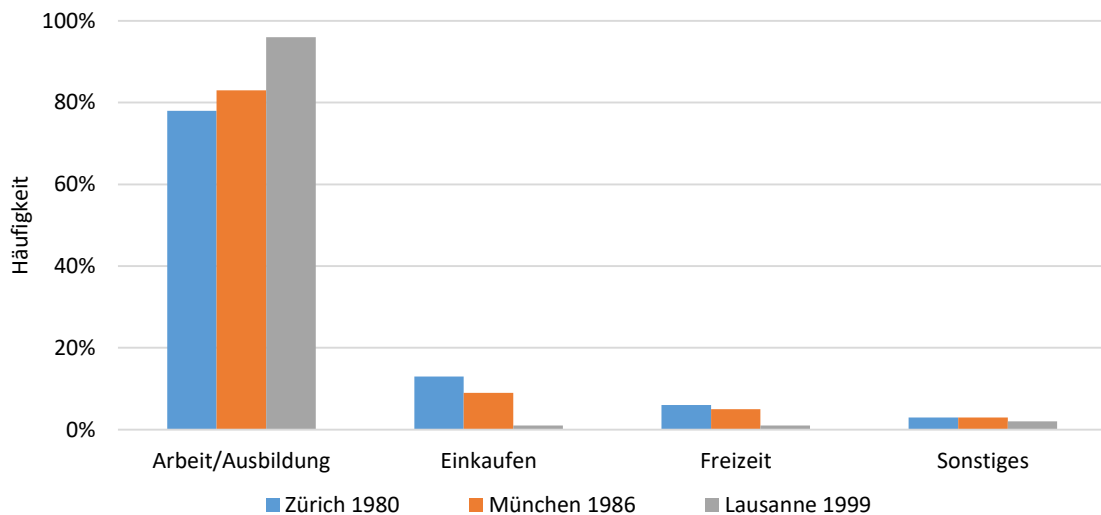


Abbildung 3: Verwendungszweck der Park & Ride –Nutzung (Bundesamt für Strassenbau, 1984), (Holz-Rau, et al., 1996), (Guillaume-Gentil, et al., 2004)

Der zweitgrößte Anteil an intermodalen Wegen entfällt auf den Einkaufsverkehr. Wobei hier auch beachtet werden muss, dass Besorgungen auch auf dem Rückweg vom Arbeitsplatz zum Wohnort erledigt werden. Diese Wege sind Teil des Verwendungszweckes „Arbeit/Ausbildung“, sodass sich Überschneidungen ergeben. Der Anteil bei dem die Nutzer den Zweck „Freizeit“ als Ziel haben ist noch etwas geringer. Auf Freizeitaktivitäten wie Sport, Besuche, Ausgang usw. entfallen in etwa 5% der Wege. Eine detaillierte Klassifizierung in den Fragestellungen wird nicht als notwendig erachtet. Nutzer von Park & Ride –Anlagen nutzen diese größtenteils regelmäßig für ihre Arbeits- und Ausbildungswege. Der Besetzungsgrad der Pkw liegt bei der Nutzung der Anlagen bei geringen 1,15 Personen pro Fahrzeug, was auf die hohe Auslastung der Park & Ride –Anlagen durch Pendler zurückzuführen ist. (Weidmann, et al., 2012, p. 20)

2.4.2 Hauptmotive zur Nutzung von Park & Ride –Anlagen

Die Motive der Park & Ride –Nutzer unterscheiden sich je nach den örtlichen Gegebenheiten und sind entsprechend auch regional unterschiedlich. Allgemein können sie unter folgenden Punkten zusammengefasst werden (Holz-Rau, et al., 1996, p. 25):

- Parkplatzmangel im Zielgebiet

- Bequemlichkeit
- Zeitvorteil des öffentlichen Verkehrsmittels
- Kostenvorteil des öffentlichen Verkehrsmittels
- Umweltschutzgründe

Aus mehreren Befragungen die in den 1990er Jahren hauptsächlich in Deutschland durchgeführt wurden, wurden einige der angeführten Hauptmotive zur Nutzung von Park & Ride gestellt, siehe Abbildung 4. Jedoch muss auch bei den Ergebnissen beachtet werden, dass jeder der angeführten Standorte eine unterschiedliche Bedeutung im Gesamtverkehrsnetz aufweist.

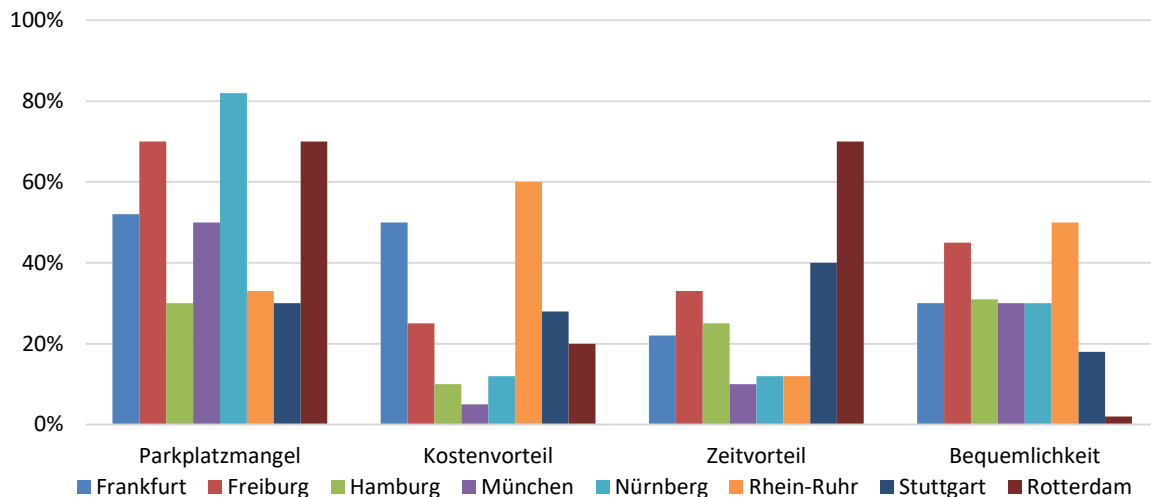


Abbildung 4: Hauptmotive zur Park & Ride –Nutzung(Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1993)

Im Gegensatz zu den Ergebnissen zum Verkehrszweck, welche in den verschiedenen Städten etwa die gleiche Größenordnung aufweisen, unterscheiden sich jene der Motive sehr. Größtenteils ist der Parkplatzmangel im Zielgebiet das wichtigste Motiv, weshalb eine Park & Ride –Anlage genutzt wird. Das Motiv „Mangel an Stellplätzen“ wird als Push-Faktor bezeichnet, da dieser durch die Nutzung vom Pkw Nachteile mit sich bringt. Andererseits werden die anderen Motive als Pull-Faktoren bezeichnet und stellen die Vorteile bei der Nutzung der öffentlichen Nahverkehrsmittel dar. Der Begriff „Bequemlichkeit“ unter dem zusätzlich noch Beschäftigungsmöglichkeiten während der Fahrt und der geringe Stress aufzuführen sind, gewinnt immer mehr an Bedeutung. An der dritten und vierten Stelle standen mit geringeren Anteil die Hauptmotive „Zeitvorteil“ und „Kostenvorteil“. (Weidmann, et al., 2012, p. 22)

Die Untersuchungen der 1990er –Jahre zeigen, dass kein einheitliches Bild bei den Motiven zur Nutzung von Park & Ride ermittelt werden kann. Neu durchgeführte Studien könnten im Vergleich dazu aber unterschiedliche Ergebnisse aufweisen, da Aspekte wie z.B. der Umweltschutz in früheren Studien nur selten genannt wurden heute aber ein wichtiger Grund für viele Menschen sind. Die Aspekte Parkplatzmangel und Bequemlichkeit spielen heute wie auch in den früher eine wichtigste Rolle für die Nutzung von Park & Ride. (Anderhub, 2006, p. 42)

2.4.3 Nutzergruppen

Die Nutzergruppe, auf welche der Park & Ride –Verkehr hauptsächlich ausgerichtet wird, sind berufstätige Personen über 18 Jahre und Personen die in einer Ausbildung mit ständiger Autoverfügbarkeit. Der Wohnsitz liegt bei den Nutzern größtenteils außerhalb oder am Rand von

Ballungsräumen und deren Arbeits- und Ausbildungsstätten befinden sich im Stadtgebiet. Zudem können potentielle Nutzer von Park & Ride –Anlagen die Haltestellen oder Bahnhöfe nicht zu Fuß erreichen. Wie bereits in Abschnitt 2.3.1 wird in neuen Konzepten versucht auch neue Zielgruppen die Anlagen für ihre Einkaufswege nutzen zusätzlich einzubinden. Da die verschiedenen Nutzergruppen Park & Ride unterschiedlich häufig in Anspruch nehmen, haben diese auch unterschiedliche Anteile an der Ausnutzung des Stellplatzangebotes.

Die Pendlerstatistik in Österreich zeigt, dass mittlerweile mehr als die Hälfte (58,5%) aller 3.639.799 unselbständigen Erwerbstätigen im Jahr 2016 nicht in ihrer Heimatgemeinde arbeiten. Die größten Einpendelzentren sind die Landeshauptstädte in Österreich, wo in etwa 32% aller Auspendlerinnen und Auspendler ihren Arbeitsplatz aufsuchen, siehe Abbildung 5. Das weitaus größte Einpendlerzentrum in Österreich ist der Ballungsraum Wien. Täglich pendeln 263.025 Personen aus den anderen Bundesländern um in der Bundeshauptstadt Wien zu arbeiten. Der größte Teil legt der Pendler und Pendlerinnen legt diese Strecken mit dem Pkw zurück (Statistik Austria, 2016)

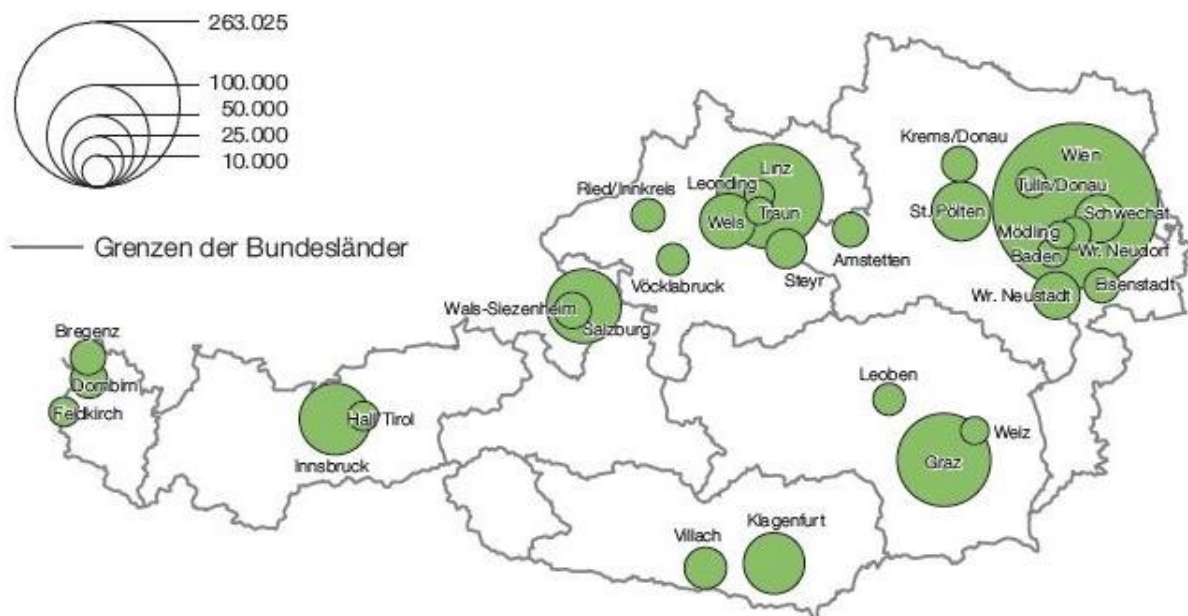


Abbildung 5: Einpendelzentren in Österreich(Statistik Austria, 2016)

2.5 Anteil von Park & Ride am Verkehrsaufkommen

Das zurücklegen von intermodalen Wegen kann durch verschiedene Modi erfolgen, wobei ein Mobilitätsknoten in Form eines Bahnhofs oder einer Haltestelle zum Umstieg benötigt wird. Die Errichtung einer Park & Ride –Anlagen hängt insbesondere mit dem Standort eines Bahnhofs ab. Bahnhöfe bieten in Abhängigkeit ihrer Lage unterschiedliche Möglichkeiten für Verkehrsmittel um für intermodale Wege genutzt zu werden. In vielen Untersuchungen werden Bahnhofstandorte daher in drei unterschiedlichen Kategorien erfasst.

Die erste Kategorie umfasst große Oberzentren, also dichtbebaute Siedlungsgebiete, wie in Österreich z.B. Wien, Graz oder Linz. Die in Österreich durchgeführte Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“ unterteilt diese Kategorie und fügt mit Wien noch einen vierten Raumtyp hinzu, da Wien aufgrund der Größe eine Sonderstellung im Gegensatz zu den restlichen Städten in Österreich einnimmt. Das Erreichen der Bahnhöfe in diesen Zentren erfolgt meist zu Fuß oder mit öffentlichen

Verkehrsmitteln. Park & Ride –Anlagen spielen eine untergeordnete Rolle und können auch ihren Zweck nicht erfüllen. Mittelzentren oder regionale Zentren zeichnen sich meist mit einer guten Verbindung zu den Oberzentren aus. Die Nutzung dieser Bahnhöfe erfolgt abhängig von der Struktur der Mittelzentren größtenteils zu Fuß oder mit einem Pkw. Der Anteil des Pkw steigt durch die Weglänge stark an, da der öffentliche Zubringerverkehr in Form von Bus oder Straßenbahn im Vergleich zu großen Zentren seltener vorhanden ist. Diese Standorte bieten grundsätzlich eine gute Voraussetzung für Park & Ride –Anlagen. Abbildung 6 zeigt die Verkehrsmittelwahl der Bahnhöfe in Abhängigkeit der angeführten Kategorien. Die in der Mobilitätshebung verwendete Bezeichnung Zentraler Bezirk umfasst jene Bezirke, welche eine gute Verbindung mit dem motorisierten Individualverkehr (mIV) oder dem ÖV zu den jeweiligen Zentren bieten. Periphere Bezirke oder Umlandgemeinden umfassen eher dünn besiedelte Gebiete, welche oft aufgrund schlechterer Verbindungen zu den Oberzentren nicht für Park & Ride –Verkehr attraktiv sind. Jedoch können Bahnhöfe in Umlandgemeinden in Abhängigkeit ihres Standortes, z.B. entlang von Zufahrtsstrecken, attraktiv für eine Park & Ride –Nutzung sein.

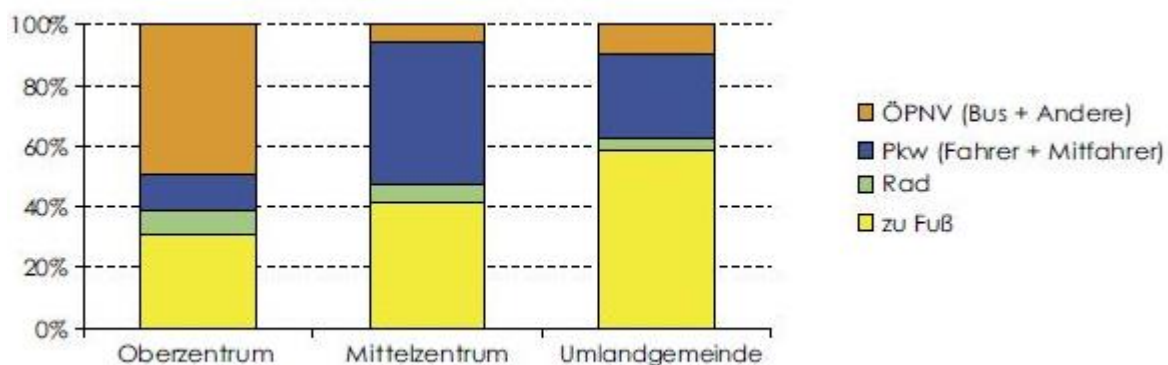


Abbildung 6: Verkehrsmittelwahl zu einem Bahnhof in Abhängigkeit der Lage (Pretsch, et al., 2005, p. 58)

Um einen Überblick zu erhalten wie sich der Anteil der kombinierten Mobilität im öffentlichen Verkehr in Österreich zusammensetzt, wird die Mobilitätshebung „Österreich unterwegs 2013/2014“ herangezogen. Zusätzlich werden Ergebnisse zu intermodalen Wegen mit der Eisenbahn und Schnellbahn betrachtet, da diese zu einem großen Anteil aus der Park & Ride –Nutzung entstehen. Wie bereits erwähnt werden diese Ergebnisse in erster Linie auf die Siedlungsstruktur bezogen. Bahnhöfe oder Haltestellen stellen in den seltensten Fällen Anfangs- oder Endpunkte eines Weges dar.

2.5.1 Anteil von Park & Ride in Österreich

Bei der Erfassung von intermodalen Wegen wurden bei der Mobilitätshebung „Österreich unterwegs 2013/2014“ in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** die Zu- und Abgangswege zu Fuß, wie sie z.B. zwischen dem Umstieg vom Pkw auf ein öffentliches Verkehrsmittel vorkommen, nicht berücksichtigt. Der Modi Fuß ist als Verkehrsmittel definiert, stellt jedoch keine Fahrzeugnutzung dar. Der Wechsel zwischen verschiedenen öffentlichen Verkehrsmitteln, wie z.B. der Umstieg von der Straßenbahn auf die Bahn, wird in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ebenfalls nicht dargestellt. Zusätzlich werden in diesem Abschnitt alle öffentlichen Verkehrsmittel in die Statistik miteinbezogen.

Betrachtet man den Anteil intermodaler Wege am öffentlichen Verkehr wird durchschnittlich bei 12% aller Fahrten mit dem ÖV ein Individualverkehrsmittel zum Erreichen oder Verlassen der Haltestelle benutzt. Auffallend ist, dass 25% dieser Wege mit dem Fahrrad zurückgelegt werden und drei Viertel der Wege mit dem mIV. Um eine genaue Angabe zu den Park & Ride –Nutzern zu erreichen, müsste zusätzlich zwischen den Nutzern von Park & Ride und Kiss & Ride unterschieden werden. Ein signifikanter Unterschied an der kombinierten Nutzung von Individualverkehrsmitteln und öffentlichen Verkehr lässt sich anhand der unterschiedlichen Bezirkstypen feststellen. In den Städten Österreichs wird bei der Nutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln kaum ein anderer Verkehrsmitteltyp in Kombination genutzt. Es zeigt sich, dass 97% aller Zu- und Abgangswege beim ÖV zu Fuß erledigt werden. Im Gegensatz dazu zeigen zentrale oder periphere Bezirke einen weitaus höheren Anteil bei der Nutzung eines zusätzlichen Individualverkehrsmittels. Der Anteil steigt hier auf ein Viertel aller Wege bei denen der ÖV genutzt wird. Es zeigt sich auch das in den zentralen oder peripheren Bezirken der Anteil des mIV bei der Nutzung bei ca. 20% liegt. (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016)

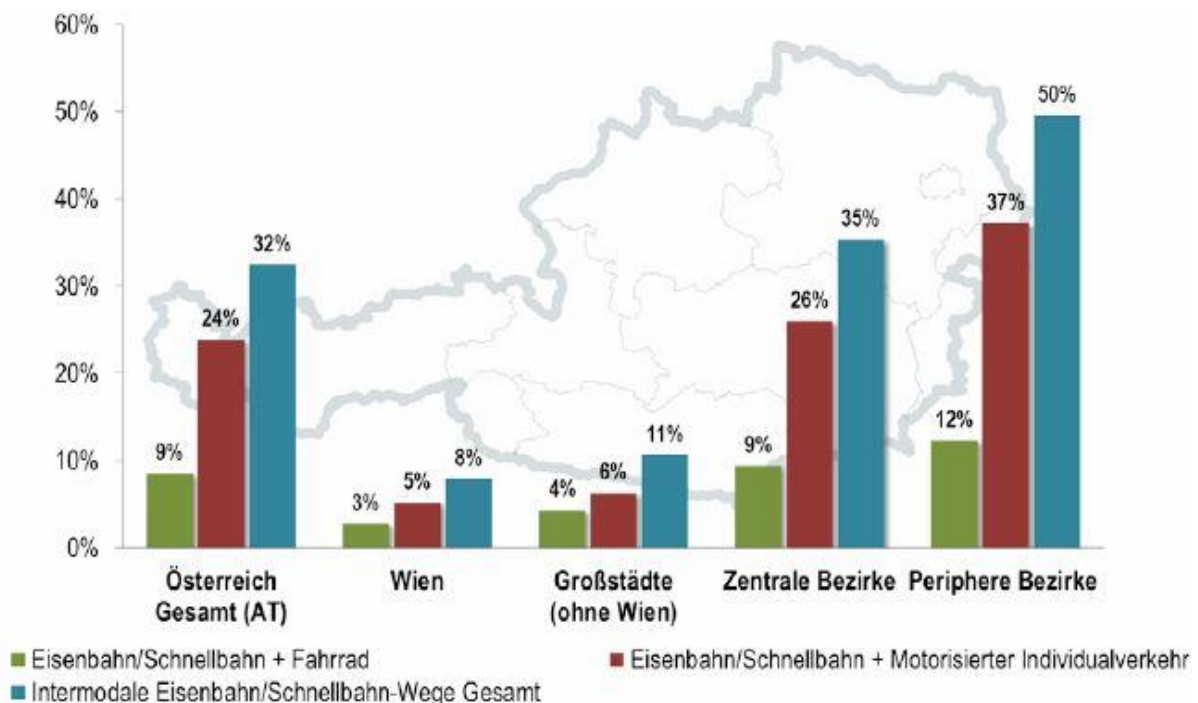


Abbildung 7: Anteil intermodaler Wege an den ÖV-Wege mit der Bahn im Werktagverkehr (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016, p. 93)

Bei der Betrachtung der Wege die mit der Eisenbahn oder der Schnellbahn zurückgelegt werden, zeigt sich, dass der Anteil an intermodalen Wegen höher ist. Umgekehrt lässt sich daraus schließen, dass Wege mit dem Bus selten mit einem Individualverkehrsmittel kombiniert werden. In 32% der Fälle werden in Österreich Wege mit der Bahn intermodal zurückgelegt. In Stadtbezirken legen in etwa ein Zehntel aller Bahnnutzer die Wege in Kombination mit dem MIV oder dem Fahrrad zurück. Auffallend hoch ist der Anteil in zentralen und peripheren Bezirken. Aufgrund der längeren Wege zu einem Bahnhof legen in den peripheren Bezirken die Hälfte aller Nutzer intermodale Wege mit der Bahn zurück. Der motorisierte Individualverkehr hat dabei einen Anteil von 37%. (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016)

Um einen Anteil am Gesamtverkehr in Österreich bestimmen zu können, werden diese Ergebnisse noch mit weiteren Untersuchungen verglichen. Im Jahr 2013/2014 wurden nach den Ergebnissen der Erhebung 18,3% aller Wege mit einem öffentlichen Verkehrsmittel zurückgelegt. Ergebnisse über den Anteil kombinierter Wege, wie sie z.B. in der Schweiz erhoben werden, werden in Österreich nicht erfasst. Die Ergebnisse zeigen auch, dass 12% aller Wege mit dem öffentlichen Verkehr intermodal zurückgelegt wurden. Somit lässt sich berechnen, dass in Österreich nur ca. 1,6% aller Wege intermodal mit einem motorisierten Individualverkehrsmittel und einem öffentlichen Verkehrsmittel zurückgelegt werden. (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016)

Dieses Ergebnis bestätigt die Verkehrserhebung 2012 des Landes Oberösterreich wo die Verkehrsmittelaufteilung der Wege bei der Mischform von IV mit dem öffentlichen Verkehr 1,9% aufweist. In diesen Auswertungen wird nicht zwischen den Typen des öffentlichen Verkehrs unterschieden. Welche Anteile sich bei Park & Ride, Kombination von Pkw und Bahn, ergeben ist aus den Ergebnissen jedoch nicht ersichtlich. Eine Aufbereitung der Daten wäre nur durch zusätzliche Informationen möglich. (Amt der Oö. Landesregierung, 2014)

2.5.2 Anteil von Park & Ride in Wien

Die im Auftrag der Planungsgemeinschaft Ost durchgeführte „Kordonerhebung in Wien“ erfasst das Verkehrsaufkommen welches sich über die Stadtgrenzen Wiens stadteinwärts bewegt. Insgesamt fahren ca. 387.000 Personen jeden Werktag mit dem MIV nach Wien. Betrachtet man den Pendlerverkehr, so sind ca. 128.000 Personen auf dem Weg zu ihrem Arbeitsplatz sowie 9.000 auf dem Weg zur Ausbildungsstelle. Dabei wurden 1,19 Personen pro Fahrzeug bestimmt. Im gleichen Zeitraum beträgt das Fahrgastaufkommen im öffentlichen Verkehr rund 110.000 Personen, ca. 50% (55.000 Personen) sind dabei auf dem Weg zum Arbeitsplatz und 10% zur Ausbildung. Bei der Erhebung zeigt sich, dass bei den öffentlichen Verkehrsmitteln die Bahn fünf Mal so viele Personen nutzen als dem Bus (Frühverkehr: Verhältnis 6:1). Die pendlerbezogenen Fahrzwecke zum Arbeitsplatz und zur Ausbildung machen, innerhalb des Zeitraumes 5 bis 9 Uhr, 90% der Wege aus und werden in Tabelle 2 separat ausgewiesen. (Rittler, 2011, p. 15)

Tabelle 2: PendlerInnen stadteinwärts nach Wien (Rittler, 2013, p. 4)

Personen pro Werktag			ÖV	MIV	Σ
Erwerbs- pendlerInnen	zur Arbeit	Zeitraum zwischen 5 bis 9 Uhr	45.400	94.500	139.900
		Zeitraum zwischen 9 bis 21 Uhr	10.100	34.300	44.400
		Σ	55.000	128.800	183.800
		in %	30%	70%	-
Ausbildungs- pendlerInnen	zur Ausbildung	Zeitraum zwischen 5 bis 9 Uhr	5.900	4.600	10.500
		Zeitraum zwischen 9 bis 21 Uhr	4.700	4.900	9.600
		Σ	10.600	9.500	20.100
		in %	53%	47%	-
Σ			65.600	138.300	203.900
in %			32%	68%	-

Im Rahmen der Erhebung wurden die Nutzer der öffentlichen Verkehrsmittel zur besseren Quantifizierung auch nach ihrem Zugangsmittel zum ÖV gefragt, siehe Abbildung 8. Es zeigt sich, in der Früh bis 9 Uhr, zum mengenmäßig stärksten Zeitraum, fast die Hälfte der Nutzer zu Fuß zur Haltestelle

geht. Der Anteil der den Pkw für die Nutzung von Park & Ride –Anlagen als Zugangsmittel verwendet erreicht 38 % (rd. 25.650 Personen). In etwa 5% der Fahrgäste werden zur Haltestelle oder Bahnhof gebracht (Kiss & Ride) und 11% erreichen diese mit dem Fahrrad (Bike & Ride). Betrachtet man den ganzen Tag werden nach den Fußwegen das Auto in Form von Park & Ride als zweithäufigstes Zugangsmittel gewählt. Der Anteil der Pkw –Fahrer die Park & Ride nach der Überquerung der Stadtgrenze im Stadtgebiet nutzen wurde nicht erfasst. Der Anteil des Park & Ride –Verkehr am Gesamtverkehr, welcher die Stadtgrenzen nach Wien am einem Werktag überschreitet, beträgt ca. 5,4%. (Rittler, 2011, p. 21)

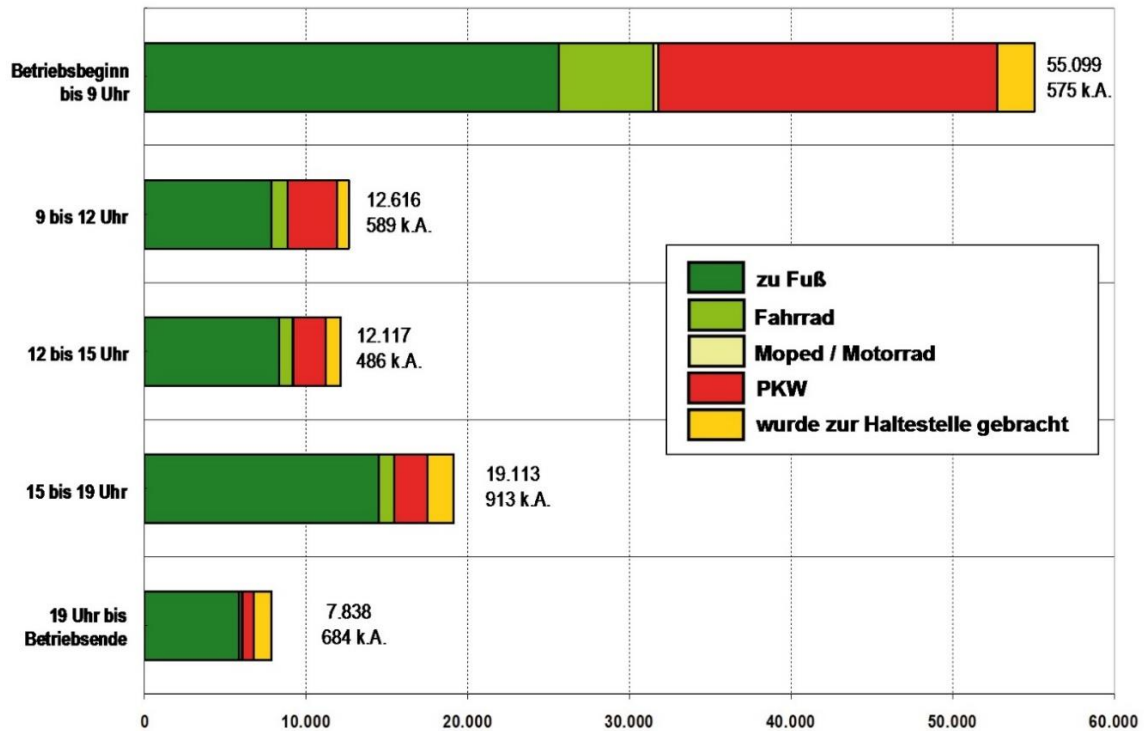


Abbildung 8: Zugangsmittel zum ÖV nach Zeitabschnitten für Wien (Personen/Betriebszeit)(Rittler, 2011, p. 21)

2.6 Klassifizierungsmöglichkeiten von Park & Ride –Anlagen

Bei Park & Ride –Anlagen besteht grundsätzlich die Möglichkeit diese nach einer Vielzahl von Merkmalen, wie z.B. das vorhandene ÖV-Angebot, die Anlagengröße und Ausstattung zu klassifizieren. Generell sollte bei neu zu errichtenden Anlagen untersucht werden, wo diese am besten zu errichten wären. Es ist zu prüfen ob bei der Errichtung einer neuen Anlage positive Effekte, wie die Verringerung des motorisierten Individualverkehrs überwiegen. Eine Park & Ride –Anlage macht nach dem Stand aktueller Untersuchungen nur Sinn, wenn Pkw an jenen Strecken verkehren, wo keine öffentlichen Verkehrsmittel als Alternative zur Verfügung stehen.

2.6.1 Lage und Einzugsbereich von Park & Ride -Anlagen

Neben den möglichen Einteilungen erweist sich die strategische Lage im Verkehrsraum als wichtig, wodurch Park & Ride –Anlagen in folgende vier Typen unterteilt werden:

- **Park & Ride –Anlagen im Stadtgebiet an großen ÖV-Knoten**, die an Hauptbahnhöfen Anschlüsse an Eisenbahnverbindungen für den Fernverkehr bieten;
- **Park & Ride –Anlagen am Stadtrand**, welche um das Stadtzentrum angeordnet werden und den dicht besiedelten Zonen vorgelagert sind. Anlagen dieser Art sind an den öffentlichen Verkehr der Stadt angebunden;
- **Park & Ride –Anlagen an den Zufahrtsachsen**, im semiurbanen oder ländlichen Gebieten entlang der regionalen öffentlichen Verkehrslinien, wie z.B. der S-Bahnen in Österreich, außerhalb von Ballungsräumen;
- **Park & Ride –Anlagen an der Zufahrt zu bestimmten** Touristenzentren oder temporären Veranstaltungen, welche aber aufgrund der speziellen Anforderungen und Abweichungen in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt werden.

(Guillaume-Gentil, et al., 2004)

Diese Klassifizierung ermöglicht es Analysen gezielt auf bestimmte Anforderungen durchzuführen, da Park & Ride –Anlagen je nach ihrem Typ zu unterschiedlichem Verkehrsverhalten führen können. Park & Ride –Anlagen an großen ÖV-Knoten werden als große Anlagen errichtet, und weisen einen hohen ÖV-Streckenanteil bei der Nutzung auf. Die ist darauf zurückzuführen, dass nach dem Abstellen des Pkw an Hauptbahnhöfen meist Fernverkehrszüge zur Weiterreise genutzt werden. Diese Anlagen sind in der Regel kostenpflichtig und es ist von einer Fremdnutzung der Anlagen, z.B. in Form von Kunden der vorhandenen Geschäfte, auszugehen. Da diese Anlagen im Stadtzentrum liegen haben sie zur Bewältigung der Verkehrsprobleme in Ballungsräumen keinen Einfluss.

Resultate bisheriger Studien zeigen aufgrund der ermittelten Kilometer pro Pkw, dass je nach Anlagentyp bei Anlagen am Stadtrand generell zusätzliche Kilometer erzeugt werden, wohingegen dezentrale Anlagen zu einer Reduktion der mIV-Kilometer führen (Planungsbüro Jud AG, 2017). Eine Zusammenfassung mehrerer in der Schweiz (Bern, Zürich, Lausanne) durchgeführten Untersuchungen ist in der Tabelle 3 ersichtlich. Die Untersuchungen, dass sich das Verhältnis zwischen den Kilometern, die bei der Benutzung einer Park & Ride -Anlage mittels Individualverkehr bzw. öffentlichen Verkehr zurückgelegt werden, je nach Lage der Anlage sehr stark unterscheiden. Bei Park & Ride -Anlagen an Zufahrtsachsen werden auf jeden mit dem PKW gefahrenen Kilometer 3 bis 6 km mit dem ÖV zurückgelegt. Bei Anlagen am Stadtrand liegt das mIV/ÖV –Verhältnis bei 1:0,1 und weist daher einen geringen ÖV-Anteil auf.

Tabelle 3: Untersuchung Park & Ride –Anlagen in der Schweiz(Guillaume-Gentil, et al., 2004, p. 28)

Typ der P&R-Anlage	Anzahl untersuchter Anlagen	Personenkilometer durchschnittlicher Anteil ÖV	Gesamtstrecke durchschnittlicher Anteil MIV	Energiebilanz des P+R-Anlagentyps
Stadtzentrum	1	92-93%	7-8%	Positiv (Minderverbrauch)
Stadtrand	5	9%	91%	Negativ (Mehrverbrauch)
Zufahrtsachsen	3	75-86%	14-25%	Positiv (Minderverbrauch)

Da Nutzer von Anlagen am Stadtrand meistens parallel zu den ÖV-Achsen fahren, um ihr Fahrzeug dort abzustellen, haben diese Anlagen generell keine positive Auswirkung auf die Verringerung des motorisierten Verkehrsaufkommens. Nur ein geringer Teil des Weges wird mit dem ÖV zurückgelegt.

Zusätzlich belasten diese Anlagen aufgrund ihrer Lage in dichter bebauten Gebieten die Umgebung da sie das Verkehrsaufkommen weiter erhöhen.

Nutzer von dezentralen Anlagen entlang der Zufahrtsstrecken zu Ballungsräumen legen einen großen Teil ihres Weges mit dem öffentlichen Verkehr zurück und bilden nach derzeitigen Stand die beste Lage von Park & Ride –Anlagen. Aktuell gelten diese Anlagen als ein Mittel, welches positiv auf die Entwicklung des motorisierten Individualverkehrs einwirkt, und diesen verringern kann. Die Bahn bildet dabei das primäre Verkehrsmittel und der Pkw dient nur als Zubringer. Es werden mit dem Pkw nur Strecken zurückgelegt wo der öffentliche Verkehr keine Alternative bieten kann. Anlagen dieser Art befinden sich an Schnittpunkten viel befahrener Straßen und dem Eisenbahnnetz. Park & Ride –Anlagen am Stadtrand werden hauptsächlich von Personen genutzt, welche des Pkw gegenüber dem ÖV favorisieren. Vor allem das Motiv des ständig steigenden Parkplatzmangels in Ballungsräumen führt dazu, dass der größte Anteil des Weges von der Anlage zum Zielbereich mit dem öffentlichen Verkehr zurückgelegt wird. Bei dieser Art der Anlagen ist der per mIV zurückgelegte Streckenteil verhältnismäßig gering (Weidmann, et al., 2012, p. 19). Es muss jedoch auch beachtet werden, dass Gemeinden die sich als Standort für Park & Ride –Anlagen eignen, meistens Vorbehalte gegenüber der Errichtung dieser Anlagen haben. Besonders die Finanzierung von Park & Ride –Anlagen muss zwischen den Städten und den umliegenden Gemeinden abgestimmt werden. Die Errichtung und der Betrieb von Park & Ride –Anlagen in der Peripherie führt in erster Linie in den Städten zu positiven Effekten. Deshalb müssen bei den Anlagen auch die negativen Effekte für die einzelnen Gemeinden untersucht werden. Der zusätzliche Verkehr kann unter anderem zu Staubbildungen und somit zu einer großen Belastung für Anrainer werden.

Der Systemwechsel vom motorisiertem Individualverkehr zum öffentlichen Verkehr kann durch drei Phasen definiert werden, siehe Abbildung 9. Die erste Phase ist die Anbindungszeit, welche sich aus der Fahrzeit des Weges vom dem höherrangigen Straßennetz bis zur P+R-Anlage bestimmen lässt. In der nächsten Phase wird die Zeit zur Suche eines Parkplatzes innerhalb der Anlage als Parameter definiert. Die als Abstellzeit beschriebene dritte Phase beinhaltet den Zeitraum vom Verlassen des Fahrzeuges nach der Abstellung bis zur Abfahrt des öffentlichen Verkehrsmittels. (Weidmann, et al., 2012, p. 26)

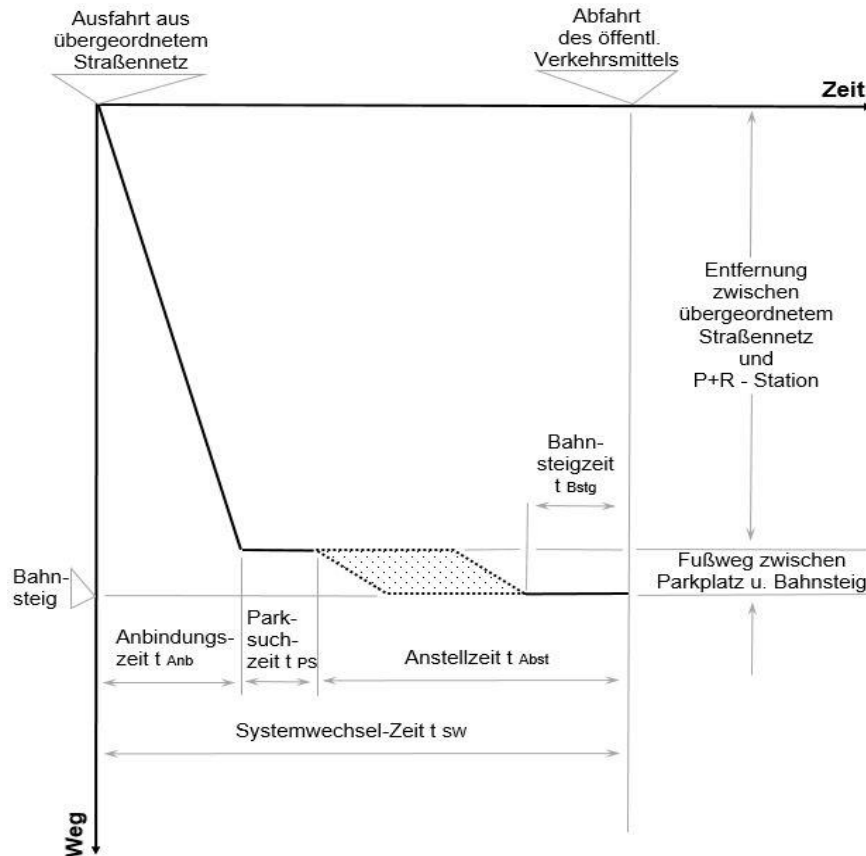


Abbildung 9: Phasen des Systemwechsels bei Park & Ride (Walther, 1997)

Es ist grundsätzlich bei allen Anwendungsfällen darauf zu achten, dass bei den Zu- und Abfahrtsstrecken zu keinen Staubildungen kommt, die den öffentlichen Verkehr in Form von Bussen oder Straßenbahnen behindert könnten. Zusätzlich sollte darauf geachtet werden, dass Siedlungsgebiete bei der Erschließung zu meiden sind und einfache und kurze Wege von einer Autobahn oder einer Bundesstraße zur Verfügung stehen. Die Anlagen sollen für den Nutzer möglichst einfach und übersichtlich gestaltet werden, um eine kurze Parksuchzeit sowie ein zügiges Verlassen der Park & Ride -Anlage zu ermöglichen. (Steierwald, et al., 2005, p. 587)

2.6.2 ÖV -Angebot

Eine weitere Klassifizierungsmöglichkeit bietet das ÖV-Angebot, welches zu einem großen Teil am Erfolg der Park & Ride -Anlagen beiträgt. Die Klassifizierung kann durch zwei verschiedene Parameter bestimmt werden.

Die **Taktdichte** bestimmt, wie attraktiv eine Anlage für die tägliche Nutzung ist. Die Zielgrößen für die Bestimmung des Taktes hängen jedoch von mehreren Faktoren ab. Generell wird während den Hauptverkehrszeiten bei Anlagen im ländlichen Raum vom einem Takt gesprochen der mindestens 30 Minuten beträgt. Bei Anlagen die in den Ballungsräumen liegen sollte mindestens von einem 15 Minuten Takt ausgegangen werden. Geringere Taktdichten über 30 Minuten in der Hauptverkehrszeit bieten keine attraktiven Standorte für Park & Ride, da hier die Wartezeiten für Pendler zu hoch sind und diese die Anlagen meiden. Zusätzlich muss beachtet werden, dass es bei großen Anlagen dazu kommen kann, dass es in einer kurzen Zeitspanne zu vielen Nutzern kommen kann. Eine S-Bahn im 20-Minuten-Takt oder mehr ist nicht in der Lage, die Nutzer einer Park & Ride Anlage mit mehreren

hundert Plätzen vernünftig zu bedienen, da in der Spitzenstunde nicht alle Nutzer abtransportiert werden können. (Holz-Rau, et al., 1996, p. 31)

Die **Reisezeit** mit der Eisenbahn oder Schnellbahn sollte die Reisezeit mit dem mIV möglichst nicht überschreiten. Besonders attraktiv können Verbindungen sein, wenn diese aufgrund von Staubbildung auf Autobahnen oder Bundesstraßen schneller das Stadtzentrum erreichen. Bahnhöfe, wo mehrere Bahnstrecken zusammenlaufen bieten hier aufgrund vom gut ausgebauten Streckennetz und einem höheren Angebot eine gute Grundlage. Zu beachten ist, dass ein Umsteigevorgang beim öffentlichen Verkehr zu einer starken Minderung der Nutzung führt. Untersuchungen zeigen, dass Nutzer von Park & Ride –Anlagen nach dem Umstieg vom Pkw auf die Bahn selten nochmals umsteigen wollen. (Holz-Rau, et al., 1996, p. 33)

2.6.3 Größe und Ausstattung von Park & Ride -Anlagen

Das Stellplatzangebot von Park & Ride –Anlagen wird von der Nachfrage, durch die Lage sowie eine mögliche kombinierte Nutzungsmöglichkeit der Anlagen bestimmt. Eine Klassifizierung der Anlagengröße kann in vier Gruppen unterteilt werden:

- **Minimalanlage: bis 10 Parkplätze**
- **Kleine Anlagen: 11-50 Parkplätze**
- **Mittlere Anlagen: 51-250 Parkplätze**
- **Große Anlagen: > 250 Parkplätze**

Um eine hohe Nutzung von Park & Ride –Anlagen zu erreichen, muss es am Zielort des untersuchten Gebietes an genügend Stellplatzmöglichkeiten fehlen. Ebenfalls sollte das Stellplatzangebot in der unmittelbaren Umgebung des Zielgebietes für den Pkw –Fahrer nicht günstig sein, wobei hier eine Koordination zwischen der Parkraumbewirtschaftung und der Anlagen wichtig ist. Ein weiteres Kriterium welches die Anlagengröße beeinflusst ist die Lage entlang des höherrangigen Straßennetzes. Durch den kontinuierlich steigenden Verkehr in den Ballungsräumen bieten diese Anlagen eine Möglichkeit Staubbildungen zu verringern, indem der Verkehr auf die Schiene verlagert wird. Die Größe einer Anlage bestimmt in den meisten Fällen auch den Grad der Auslastung. Überdimensionierte Anlagen sollten besonders in Stadtrandgebieten vermieden werden, da sie einen umgekehrten Effekt hervorrufen können und ÖV-NutzerInnen zum Umstieg auf Park & Ride bewegen können.

Kleineren Anlagen, bis zu 50 Stellplätze, liegen meist sehr nahe an den ÖV-Haltestellen und ermöglichen so schnelle Zugänge, wobei diese idealerweise wettergeschützt ausgeführt werden sollten. Die ermöglicht kurze Umsteigemöglichkeiten, da sich die Akzeptanz bei längeren Fußwegen deutlich reduziert und 150 m nicht überschreiten sollte. Die Gehwege sowie der Parkfläche sollen von der Haltestelle aus gut erkennbar und beleuchtet sein. Bei der Planung von großen Anlagen ist eine mehrgeschossige Bauweise sinnvoll. Bei Infrastruktureinrichtungen wie Toiletten, Fahrplananzeigen usw. sollte bei etwas abseits liegenden Anlagen geprüft werden ob diese zusätzlich damit auszustatten sind. (Steierwald, et al., 2005, p. 587)

Sobald Anlagen eine gewisse Größe (50 bis 100 Parkplätze) überschreiten und eventuell unterirdisch errichtet werden, spielt als die Sicherheit bei der Klassifizierung auch eine Rolle. Eine gute Beleuchtung sowie speziell für Frauen reservierte Stellplätze erhöhen die Akzeptanz. Eine Anlage dieser Größe sollte auch die Möglichkeit bieten, eine entsprechende Anzahl an Stellplätzen bzw. Ladestationen für die Elektromobilität zur Verfügung zu stellen. (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2017, p. 10)

2.6.4 Benutzungskosten

Ob und in welcher Höhe Kosten bei der Nutzung von Park & Ride –Anlagen entstehen, ist abhängig von der Lage und der Größe der Anlage. Anlagen, die außerhalb dicht besiedelter Gebiete liegen und wenig Möglichkeiten für eine andere Nutzung der Park & Ride –Anlage bieten, sollten kostenlos angeboten werden. Fallen bei der Nutzung in bebauten Gebieten keine Kosten an, besteht die Gefahr das Park & Ride-Anlagen nicht adäquat genutzt werden. Kostenpflichtige oder zumindest beschränkte Park & Ride –Anlagen können diese Einflüsse besser steuern. Um die Attraktivität einer Anlage möglichst hoch zu halten, muss die Bezahlung der Gebühr möglichst einfach, schnell und komfortabel erfolgen.

Generell gibt es unterschiedliche Konzepte um eine Gebühr zu erheben. Park & Ride-Betreiber bieten bei bis zu 100 Parkplätzen in vielen Regionen Dauerkarten oder Ticketautomaten an. Aus wirtschaftlichen Gründen werden erst bei Anlagen über 100 Stellplätze Systeme mit Schranken angewendet, wobei es sich hier häufig schon um mehrstöckige Anlagen handelt.

2.7 Intermodale Mobilität und Vernetzung

Um positive Effekte zu erreichen, ist es die zentrale Aufgabe die veränderten Verkehrsverhalten durch attraktive Angebote und intermodale Schnittstellen vom öffentlichen Verkehr bis hin zu Fahrzeugverleihsystemen zu gestalten. Aktuelle Mobilitätskonzepte in Österreich schließen Park & Ride –Anlagen in diese Konzepte ein, wodurch diese einen Teil der intermodalen Vernetzung darstellen. Eine kundenfreundliche Schnittstelle für multimodale Wegeketten ist dabei besonders wichtig. Durch eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Verkehrsmittelwahl wie sie entlang von Verkehrsachsen oder in Stadtgebieten möglich ist, entstehen neue Arten der Mobilität. (Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2015, p. 70)

Multimodale Mobilitätsknoten können als ein Ort oder eine Räumlichkeit im öffentlichen Raum bezeichnet werden, an dem verschiedene Verkehrsmittel miteinander verknüpft werden. Diese Schnittstellen bieten schnelle und unkomplizierte Zugänge durch die Nutzung innovativer IT-Dienstleistungen (z.B. überregionale Informationsplattformen). Multimodale Knoten haben als Ausgangspunkt eine Haltestelle oder einen Bahnhof, wo durch die Bündelung weiterer Mobilitätsdienstleistungen Multimodalität und Intermodalität gefördert werden. Ein wichtiger Punkt ist der Fokus auf den Umweltschutz und die Verringerung oder Vermeidung des motorisierten Individualverkehrs. Die Lage der Mobilitätsknoten beeinflusst das verfügbare Angebot und in Mobilitätsstationen in urbanen Räumen sowie multimodale Knoten entlang der Zufahrtsachsen von Ballungsräumen, welche auch die Integration von Park & Ride –Anlagen beinhalten, unterteilt werden. (Stadt Wien, 2018, p. 16)

2.7.1 Mobilitätsstationen in urbanen Räumen

Mobilitätsstationen sind vorrangig darauf ausgerichtet die Angebote des Umweltverbundes zu stärken und die Nutzung motorisierter Verkehrsmittel zu minimieren. Gefördert werden dadurch öffentliche Verkehrsmittel, nicht motorisierte Verkehrsmittel (Fahrrad, zu Fuß) sowie Carsharing. Mobilitätsstationen bieten die Möglichkeit Verkehrsmittel nach Bedarf zu kombinieren und so die Mobilität einer Person auch ohne eigenen Pkw zu erhöhen. Die Besonderheit der Stationen ist, dass diese auch eine Nutzung eines Pkw ermöglichen, falls diese benötigt werden. Untersuchungen zeigen das eine Mobilitätstation durch ein Carsharing-Fahrzeug drei bis fünf private Fahrzeuge ersetzen kann. Mittlerweile sind in vielen Regionen Mobilitätsstationen entstanden. (Magistratsabteilung 18 – Stadtentwicklung und Stadtplanung, 2014, p. 103)

Beispiele in Österreich finden sich hier besonders in Wien und in Graz. Wien verfolgt seit einigen Jahren das Ziel den Anteil an Pkw im Modal Split zusätzlich zu verringern, dadurch bereits mehrere Mobilitätsstationen errichtet wurden. In Tabelle 4 werden beispielhaft die Ausstattungsmerkmale der Mobilitätsstation Wien Simmering angeführt.

Tabelle 4: Beispiel einer Mobilitätsstation Wien Simmering(Stadt Wien, 2018, p. 18)

Ausstattung	Detail
ÖV	Angesiedelt in der Nähe von: S-Bahn, U-Bahn, Straßenbahn, Bus, Taxi, Fernverkehr
Sharing-Angebote	E-Carsharing und E-Bikesharing
Ergänzende Angebote	Eventuell Paketabholstation
Elektromobilität	Lademöglichkeiten für E-Carsharing und E-Bikes
Information	Digitale Informationsstelle

In Graz wurde im Jahr 2016 das Mobilitätskonzept „täglich intelligent mobil (tim)“ ins Leben gerufen. Dadurch wird ermöglicht, dass über diese Standorte in erster Linie Carsharing, Mietautos und E-Taxis für die Bevölkerung zur Verfügung stehen. All diese Dienste können über eine Buchungsplattform mittels PC, Laptop oder einer App am Smartphone in Anspruch genommen werden. Bis zum Jahresende 2019 wurden bereits 2.000 Nutzer registriert. Aufgrund des Erfolges werden weitere Anlagen errichtet und die oberösterreichische Landeshauptstadt Linz wurde mittlerweile ebenfalls Teil dieses Projektes.²

2.7.2 Park & Ride -Anlagen als Teil Multimodaler Mobilitätsknoten

Multimodale Mobilitätsknoten entlang der Zufahrtsachsen der Ballungsräume haben ähnliche Anforderungen wie Mobilitätsstationen. Aufgrund ihrer Lage sind jedoch die Erreichbarkeit aus peripheren Gebieten, wie bereits in 1.1 erwähnt, stark von Individualverkehrsmittel abhängig, wobei hier der Pkw dominiert. Folgende Ausstattungsmerkmale werden an diese Art der Mobilitätsknoten gestellt:

- Barrierefrei erreichbarer Bahnhof (Beleuchtung, Winterdienst, WLAN)
- Bike & Ride (überdachte Fahrrad-Stellplätze am Haltepunkt)
- Park & Ride Stellplätze (wobei bei Standorten ab 10.000 Einwohnern keine zusätzlichen Park & Ride Standplätze, Nutzung von Park & Ride nur für ÖV-Kunden)
- E-Ladepunkt für Fahrrad & Pkw, gegebenenfalls (E-) Sharing Pkw
- Park & Drive Stellplatz
- Nutzerinformationen (Umgebungsplan, Fahrplan, etc.).³

An diesen Standorten können Park & Ride -Anlagen zu einer Entlastung des hochrangigen Straßennetzes sowie des Stadtzentrums führen. Die Teilweise bereits geschaffenen Schnittstellen in Form

²https://www.graz.at/cms/beitrag/10341836/8106444/tim_waechst_auf_Knoten.html (28.02.2020 - 12:30)

³https://www.fvv.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-verkehrsplanung/Diverse/Lehre/RingVO_OeffentlicherVerkehr/2017-01-25_weninger.pdf (01.09.2019 - 16:30)

von Park & Ride –Anlagen können durch Online-Systeme ergänzt werden und dadurch die Nutzung erleichtern.

2.8 Beispielregionen für Park & Ride Verkehre

In diesem Abschnitt wird zuerst ein Überblick über Park and Ride –Anlagen im Verkehrsverbundes Ost-Region (VOR) sowie verfügbare onlinebasierte Systeme zur Routenplanung geschaffen. Anschließend werden Beispiele von Park & Ride -Regionen betrachtet, welche einen hohen Fortschritt im Bereich multimodale Vernetzung aufweisen. In Deutschland werden München mit dem Forschungsprojekt PRÖVIMM und das Angebot der Stadt Stuttgart mit dem Pilotprojekt Move-BW vorgestellt. Anschließend wird Park & Ride in der Region Zürich untersucht, wobei hier zusätzlich das gesamte Gebiet der Schweizer Bundesbahnen betrachtet wird.

2.8.1 Park & Ride –Anlagen in Österreich (VOR)

In Österreich sind Park & Ride –Anlagen bereits Teil des multimodalen Verkehrskonzepts und alle Bundesländer haben in ihren Verkehrskonzepten eine Ausweitung von Park & Ride geplant. Als besonders erfolgreich haben sich Park & Ride –Anlagen auf dem Gebiet des Verkehrsverbundes Ost-Region (VOR) herausgestellt. Der Verkehrsverbund der die Bundesländer Wien, Niederösterreich und das Burgenland zusammenfasst bedient 3.7 Millionen Einwohner.

Es muss jedoch erwähnt werden, dass besonders im Stadtgebiet Wien der Ausbau von Park & Ride –Anlagen kritisch betrachtet werden muss. Mittlerweile wurden in der Stadt Wien innerhalb von bebauten Gebieten dreizehn Park & Ride –Anlagen errichtet, welche eine Kapazität von mehreren tausend Stellplätzen haben, siehe Abbildung 10. Unter dem Versuch den innerstädtischen Verkehr zu entlasten und die Anlagen an Einfahrtskorridoren auszuweiten oder zu errichten, werden die negativen Effekte des steigenden Verkehrsaufkommens lediglich in die Außenbezirke der Stadt verlagert. Die erweiterte Parkraumbewirtschaftung führt zusätzlich dazu, dass bei vielen Nutzern die Versuchung besteht auf die Park & Ride –Anlagen in der Stadt auszuweichen und nicht schon an den Stadtgrenzen. Obwohl diese Effekte bekannt sind, werden in der Stadt Wien weitere Anlagen geplant.⁴ Da große Teile der Strecke mit dem Pkw zurückgelegt werden und parallel zum öffentlichen Verkehr verlaufen, entstehen unter zu den verstärkten Staubildungen auch negative Umwelteffekte. (Magistratsabteilung 18 – Stadtentwicklung und Stadtplanung, 2014, p. 95)

⁴<https://www.derstandard.at/story/2000106482985/volle-park-and-ride-plaetze-frustrieren-wien-pendler> (01.09.2019 -16:30)

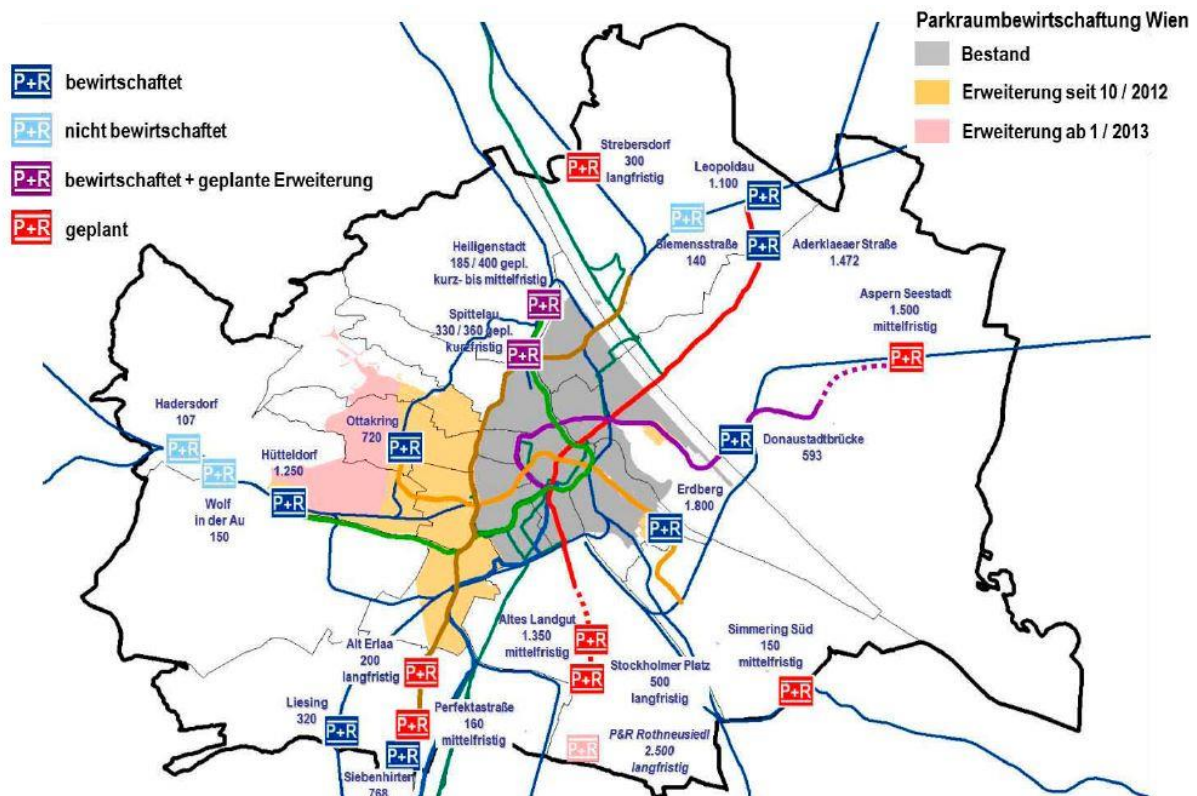


Abbildung 10: Park & Ride –Anlagen in Wien(Rittler, 2013)

Das Burgenland hat bis zum heutigen Zeitpunkt 25 Park & Ride –Anlagen mit einer Kapazität von 2578 Plätzen und wird die Standorte weiter ausbauen. In Niederösterreich wurden bis heute 240 Park & Ride –Anlagen mit 36.628 kostenlosen Stellplätzen errichtet, womit Niederösterreich mehr Stellplätze anbietet als alle anderen Bundesländer zusammen.⁵

Der Ausbau der Park & Ride –Anlagen hat dazu geführt, dass mittlerweile 95% der Bewohner Niederösterreichs sich innerhalb eines Einzugsgebietes von 15 km zur nächsten Anlage befinden. Nach den Erweiterungsplänen bis 2025 sollen insgesamt 50.000 Stellplätze zur Verfügung stehen, wobei Berechnungen des Landes Niederösterreich zeigen, dass Park & Ride besonders in den Korridoren Mödling, St. Pölten und Stockerau sehr stark genutzt wird. An diesen Korridoren haben bereits über 70% der Wege ihr Ziel in parkraumbewirtschafteten Gebieten in Wien. Abbildung 11 zeigt alle realisierten sowie in Planung oder Bau befindlichen Park & Ride Anlagen in Niederösterreich aus dem Jahr 2015. (Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2015, p. 70)

⁵ <https://www.vor.at/mobil/parkbike-ride/> (22.01.2019 – 14:00)

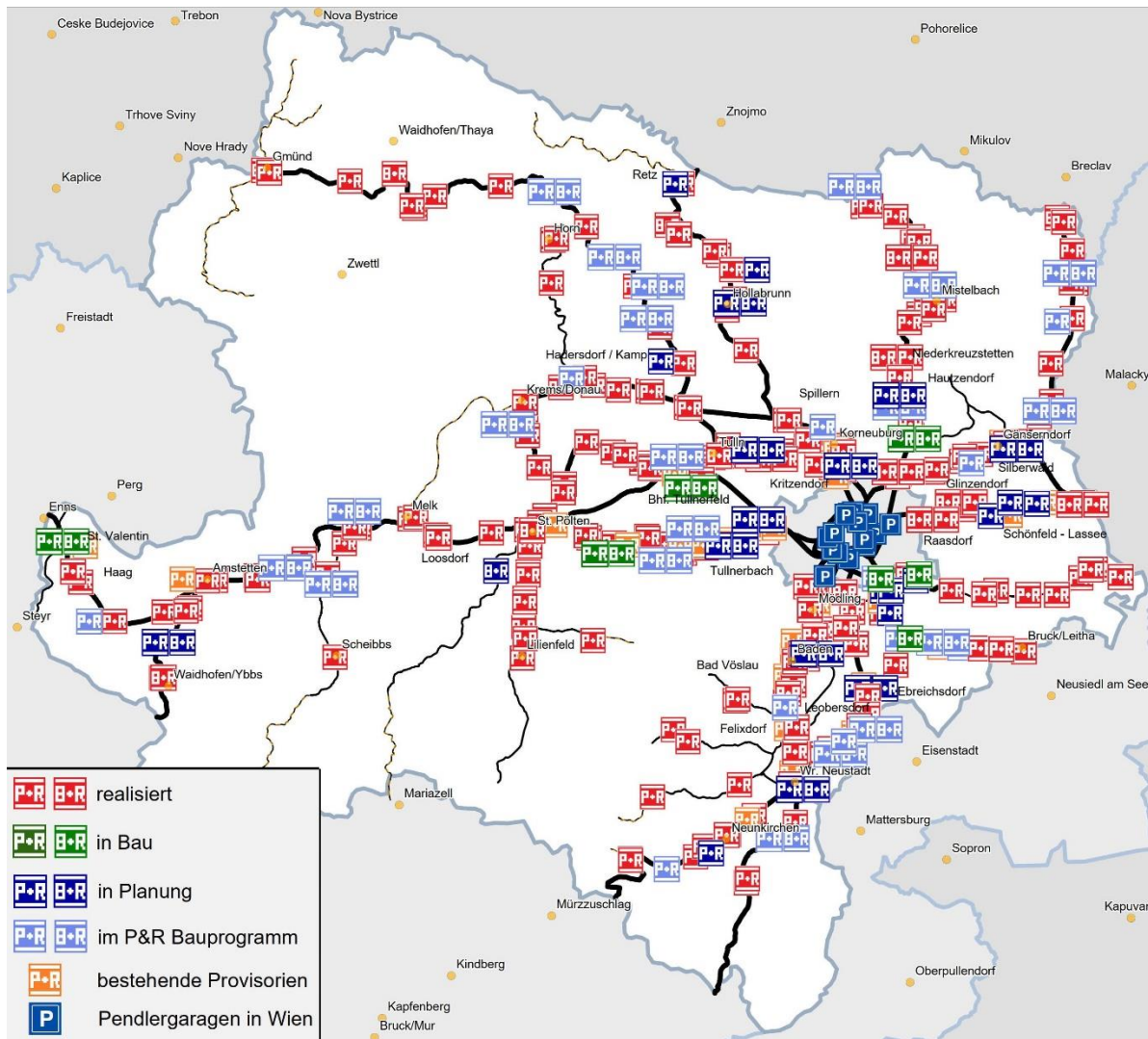


Abbildung 11: Park & Ride und Bike & Ride –Anlagen in Niederösterreich(Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2015)

Der derzeitige Stand der Technik integriert die Standorte der Park & Ride –Anlagen in onlinebasierte Systeme. Der Routenplaner „VOR A nach B“ der von Verbundregion VOR und ITS Vienna Region entwickelt wurde, ermöglicht es in ganz Österreich Routen abzufragen die verschiedenen Verkehrsmittel miteinander zu kombinieren, siehe Abbildung 12. Durch aktuelle Netze und der Einbeziehung der Verkehrslage ist ein realistischer Reisezeitvergleich möglich. Park & Ride –Anlagen sind ebenfalls in diesem System integriert. Ebenfalls ist es nach einer Registrierung möglich mittels App ein Ticket für die Weiterfahrt mit einem öffentlichen Verkehrsmittel zu erwerben.

Es ist jedoch bei derzeitigen onlinebasierten Systemen nicht möglich eine Reservierung eines Park & Ride Stellplatzes durchzuführen. Für Park & Ride –Anlagen in Wien gibt es aufgrund großer Überlastungen der Anlagen die Möglichkeit längerfristige Verträge für die Reservierung von Stellplätzen abzuschließen, wobei dies nicht kurzfristig möglich ist. Für Nutzer dieser Online Systeme bedeutet dies ein ständiges Risiko, da es möglich ist, dass ein potentieller Nutzer beim Erreichen einer Park & Ride –Anlage keinen freien Parkplatz findet.

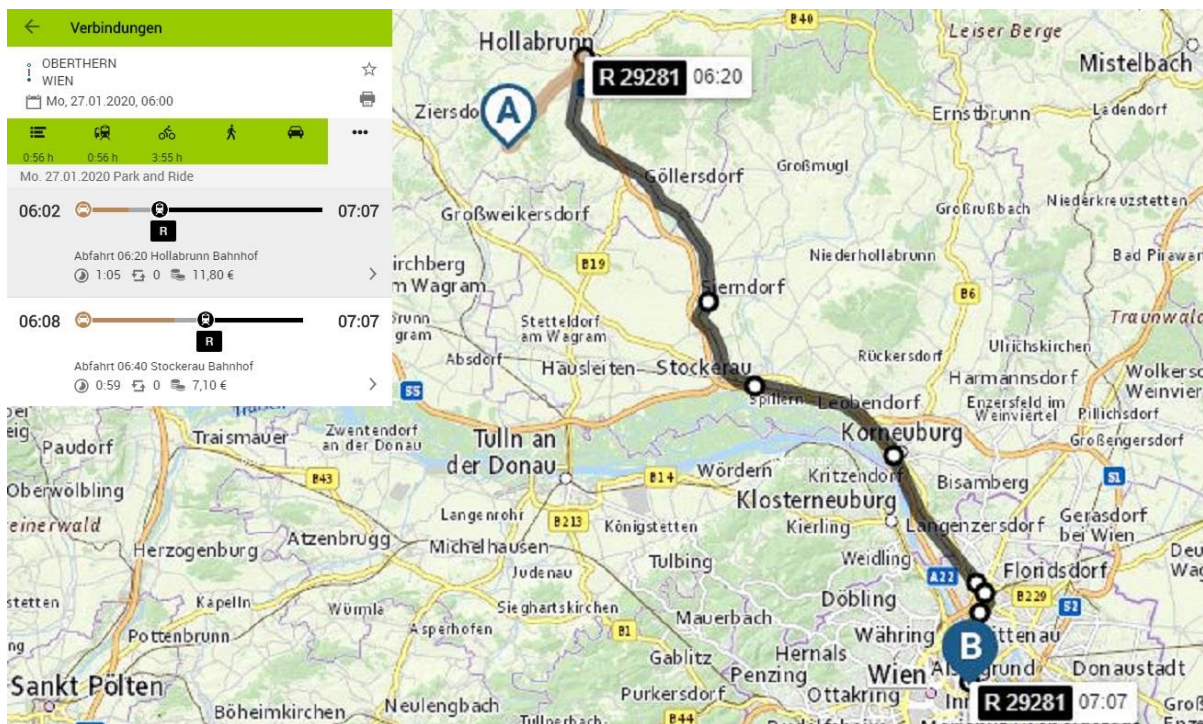


Abbildung 12: Beispiel des Routenplaner VOR A nach B (Oberthern nach Wien)⁶

Das im Jahr 2018 gestartete Forschungsprojekt MultimoOpt soll durch eine mobil verwendbare Softwarelösung in Form einer App zukünftig kurzfristige Reservierungen von Park & Ride –Stellplätzen in Österreich ermöglichen. Zusätzlich werden weitere Mobilitätservices wie Unterwegs (ASFINAG) und Scotty (ÖBB) eingebunden. Das Ziel ist es in erster Linie eine zusätzliche Verlagerung des MIV auf den ÖV zu erreichen. Durch die immer weiter steigenden Verkehrsdichten auf den höherrangigen Straßen zu den Ballungsräumen kommt es zu Staubildungen, welche zu einer erheblichen Verlängerung der Fahrzeit mit dem Pkw führen. Die App soll dazu führen, dass die Akzeptanz der Dauer- und Gelegenheitsnutzer von multimodalen Knoten gesteigert wird. Durch Echtzeit-Daten wird es möglich vor einem bestehenden Stau oder einer Staubildung die Autobahn zu verlassen und eine Park & Ride –Anlage aufzusuchen. Zusätzlich kann die Reservierung auch Pendlerinnen dienen um beim Erreichen einer Anlage einen freien Stellplatz sicherzustellen. Es wird durch die Reservierung eines Parkplatzes ein schneller und garantierter Umstieg an einem multimodalen Knoten ermöglicht. Im ersten Schritt wird dazu ein entsprechender Pilotstandort umgesetzt und über einen definierten Zeitraum im Echtbetrieb evaluiert. (Die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft, 2018)

Um diese Art der Vernetzung zu ermöglichen stehen in Österreich zurzeit nur einige innovative Park & Ride –Anlagen zur Verfügung, da es derzeit keine Informationsverknüpfungen zwischen nicht bewirtschafteten Anlagen der ÖBB und den öffentlichen Verkehrsträgern gibt. Es muss neben Schrankenanlagen zusätzlich ein Erfassungssystem zur anonymisierten Kennzeichenerkennung bei der Ein- und Ausfahrt errichtet werden. Um eine hohe Akzeptanz bei Nutzern zu erreichen müssen neben einer einfachen Nutzung der App auch genügend Informationen zur Verfügung stehen. Eine im Rahmen des Projektes I2-ÖPNV durchgeführte Befragung, welche sich ebenfalls mit der Reservierung von Stellplätzen in Park & Ride –Anlagen befasste, erfasst in der Abbildung 13 alle Informationen, welche für Nutzer einer solchen App relevant sind. (Fohringer, 2008, p. 108)

⁶ <https://anachb.vor.at/>

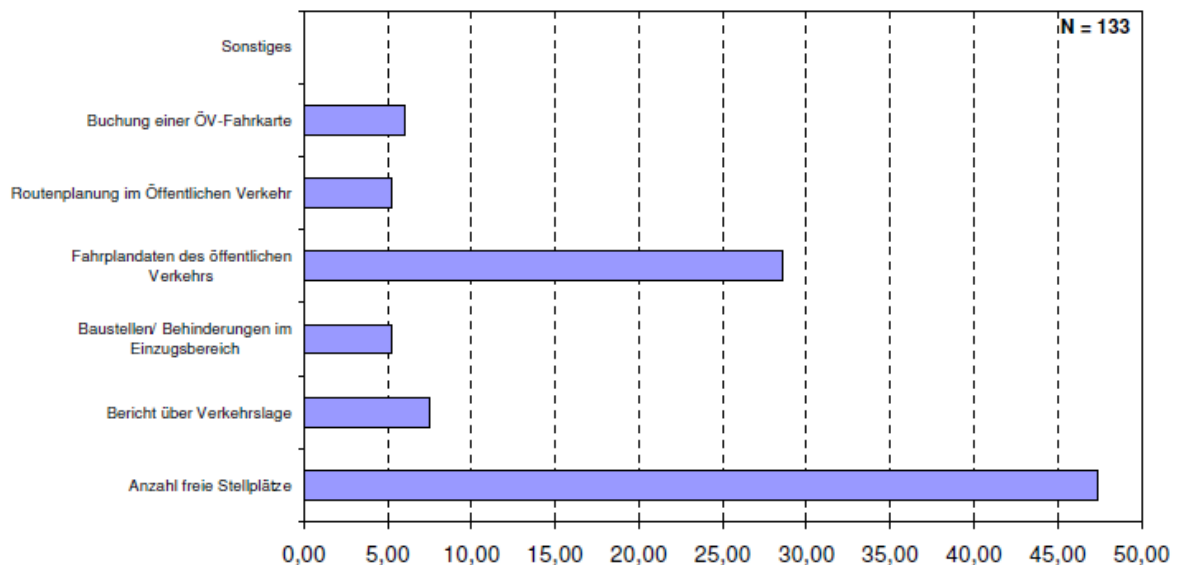


Abbildung 13: Informationswunsch für eine Park & Ride –App (Anteil in %)(Fohringer, 2008)

2.8.2 Beispielregion Stuttgart

Der Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart (VVS) umfasst die Region Stuttgart mit mehr als 2,4 Millionen Einwohnern. Im gesamten Gebiet stehen den Einwohnern 217 Park & Ride –Anlagen mit 17.225 Stellplätzen zur Verfügung. In der Region nutzen etwa 14 % der S-Bahn-Fahrgäste Park & Ride, wobei 80% davon nach Stuttgart fahren.⁷ Das im Zeitraum 2016-2019 durchgeführte Pilotprojekt move-BW verfolgt das Ziel Verkehrsträger zu bündeln und eine Routing –App für die Region Stuttgart zur Verfügung zu stellen. Verschiedene Transportmittel wie der Pkw, der öffentliche Verkehr oder geliehene Fahrräder wurden dabei miteinbezogen. Das Ziel von move-BW ist es möglichst viele Pendler vom eigenen Auto auf umweltfreundliche Verkehrsmittel zu bewegen und sich somit an Stau vorbeizuplanen. Besonders wichtig war es dabei den Nutzer nicht für jedes einzelne Verkehrsmittel bezahlen zu lassen, sondern eine übersichtliche monatliche Mobilitätsrechnung zu erstellen, die alle genutzten Mobilitätsangebote inklusive dem Parken erhalten.⁸

move-BW hat sich zum Ziel gesetzt alle vorhandenen Mobilitätsangebote zusammenzuführen und diese über eine einheitliche online-Plattform zur Verfügung zu stellen. Zunächst wurden daher modale Routen je Verkehrsmittel ermittelt, wodurch durch die Kombination von verschiedenen Routen an geeigneten Umsteigepunkten (P & R / B & R) multiple intermodale Routen entstehen. Anhand der Bewertung dieser nach verschiedenen Parametern, wie Zeit, Weg oder Verkehrsstrategie wird dem Nutzer die Route mit der besten Bewertung angeboten. move-BW ermöglichte dabei sechs verschiedenen Varianten der intermodalen Routenberechnung, wobei eine dieser Varianten Park & Ride –Anlagen als Umsteigemöglichkeit nutzt, siehe Abbildung 14. (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2019, p. 9)

⁷ <https://www.vvs.de/rundum-mobil/unterwegs/park-ride/> (25.08.2019 – 15:30)

⁸ <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/politik-zukunft/zukunftskonzepte/digitale-mobilitaet/movebw/> (25.08.2019 – 16:00)

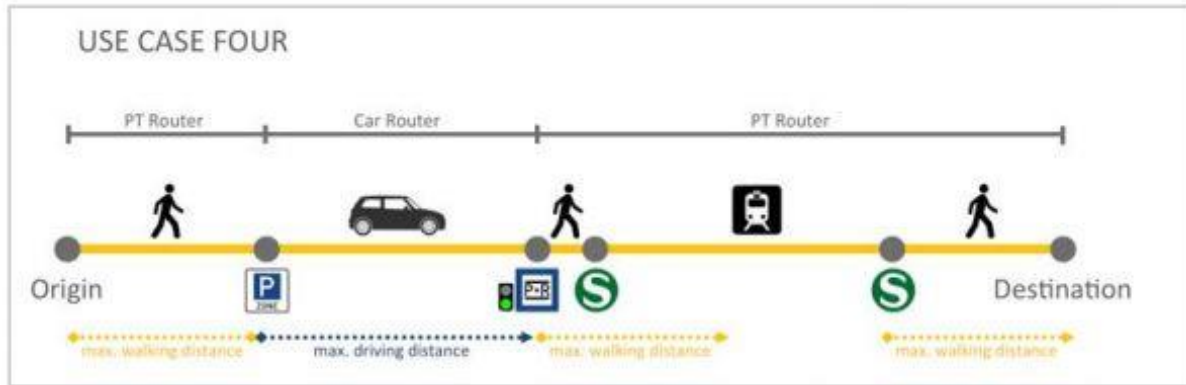


Abbildung 14: Intermodale Wegeketten für Park & Ride (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2019)

Ein wichtiger Teil dieses Projektes ist daher die Erfassung von Park & Ride Daten, die in die App integriert werden. Bis auf zehn Anlagen, das P & R–Parkhaus Albstraße in Degerloch und dem Parkhaus Österfeld, ist es zu diesem Zeitpunkt im Raum Stuttgart nicht möglich gewesen Echtzeitdaten der Stellplatzbelegung online abzurufen. Die online Plattform „Rundum mobil“ der VVS ermöglicht es, derzeitigen Nutzern, eine Prognose der Auslastung während der Spitzenzeiten abzurufen.⁹

Anhand des in VVS liegenden Parkhauses Österfeld, welches in das Projekt move-BW miteingeschlossen wurde, kann eine Möglichkeit der erfolgreichen Echtzeit -Information aufgezeigt werden. Neben den online bereits verfügbaren Informationen wie z.B. Lage, Größe oder Preis werden hier mittels Induktionsschleife vor und hinter den Schranken die Fahrzeuge gezählt. Damit der Wechsel für die Nutzer erleichtert wird, sollen die Reservierungen bzw. die Buchung von Parkplätzen direkt in die App integriert werden. Die Nutzer der App haben zurzeit die Möglichkeit neun Parkhäuser zu nutzen, wobei es hier aktuell die Möglichkeit gibt durch den Reservierungsdienst Parken-Laden Stellplätze für 120 Minuten zu reservieren. Diese Stellplätze setzen jedoch voraus, dass das verfügbare Individualverkehrsmittel über einen Elektro Antrieb verfügt. Die Möglichkeit der Reservierung von Stellplätzen für motorisierte Individualverkehrsmittel ist derzeit nicht möglich. Die im Projekt move-BW entwickelte App wird derzeit jedoch aufgrund der Erhebung der Parkplatzzahlen in Echtzeit die Möglichkeit haben nur jene Park & Ride –Anlagen zu empfehlen, wo auch genügend Parkplätze vorhanden sind. (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2019)

2.8.3 Beispielregion München

Die Nutzung von Park & Ride in der Stadt München ist aufgrund der attraktiven Netze der U-Bahn und der S-Bahn, welche die Stadt sehr gut erschließen, sehr beliebt. Seit der Inbetriebnahme der U-Bahn und der S-Bahn im Jahr 1972 wurden die verfügbaren Park & Ride Stellplätze ständig ausgebaut. Die Beschränkung der Angebote von Dauerstellplätzen im Stadtgebiet führte zu einer hohen Nachfrage von Park & Ride Stellplätzen. Zurzeit stehen auf dem Gebiet des Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV), das die Stadt München sowie die umliegenden Gebiete umfasst, ca. 28000 Park & Ride Stellplätze zur Verfügung. Um eine schnelle und einfache Park & Ride Nutzung zu ermöglichen, bietet der MVV einen interaktiven Übersichtsplan aller P+R-Anlagen im MVV-Raum an, die zeitlich differenzierte Belegungsprognosen enthalten. Wie in Abbildung 15 gezeigt wird, kann damit

⁹ <https://www.vvs.de/rundum-mobil/unterwegs/park-ride/>(25.08.2019 – 15:30)

abgeschätzt werden, zu welcher Uhrzeit an den Park & Ride Anlagen noch freie Stellplätze verfügbar sind.¹⁰

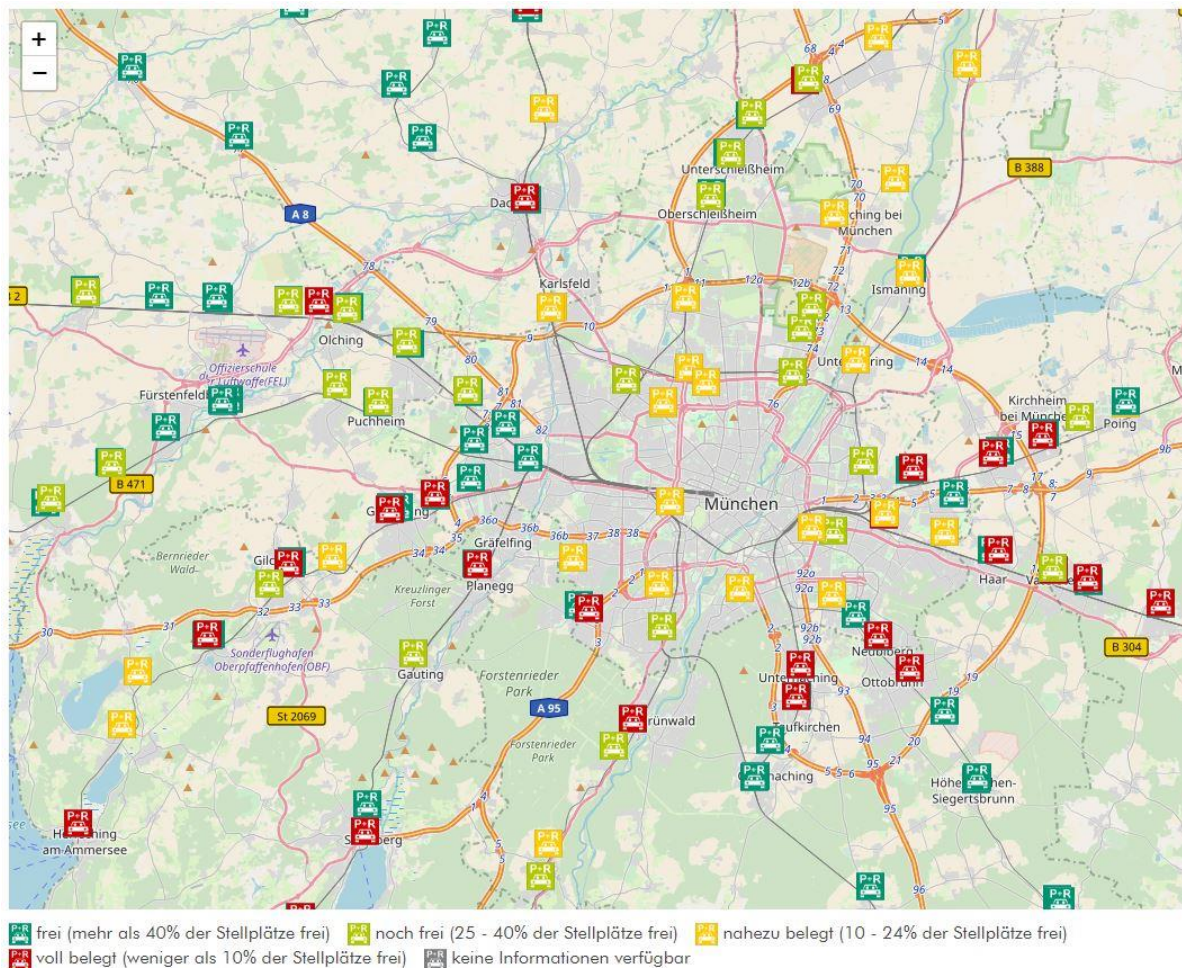


Abbildung 15: Belegungsprognosen der Park & Ride Anlagen im MVV-Raum

Das im Jahr 2015 abgeschlossene Forschungsprojekt PRÖVIMM (Park & Ride und ÖPNV – Informationen machen Menschen mobil) nutzte diese Informationen und hatte das Ziel, einen Mobilitätsdienst zu entwickeln, der intermodale Informationen zur kombinierten Nutzung von ÖV und mIV bereitstellt. Die zentrale Herausforderung stellte die Verknüpfung der verschiedenen Daten des mIV, des ÖV sowie die Daten zu den Park & Ride Anlagen, um so eine lückenlose Informationskette anbieten zu können. Um die Anwendungsmöglichkeit von PRÖVIMM aufzuzeigen, wurden zwei nutzerspezifische Szenarien entwickelt. Dabei gibt es bei der Reiseplanung Informationen die vor einer Fahrt benötigt werden, sowie Informationen die erst während der Fahrt relevant werden können und den weiteren Verlauf der Fahrt beeinflussen, wie z.B. die Änderung der aktuellen Verkehrslage. Informationen, die vor der Fahrt eingeholt werden (pre-trip-Informationen) dienen dazu, Fahrten vor dem Beginn zu planen, was das erste Szenario darstellt. Dabei wird durch PRÖVIMM eine Verbindung mit den Pkw hin zu einem Park & Ride Platz mit prognostizierter, freier Kapazität, und der Umstieg in das öffentliche Verkehrsmittel zum Ziel erstellt. Es werden zusätzlich Informationen genutzt, die erst während der Fahrt entstehen und für die Fahrt von Bedeutung sein können. Im zweiten Szenario wird wie in Abbildung 16 dargestellt, zu Beginn die Fahrt (pre-trip) als reine Autofahrt geplant, wobei während der Fahrt neue Informationen zum aktuellen Verkehrsgeschehen bereitgestellt werden. Die

¹⁰ <https://www.mvv-muenchen.de/service/weitere-mobilitaetsangebote/park-ride/index.html> (10.03.2020 - 14:00)

Informationen könne jederzeit während der Fahrt abgerufen werden. Ereignet sich entlang der gewählten Route eine Störung, welche die prognostizierte Fahrtzeit erheblich verlängert, werden dem Nutzer oder der Nutzerin Alternativen vorgeschlagen, die auch intermodale Routen enthalten, bei denen auf einen Park & Ride Platz mit aktueller freier Kapazität umgeleitet wird. (Kröll, et al., 2015, p. 7)

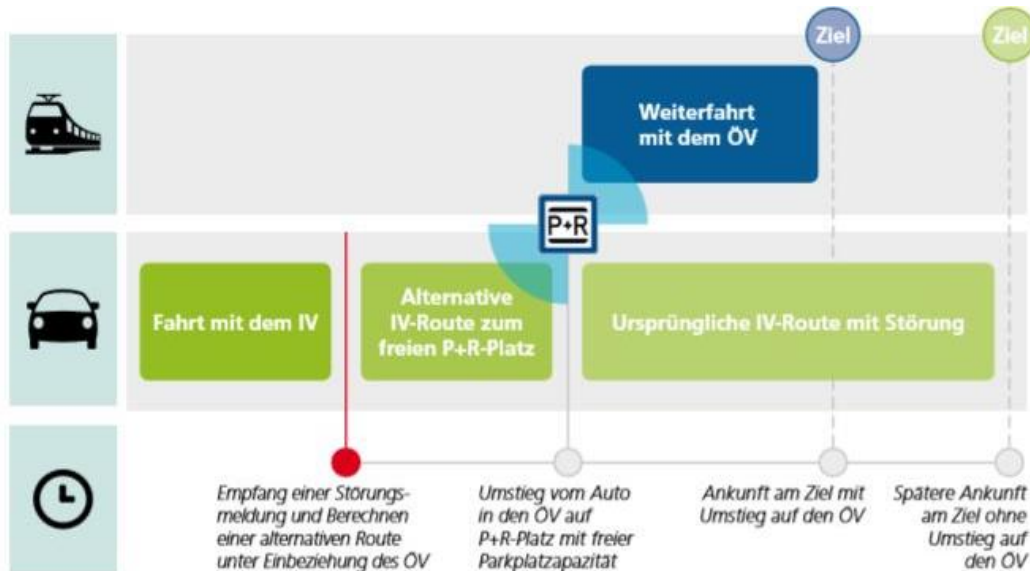


Abbildung 16: PRÖVIMM - On-trip-Störungsmeldung mit Routenanpassung (Kröll, et al., 2015, p. 8)

Beide Szenarien, die intermodale Fahrt pre-trip als auch die intermodale Fahrt on-trip, können um die dazugehörige Rückfahrt erweitert werden, die mit dem ÖV zurück zum P+R-Platz und von dort weiter mit dem Auto geplant wird.

2.8.4 Beispielregion Zürich (SBB)

Die Zahl der verfügbaren Stellplätze auf P&R –Anlagen liegt im Kanton Zürich bei 8260, wobei ca. 7300 Parkplätze als Park & Rail –Plätze ausgewiesen sind, und hier die Schweizerische Bundesbahn (SBB) der Anbieter ist. Die restlichen 962 Stellplätze können für Park & Ride genutzt werden, jedoch sind sie nicht im Park & Rail System integriert. Das Gesamtverkehrskonzept 2018 des Kanton Schweiz hat sich bei Park & Ride zum Ziel gesetzt künftig Anlagen nur mehr im Einzugsgebiet von ungenügend mit dem öffentlichen Verkehr erschlossenen Siedlungsgebieten zu errichten. Das Ergebnis soll dabei eine Minimierung der mit dem Pkw zurückgelegten Kilometer sein. Die Pendlerstatistik zeigt das bei ca. 4,8% aller Pendlerwege IV und ÖV kombiniert wird um den Arbeitsplatz zu erreichen. (Regierungsrat des Kantons Zürich, 2018)

Unter dem Begriff RailLink bietet die Schweizer Bundesbahnen (SBB) eine Vielzahl an Angebote, welche das Erreichen einen Umsteigepunktes auf den öffentlichen Verkehr ermöglichen. Unter diesen Begriff fallen:

- Park + Rail
- Bike + Ride
- RailTaxis
- Car Sharing oder Mietauto
- Fahrradverleih

Insgesamt bieten die SBB an 590 von den 760 für den Personenverkehr zugänglichen Bahnhöfen rund 28455 Park + Rail Parkplätze an. Seit 2014 wird eine App Angeboten, wo Kunden und Kundinnen mit dem Smartphone einfach einen Parkticket buchen können, siehe Abbildung 17. Nutzer und Nutzerinnen können für eine Dauer bis zu sieben aufeinanderfolgenden Tagen bezahlen und diese gegebenenfalls verlängern. Ein Grund für den weit verbreiteten Einsatz dieser App zu ist es, dass die meisten Anlagen der SBB bewirtschaftet werden, da in erster Linie dadurch eine Lenkung der Auslastung bewirkt werden sollte.

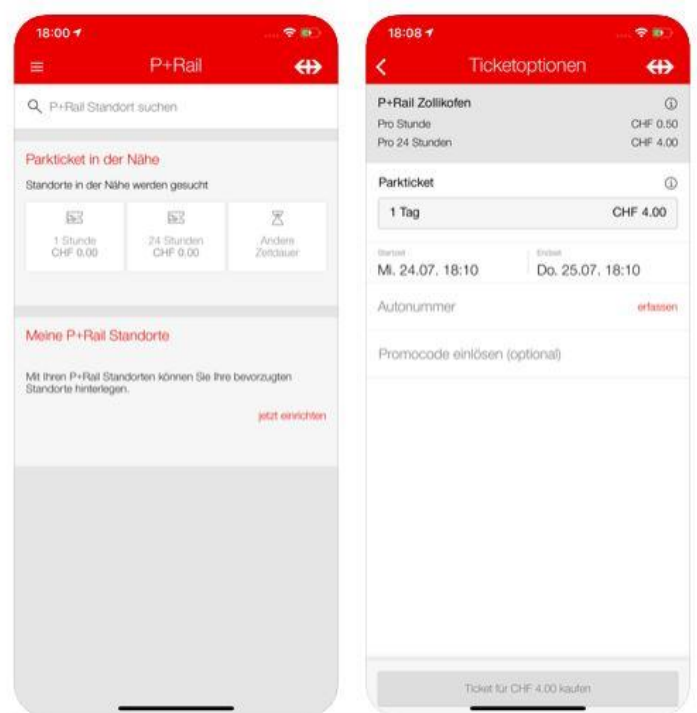


Abbildung 17: P+Rail-App der Schweizerischen Bundesbahn

Die Entwicklung dieser App zeigt, dass es bereits gute Ansätze im Bereich der Bewirtschaftung von Park & Ride –Anlagen gibt. Da durch die Buchung des Parktickets jedoch keine automatische Parkplatzreservierung erfolgt, kann dies dazu führen, dass trotz Bezahlung kein freier Parkplatz beim Erreichen der Park & Ride –Anlage vorhanden ist. Die Weiterentwicklung der bestehenden App soll auch eine Parkplatzreservierung ermöglichen.

3 GIS –basierte Standortanalyse

In diesem Abschnitt der Arbeit wird eine bundesweite Standortanalyse zu Mobilitätsknoten durchgeführt. Das Ziel der Analyse ist es Bahnhöfe und Haltestellen der österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) mit einer günstigen Lage, welche als multimodale Schnittstellen zwischen dem MIV und dem ÖPNV dienen können, zu identifizieren. Besonderes Augenmerk wird auf die Ballungsräume gelegt, wobei geprüft werden soll, welche Bahnhöfe bei Überlastungen im hochrangigen Straßennetz, ohne größeren Reisezeitverlust, die Verlagerung des MIV auf das Schienennetz ermöglichen. Die Standortanalyse wird durchgeführt, indem eine bundesweite Verschneidung des Straßennetzes und des Schienennetzes in einem geografischen Informationssystem (GIS) –basierten Modell erfolgt.

Aus den vorhandenen Daten, welche in Tabelle 5 angeführt sind, werden Kriterien bestimmt, die in die Standortanalyse durch ein geografisches Informationssystem (GIS) integriert werden. Alle Bahnhöfe und Haltestellen der österreichischen Bundesbahnen sind als potentielle Standorte für Park & Ride - Anlagen in Betracht zu ziehen. Als Ergebnis werden die Bahnhöfe und Haltestellen bestimmt, die gewisse Anforderungen erfüllen und als Standorte für Park & Ride Anlagen geeignet sind. Besonderes Augenmerk wird auf eine so weit wie möglich automatisierte Analyse gelegt.

3.1 Datengrundlage

Als Grundlage für die Standortanalyse müssen Daten aus mehreren externen Quellen zusammengeführt werden. Um eine Analyse durchzuführen, fließen neben den für das Forschungsprojekt zur Verfügung gestellten Daten, zusätzlich noch Open Source Daten ein. Als Basis für aktuelle und künftige Analysen und Maßnahmen im Park & Ride werden die Ergebnisse neben einem Shapefile auch in Form einer Excel-basierten Datenbank aufbereitet. Die Datensätze werden in Form von Shapefile, Geodatabase File und Excel Daten zur Verfügung gestellt. Aufgrund der vielen Anwendungsmöglichkeiten wird die Analyse mit „ArcMap“ (Version 10.5), einer zentralen Desktop-Anwendung in ArcGIS, ausgearbeitet und durchgeführt.

Die folgende Tabelle 5 beinhaltet die vorhandenen Datensätze und deren Quelle, welche für die Analyse verwendet werden.

Tabelle 5: Übersicht der vorhandenen Daten und deren Quellen

Daten	Quelle	Zur Verfügung gestellt von
Level of Service (LOS) (los.shp)	ASFINAG	Institut Straßen und Verkehrswesen, Technische Universität Graz
Bahnhöfe, Schienennetz, Parkplätze (oebb_network_export_31082018.gdb)	Österreichische Bundesbahnen (ÖBB)	Institut Straßen und Verkehrswesen, Technische Universität Graz
Zughalte Nah- und Fernverkehr 2017 (zh2017_26032018.xlsx)	Österreichische Bundesbahnen (ÖBB)	Institut Straßen und Verkehrswesen, Technische Universität Graz
Gemeindekarten (STATISTIK_AUSTRIA_GEM_20180101.shp ¹¹) Siedlungsgebiete (STATISTIK_AUSTRIA_T_SIEDLUNG_20150101.shp ¹²)	Open Data Österreich	https://www.data.gv.at
Straßennetz (gis_osm_roads_free_1.shp ¹³)	OSM	https://download.geofabrik.de/

3.2 Methode und Kriterienwahl

Der Aufbau dieser Standortanalyse umfasst die Verschneidung des hochrangigen Straßennetzes mit dem Schienennetz der österreichischen Bundesbahnen. Um Kriterien für die Analyse zu definieren, müssen zuerst die Anforderungen an Park & Ride -Anlagen überprüft werden. Zusätzlich erfolgt dies in Abhängigkeit der vorhandenen Datensätze. Es zeigt sich, dass sich bei bestehenden Park & Ride – Konzepten die Anforderungen nicht erheblich unterscheiden. Die Konzepte beziehen sich auf Grundlage des zu erwartenden Verkehrsaufkommens im Pendlerverkehr. Es zeigt sich dabei, dass der kombinierte Verkehr zum großen Teil für Wege zur Arbeit oder zur Ausbildung zum Einsatz kommt. (Holz-Rau, et al., 1996, p. 24)

Die Unterteilung der Anlagen nach der Lage spielt für die Analyse, wie in 2.6.1 beschrieben, eine wichtige Rolle. Dabei werden zuerst die Pendlerströme betrachtet und deren Reiseziele festgelegt. Zusätzlich ist die Unterscheidung in zentral und dezentral gelegene Anlagentypen entscheidend. Da einer Überlastung des hochrangigen Netzes entgegengewirkt werden soll, wird nahegelegt, dass Park & Ride –Anlagen die sich in dem Stadtgebiet oder an der Stadtrandgrenze liegen als potentielle Standorte für die Nutzung von Park & Ride nur bedingt geeignet sind. Bei zentralen Anlagen wird nur ein kleiner Teil des Weges mit dem ÖV und der weitaus größere Teil der Strecke mit dem MIV zurückgelegt. Dezentrale Anlagen, welche in der Nähe von hochrangigen Straßen liegen, können hingegen zu einer Entlastung der Autobahnen und Schnellstraßen führen. (Planungsbüro Jud AG, 2017, p. 21)

Die Nähe der Bahnhöfe und Haltestellen zum hochrangigen Netz ermöglicht den Nutzern einen schnellen Umstieg auf den ÖV. Als besonders wichtig wird hier die Zeit vom Verlassen des übergeordneten Netzes bis zum Park & Ride -Parkplatz gesehen. Aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens am Morgen und den damit verbundenen Überlastungen und Zeitverlusten, kann

¹¹ http://data.statistik.gv.at/data/OGDEXT_GEM_1_STATISTIK_AUSTRIA_20180101.zip (04.11.2018 - 16:00)

¹² http://data.statistik.gv.at/data/OGDEXT_SIEDLUNG_1_STATISTIK_AUSTRIA_20150101.zip (04.11.2018 - 16:00)

¹³ <https://download.geofabrik.de/europe/austria.html> (05.10.2018 -18:00)

ein gut positionierter Standort an Attraktivität verlieren. Bei Reisezeitberechnungen muss daher auf diesen Widerstand geachtet werden. Die Reisezeiten mit der Bahn sollen nicht wesentlich länger dauern, als mit einem Pkw im unbelasteten Straßennetz. (Holz-Rau, et al., 1996, p. 25)

Eine bisher nicht untersuchte Größe, die in einer Standortanalyse für Park & Ride – Anlagen Einfluss nimmt, ist die Qualität des Verkehrsablaufes der Autobahn und den Schnellstraßen. Dabei wird die Überlastung einzelner Streckenabschnitte untersucht. Jene Bahnhöfe und Haltestellen, die es ermöglichen, vor solchen Stautwicklungen auf den Schienenverkehr umzusteigen, können sich positiv auf die Reduzierung von Staubildung auswirken. Dieses Kriterium ist der zentrale Punkt in der für das Forschungsprojekt MultimoOpt durchgeführten Standortanalyse.

Neben der Anfahrtszeit mit dem Pkw ist der Takt des ÖV ein wesentlicher Faktor für erfolgreiche Mobilitätsknoten. Neben dem Zeitvorteil der gegenüber dem motorisierten Individualverkehr erreicht werden sollte, ist auch die Takthäufigkeit ein wichtiger Aspekt. (Planungsbüro Jud AG, 2017, p. 50)

Um eine Anlage jedoch betreiben zu können, müssen genügend Stellplätze für dem IV verfügbar sein. Die Anzahl der Parkplätze definiert die Anlagengröße und sollte eine Möglichkeit für Erweiterungen bieten, falls diese benötigt werden. Eine Erfassung der Auslastung der einzelnen Anlagen, bietet bei bestehenden Anlagen eine Möglichkeit Erweiterungspotenziale zu erkennen. (Baudirektion des Kantons Zug, 2003, p. 10)

Aus den angeführten Anforderungen und den verfügbaren Daten ergeben sich folgende Kriterien, welche zu dieser Standortanalyse aufgebaut werden:

- Lage der Park & Ride –Anlagen (Siedlungsraum)
- Erreichbarkeit
- LOS – Bewertung
- Takt an den Bahnhöfen
- P&R Stellplatzangebot und den Auslastungsgrad

Neben den für die Analyse gewählten Kriterien, gibt es noch weitere Aspekte die in die Standortanalyse einfließen können. Diese können aufgrund der nicht verfügbaren Daten jedoch nicht in dieser Standortanalyse einbezogen werden. Dazu wären Erhebungen nötig, die im Rahmen der Arbeit nicht durchgeführt werden. Beispiele für weitere Kriterien wären Kosten, wie Kraftstoff oder Parkplatzgebühren, die durch den Umstieg auf Park & Ride vermieden werden können. Jedoch entstehen auch durch die Fahrt mit dem öffentlichen Verkehr Kosten, die miteinbezogen werden müssen. Zusätzlich könnte auch unterschieden werden, ob vorhandene Anlagen bereits Teil multimodaler Knoten sind. Ebenfalls wichtig ist die Zeit, die benötigt wird, um von einem Pkw-Abstellplatz den Bahnsteig zu erreichen. Besonders bei großen Anlagen kann dieser Punkt ein relevantes Kriterium darstellen. Damit zeigt sich das eine Standortanalyse je nach verfügbaren Daten unterschiedliche Ergebnisse liefern kann (Holz-Rau, et al., 1996, p. 28).

Das Betrachtungsgebiet der Standortanalyse zur Errichtung von Park & Ride –Anlagen umfasst das ganze Bundesgebiet. Insgesamt werden laut den Daten der österreichischen Bundesbahnen 1069 Bahnhöfe und Haltestellen betrieben. Es werden alle Standorte unabhängig von vorhandenen Park & Ride –Plätzen untersucht und als potentielle Mobilitätsknoten betrachtet.

Standortanalysen für Park & Ride -Anlagen, welche Daten über Qualität des Verkehrsablaufes des hochrangigen Straßennetzes miteinbeziehen, wurden bisher noch nicht untersucht. In dieser Analyse sind die definierten Kriterien voneinander unabhängig, was bedeutet, dass bei der Standortwahl eine unterschiedliche Gewichtung der einzelnen Kriterien erfolgen kann. Als Ergebnis wird eine Datenbank

erstellt, die die bereits vorhandenen Daten der einzelnen Bahnhöfe in Form von einem Shapefile erweitert. Zusätzlich wird als Ergebnis ein Excel File zum vereinfachten Filtern von Daten erzeugt.

3.2.1 Lage der Park & Ride –Anlagen (Siedlungsraum)

Als besonders vorteilhaft erweist sich im ersten Schritt, wie in 2.6.1 beschrieben, eine Einteilung hinsichtlich der Lage im Verkehrsraum. Die P&R –Anlagen lassen sich in zentrale und dezentrale Anlagen unterteilen. Zentrale Anlagen sind an Hauptbahnhöfen, Haltestellen in den Städten oder am Stadtrand positioniert und haben eine Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz der Stadt. Dezentrale Anlagen sind in ländlichen Gebieten oder an den Zufahrtsachsen positioniert, außerhalb der Agglomerationen. Besonders bei dezentral, entlang der Zufahrtsachsen liegenden Bahnhöfen und Haltestellen ist der mit dem ÖV zurückgelegte Streckenanteil besonders hoch. (Guillaume-Gentil, et al., 2004, p. 22)

Da es das vorrangige Ziel ist, die hochrangigen Zufahrtsstrecken in Richtung der Städte zu entlasten, soll der motorisierte Individualverkehr schon vor den Grenzen der Ballungsräume in den peripheren Gebieten oder am Beginn der Ballungsräume auf P & R –Plätze umgelenkt werden. Um diese Gebiete zu definieren, wird eine Kategorisierung durchgeführt, die dicht besiedelten Gebiete Österreichs sowie die untersuchten Pendlerströme und die Pendlerziele miteinbezieht. Die in Abbildung 18 dargestellten Daten zeigen die Anzahl der Einpendler und Einpendlerinnen nach politischen Bezirken. Anhand dieser Daten werden Siedlungsräume definiert.

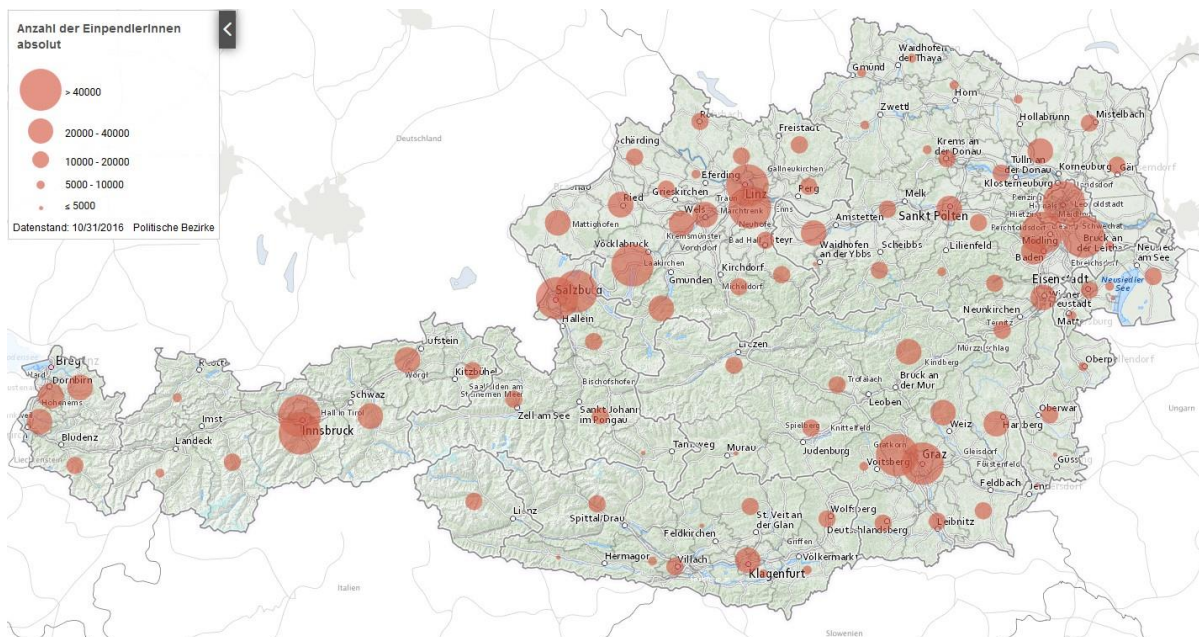


Abbildung 18: Anzahl der Einpendlerinnen und -pendler absolut nach politischen Bezirken¹⁴

Das Bevölkerungswachstum verlagert sich in Österreich in die Landeshauptstädte und die umliegenden Gemeinden. Die Städte Wien, Graz, Linz, Salzburg und Innsbruck bestehen aus dichten Siedlungsräumen, die auch über die Stadtgrenzen reichen. Zusätzlich steigt die Zahl der verfügbaren

¹⁴https://www.statistik.at/atlas/?mapid=them_bevoelkerung_pendler&layerid=layer1&sublayerid=sublayer0&anguageid=0 (04.11.2018 - 16:00)

Arbeitsplätze. Dadurch weisen die Landeshauptstädte und umliegende Gemeinden eine hohe Anzahl an Gemeindeeinpendlern und Gemeindeeinpendlerinnen auf. (Statistik Austria, 2016, p. 79)

Das größte Einpendelzentrum stellt die Bundeshauptstadt Wien dar. Weitere Einpendelzentren sind die Wirtschaftszentren der einzelnen Bundesländer, wie z.B. Graz, Linz. Aus den Daten werden anhand der Anzahl der Einpendler und Einpendlerinnen fünf große Siedlungsräume Wien, Linz-Wels, Graz, Salzburg, Innsbruck und zusätzlich der Siedlungsraum Vorarlberg definiert. Im Fall von Vorarlberg wird aufgrund der dichten Besiedlung des Rheintales und der daraus häufigen Überlastung des hochrangigen Straßennetzes Bregenz als Siedlungsraum gewählt. Aufgrund der Ausbreitung der Städte über ihre Bezirksgrenzen werde jene Nachbargemeinden, welche aufgrund der dichten Bebauung ebenfalls stadähnliche Siedlungsstrukturen aufweisen, zum jeweiligen Siedlungsraum, wie in Tabelle 6 angeführt, zusammengefasst.

Tabelle 6: Siedlungsräume bestehend aus den folgenden Gemeinden

Siedlungsraum	Gemeinden
Wien	Wien, Perholdsdorf, Brunn am Gebirge, Wiener Neudorf, Maria Enzersdorf, Mödling
Linz-Wels	Linz, Wels, Hörsching, Leonding, Pasching, Traun, Marchtrenk
Graz	Graz
Innsbruck	Innsbruck, Völs
Vorarlberg	Bregenz

Aufgrund der dichten Besiedlung und der Rolle der Gemeinden als Pendlerziel, werden die Bahnhöfe und Haltestellen, die sich in diesen Siedlungsräumen befinden, als nicht geeignet für multimodale Mobilitätsknoten mit Park & Ride –Anlagen eingestuft. Ein Umstieg vom hochrangigen Straßennetz zum ÖV würde in diesen Zonen zu keiner Verminderung der Überlastungen im Individualverkehr führen.

Ausgehend von den Siedlungsräumen sind die Wegdistanzen der Pendler für den Betrachtungsraum ausschlaggebend. Es sollen die Bahnhöfe und Haltestellen die aufgrund der Distanz zum Siedlungsraum für die Nutzung als Mobilitätsknoten mit Park & Ride attraktiv sind bestimmt werden. Die im Jahr 2016 durchgeführte Erwerbsstatistik zeigt, dass die Zahl und die zurückgelegten Distanzen der Pendler und Pendlerinnen stetig ansteigen. Dabei wird der größte Teil des Weges mit dem Pkw zurückgelegt.

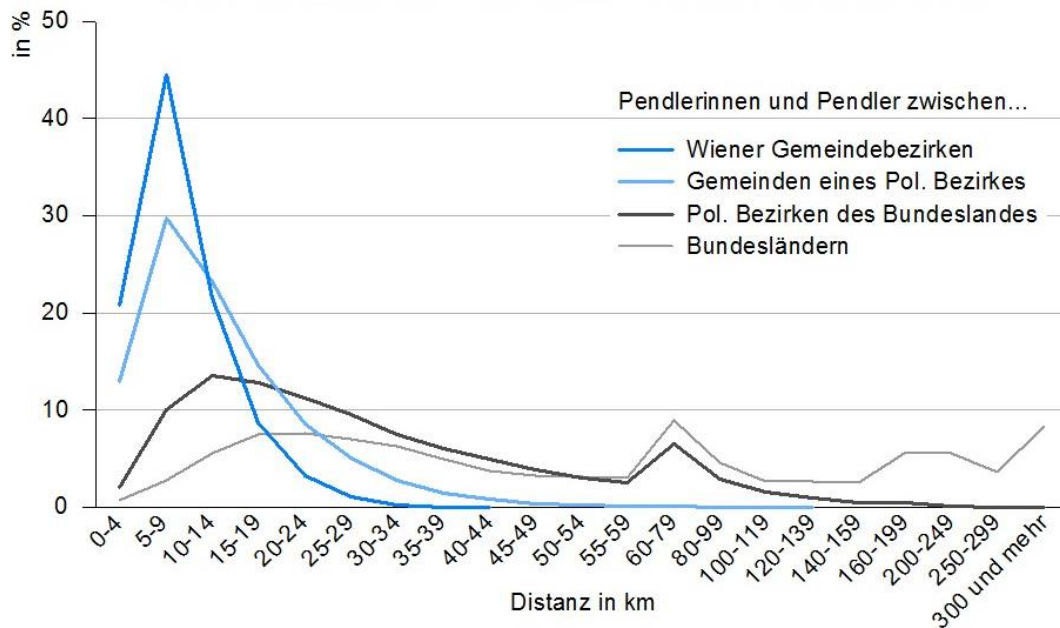


Abbildung 19: Erwerbpendlerinnen und –pendler 2016 nach Distanz in Straßenkilometern und Entfernungskategorie¹⁵

Um den Arbeitsplatz zu erreichen beträgt die durchschnittliche Pendlerdistanz täglich 36 Kilometer. Die zurückgelegten Distanzen der Fahrten zum Arbeitsplatz sind größtenteils auf bis zu 50 km beschränkt, siehe Abbildung 19. Dabei ist ersichtlich, dass Pendlerdistanzen innerhalb von Gemeinden größtenteils zwischen 4 und 30 km liegen. Pendlerdistanzen zwischen politischen Bezirken und Bundesländern hingegen liegen zwischen 4 und 60 km. (Statistik Austria, 2016, p. 3).

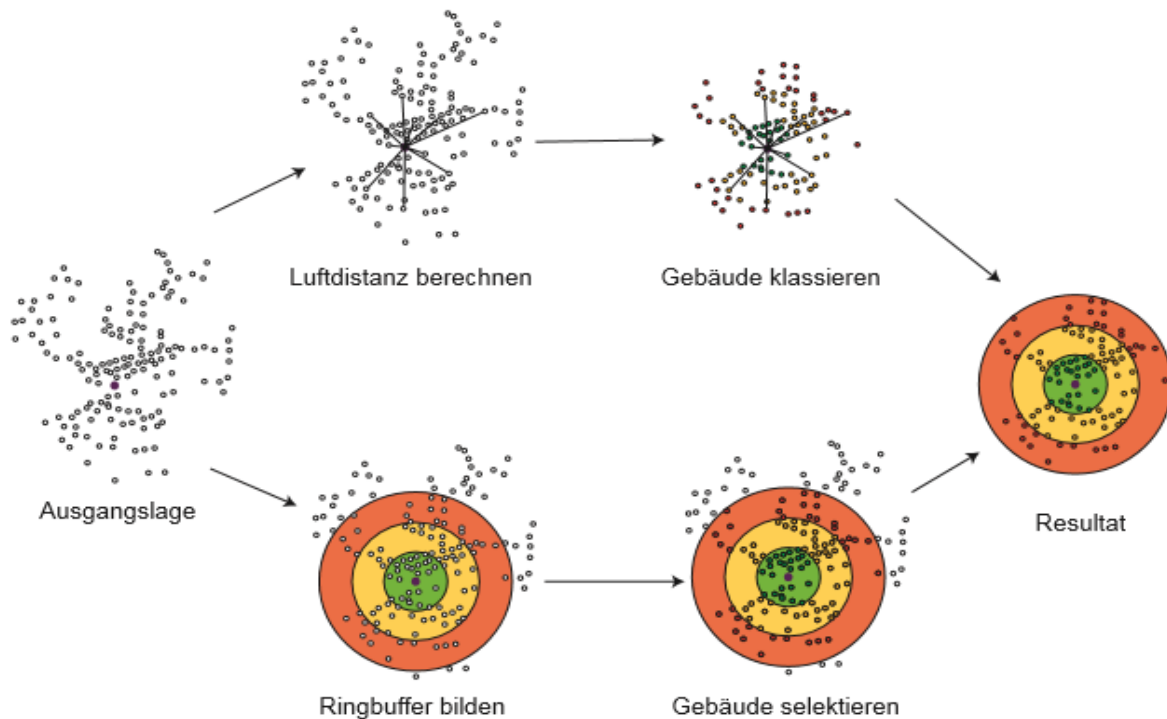


Abbildung 20: Schematisches Vorgehen bei der Methode Puffer (ArcGIS)(Jermann, 2004, p. 40)

¹⁵http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/volkszaehlungen_regi_sterzaehlungen_abgestimmte_erwerbsstatistik/pendlerinnen_und_pendler/index.html (04.11.2018 - 16:30)

Ausgehend von den Siedlungsräumen wird daher ein Einzugsgebiet definiert, welches die umliegenden Gebiete erfasst. Der Ablauf der dafür benötigten Methode Puffer wird in Abbildung 20 dargestellt. Dieses wird ausgehend von den zuvor definierten Grenzen der Siedlungsräume im ArcGis mit dem Werkzeug Puffer, mit einem Radius von 50 Kilometern erzeugt. Die Bahnhöfe, die sich innerhalb dieser Zone befinden, sind aufgrund der Anziehungskraft der Siedlungsräume und deren Lage außerhalb der dicht besiedelten Gebiete, besonders gut als potentielle Mobilitätsknoten mit Park & Ride -Anlagen geeignet. Aller Bahnhöfe und Haltestellen, welche mehr als 50 Kilometer Luftlinie von den Siedlungsgrenzen entfernt sind, haben aufgrund der Entfernung zu den untersuchten Siedlungsräumen keine Auswirkungen auf die Vermeidung von Überlastungen im hochrangigen Straßennetz. Abbildung 21 zeigt am Beispiel Wien den Siedlungsraum sowie die Erfassung der Bahnhöfe innerhalb eines Radius von 50 Kilometer.

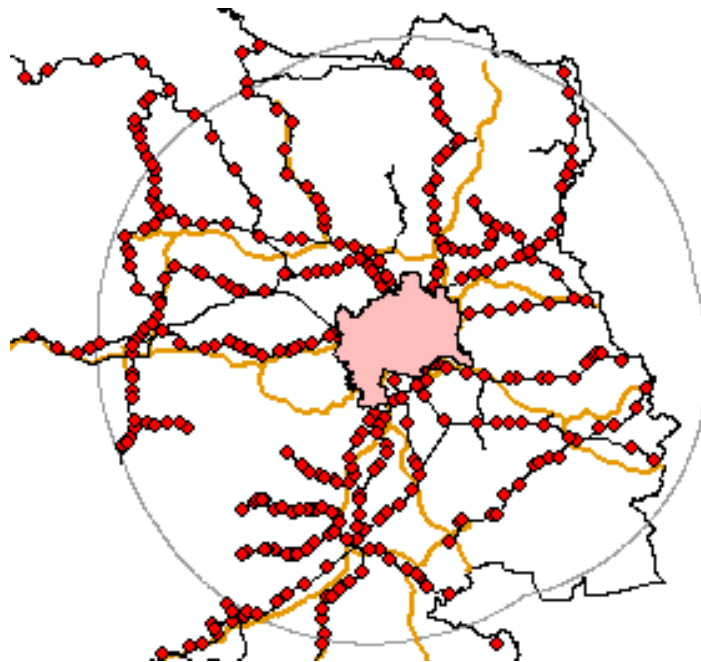


Abbildung 21: Analysekriterium Siedlungsraum am Beispiel Wien

3.2.2 Erreichbarkeit

Die Erreichbarkeit ist für jede Standortanalyse ein zentrales Thema und von großer Bedeutung für die Verkehrsplanung. In den 1990er Jahren wurden erstmals Netzwerkmodelle mithilfe von GIS genutzt und somit die bis dahin vereinfachte Art der Erreichbarkeitsanalyse durch einfachere Werkzeuge, wie Pufferung und Überlagerung, ersetzt. Mit Erreichbarkeitsanalysen kann der Zustand der Infrastruktur im öffentlichen und motorisierten Individualverkehr abgebildet werden. In Österreich veröffentlicht die Österreichische Raumordnungskonferenz (ÖROK) seit 1997 „Erreichbarkeitsverhältnisse in Österreich“. Diese geben die Reisezeiten des ÖV und MIV zu den nächstliegenden Regionalen Zentren an. (Weiss, et al., 2018, p. 237)

Noch bevor GIS für netzwerkbasierte Erreichbarkeitsanalysen genutzt werden konnte, fanden die dafür genutzten Algorithmen schon lange Anwendung. Um die kürzesten Wege zwischen zwei Punkten zu ermitteln, wurde bereits in den 1980er Jahren der Dijkstra-Algorithmus modifiziert eingesetzt. Dieser Algorithmus findet auch in der ArcGIS Erweiterung "ArcGIS Network Analyst" angewendet. (Bökemann, 1983, p. 52)

Ein wesentlicher Faktor für diese Art der Analyse ist die Qualität und Vollständigkeit der Daten, da sie erhebliche Auswirkungen auf die Ergebnisse haben. Aufgrund der unvollständigen Datensätze müssen in dieser Analyse Teile der Daten manuell bearbeitet werden um eine Erreichbarkeitsanalyse durchführen zu können. Bei der angewandten Methodik der Raumüberwindung kann diese über die räumliche Distanz, wie die Luftlinienentfernung oder die vorhandene Weglänge erfolgen. (Staudinger & Car, 2000, p. 195)

Der Vorteil der Weglängenmethode liegt in der Berücksichtigung der Widerstände im Streckennetz, sowie der Berücksichtigung von natürlichen Barrieren (z.B. Flüsse). Folgende Netzparameter für die Analyse der Erreichbarkeit sind besonders wichtig:

- Länge der einzelnen Streckenabschnitte
- Reisezeiten auf den einzelnen Abschnitten
- Zugelassene Verkehrssysteme

Die Erreichbarkeitsanalyse wird mittels der ArcGIS-Erweiterung „Network Analyst“ durchgeführt. „Network Analyst“ ist eine Erweiterung des ArcGIS-Desktop-Softwarepaketes, welche bei Bedarf zugeschaltet werden kann. Die Voraussetzung für die Durchführung der Analysen ist ein genauer und detaillierter Netzwerkdatsatz, dieser basierend auf einem Wegenetz. Durch die in Netz vorgegebene Fortbewegungsgeschwindigkeit wird der Raumwiderstand im Netzwerk bestimmt. Werden diese Punkte erfüllt, erfolgt das Hinzufügen der Ausgangspunkte der Analyse. (Unger, 2015, p. 49)

Zur Bestimmung der Erreichbarkeit wird die Einzugsgebiete-Analyse angewendet. Durch diese Erweiterung können Einzugsgebiete um jeden beliebigen Standpunkt im Netz ermittelt werden. Diese Methode führt bei der Berechnung zu Isochronenkarten. Der Bereich der als Einzugsbereich definiert wird, umfasst alle Straßen. Die Impedanz kann sich auf die Weglänge oder auf eine Zeitdauer beziehen, die bestimmt wird. So umfasst ein 10-Minuten-Einzugsgebiet alle Straßen, die innerhalb dieser Zeit von einem Punkt aus erreichbar sind. Als Ausgangspunkt für die Analyse werden die Abfahrten der Autobahnen und Schnellstraßen definiert. Von diesen Punkten wird die Erreichbarkeit der Bahnhöfe berechnet.¹⁶

Wegenetz

Für die Analyse stehen folgende Wegenetze zur Verfügung:

- Das Wegenetz der Graphenintegrations-Plattform (GIP)
- Das Wegenetz von OpenStreetMap (OSM)

Um das Ziel einer automatisierten Standortanalyse bestmöglich zu erreichen, werden die beiden Wegenetze verglichen. Aufgrund der bundesweiten Analyse ist die Voraussetzung ein detailliertes Straßennetz für ganz Österreich. Die Graphenintegrations-Plattform Österreich bietet ein sehr detailliertes Straßennetz Österreichs zum Download an. Das zur Verfügung gestellte Netz bietet viele Anwendungsmöglichkeiten und wird beispielsweise bei der Erreichbarkeitsberechnung der ÖROK angewendet. Jedoch ergibt sich für die Erreichbarkeitsanalyse im Vergleich zum OSM – Netz ein Nachteil, da aufgrund der verfügbaren Straßentypen im GIP – Netz die Bildung der Startpunkte für die Analyse nicht automatisiert ermöglicht wird. Bei den hochrangigen Straßen des GIP - Netzes ist es nicht möglich die Auf- und Abfahrten oder Rampen der Autobahnen und Schnellstraßen separat

¹⁶<http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/extensions/network-analyst/types-of-network-analyses.htm>
(04.10.2018 - 14:00)

auszuwählen, da sie nicht als eigene Straßentypen erfasst werden. Dies hat zur Folge, dass die Startpunkte der Erreichbarkeitsanalyse manuell definiert und jede Auf- und Abfahrt der Autobahnen und Schnellstraßen einzeln markiert werden müsste.

Da das Wegenetz das von OSM, das über die Onlineplattform Geofabrik Downloads kostenlos zum Download steht, diese Straßentypen unterscheidet es für die Analyse gewählt. Open Street Map bietet ebenfalls ein sehr genaues und feines Wegenetz an. Im Gegensatz zum GIP-Modell gibt es mit den Attributen „motorway_link“ (Autobahnabfahrt und -auffahrt) und „trunk_link“ (Schnellstraßenabfahrt und -auffahrt) die Möglichkeit diese auszuwählen und als Ausgangspunkt für die Berechnung zu nutzen. An jenem Knoten, an denen die Autobahnen und Schnellstraßen an das restliche Straßennetz anschließen wird ein Startpunkt erzeugt. Durch das Werkzeug „Überschneiden“ (Intersect) werden an den Berührungspunkten Punkte ausgegeben, siehe Abbildung 22. Diese Punkte dienen in der Analyse als Ausgangspunkt für die Berechnung der Erreichbarkeit. Als Ergebnis wird die Zeitspanne von der Autobahnabfahrt bis einem Bahnhof oder einer Haltestelle ermittelt. Dabei eignen sich nahe gelegene Standorte als Mobilitätsknoten mit einer Park & Ride Anlage.

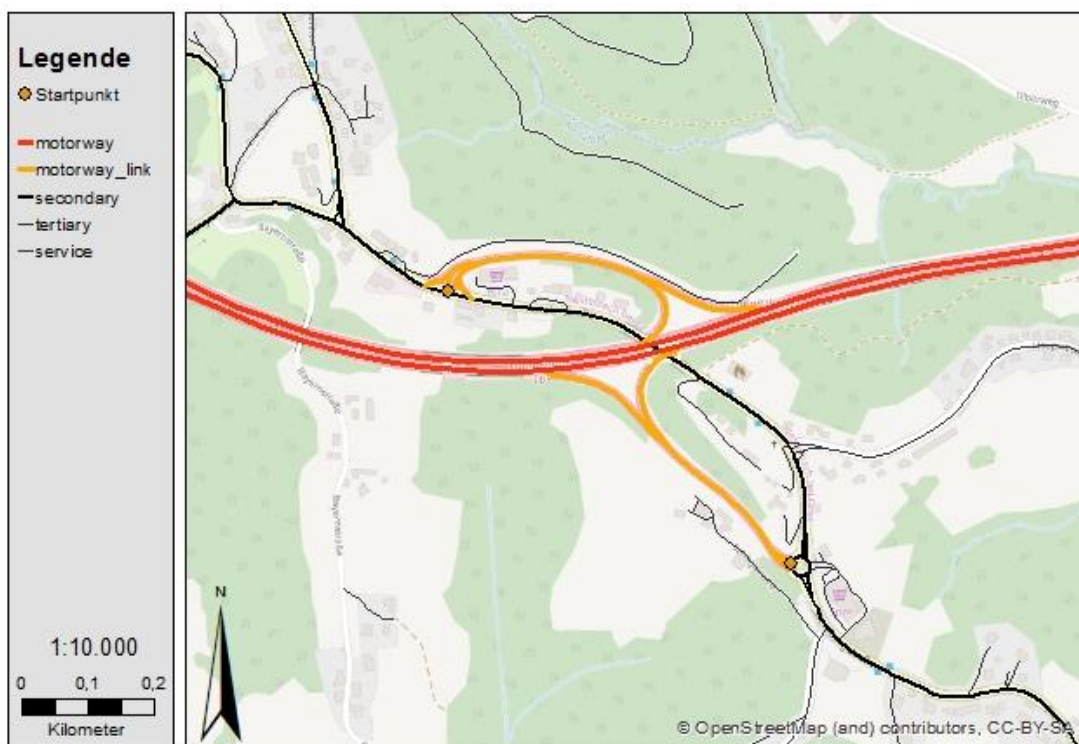


Abbildung 22: Erzeugung der Startpunkte für die Erreichbarkeitsanalyse

Nachteile des OSM-Wegenetzes liegen in den für das Wegenetz eingefügten Straßen als Linien oder Polylinien, welche im topologischen Sinn Kanten darstellen, siehe Abbildung 23. Die Anfangs- und Endpunkte dieser Linien und Polylinien sind Knoten. Wenn zwei oder mehr Linien zusammentreffen, wird dies als Kreuzung bezeichnet. Eine erfolgreiche Analyse ist nur möglich, wenn sich die Linien und Polylinien von Kreuzung zu Kreuzung erstrecken. Das OSM-Wegenetz weist häufig keine Teilung der Linien an den Kreuzungspunkten auf. Falsch abgebildete Kreuzungen führen bei der Berechnung zu Umwegen und falschen Ergebnissen. Um die Erreichbarkeit berechnen zu können, müssen die Strecken an jedem Kreuzungspunkt geteilt werden. Um eine Teilung der Linien an den Kreuzungspunkten zu erreichen, wird das Werkzeug „Feature in Linie“ (Feature in Line) angewendet. (Unger, 2015, p. 57)

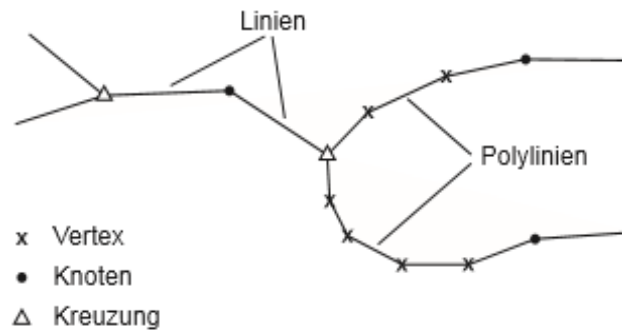


Abbildung 23: Schematischer Aufbau eines Wegenetzes(Jermann, 2004, p. 15)

Die Erreichbarkeitsanalyse soll nur auf den für den MIV zugelassenen Strecken erfolgen. Dazu werden die Streckentypen, die nicht von dem motorisierten Individualverkehr genutzt werden können, ausgeschlossen. Folgende Streckentypen des OSM – Wegenetzes werden zur Berechnung der Erreichbarkeit gewählt:

- motorway, motorway_link (Autobahn, Autobahnanschluss)
- trunk, trunk_link (Schnellstraße, Schnellstraßenanschluss)
- primary, primary_link (Bundesstraße, Bundesstraßenanschluss)
- secondary, secondary_link (Landstraße, Landesstraßenanschluss)
- tertiary, tertiary_link (Landesstraße, Landesstraßenanschluss)
- unclassified (Gemeindestraße)
- residential (Straße in Wohngebieten)
- living_street (Wohnstraße)
- service (Erschließungsstraße)

Wegzeit

Die Impedanz bezieht sich bei der Analyse auf die Zeit, welche benötigt wird um einen Streckenabschnitt zu überwinden. Für die Berechnung wird neben der Weglänge die Geschwindigkeit benötigt. Damit die Geschwindigkeit in die Berechnung einfließt, ist es unumgänglich Attribute im OSM Netz manuell zu bearbeiten. Im OSM-Wegenetz wird das angegebene Attribut „max speed“ zur Berechnung herangezogen, siehe Tabelle 7. Das Attribut „max speed“ beschreibt die zulässige Höchstgeschwindigkeit eines Straßenabschnittes. Da keine Daten über die durchschnittliche Geschwindigkeit eines Streckenabschnittes vorhanden sind, müssen die Werte der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf reale Durchschnittswerte reduziert werden. Da es sich um eine bundesweite Analyse handelt, ist es aufgrund der Größe des Datensatzes möglich, dass Datensätze unvollständig sind. Da die Daten auf crowdsourcing basieren, führt dies dazu, dass in der Regel hochrangigen Straßen detailliert abgebildet werden. Je weiter die Straßentypen in der Priorität abnehmen, desto häufiger gibt es fehlerhafte oder unvollständige Daten. Dies ist auch für die MIV verfügbaren Straßentypen, welche in die Analyse miteingeschlossen werden, der Fall. Anhand der Tabelle ist ersichtlich, wie hoch der Anteil der nicht definierten Strecken im OSM-Netz ist. Dabei zeigt sich, dass der Anteil der fehlenden Angaben mit der Priorität sinkt.

Tabelle 7: Nicht vorhandene „maxspeed“-Daten im OSM-Netz

Straßentyp	Anzahl Strecken	davon fehlende „max speed“-Angabe (%)
motorway	13.065	758 (5,8%)
motorway_link	6.864	4.023 (58,6%)
trunk	1.808	270 (14,9%)
trunk_link	742	522 (70,4%)
primary	85.478	20.610 (24,1%)
primary_link	3.135	1.893 (60,4%)
secondary	100.726	44.881 (44,6%)
secondary_link	488	249 (51,0%)
tertiary	104.896	59.272 (56,5%)
tertiary_link	281	151 (53,7%)
unclassified	177.538	160.046 (90,1%)
residential	494.351	359.267 (72,7%)
living_street	5.510	4.833 (87,7%)
service	590.251	573.551 (91,2%)

Neben fehlenden Angaben der höchst zulässigen Geschwindigkeit sind auch die Streckentypeneinteilungen teils fehlerhaft. Es ist daher nicht möglich die Geschwindigkeiten nach ihrer Lage (z.B. Bundesstraßen innerorts oder außerorts) zu korrigieren. Daher werden für die Analyse vereinfacht, an jenen Strecken die keinen Wert für das Attribut „maxspeed“ aufweisen, je nach Streckentyp einheitliche Geschwindigkeiten zugewiesen, siehe Tabelle 8. Dabei werden die Streckentypen des OSM-Wegenetzes jeweils den österreichischen Straßentypen zugewiesen.¹⁷

Tabelle 8: Zuweisung von „maxspeed“ in Abhängigkeit des Straßentyps

Straßentyp	gewählte „max speed“ (km/h)
Primary, primary link	70
Secondary, secondary link	50
Tertiary, tertiary link	50
unclassified	30
residential	30
living_street	30
service	30
unknown	30

Die Aufgabe der Erreichbarkeitsanalyse ist es, die benötigte Zeit von einer Autobahnabfahrt zu den nächstliegenden Bahnhöfen, zu berechnen. Um eine mögliche Route über Autobahnen und Schnellstraßen zu vermeiden, werden diese Streckentypen auch von der Berechnung ausgeschlossen. Die Durchführung einer Berechnung würde zu diesem Zeitpunkt noch keine realistischen Zeitwerte ausgeben, da die Strecken nicht in der höchstzulässigen Geschwindigkeit befahren werden. Um realistische Werte für die Berechnung zu erhalten, wird deshalb zusätzlich ein Abminderungsfaktor angewendet. Dabei stellt dieser Faktor, welcher teilweise auf der Online Plattform Tom Tom - Stauindex beruht, die morgendlichen Spitzen während des Pendlerverkehrs dar. Die zur Verfügung

¹⁷ <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Key:highway> (02.10.2018 – 13:00)

stehenden Daten sind für die fünf Landeshauptstädte Wien, Graz, Linz, Salzburg und Innsbruck verfügbar. Anhand dieser Werte werden zusätzlich noch Einteilungen für die restlichen Gebiete in Österreich getroffen.

Um den Abminderungsfaktor auf die unterschiedlichen Siedlungstypen festzulegen, werden die von Open Data Österreich zur Verfügung gestellten Siedlungskarten angewendet. Diese Karten stellen alle zusammenhängenden besiedelten Gebiete in ganz Österreich dar. Neben den vorhandenen Daten des „Tom Tom-Stauindex“ für die bereits erwähnten Städte, werden noch Faktoren für die restlichen besiedelten und unbesiedelten Gebiete definiert. Die Abminderungsfaktoren werden je Siedlungsgebiet in Tabelle 9 angeführt. Anschließend werden an jenen Strecken, die sich in den jeweiligen Gebieten befinden, die Abminderungsfaktoren übertragen. Um genauere Analysen durchzuführen, müsste wie bei Erreichbarkeitsanalysen der Österreichische Raumordnungskonferenz (ÖROK), auf Analysen und Daten der Durchschnittsgeschwindigkeit auf österreichischen Netzen zurückgegriffen werden. (Weiss, et al., 2018, p. 237)

Tabelle 9: Abminderungsfaktor für die Durchschnittsgeschwindigkeit¹⁸

Siedlungsgebiet	Abminderungsfaktor $\alpha_{\text{Stauindex}}$
Wien	0,54
Graz	0,56
Linz	0,61
Salzburg	0,62
Innsbruck	0,76
Restl. Siedlungsgebiete	0,85
nicht besiedelte Gebiete	0,95

Neben den vorhandenen Daten für die fünf größten Städte Österreichs, werden für die restlichen Städte und Siedlungsgebiete im Bundesgebiet eine Abminderung von 15% definiert. Strecken, welche durch nicht besiedelte Gebiete führen, werden um 5 % abgemindert. Anhand dieser Werte kann die Zeitdauer die benötigt wird um einen Abschnitt zu befahren als Impedanz für die Erreichbarkeitsanalyse angewendet werden.

$$[\text{Wegezeit}] = ([\text{length}]/[\text{maxspeed in m/s}]) * \alpha_{\text{Stauindex}} \quad (1)$$

Einzugsgebietsanalyse mittels „Network Analyst“

Die Einzugsgebiets-Analyse von „Network Analyst“ ermöglicht es durch das zuvor vorbereitete Wegenetz und die Geschwindigkeiten Einzugsgebiete zu ermitteln. Dabei werden als Ausgangspunkte die Autobahn- und Schnellstraßenabfahrten gewählt. Von diesen Punkten aus werden in bestimmten Zeitintervallen die Erreichbarkeiten zu den Bahnhöfen und Haltestellen berechnet. Es muss jedoch auf die Genauigkeit der von den österreichischen Bundesbahnen zur Verfügung gestellten Daten geachtet werden. Die Haltestellen-Koordinaten können bei einigen Anlagen von den realen Standpunkten abweichen, jedoch sind diese Abweichungen (0-100 m) für eine Berechnung für den motorisierten

¹⁸ https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/list?citySize=ALL&continent=ALL&country=AT
(06.11.2018– 17:30)

Individualverkehr nicht entscheidend. Um die Erreichbarkeit eines Standortes abzubilden, werden folgende Intervalle festgelegt:

- 0-2 Minuten
- 2-4 Minuten
- 4-6 Minuten
- 6-8 Minuten
- 8-10 Minuten
- > 10 Minuten

Die Erreichbarkeitsanalyse erfolgt mit der Methode Isochronenpuffer. Diese Methode ist erforderlich, da die Bahnhöfe und Haltestellen keinen Bezug zu den im motorisierten Individualverkehr zugelassenen Strecken im OSM-Wegenetz haben. Aus diesem Grund werden Isodistanzen in der Berechnung mit einem Buffer versehen. Abbildung 24 beschreibt den Ablauf der Methode Wegpuffer, wie sie für die Erreichbarkeitsanalyse angewendet wird.

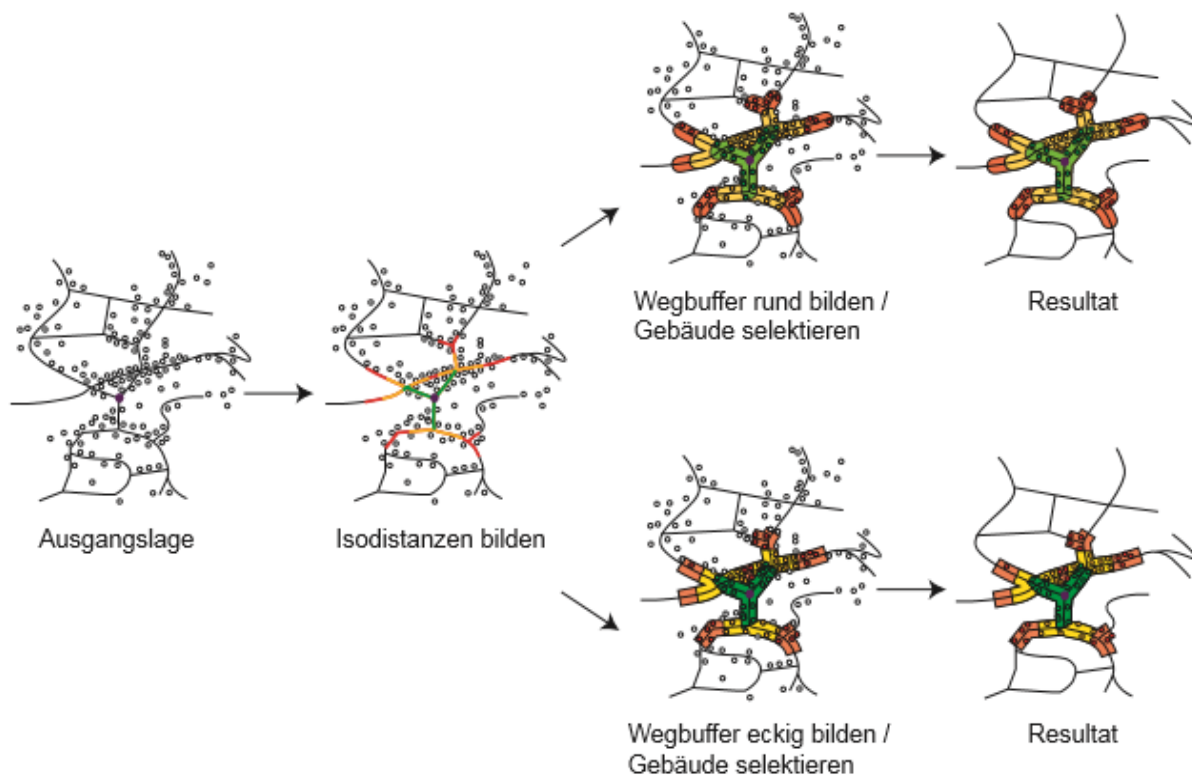


Abbildung 24: Schematisches Vorgehen Methoden Wegpuffer. Oben Wegpuffer rund, unten Wegpuffer eckig (Jermann, 2004, p. 41)

Somit werden die Anlagen über den lotrechten Abstand zur Wegeachse erfasst. Eine exakte Zuweisung würde bei vollständigen Daten über die exakte Lage und Zufahrtswege der einzelnen Gebäude erfolgen können. Um den Pufferradius zu definieren, wird durch Messungen der durchschnittliche Abstand der Anlagen bestimmt. Ein Abstand von 100 Meter zum Wegenetz führt zu einer zweckmäßigen Zuweisung. Würden man keine Buffer anwenden, würden Bahnhöfe als nicht erschlossen gewertet werden, obwohl diese eine Erschließung aufweisen. (Jermann, 2004, p. 39)

Die Durchführung der Erreichbarkeitsanalyse erfolgt durch die Auswahl der 506 Standorte, welche die Ausgangspunkte (Autobahn- und Schnellstraßenabfahrten) der Analyse bilden, sowie durch die beiden Parameter Weglänge und Wegezeit. Zur Ausgabe der Ergebnisse werden die Impedanzen von 120, 240, 360, 480 und 600 Sekunden eingesetzt, womit die Erreichbarkeit der einzelnen Standorte abgebildet wird, siehe Abbildung 25.

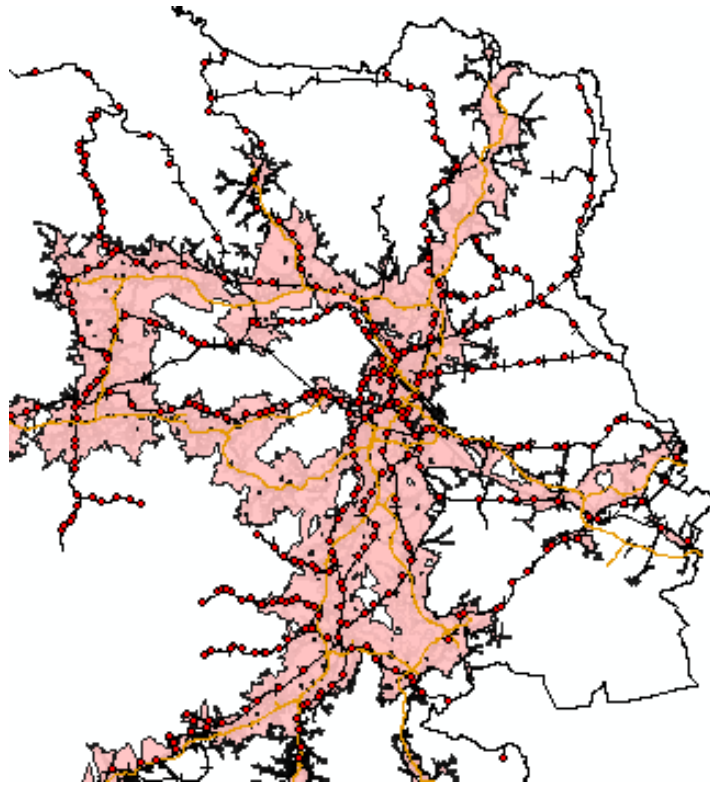


Abbildung 25: Erreichbarkeit eines Standortes je Zeitintervall

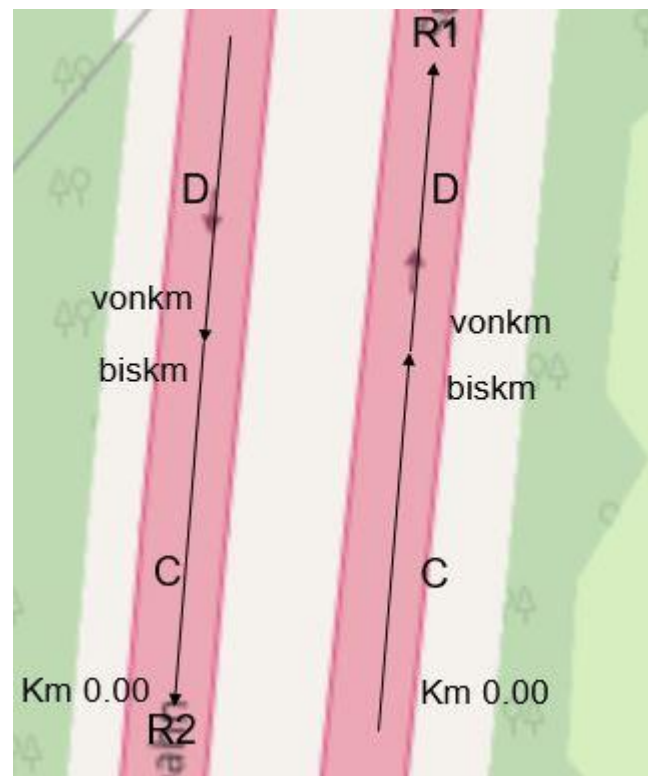
3.2.3 LOS -Bewertung

Die Überlastungen im Straßennetz führen zu zähflüssigen Verkehr und im schlimmsten Fall zu Staubildungen, wodurch der Verkehrsfluss gestört wird. Der „Level of Service“ (LOS) ermöglicht es durch die Einteilung in Nutzungsstufen alle Zustände im Netz darzustellen, wobei die Einteilung der Nutzungs- bzw. Qualitätsstufen durch Qualitätskenngrößen erfolgt. Diese beinhalten die Geschwindigkeit, Dichte, Reisezeit, gegenseitige Beeinflussung, Überholmöglichkeiten und den Auslastungsgrad auf den jeweiligen Streckenabschnitten. Anhand dieser erfolgt eine Einteilung der Qualität des Verkehrsablaufes in 6 Nutzungsstufen, siehe Tabelle 10. Da, nach Schnabel und Lohse [2011] die annehmbaren Verkehrsqualitäten für die freie Strecke nur im stabilen Bereich vor Erreichen der Kapazität gegeben sind, kann nur hier die Zuordnung der LOS A ... D erfolgen. Für den Bereich der Kapazität verbleibt dann LOS E und für das völlig ungenügende Qualitätsniveau im gesamten instabilen Bereich nur LOS F (Schnabel & Lohse, 2011, p. 75).

Tabelle 10: Qualität des Verkehrsablaufs(Schnabel & Lohse, 2011)

LOS	Qualität des Verkehrsablaufs
A	Freier Verkehrsfluss, geringe Dichten, keine Behinderungen, hohe Geschwindigkeiten möglich (Es kann mit der Wunschgeschwindigkeit gefahren werden.)
B	Nahezu freier Verkehrsfluss, Freizügigkeit noch gegeben (Überholmöglichkeiten vorhanden), Behinderungen sehr gering. Noch hohe Geschwindigkeiten möglich
C	Stabiler Verkehrsfluss, Freizügigkeit merklich eingeschränkt, Fahrzeugpuls bilden sich
D	eingeschränkte Freizügigkeit, grenzt an instabilen Bereich
E	Kapazitätbereich wird erreicht, Kolonnenverkehr, Instabilitäten treten auf
F	Instabiler Verkehrsfluss, Stop-and-go-Verkehr, Kapazität wird nicht mehr erreicht

Die zur Verfügung gestellten Daten beinhalten das hochrangige Straßennetz Österreichs mit den dazugehörigen LOS-Bewertungen. Neben den aktuellen Daten wurden noch Prognosedaten zur Verfügung gestellt. In dieser Analyse werden neben dem Jahr 2017 auch die Prognosen für 2020 und 2025 untersucht. Das hochrangige Straßennetz wird in dem Datensatz nach bestimmten Kriterien in Abschnitte geteilt. Neben den geteilten Fahrrichtungen wird das Streckennetz zusätzlich in Abschnitte geteilt. Dabei wird nach jedem Autobahnanschluss oder Knoten mit einem neuen Streckenabschnitt begonnen. Um Bahnhöfe und Haltestellen in Abhängigkeit der Überlastungen im hochrangigen Straßennetz zu bewerten, müssen ihnen Streckenabschnitte zugeordnet werden.

**Abbildung 26: Streckenabschnitt in Abhängigkeit der Richtung und des LOS**

Da die vorhandenen Attribute keine Auskunft hinsichtlich der Ein- und Ausfahrtsrichtung in die zuvor definierten Siedlungsgebiete geben, müssen diese manuell durchgeführt werden. Dabei werden in einem neu erzeugten Attribut die jeweiligen Bewegungsrichtungen mit Hin- und Rückrichtung angegeben. Die Bahnhöfe und Anlagen werden, bis zu einer Luftdistanz zum hochrangigen Netz von 10 km, jeweils dem nächstliegenden Streckenabschnitt der sich in der Hinrichtung zum Siedlungsgebiet befindet zugeordnet. Dabei wird ein neues Attribut erzeugt, welches den LOS des jeweiligen Abschnitts angibt und den Bahnhof oder die Haltestelle auf diese Weise mit dem Streckennetz verknüpft. Da eine Reaktion auf Überlastungen aufgrund der Informationen eines Abschnittes nicht möglich ist, werden die Informationen weiterer in Fahrtrichtung liegenden Abschnitte herangezogen. Dabei wird mit der Funktion „Join Field“ eine Verkettung erzeugt, womit zu der bisherigen Verknüpfung des LOS des nächstliegenden Abschnittes, die Daten der drei Nächsten, in Fahrtrichtung liegenden Abschnitte, angegeben werden, siehe Abbildung 26.¹⁹

3.2.4 Takt an den Bahnhöfen

Als weiteres Kriterium für die Bestimmung der Attraktivität von Mobilitätsknoten mit Park & Ride – Anlagen gilt der zur Verfügung gestellte öffentliche Verkehr. Dabei ist neben der Taktdichte auch die Anzahl der Umsteigevorgänge ausschlaggebend. Eine hohe Taktdichte steigern die Attraktivität eines multimodalen Knotens und führen dazu, dass sich Nutzer eher zum Umstieg auf den ÖV entscheiden. Bei Nutzern von Park & Ride –Anlagen ist ein weiterer Umstieg im ÖV, nach dem Wechsel vom MIV zur Bahn selten. Generell wird während den Hauptverkehrszeiten mindestens ein 30 Minuten Takt in peripheren Regionen an Hauptverkehrsachsen angestrebt. In Ballungsräumen werden 15 Minuten Takte angestrebt. Besonders attraktiv sind Bahnhöfe, wo Strecken zusammenführen und durch mehrere Linien verschiedene Ziele angefahren werden können. (Holz-Rau, et al., 1996, p. 31)

Die häufigen Abfahrten der Bahnen sind dabei für den Nutzer meist wichtiger als die Reisezeit, da die Reisenden sich nicht auf lange Wartezeiten am Bahnsteig einstellen müssen. Ein zusätzlicher Vorteil ist, dass die Park & Ride –Nutzer nicht gleichzeitig sondern über die Hauptverkehrszeit verteilt ankommen. (Holz-Rau, et al., 1996, p. 31)

Die zur Verfügung gestellten Daten der ÖBB geben die Summe der Zughalte je Bahnhof oder Haltestelle getrennt nach Nah- und Fernverkehr im Jahr 2017 an. Da keine weiteren Daten verfügbar sind, werden diese zur Kategorisierung der Bahnhöfe und Haltestellen anhand der Taktdichte angewendet. Um genaue Ergebnisse in der Standortanalyse zu erreichen, sollten Daten über die Taktdichte in der Hauptverkehrszeit zur Verfügung stehen. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit die Taktdichte für jeden Bahnhof oder jede Haltestelle, z.B. Verkehrsauskunft Österreich (VAO, www.verkehrsauskunft.at), einzeln abzufragen. (Schwillinsky, et al., 2018, p. 213)

Um die Summe aller Fahrten zu ermitteln werden der Nah- und Fernverkehr addiert. Die Summe der Abfahrten wird mit dem Faktor 0,5 multipliziert um die Bedienung der Haltepunkte in beide Fahrtrichtungen zu berücksichtigen. Da es sich um Jahreswerte handelt werden diese durch 365 dividiert, um die Tageswerte zu ermitteln. Aufgrund fehlender Informationen zu den Hauptverkehrszeiten, kann durch die Betriebszeit nur ein Durchschnittstakt pro Tag ermittelt werden. Dazu sind die errechneten Werte zusätzlich durch 18 Stunden Betriebszeit (1080 Minuten) zu dividieren. Die Einteilung der Takte an den Bahnhöfen und Haltestellen erfolgen in folgenden Kategorien:

¹⁹<https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.5/tools/data-management-toolbox/join-field.htm> [06.11.2018 - 18:00]

- ≤ 10 min
- ≤ 20 min
- ≤ 30 min
- ≤ 45 min
- ≤ 60 min
- > 60 min

3.2.5 P&R Stellplatzangebot und den Auslastungsgrad

Das für die Standortwahl ebenfalls integrierte Kriterium des Stellplatzangebotes und des Auslastungsgrades, ermöglicht es das Potential der Anlage zu beurteilen. Hohe Auslastungsgrade der bestehenden Stellplätze für PKW, können ein Indikator für einen erfolgreichen zukünftigen Ausbau eines Mobilitätsknoten sein. Anhand vorhandener Konzepte und Ausbaumaßnahmen, können die neuen Konzepte weiterentwickelt und angepasst werden. Dabei sind Anlagen mit mehr als 100 Stellplätzen für künftige Entwicklungen aussagekräftig. Durch Monitoring wird es möglich ausgelastete Anlagen ausfindig zu machen und eventuell mittelfristig Erweiterungen vorzusehen. Ebenso können Park & Ride –Anlagen mit freien Kapazitäten erfasst und der Grund für geringe Auslastungen analysiert werden.

3.2.6 Ergebnisse der Standortanalyse

Die Ergebnisse bilden fünf Kriterien, welche mit den 1069 Bahnhöfen und Haltestellen der ÖBB verknüpft werden. Anhand der Filterfunktion können nach der Wahl bestimmter Kriterien die entsprechenden Bahnhöfe und Haltestellen gewählt werden. Die Ergebnisse können in weiterer Folge durch exaktere oder zukünftige Daten aktualisiert werden. Das Ziel dieser GIS- basierten Standortanalyse ist Aufgrund der zur Verfügung gestellten Daten kein Auswahlverfahren eines bestimmten Standortes, sondern durch die unterschiedlichen Parameter mehrere potientiale Standorte für Mobilitätsknoten auszumachen.

- Lage der Park & Ride –Anlagen

Anhang 1 zeigt die sechs ausgewählten Siedlungsgebiete, welche als Ausgangspunkt für die Standortanalyse dienen. In diesen dicht besiedelten Zentren liegen 97 Bahnhöfe und Haltestellen, welche keinen Einfluss auf eine geringere Staubildung im höherrangigen Straßennetz hätten. Die Lage der Anlagen in diesem Bereich kann sogar zu verstärkten Verkehrsaufkommen führen.

Das Gebiet mit einem Radius von 50 Kilometer um die Siedlungsgebiete weist 732 Stationen auf, welche als potentielle Standorte dienen. Die hohe Anzahl lässt sich durch die Erfassung der wichtigsten Dauersiedlungsgebiete in Österreich erklären. Es muss jedoch beachtet werden, dass sich nicht alle Bahnhöfe in der Nähe des hochrangigen Straßennetzes befinden.

Alle 249 Bahnhöfe und Haltestellen, welche sich außerhalb der definierten Zonen befinden, haben aufgrund der Distanz zu den Siedlungszentren und der geringen Bevölkerungsdichte kein Potential erhebliche Veränderungen im überlasteten Straßennetz hervorzurufen. Abbildung 27 zeigt die zur Verfügung stehenden Bahnhöfe in Abhängigkeit der Lage zum Siedlungsraum.

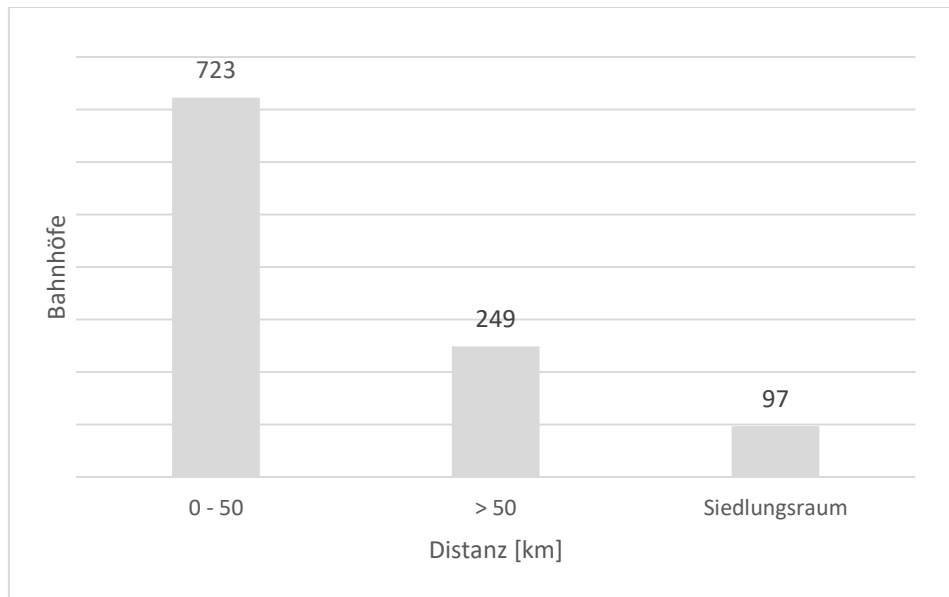


Abbildung 27: Lage der Park & Ride –Anlagen

- Erreichbarkeit

Eine gute Erreichbarkeit der Bahnhöfe und Haltestellen entlang des hochrangigen Netzes ist aufgrund der zahlreichen Autobahn- und Schnellstraßenabfahrten gegeben. Entlang des hochrangigen Netzes liegen die attraktiven Fahrzeiten zwischen 0 – 4 Minuten. Reisezeiten über 4 Minuten erschweren die Konkurrenzfähigkeit zur Autobahn und Schnellstraße. Anhang 2 zeigt die jeweiligen Bahnhöfe bewertet nach der Erreichbarkeit. In Abbildung 28 wird die Anzahl der Bahnhöfe je Erreichbarkeitsintervall angegeben. Die Erreichbarkeit zwischen 0-2 Minuten ist für 92 Bahnhöfe gegeben, diese liegen dicht an dem Autobahn- und Schnellstraßennetz. Weitere 188 Bahnhöfe weisen mit einer Erreichbarkeit von 2-4 Minuten ebenfalls eine gute Erreichbarkeit auf. Zu potentielle Standorte von Park & Ride -Anlagen können auch jene 147 Standorte betrachtet werden die eine Erreichbarkeit von 4-6 Minuten aufweisen, jedoch erschwert diese Fahrzeit die Konkurrenz zum Pkw.

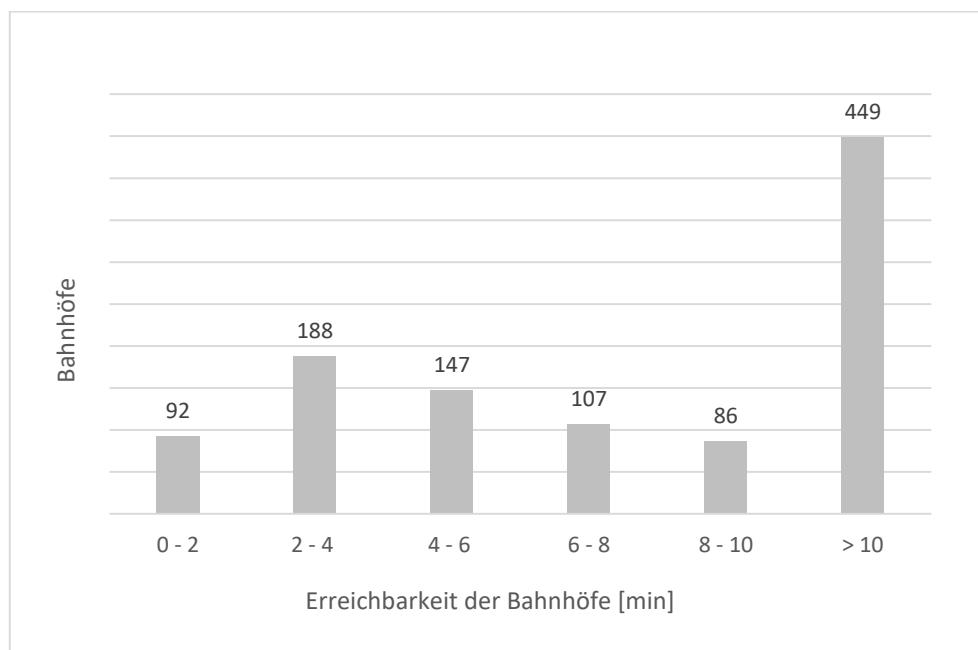


Abbildung 28: Erreichbarkeit der Bahnhöfe und Haltestellen

- LOS-Bewertung

Die LOS-Bewertung zeigt hohe Belastungen in den zuvor definierten Siedlungsräumen. Entlang der Zufahrtsachsen in Richtung der großen Zentren lässt sich erkennen, dass die Qualität des Verkehrsflusses bereits am instabilen Bereich grenzt oder diesen schon erreicht hat. Besonders in diesen Bereichen eignen sich Park & Ride –Anlagen besonders gut. Die Ergebnisse für 2020 und 2025 bestätigen, dass die Überlastung im hochrangigen Netz in den nächsten Jahren weiter zunimmt. Anhang 3 zeigt die einzelnen Bahnhöfe in Abhängigkeit des LOS im Jahr 2017. In Abbildung 29 wird die Anzahl der Bahnhöfe je LOS Bewertung für die Jahre 2017, 2020 und 2025 angegeben. Die für das Jahr 2020 durchgeführte Analyse zeigt im Bereich LOS D insgesamt 138 Bahnhöfe, sowie in LOS E weitere 40 Bahnhöfe, die sich für die Nutzung von Park & Ride anbieten würden. Durch die Prognose für das Jahr 2025 nimmt die Anzahl der potentiellen Bahnhöfe in LOS D um 28 und im LOS E um weitere 8 Bahnhöfe zu. Durch Park & Ride –Anlagen an diesen Abschnitten könnte die Anzahl an Überlastungen abgemindert werden.

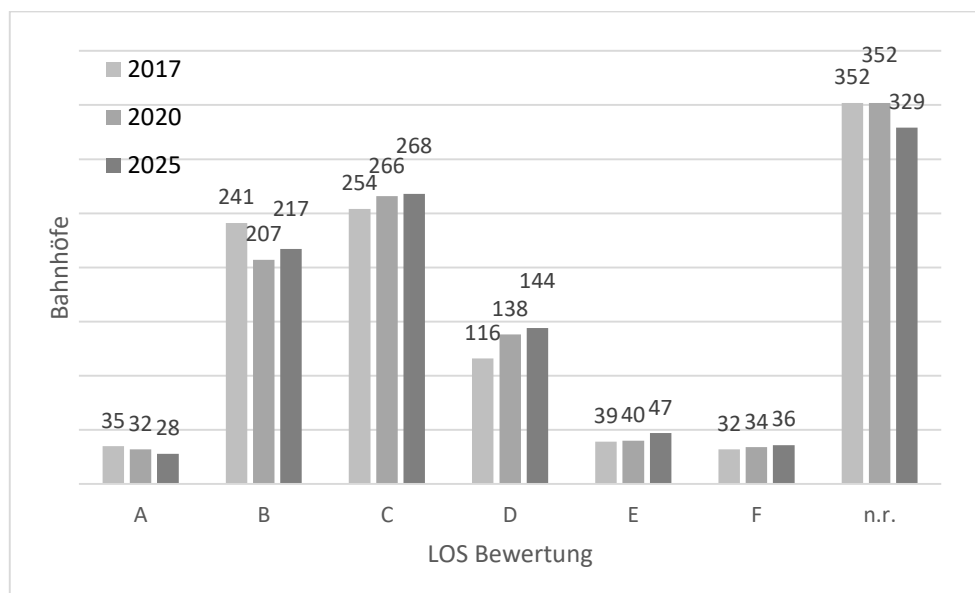


Abbildung 29: LOS-Bewertung in Bezug auf die Lage der Bahnhöfe

- Takt an den Bahnhöfen

Die Abfahrten liegen in den dicht besiedelten Zentralräumen weit höher als in den peripheren Gebieten, wie in Anhang 4 zu sehen ist. Die Einführung von flächendeckenden S-Bahn-Systemen hat in den letzten Jahren zu einer Verbesserung der Taktichten entlang der Zubringerachsen geführt. Für Bahnhöfe und Haltestellen sind Taktichten von mindestens 30 Minuten eine Mindestanforderung für einen erfolgreichen Umstieg auf Park & Ride. Abbildung 30 zeigt, dass 171 Bahnhöfe eine Taktichte von mindestens 30 Minuten aufweisen. Jedoch ist der größte Teil des dichten Taktangebotes nicht für Park & Ride Anlagen geeignet, da sich diese in den Ballungsgebieten befinden. Auffällig ist, dass mehr als die Hälfte aller Bahnhöfe in Österreich einen Stundentakt oder mehr aufweisen. Die Bahnhöfe werden auch in näherer Zukunft nicht als potentielle Standorte für Park & Ride infrage kommen. Eine Verbesserung des ÖV- Angebotes an den Grenzen der Ballungsräume könnte zu einer weit höheren Akzeptanz bei Park & Ride führen, und frühzeitig zur Entlastung des hochrangigen Straßennetzes beitragen.

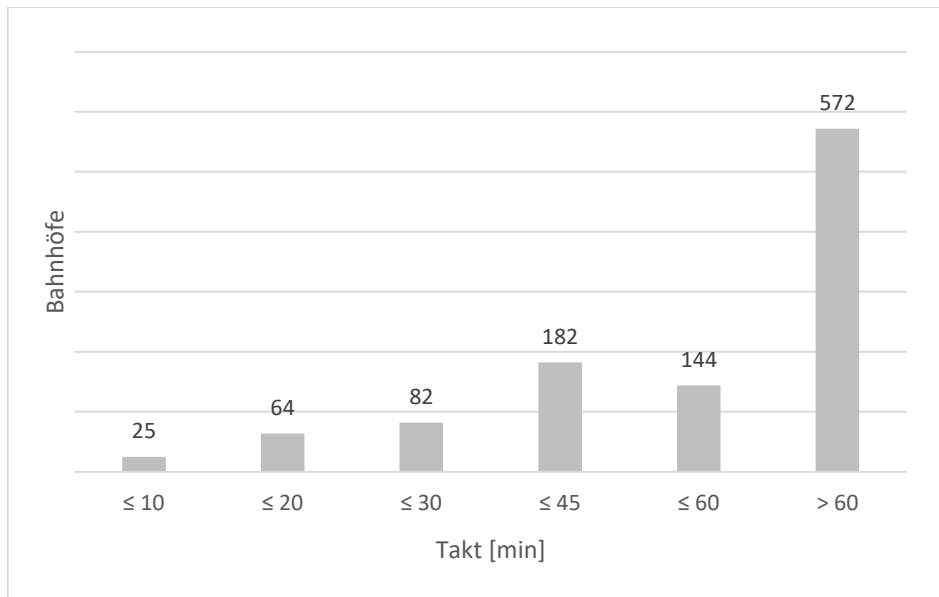


Abbildung 30: Takt an den Bahnhöfen

- P&R Stellplatzangebot und Auslastung

Als zusätzliches Kriterium sind die Werte jener Bahnhöfe und Haltestellen, mit bereits vorhandenen Park & Ride –Parkplätzen, untersucht worden. Dabei können 160 Park & Ride Anlagen eine Kapazität von 100 Parkplätzen und mehr aufweisen. All diese Anlagen werden mit den Daten zur Auslastung im Anhang 5 dargestellt. Der überwiegende Teil der Park & Ride –Anlagen befindet sich in der Ostregion Österreichs, die das Einzugsgebiet Wiens abdeckt. In diese, Gebiet befinden sich auch die größten Park & Ride –Anlagen. Es zeigt sich, dass die 160 Park & Ride –Anlagen mit mehr als 100 Stellplätzen, unabhängig von der Lage, eine hohe Auslastung aufweisen.

Anhand der Ergebnisse der Standortanalyse werden folgende Parameter für die Standortauswahl gewählt:

- Erreichbarkeit: 0-4 min
- Lage: 0 – 50 km
- LOS 2017: Kategorien D – E
- Takt: < 30 min
- P&R Stellplatzangebot: > 100 Stellplätze

Die gewählten Parameter bestimmen jene Standorte, die als mögliche Mobilitätsknoten mit Park & Ride -Anlage, zu einer Entlastung des hochrangigen Netzes beitragen können. Dabei werden die folgenden 6 Bahnhöfe bestimmt:

- Bhf. Stockerau (Niederösterreich)
- Bhf. Leobersdorf (Niederösterreich)
- Bhf. Gleisdorf (Steiermark)
- Bhf. Hallein (Salzburg)
- Bhf. Jenbach (Tirol)
- Bhf. Schwaz (Tirol)

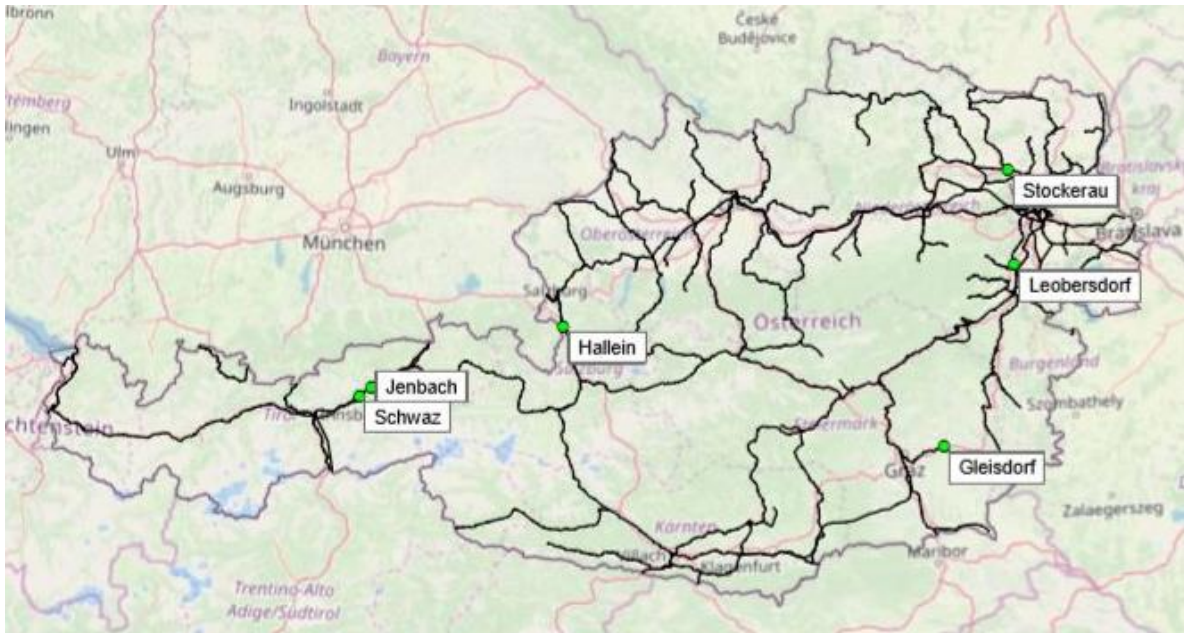


Abbildung 31: Gewählte Bahnhöfe aus der Standortanalyse

In Abbildung 31 wird die Lage der gewählten Bahnhöfe aus der Standortanalyse dargestellt. In Anhang 6 wird zu den 6 gewählten Bahnhöfen eine erweiterte Tabelle erstellt, die weitere 27 Bahnhöfe und Haltestellen beinhaltet die sich ebenfalls als Standorte für Park & Ride –Anlagen eignen. Somit wurde mit der Standortanalyse insgesamt 33 Bahnhöfe als Park & Ride –Standorte bestimmt.

4 Verkehrsmodellgestützte Detailanalyse

Der erste Teil dieses Kapitels soll in Abschnitt 4.1 und 4.2 einen Überblick über die Grundlagen von Verkehrsmodellen schaffen, beginnend mit der Unterscheidung der Modelle, sowie deren Aufbau und Struktur. Im weiteren Verlauf werden die Begriffe Planungsraum, das Verkehrsangebot sowie die Verkehrsnachfrage beschrieben. Besonderes Augenmerk wird auf das Nachfragemodell Standard-Vier-Stufen-Modell gelegt, mit dem eine Nachfragemodellierung durchgeführt wird. Danach wird im Abschnitt 4.3 auf das Nachfragemodell VisEVA eingegangen, und in Abschnitt 4.4 das darauf basierende ITS Vienna Region Verkehrsnachfragemodell vorgestellt. Das im letzten Abschnitt erstellte Standard-Vier-Stufen-Nachfragemodell wird auf den verfügbaren Daten des ITS Vienna Region Modell aufgebaut und dient in weiterer Folge der Park & Ride Modellierung.

Verkehrsmodelle dienen in einem Planungs- oder Untersuchungsgebiet der realitätsnahen Abbildung von Verkehrsvorgängen. Die Angebots- und Nachfragemodellierung eines Verkehrsmodells bilden dabei die Grundlage, wobei das Verkehrsangebot eine Abbildung der Verkehrsinfrastruktur mit den zugehörigen ÖV-Angebot des Planungsgebietes ist auf dem das Verhalten der Verkehrsteilnehmer, die Verkehrsnachfrage, abgebildet wird. Verkehrsmodelle werden angewendet, wenn die Auswirkungen durch Änderungen im Verkehrssystem untersucht werden und wenn Erhebungen aufgrund eines hohen Aufwandes nicht möglich ist. Durch das Modell können Planfälle entwickelt und simuliert werden, um die Wirkungen einschätzen zu können. Eine maßgebliche Rolle bei Verkehrsmodellen spielen die Daten. Prinzipiell gilt, je höher die Genauigkeit eines Verkehrsmodells sein soll, desto umfangreicher müssen die implementierten Daten sowie der Rechenaufwand sein. (Köhler, 2014, p. 31)

4.1 Kategorisierung von Verkehrsplanungsmodellen

Die Verkehrsmodelle können hinsichtlich des Grades der Disaggregation in aggregierte und disaggregierte Modelle unterschieden werden. Aggregierte Verkehrsmodelle schließen individuelle Entscheidungsträger zu großen Personengruppen zusammen, mit der Annahme, dass sich alle Mitglieder dieser Personengruppe homogen verhalten, umso das Verkehrsverhalten von größeren Gruppen zu modellieren. Es können Veränderungen im Verkehrsablauf erfasst werden, jedoch ohne die Möglichkeit näher auf die Ursachen einzugehen. Aggregierte Modelle beziehen sich nicht auf statische Einzelpersonen und sind daher stets makroskopisch. Diese Modelle stellen im Gegensatz zu dem disaggregierten Modellen weniger Ansprüche an das vorhandene Datenmaterial, und können durch statistisches Grundmaterial gewonnen werden. (Lohse & Schneider, 1997, pp. 51,53)

Bei disaggregierten Verkehrsmodellen werden im Gegensatz zu den aggregierten Modellen die individuellen Entscheidungen von Personen oder verhaltenshomogenen Gruppen modelliert, somit steht das individuelle Entscheidungsverhalten von einzelnen Personen (oder Gruppen) im Vordergrund. Bei disaggregierten Verkehrsmodellen besteht sowohl die Möglichkeit einer makroskopischen als auch einer mikroskopischen Betrachtungsweise. Disaggregierte, makroskopische Modelle bilden das zu erwartende Verkehrsverhalten in allen Schichten mittels Wahrscheinlichkeitsaussagen der Aktivitäten der verhaltenshomogenen Gruppen mit den typischen Merkmalen durch mathematische Algorithmen ab. Durch den steigenden Grad der Disaggregation steigen auch die Anforderungen an die Datengrundlagen, welche aufwendig erhoben werden müssen. Typische Beispiele für makroskopische Verkehrsmodelle sind VISEM und EVA. In disaggregierten, mikroskopischen Modellen wird dagegen das zu erwartende Verkehrsverhalten in allen Schichten

mittels Wahrscheinlichkeitsaussagen der Aktivitäten von einzelnen, statischen Modellen abgebildet. (Lohse & Schneider, 1997, p. 55)

4.1.1 Planungsraum und Untersuchungsgebiet

Als Planungsraum wird als ein räumliches Gebiet definiert, in dem durch unterschiedliche Handlungen Veränderungen im Verkehrssystem bewirkt werden können. Grundsätzlich wird ein Planungsraum auf die administrativen Grenzen verwaltungspolitischer Gebiete bezogen. Das Untersuchungsgebiet umfasst das mögliche Einzugsgebiet des Planungsraumes und ist daher auch größer. Untersuchungsgebiete sollen so gewählt werden, dass der Verkehr, welcher an dem Außenkordon als Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr vorhanden ist, gegenüber dem Binnenverkehr nicht entscheidend ist. Oft ergeben sich über administrative Grenzen hinaus Verkehrsbeziehungen die über die Außenkordone einen erheblichen Einfluss auf das Modell haben. Diese müssen gegebenenfalls gesondert betrachtet werden. Der Aufbau eines Verkehrsmodells erfolgt durch die Erzeugung von Verkehrszellen. Die Größe der Verkehrszellen ist abhängig von Ergebnissen die ein Verkehrsmodell liefern soll. Generell sollen Verkehrszellen so modelliert werden, dass Binnenverkehre darin nicht auftauchen, jedoch ist dies meist nur in kleineren Modellen möglich. Die im Untersuchungsraum umfassenden Verkehre werden als Quell-, Ziel-, Binnen- und Durchgangsverkehr. Binnenverkehre haben als Start- und Endpunkte Verkehrszellen im Untersuchungsgebiet, wohingegen bei Quell-, Ziel-, und Durchgangsverkehr die Verkehre nur im Untersuchungsgebiet beginnen, enden oder den Bezirk durchqueren, siehe Abbildung 32. (Steierwald, et al., 2005, p. 250)

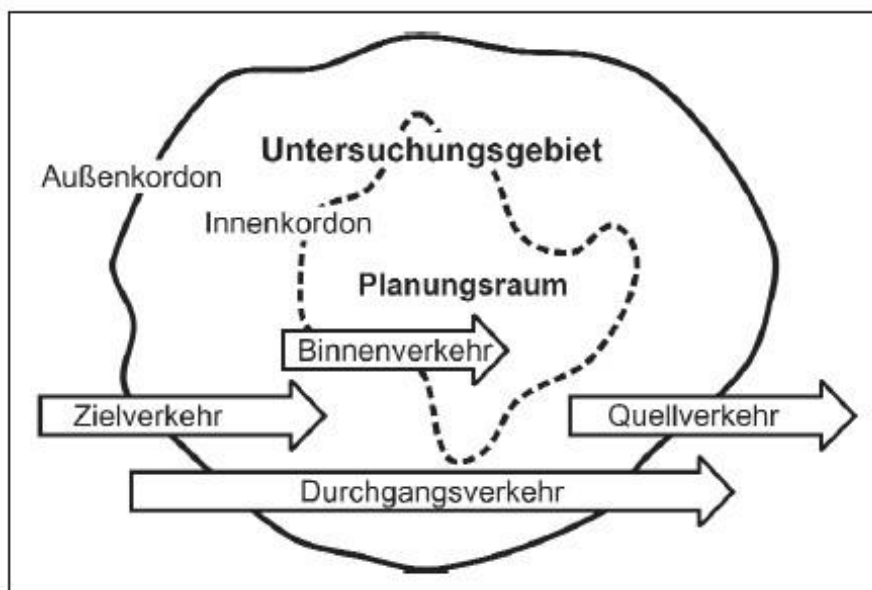


Abbildung 32: Einteilung nach Planungsraum und Untersuchungsraum sowie den Verkehrsarten(Steierwald, et al., 2005, p. 250)

4.1.2 Verkehrsangebot

Unter dem Begriff Verkehrsangebot werden alle zuordenbaren Elemente zusammengefasst, aus welchen ein Netzmodell erstellt wird. Die Elemente umfassen Verkehrssysteme, Verkehrszellen (Bezirke), Knoten, Haltestellen, Strecken sowie ÖV –Linien mit den damit verbundenen Fahrplänen. (PTV Planung Transport Verkehr AG, 2017)

Die in Verkehrsmodellen erzeugten Netze werden durch die Graphentheorie beschrieben, in dem Knoten als Kreuzungen und Kanten als Strecken definiert werden. Jede Strecke besitzt dabei einen Anfangs- und Endknoten. (Schiller, 2007) Zusätzlich werden für jede Strecke Attribute bestimmt, wobei das zulässige Verkehrssystem (z.B. Fuß, Rad, MIV), die Fahrgeschwindigkeit und die Kapazität die Wichtigsten darstellen. Die Kapazität bestimmt die Grenze der Verkehrsbelastung (Fhz/Zeiteinheit), bei der der maximale Verkehrsfluss erreicht wird. Die Fahrgeschwindigkeit v_0 bestimmt jene Geschwindigkeit, die im unbelasteten Netz erreicht werden kann. Je höher die Verkehrsbelastung einer Strecke ist, desto länger wird die Reisezeit. Der Zusammenhang zwischen der Verkehrsbelastung und der Kapazität und der damit verbundenen Reisezeit kann durch eine Kapazitätsbeschränkungsfunktion (CR-Funktion) beschrieben werden, siehe Abschnitt 4.2.4.

Die Netzobjekte Abbieger und Anbindungen sind ebenfalls ein Teil des Verkehrsangebots. Die Abbieger definieren die Abbiegerelationen zwischen einzelnen Strecken. Dabei kann die Leistungsfähigkeit eines Abbiegers durch die Kapazität und den Zeitverlust für das Abbiegemanöver bestimmt werden. Über die Anbindungen werden die Verkehrszellen (Bezirke) an das Verkehrsnetz angeschlossen, wodurch die Verkehrsnachfrage eingespeist wird. Der öffentliche Verkehr besteht ebenfalls aus den gleichen Netzobjekten, wobei auch zusätzliche Netze, wie das Schienennetz, erstellt werden müssen und durch Haltestellen und Fahrpläne ergänzt werden.

4.1.3 Verkehrsnachfrage

Nach Schiller [2007] kann die Verkehrsnachfrage grundsätzlich als die Befriedigung des Bedürfnisses Fortbewegung definiert werden. Das Bedürfnis Fortbewegung entsteht durch unterschiedliche Aktivitäten wie z.B. Wohnen, Arbeiten, Freizeit etc. da dazu die Überwindung von räumlicher Distanz erforderlich ist. Daraus lässt sich schließen, dass dem Begriff Verkehrsnachfrage alle Ortveränderungen von Subjekten (z.B. Personen) oder Objekten (z.B. Fahrzeugen) zu verstehen sind, die unter den politischen, ökonomischen und verkehrsplanerischen Gegebenheiten realisiert werden. (Schiller, 2007, p. 48)

In der Regel kann das Aktivitätenbedürfnis einer Person an mehreren Zielorten befriedigt werden. Ein Entscheidungsprozess regelt die Wahl eines konkreten Zielortes über Auswahlwahrscheinlichkeiten. Zielorte mit einem geringen Wegeaufwand und einer hohen Zielattraktivität werden bevorzugt. In den Entscheidungsprozess können Wahlparameter einzelner verhaltenshomogener Gruppen einfließen, die jedoch meist nur schwer zu messen und zu kalibrieren sind.

4.2 Vier-Stufen-Modell

Der Begriff Vier-Stufen-Verkehrsmodell beschreibt eine sequentielle Verfahrensweise, in der die Entscheidungskriterien Aktivitätenwahl, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl und die Routenwahl die Basis bilden. Dabei wird ein Verkehrsteilnehmer zum Untersuchungsgegenstand, wodurch man von einem verhaltensorientierten Ansatz spricht. Der Standard-Vier-Stufen-Algorithmus besteht aus den folgenden vier Verfahrensschritten:

- Verkehrserzeugung (Aktivitätenwahl)
- Verkehrsverteilung (Zielwahl)
- Verkehrsmittelwahl
- Verkehrsumlegung (Routenwahl)

Verkehrsnachfragemodelle bilden die Entscheidungen auf Basis von Algorithmen und mathematischen Gleichungen. Aufgrund der vielen möglichen Entscheidungsfaktoren, ist eine reale Abbildung jedoch nicht möglich. Der Standard-Vier-Stufen-Algorithmus führt die Entscheidungsebenen Verkehrsverteilung und Moduswahl in nacheinander abgeschlossenen Schritten, was in der Realität nicht der Fall ist. In Abbildung 33 werden neben dem Vier-Stufen-Algorithmus, welcher den Entscheidungsprozess eines Verkehrsteilnehmers in vier Teilentscheidungen zerlegt auch das Zwei-Stufen-Modell dargestellt. In diesem Modell werden die Abhängigkeiten zwischen den Teilentscheidungen durch ein Gesamtmodell für die Verkehrsnachfrage bereits im Modellansatz berücksichtigt. (Schütte, 2000)

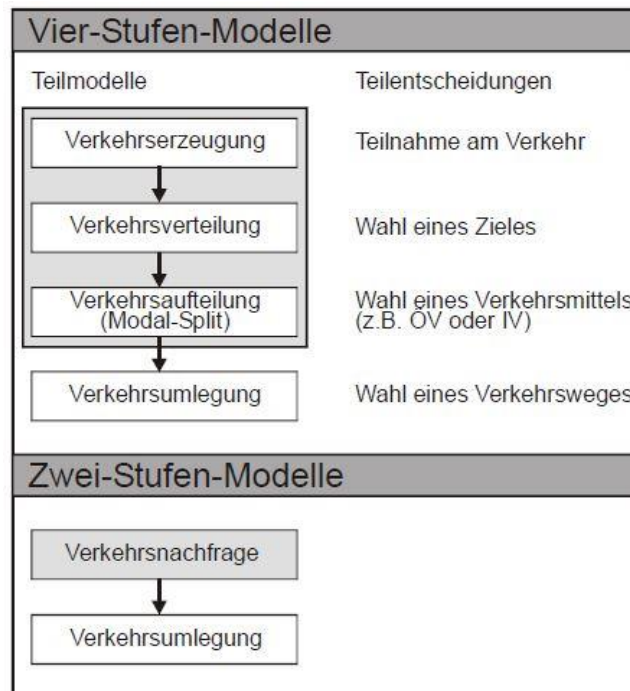


Abbildung 33: Unterscheidung von Verkehrsnachfragemodellen

Die folgenden Abschnitte dienen zur Erläuterung der einzelnen Verfahrensschritte, wobei nicht im Detail darauf eingegangen wird.

4.2.1 Verkehrserzeugung

Verkehrserzeugungsmodelle haben die Aufgabe, das Verkehrsaufkommen, also die Zahl der Ortsveränderungen zu ermitteln, welche von der Bevölkerung innerhalb einer Verkehrszelle innerhalb eines bestimmten Zeitraumes zurückgelegt wird. Die Verkehrserzeugung dient dabei zur Ermittlung des Quell-, Ziel- und Gesamtverkehrsaufkommens. Verkehrserzeugungsmodelle können je nach den Bezugsgrößen des Verkehrsaufkommens in Raumaggregatmodelle und Individualverhaltensmodelle unterschieden werden.

Raumaggregatmodelle

Ein Raumaggregatmodell ermittelt mittels analytischer Funktionen die Gesamtanzahl der Wege die eine Verkehrszelle verlassen oder diese als Ziel haben. Der Quell- und Zielverkehr einer Zelle wird von den Siedlungsstrukturgrößen wie der Anzahl der Einwohner, der Arbeitsplätze, etc. ermittelt. Dabei kann auch nach einem bestimmten Zeitraum (z.B. Werktag) spezifiziert werden. Quell- und Zielverkehre können wie folgt berechnet werden:

Quellverkehr Q:

$$Q_i = P_i = p_1 * X_{1i} + p_2 * X_{2i} + \dots + p_n * X_{ni} \quad (2)$$

Zielverkehr Z:

$$Z_i = A_i = a_1 * X_{1i} + a_2 * X_{2i} + \dots + a_n * X_{ni} \quad (3)$$

mit:

X_{ni}	Strukturgröße k der Zelle i, unterschiedlich für jede Zelle
P_n, a_n	Einfluss der Strukturgröße X_n auf das Verkehrsaufkommen, für alle Zellen gleich

Individualverhaltensmodelle

In Abhängigkeit der soziodemographischen Merkmale ist es möglich das Verkehrsaufkommen für eine Person oder für Personengruppen zu ermitteln. Dabei sind das Alter, die Erwerbstätigkeit und die Pkw-Verfügbarkeit wichtige Variablen für die Bestimmung der individuellen Wegehäufigkeit. Individualverhaltensmodelle werden in drei Unterkategorien unterteilt (Steierwald, et al., 2005, p. 262):

- Personengruppenmodelle
- Ökonomische Modelle
- Individualfaktorenmodelle

Personengruppenmodelle ermitteln die Verkehrsnachfrage aus verhaltenshomogenen Personengruppen und den jeweiligen Verhaltensmustern. Das Individualfaktorenmodell bestimmen das Verkehrsaufkommen eines Individuums durch die Wirkungen individueller Faktoren auf die Aktivitätennachfrage. (Schütte, 2000, p. 17)

In der Verkehrserzeugung werden die Randsummen der jeweiligen Verkehrszellen berechnet, daher ist bekannt wie viel Verkehr im Modell erzeugt wird. Unbekannt sind aber weiterhin die Quell- Ziel-Beziehungen zwischen den Verkehrszellen. Diese wird in der zweiten Stufe des Algorithmus, Verkehrsverteilung berechnet.

4.2.2 Verkehrsverteilung

Unter der Verkehrsverteilung erfolgt die Aufspaltung und Zuordnung eines Quellverkehrsaufkommens Q_i des Quellverkehrsbezirks i auf die möglichen Zielverkehrsbezirke j sowie eines Zieleverkehrsaufkommens Z_j des Zielquellbezirks j auf die möglichen Quellverkehrsbezirke i. Aufgrund der komplexen Wirkung sind die Verteilungsrichtungen voneinander abhängig. (Schnabel & Lohse, 2011, p. 281)

Als Verteilungsmodelle werden am häufigsten das Gravitationsmodell und das Nutzenwirkungsmodell angewendet. Gravitationsmodelle werden aus dem Newton'schen Gravitationsgesetz der Mechanik abgeleitet, wo sich Verkehrszellen ähnlich wie Massepunkte verhalten und Gravitationskräfte wirken. Die verkehrswirksamen Potentiale beeinflussen die Anzahl der Ortsveränderungen zwischen den Verkehrszellen und nehmen mit zunehmender Distanz ab. Die quellseitig gekoppelten Gravitationsmodelle berechnen den Verkehrsstrom, wobei das Quellverkehrsaufkommen als

Randsummenbedingung stets erfüllt sind. Das quell- und zielgekoppelte Gravitationsmodell wird durch zusätzliche Randbedingungen definiert, die erfüllt werden müssen. (Schnabel & Lohse, 2011, p. 291)

Das Nutzenmaximierungsmodell geht davon aus, dass ein Verkehrsteilnehmer seine Nutzenfunktion und alle Alternativen kennt und jene Alternative die den höchsten Nutzen erlaubt wählt. Es werden deterministische und stochastische Nutzenkomponenten verwendet, welche auf verschiedenen Logit-Modellen basieren. In beiden Modellen werden Widerstandsfunktionen angewendet, wodurch die Wahl des Zielortes beeinflusst wird. Besonders wichtig sind dabei die Einflussfaktoren Entfernung, Reisezeit und die Reisekosten (Vrtic, 2003, p. 8)

4.2.3 Verkehrsaufteilungsmodelle (Verkehrsmittelwahlmodell)

Die Verkehrsmittelwahl wird ausgeführt um die aus der Verkehrsverteilung berechnete Nachfragematrix, welche die gesamte Verkehrsnachfrage abbildet, nach den möglichen Verkehrsmodi aufzuteilen. Dabei kann bei den Verkehrsaufteilungsmodellen, abhängig von der gewünschten Genauigkeit oder den vorhandenen Daten, zwischen dem bimodalen Split (MiV und ÖV) und dem multimodalen Split (Fuß, Fahrrad, MiV oder ÖV) unterschieden werden. (Fellendorf, 2012)

Um eine Maßnahmenempfindlichkeit bei den Verkehrsmittelwahlmodellen zu erreichen, müssen die auf den Verkehrsteilnehmer möglichen Einflüsse, wie objektive Faktoren (z.B. keine Wahl zwischen mehreren Verkehrsmitteln) oder subjektive Faktoren (z.B. fehlende Information, persönliche Einstellung gegenüber einem bestimmten Verkehrsmittel), berücksichtigt werden (Schütte, 2000). Daraus unterscheidet man bei bimodalen Modellen häufig drei Nutzungsfälle. Diese umfassen die MiV-gebundenen Verkehrsteilnehmer („captive drivers“), die ÖV-gebundenen Verkehrsteilnehmer („captive riders“) sowie die wahlfreien Verkehrsteilnehmer („choice riders“). Da die wahlfreien Verkehrsteilnehmer die Möglichkeit haben sich über die verfügbaren Modi zu informieren, treffen diese eine Wahl die den maximalen Nutzen bewirkt. Als Verkehrsmittelwahlmodell werden dafür häufig Logit-Modelle angewendet, um damit die Wahrscheinlichkeit der Nutzung eines verfügbaren Modi zu berechnen. (Steierwald, et al., 2005, p. 283)

$$P_{gijm} = \frac{e^{V_{gijm}}}{\sum_{k=1}^M e^{V_{gijk}}} \quad (4)$$

mit:

i, j	Indizes der Verkehrszellen
P_{gijm}	Auswahlwahrscheinlichkeit für Modus m durch Personengruppe g
V_{gijm}	objektiver Nutzenbetrag von Modus m für Personengruppe g
M	Zahl der alternativen Modi

Mit diesem Ansatz werden dabei nur die objektiven Faktoren berücksichtigt. Das Logit-Modell wird kalibriert, indem zusätzlich Hausbefragungen durchgeführt werden. Nested-Logit-Modelle werden am häufigsten verwendet um den Modi der wahlfreien Verkehrsteilnehmer zu berechnen. (Fellendorf, 2012)

4.2.4 Verkehrsumlegungsmodelle (Routenwahlmodell)

Da die Verkehrsziel- und die Verkehrsmittelwahl (Moduswahl) abgeschlossen wurden, wurden Nachfragematrizen für die unterschiedlichen Modi gebildet. Diese dienen nun zur Umlegung des

Verkehrsaufkommens auf das Verkehrsangebot (Verkehrsnetz). Die letzte Stufe des Vier-Stufen-Modells ermittelt durch das Routensuchverfahren zuerst die möglichen Routen im Netzmodell. Anschließend wird durch das Routenwahlverfahren das Wahlverhalten der Verkehrsteilnehmer und die Aufteilung der Verkehrsströme auf das Verkehrsnetz berechnet. (Schiller, 2007, p. 105)

Die Routenwahlmodelle werden in vier unterschiedliche Verfahren klassifiziert (Schütte, 2000, p. 21):

- Klassische Bestwegverfahren (Alles-oder-Nichts)
- Klassische Mehrwegverfahren (Alternativroutensuchverfahren)
- Belastungsabhängige Mehrwegverfahren (Sukzessivverfahren)
- Gleichgewichtsmodelle

Das klassische Bestwegverfahren ist der einfachste Ansatz, wo jeder Verkehrsteilnehmer den kürzesten Weg wählt um das Ziel zu erreichen. Durch die Wahl des Verkehrsteilnehmers beeinflusst dieser aufgrund der erhöhten Belastung des Verkehrsnetzes andere Verkehrsteilnehmer. Aufgrund der belastungsunabhängigen Routenwahl (d.h. keine Routenänderung aufgrund von auslastungsabhängigen veränderten Streckengeschwindigkeiten) eignen sich die Logit-Modelle nur bedingt für die Verkehrsumlegung, wie z.B. beim Fahrradverkehr.

Das klassische Mehrwegverfahren oder Alternativverfahren wendet zur Umlegung des Verkehrs den Ansatz des Kirchhoff'schen Gesetzes aus der Elektrizitätslehre an.

Das Sukzessivverfahren nutzt Iterationsschritte, um in mehreren Schritten einen bestimmten Anteil der Verkehrsnachfrage auf dem Verkehrsnetz aufzuteilen. In jedem Schritt wird der Anteil auf jene Route gelegt, welche im neuen Berechnungsschritt den geringsten Widerstand aufweist. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange bis alle Verkehrsteilnehmer auf das Verkehrsnetz umgelegt wurden. Die Vorteile dieses Verfahrens ist die kurze Rechenzeit, jedoch hängen die Umlegungsergebnisse stark von den Anteilen der Verkehrsnachfrage je Iterationsschritt ab, wodurch nur eine näherungsweise Lösung erreicht wird. Wird die gesamte Verkehrsnachfrage in einem Iterationsschritt umgelegt, so spricht man von einem Bestwegverfahren.

Gleichgewichtsmodelle können nach zwei Ansätzen zur Optimierung der Zielfunktion unterschieden werden:

- Das Nutzeroptimum (erstes Wardrop'sches Prinzip):
Das Prinzip besagt, dass alle Verkehrsteilnehmer die Routen so wählen, dass sich auf allen Routen der gleiche Widerstand einstellt und die Reisezeit auf den nicht benutzten Routen mindestens den gleichen oder einen höheren Widerstand aufweisen müssen. Somit ergibt sich, dass sich kein Verkehrsteilnehmer durch das Wechseln auf eine andere Route einen Vorteil verschaffen kann. (Schnabel & Lohse, 2011, p. 429)
- Das Systemmodell (zweites Wardrop'sches Prinzip):
Die Route wird vom Verkehrsteilnehmer so gewählt, dass die Summe der Fahrzeiten minimal wird und somit ein Optimum im Verkehrsnetz erreicht wird (Schütte, 2000, p. 21). Es kann somit nur ein persönlicher Vorteil für den Verkehrsteilnehmer erzielt werden, wenn mindestens ein anderer Verkehrsteilnehmer dadurch einen Nachteil erleidet. (Fellendorf, 2012)

Gleichgewichtsmodelle setzen in der Theorie voraus, dass alle Verkehrsteilnehmer jederzeit über den Verkehrszustand auf den Routen informiert sind, was in der Realität nicht möglich ist. Trotzdem können damit reale Verkehrsverhaltensweisen relativ gut abgebildet werden.

CR-Funktion

Um die Verkehrsumlegung durchzuführen wird das Verkehrsnetz durch das Verkehrsaufkommen belastet. Bei erhöhter Verkehrsbelastung führt die zu einer sinkenden Reisegeschwindigkeit und einer erhöhten Reisezeit. Dabei verläuft die Routenwahl nach einem Algorithmus, welcher jene Route mit dem geringsten Widerstand wählt. Als Widerstand gehen dabei die Reisezeiten der in Abschnitt 4.1.2 angeführten Anbindungen, Strecken und Abbieger ein. Der Zusammenhang zwischen der Kapazität und der aktuellen Verkehrsbelastung wird durch die Capacity-Restraint-Funktion (CR-Funktion) hergestellt. Durch die Kapazitätsbeschränkungsfunktion kann die Berechnung der aktuellen Reisezeit in einem belasteten Netz durchgeführt werden. Es existieren unterschiedliche CR-Funktionen, wobei die gängigste Funktion die BPR-Funktion (Bureau of Public Roads-Funktion) ist. (U.S. Bureau of Public Roads, 1964)

$$t_{akt} = t_0 \cdot \left(1 + a \cdot \left(\frac{q}{c \cdot q_{max}} \right)^b \right) \quad (5)$$

mit:

t_{akt} = aktuelle Reisezeit im belasteten Netz

t_0 = Reisezeit im unbelasteten Netz

q = aktuelle Belastung

q_{max} = maximale Belastung

a, b, c = Parameter

Die Abbildung 34 zeigt die CR-Kurvenverläufe für die Parameter $a = 1$ und $c = 1$, wobei der Parameter b zwischen den Werten 2 und 5 variiert. Die Erhöhung des Parameters b führt dazu, dass sich die Reisezeit nach dem Erreichen der Kapazität erhöht. Bis zur Erreichung der Kapazitätsgrenze, nähern sich Kurvenverläufe mit einem hohen b – Parameter näher an die Null-Reisezeit an, als Kurvenverläufe mit einem niedrigen Wert. Dadurch ist es im Modell auch möglich eine Verkehrsbelastung zu erreichen, welche über der Kapazität liegt (Übersättigung). Diese Überschreitung ist auch in der Realität möglich, jedoch nur für einen kurzen Zeitraum. Aufgrund verschiedener Streckentypen müssen anhand der Eigenschaften die entsprechenden CR-Funktionen gewählt werden.

Der Parameter c bezieht sich auf den Analysezeitraum in einem Modell, wobei es Stunden- oder Tagesverkehrsmodelle gibt. Stimmen der Zeitbezug für die Kapazität und das Modell überein, wird der Wert $c = 1$ gewählt. Im Fall von Tagesmodellen wird mit dem Parameter c angegeben, wie groß der Anteil der Spitzenstunde am Gesamtverkehrsanteil in Prozent ist.

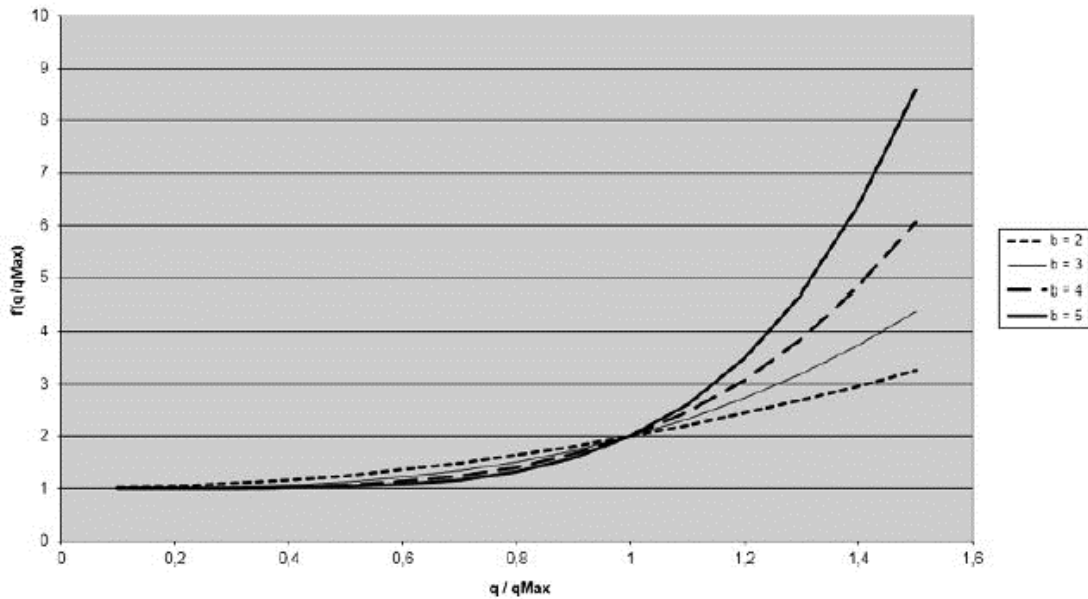


Abbildung 34: CR-Funktionstyp BPR mit $a=1$, $c=1$ und Variationen des Parameter b

4.3 Verkehrsnachfrage VisEVA

Da das als Grundlage dieser Arbeit verwendete Modell als VisEVA Nachfragemodell (Verkehr in Städten und Regionen Erzeugung Verteilung Aufteilung) aufgebaut wurde, wird ein kurzer Überblick über dieses Nachfragemodell geschaffen. VisEVA ist ein simultan arbeitendes Nachfragemodell, siehe Abbildung 35, welches es ermöglicht, anders als der Vier-Stufen-Algorithmus, das Verkehrsverhalten mit einer geringeren Rechenzeit und einer geringeren Anzahl von Rücksprüngen abzubilden.

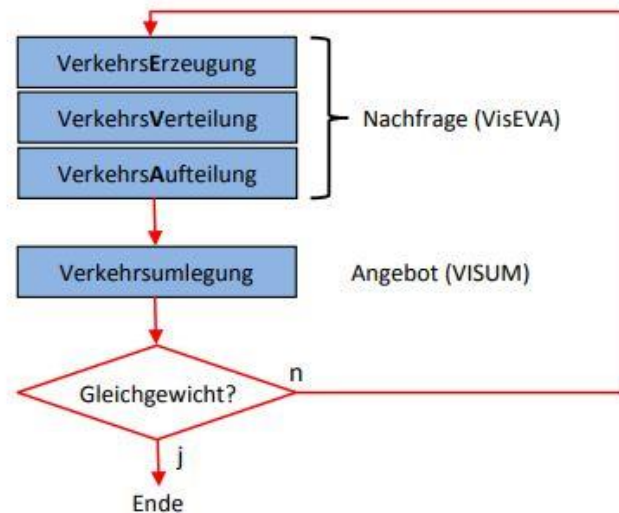


Abbildung 35: Schematischer Ablaufplan von VisEVA

VisEVA ist ein disaggregiertes Modell, welches die Verkehrserzeugung und die Verkehrsverteilung durch einen Randsummenausgleich verzahnt. Dadurch werden Differenzen ausgeglichen, welche bei dem Vier-Stufen-Modell durch das Berechnen in nacheinander liegenden Schritten auftreten. Das Ziel- und Quellaufkommen der Bezirke wird ähnlich wie bei dem Standard-Vier-Stufen-Modell berechnet.

Es werden Quell- und Zielpotentiale bestimmt, welche mithilfe eines Erzeugungsmodells errechnet werden und ein Maß für die verkehrsrelevante Wirkung der raumstrukturellen Gegebenheiten im Verkehrsbezirk sind. Das Erzeugungsmodell stellt die mathematischen Zusammenhänge zwischen den verkehrsrelevanten Raumstrukturgrößen, der Mobilität der Einwohner und dem Potential her. Ein weiterer Teil des EVA-Modells in der Verkehrserzeugung ist das von Lohse entwickelte Kennwertmodell, welche auf einer differenzierten Untersuchung der Entstehungsursachen von Fahrten (Ortsveränderungen) basieren. (Dugge, 2006)

Die Berechnung der Verkehrsaufteilung erfolgt in VisEVA simultan mit der Verkehrsverteilung. Bei den Gravitationsmodellen erfolgen die Verkehrsverteilung und die Zielwahl nach einem bilinearen Ansatz, welche verschiedene Bewertungsfunktionen oder Nutzenfunktionen erfassen (PTV Planung Transport Verkehr AG, 2017, p. 200). Im EVA-Modell werden die Ansätze für die simultane Verkehrsverteilung und Verkehrsaufteilung zu einem trilinearen Modell verallgemeinert. Die Aufgabe der Verkehrsverteilung besteht darin das Quellverkehrsaufkommen Q_i auf die Zielverkehrsaufkommen Z_j zu verteilen. Die Verkehrsaufteilung teilt das Verkehrsaufkommen auf und ordnet sie den unterschiedlichen Verkehrsmitteln zu. (Dugge, 2006, p. 18)

Eine wichtige Rolle bei der Auswahl des Verkehrsmittels und der Wahl des Wahlbezirkes spielen die Bewertungswahrscheinlichkeiten. Die Bewertungswahrscheinlichkeiten ist von mehreren Einflussgrößen (Reisezeit, Zu- und Abgangszeit, Kosten etc.) abhängig und wird durch eine Funktion ausgedrückt. Diese Funktion dieser bewertungsrelevanten Merkmale beschreibt, welchen Einfluss der Aufwand auf die verkehrsteilnehmerbezogene Auswahl einer Alternative hat. In Abhängigkeit der Funktion ergibt sich eine Annahme oder Ablehnung einer Ortsveränderung in Abhängigkeit der jeweiligen Bewertungsfunktion. (Schiller, 2004, p. 47)

4.4 Verkehrsmodell für Wien, Niederösterreich und Burgenland

Dieser Teil der Arbeit beschreibt das vorhandene Modell und deren Eigenschaften. Dieses Modell wurde als Werktagverkehrsmodell aufgebaut, wobei Park & Ride nicht berücksichtigt wurde, daher kein Modi Park & Ride vorhanden ist. In diesem Modell sind keine multimodalen Wege berücksichtigt worden, daher werden alle Wege nur monomodal zurückgelegt. Dieses Nachfragemodell basiert auf der Methode EVA und wird für die Modellierung Park & Ride in ein Standard-Vier-Stufen-Modell genutzt. Das neu entwickelte Nachfragemodell, welches den Modi Park & Ride beinhaltet, wird im nächsten Abschnitt 4.5 erläutert.

Das Verkehrsmodell für die Ost-Region wurde von Intelligent Transport Systems Vienna Region (ITS Vienna Region) erstellt und dient in erster Linie dazu den Gesamtverkehr in Wien, Niederösterreich und dem Burgenland möglichst genau abzubilden und eine Möglichkeit für Prognosen und Planungen zu bieten. Es beinhaltet sowohl ein Netz- als auch ein Nachfragemodell, welches dazu geeignet ist Strukturdaten und Nachfragenmatrizen für die Ost Region zu generieren.

Die Grundlage des Modells bilden (Krause, et al., 2018):

- Angebotsdaten
 - Infrastrukturdaten aus der Graphenintegrations-Plattform GIP
 - Fahrplaninformationen aus den elektronischen Fahrplanauskunftssystemen
- Strukturdaten
 - Personengruppen nach Wohnort von Statistik Austria

- Erwerbs- und Arbeitsplatzdemographie von der Statistik Austria
- Ergänzende Daten zu Verkehrserzeugern (Schulen, Studienplätze, Einkaufszentren, etc.) aus dem Bestand der Länder sowie aus anderen Datenquellen
- Verhaltensdaten
 - Auswertungen aus Mobilitätsbefragungen (Österreich unterwegs)
- Kalibrierungsdaten
 - IV-Zählungen von den Dauerzählstellen der Länder und der ASFINAG
 - ÖV-Zählungen aus den Beständen des Verkehrsverbunds

4.4.1 Planungsgebiet

Wie in Abbildung 36 dargestellt, umfasst das Planungsgebiet in diesem Verkehrsmodell die Bundesländer Wien, Niederösterreich und das Burgenland. Zusätzlich werden im Untersuchungsgebiet weitere Bezirke der Bundesländer Oberösterreich und der Steiermark hinzugezogen. Neben den Bezirken Linz, Graz, Graz Umgebung werden zusätzlich noch die Nachbargemeinden berücksichtigt. Der Bezirk Liezen wird aufgrund seiner Größe nicht vollständig abgebildet und umfasst nur die Nachbargemeinden Altenmarkt bei Sankt Gallen, Sankt Gallen, Landl und Wildalpen.

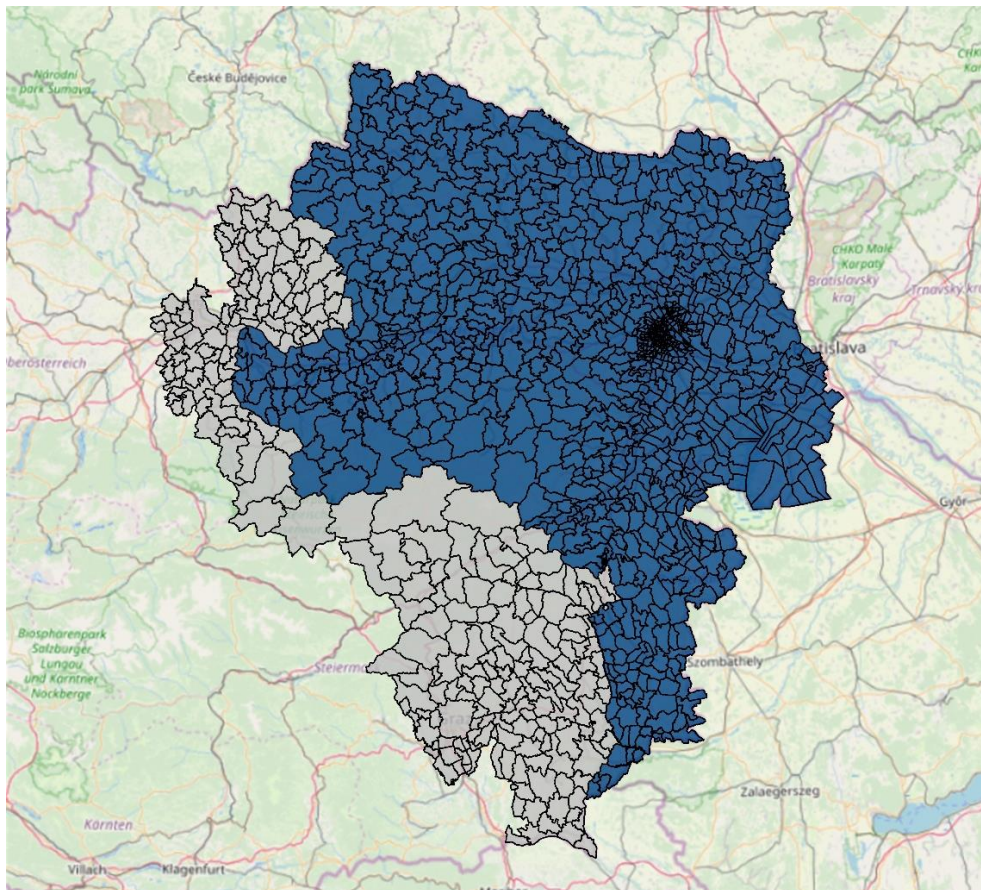


Abbildung 36: Abbildung des Planungsgebietes (blau) und des Untersuchungsgebietes (grau)

Die über das Untersuchungsgebiet hinausgehenden Verkehre wurden durch den Einsatz externer Matrizen aus dem Verkehrsmodell Österreich abgebildet. Dies bedeutet das neben den innerösterreichischen Verkehren mit Bezirken außerhalb des Untersuchungsgebietes zusätzlich noch der Grenzverkehr von Tschechien, der Slowakei, Ungarn und Slowenien abgebildet ist. Das

Planungsgebiet, welches die Bundesländer Wien, Niederösterreich und das Burgenland abdeckt, bildet das Gebiet des Verkehrsverbund Ost-Region (VOR) ab. Die statistischen Daten des vorhandenen Planungsgebiet sowie Daten zu dem Netzmodell werden in Tabelle 11 zusammengefasst.

Tabelle 11: Daten des Planungsgebiets ITS Vienna Region

Fläche	23.563 km ²
Bezirke	1030
Einwohner	3.766.517
Strecken	940.886
Knoten	363553

4.4.2 Strukturdaten

Die Grundlage für die Erstellung dieses Modells werden im Abschnitt 4.4 angeführt. Die Daten der Personengruppen ergeben sich zum größten Teil aus den Datensätzen der Statistik Austria. Ergänzende Daten zu den Verkehrserzeugern (Schulen, Studienplätze, Einkaufszentren, etc.) wurden von den einzelnen Bundesländern zur Verfügung gestellt.

Personengruppen

Für die Bildung der Personengruppen wurden von der Statistik Austria die Daten für alle Zählsprengel im Planungsgebiet sowie in den angrenzenden Gemeinden im Untersuchungsgebiet angefordert. Dabei wurden die Daten aus der Abgestimmten Erwerbstatistik 2015 genutzt, welche neben dem Wohnort (Gemeinden), das Alter sowie den Erwerbsstatus abbilden. Dabei wurde beachtet, dass die Einteilung mit der Personengruppeneinteilung der Statistik Austria möglichst kompatibel ist. In Tabelle 12 werden die 15 verhaltenshomogenen Gruppen des ITS Vienna Region Nachfragemodells aufgelistet.

Tabelle 12: Verhaltenshomogene Gruppen im ITS Vienna Region Modell

VHG	Beschreibung	Kurzbeschreibung
1	Kinder <6	alle Kinder <6 Jahre
2	Volkschüler 6-9	Alle Kinder von >=6 bis <10 Jahre
3	Schüler 10-13	Alle Kinder von >=10 bis <14 Jahre
4	Jugendliche 14-18	Alle Jugendlichen von >=14 bis <19 Jahre
5	Studenten >= 19	Alle Studenten >=19
6	Erwerbstätigen mit PKW 19-34	Alle Erwerbstätigen mit PKW von >=19 bis <35
7	Anderer Tätigkeit mit PKW 19-34	Andere Personen mit PKW von >=19 bis <35
8	Erwerbstätigen mit PKW 35-64	Alle Erwerbstätigen mit PKW von >=35 bis <65
9	Anderer Tätigkeit mit PKW 35-64	Andere Personen mit PKW von >=35 bis <64
10	Erwerbstätigen ohne PKW 19-34	Alle Erwerbstätigen ohne PKW von >=19 bis <35
11	Anderer Tätigkeit ohne PKW 19-34	Andere Personen ohne PKW von >=19 bis <35
12	Erwerbstätigen ohne PKW 35-64	Alle Erwerbstätigen ohne PKW von >=35 bis <65
13	Anderer Tätigkeit ohne PKW 35-64	Andere Personen ohne PKW von >=35 bis <64
14	Alle Personen mit PKW >=65	Alle Personen mit PKW >=65
15	Alle Personen ohne PKW >=65	Alle Personen ohne PKW >=65

Die Unterscheidung der Personengruppen nach der Pkw-Verfügbarkeit anhand der vorhandenen Daten ist nicht möglich. Daher wurden die PKW-Verfügbarkeitsanteile auf Bundesland Basis aus den

Umfragewerten von Österreich unterwegs abgeleitet und zur Abschätzung der lokalen Bevölkerungsverteilung auf die relevanten Gruppen angewandt. (Krause, et al., 2018)

Quell-Ziel-Gruppe

Im EVA-Nachfragemodell werden die Wegezwecke oder Fahrtzwecke über Aktivitäten bzw. Aktivitätenpaare abgebildet. Die Ortsveränderungen von Personen die im Laufe eines Tages erfolgen, werden mittels Wegeketten oder Aktivitätenketten erhoben. Jede Aktivitätenkette ist an die Strukturgrößen geknüpft, und vereinen die Tätigkeiten (z.B. Wohnung, Arbeitsstelle, Einkauf, etc.) mit den Bezugspersonen, die die Ortsveränderungen durchführen (z.B. Einwohner, Erwerbstätige, Schüler, etc.). Aus den Strukturdaten lässt sich ebenfalls erkennen, dass gewisse Aktivitätenketten von bestimmten Personengruppen häufiger durchgeführt werden als andere.

Quell-Ziel-Gruppen bilden aus den Aktivitätenketten herausgelöste homogene Verhaltensklassen, in denen die erste Aktivität immer die Quellkategorie und die zweite Aktivität die Zielkategorie darstellt. Tabelle 13 zeigt die fünfzehn für das Verkehrsmodell definierten Quell-Ziel-Gruppen.

Tabelle 13: Quell-Ziel-Gruppen im Verkehrsmodell ITS Vienna Region

			Ziel							
			W	A	B	D	E	F	H	S
Quelle	Wohnen	W	-	WA	WB	WD	WE	WF	WH	WS
	Arbeit	A	AW	SS						
	Bildung	B	BW							
	Dienstweg	D	DW							
	Einkauf	E	EW							
	Freizeit	F	FW							
	Hochschule	H	HW							
	Sonstiges	S	SW							

Für die Berechnung ist die Zuordnung von Wegen zu den Aktivitätenpaaren notwendig. Die Einteilung der Aktivitäten für das Verkehrsmodell erfolgt über die Zuordnung von Wegezwecken aus Österreich Unterwegs. Gegenüber Österreich unterwegs sind die Wegezwecke „sonstiges Freizeit“ und „privater Besuch“ zur Aktivität „Freizeit“, sowie „Bringen/Holen/Begleiten von Personen“, „private Erledigungen“ und „anderer Zweck“ zur Aktivität „Sonstiges“ zusammengefasst worden. Es wurde zusätzlich die Aktivität „Bildung“ in „Bildung“ (unter 19-Jährige) und „Hochschule“ (über 19-Jährige) aufgeteilt. (Krause, et al., 2018)

Die Einteilung zeigt, dass zahlreiche Aktivitätenpaare, wie z.B. Freizeit – Einkaufen oder Bildung – Freizeit in eine zusammenfassende Gruppe Sonstiges – Sonstiges (SS) fallen. Grund dafür ist, dass diese Wege einzeln nur einen kleinen Anteil ausmachen. Infolge dessen werden diese Wege zu der Gruppe Sonstiges – Sonstiges zusammengefasst. Ausschlaggebend für den geringen Anteil dieser Wege ist, dass es sich bei dem ITS Vienna Region Nachfragemodell um ein Werktagverkehrsmodell handelt und die vorhandenen Daten von einem Werktag einfließen. Damit ergibt sich, dass der Anteil Wohnen – Arbeiten (WA) und Arbeiten – Wohnen (AW) an den gesamten Wegen am höchsten ist.

Quell-Ziel-Gruppen werden in drei Typen eingeteilt, wobei für die Einteilung der Heimatstandort der Personengruppen entscheidend ist.

- QZG vom Typ 1: Der Ausgangspunkt der Ortsveränderung ist gleichzeitig der Heimatstandort der Bezugspersonengruppe (z.B. Wohnen-Arbeiten)

- QZG vom Typ 2: Das Ziel der Ortsveränderung ist gleichzeitig der Heimatstandort der Bezugspersonengruppe (z.B. Arbeiten-Wohnen)
- QZG vom Typ 3: Der Heimatstandort der Bezugspersonengruppe ist weder die Quelle noch das Ziel der Ortveränderung (Sonstige Aktivität-Sonstige Aktivität)

Nachfrageschicht

Der Kombination von Personengruppen und Aktivitäten wird jeweils eine Nachfrageschicht zugeordnet. Dabei wird nicht für jede mögliche Kombination eine eigene Nachfrageschicht bestimmt, sondern es werden mehrere Personengruppen einer gemeinsamen Nachfrageschicht zugeordnet. Es ist jedoch nicht möglich unterschiedliche Aktivitätenpaare zu einer Nachfrageschicht zusammenzufassen. Insgesamt werden in dem Nachfragemodell 25 Nachfrageschichten gebildet, die in Abbildung 37 angeführt werden..

Modal Split

Der im EVA-Analysemodell (Bestandsfall) verwendete Modal Split wurde je Nachfrageschicht global vergeben, siehe Abbildung 37. Für die Berechnung wurden die gesamten Wege gewichtet nach den Hochrechnungsfaktoren aus „Österreich Unterwegs“ je Nachfrageschicht ermittelt. In den Datensätzen von Österreich Unterwegs wurden zwischen Pkw-LenkerInnen und Pkw-MitfahrerInnen unterschieden. In dem Nachfragemodell werden diese beiden dem mIV zugerechnet und in weiterer Folge über die Besetzungsgrade je Nachfrageschicht als Verhältnis der Gesamtwegezähl zu den Wegen als PKW-Lenker oder -Lenkerin ermittelt. Für die Zuordnung der Wege zu den einzelnen Modi wurden die vier Hauptverkehrsklassen Fuß, Rad, ÖV und MIV verwendet. Die Verkehrsmittelwahl zeigt, dass der mIV sowie der ÖV den größten Anteil am Model Split ausmachen. Besonders bei den Arbeits- und Dienstwegen machen die Modi Fuß und Rad nur einen geringen Anteil aus. (Krause, et al., 2018)

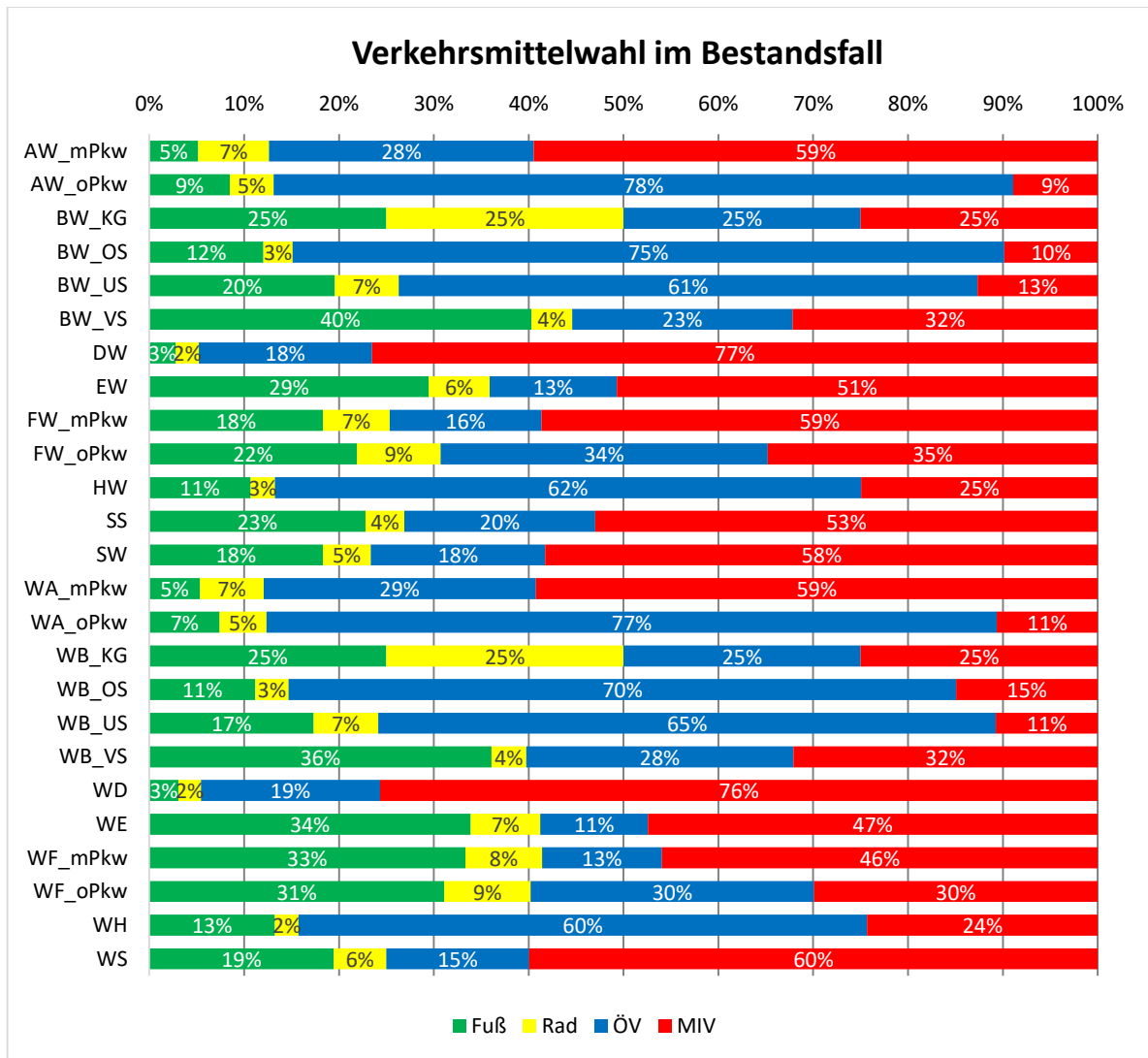


Abbildung 37: Vorgegebener Modell Split im Verkehrsmodell ITS Vienna Region

4.5 Aufbau eines Standard-Vier-Stufen Nachfragemodells

Dieser Teil der Arbeit beinhaltet im ersten Teil der verkehrsmodellgestützten Detailanalyse, den Aufbau eines Verkehrsmodells als Standard-Vier-Stufen-Modell, welches in Kapitel 5 für die Modellierung für Park & Ride dient. Auf der Basis des vorhandenen Verkehrsmodells ITS Vienna Region wird das aufgebaute Vier-Stufen-Nachfragemodell um die Nachbildung intermodaler Wegeketten erweitert. Dabei ist es nötig die vorhandenen Daten des VisEVA -Nachfragemodells in ein Standard-4-Stufen-Modell zu integrieren, da PTV Visum das Modellieren von Park & Ride zurzeit nur im Standard-4-Stufen-Modell zur Verfügung stellt. Das Standard-Vier-Stufen-Nachfragemodell wird wie das vorhandene Verkehrsmodells ITS Vienna Region in PTV Visum 17 modelliert.

Das Standard-Vier-Stufen-Modell umfasst in der Regel die Schritte Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Moduswahl und Umlegung, die wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, getrennt durchgeführt werden. Dazu wird das Standard-Vier-Stufen Modell im ersten Schritt auf dem bestehenden Netzmodell aufgebaut ohne dieses zu verändern. Im VisEVA-Nachfragemodell läuft, wie in Abschnitt 4.3 beschrieben, im Gegensatz zum 4-Stufenalgorithmus die Zielwahl (Verkehrsverteilung) mit der Verkehrsmittelwahl (Verkehrsverteilung) simultan. Dadurch werden nur die Ziele gewählt, die

auch mit dem für die Personengruppe verfügbaren Verkehrsmittel gewählt werden können. Die für das vorhandene VisEVA-Nachfragemodell in der Verkehrsverteilung und Moduswahl gewählten Parameter und Funktionen können nicht in das Standard-Vier-Stufen-Modell übertragen werden. Da für die Modellierung von Park & Ride ein Standard-Vier-Stufen-Modell vorausgesetzt wird, werden aus dem VisEVA-Nachfragemodell Teile der Berechnung übernommen und in das Standard-Vier-Stufen-Modell eingefügt. Abbildung 38 zeigt den Ablauf des Modellaufbaues, sowie die Daten, die aus dem VisEVA-Nachfragemodell in das Standard-Vier-Stufen-Nachfragemodell integriert wurden. Dazu werden die verkehrsmittelspezifischen Nachfragematrizen zusammengefasst und als Verteilungsmatrix, wie in Abbildung 41 beschrieben, in das Standard-Vier-Stufen-Nachfragemodell übertragen. Zusätzlich werden für die weiteren Berechnungen die gewählten Kenngrößen übernommen.

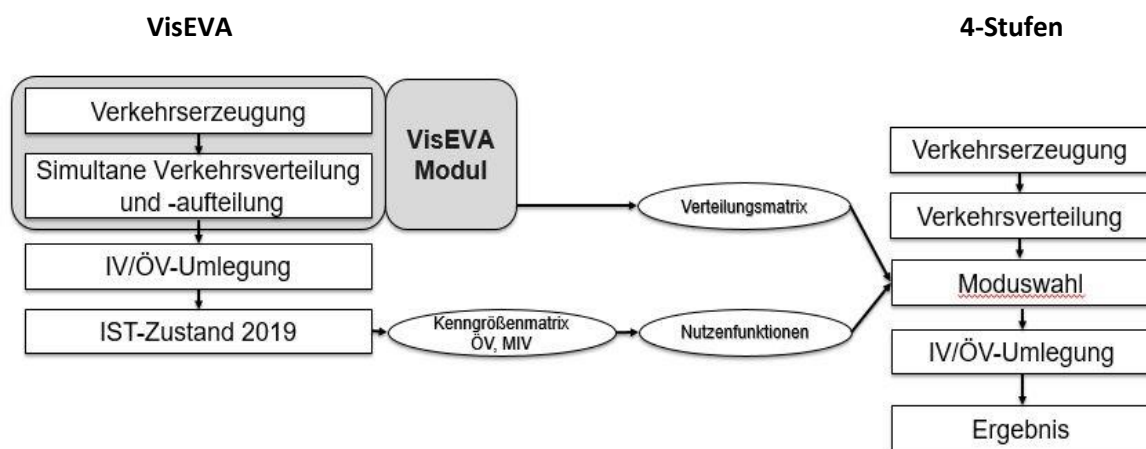


Abbildung 38: Aufbau des 4-Stufen-Modells auf der Grundlage des ITS Vienna Region Modells

4.5.1 Verhaltenshomogene Gruppen (Personas)

Auf Basis des vorhandenen Verkehrsangebotsmodells von ITS Vienna Region wird im ersten Schritt ein neues Standard-Vier-Stufen-Nachfragemodell erzeugt. Im Gegensatz zu diesem Werktagverkehrsmodell, welches wie im Abschnitt 4.4.2 dargestellt, fünfzehn Personengruppen aufweist, werden in diesem Modell die Personengruppen anhand den aus dem Projekt Pro:motion hervorgegangenen Personas angeglichen. Die Personas kategorisiert Personen in unterschiedliche Informationstypen, welche in 6 Kategorien eingeteilt werden, siehe Abbildung 39. Die 6 Kategorien beschreiben dabei, die Verhaltensmuster von Personen bei der Nutzung von Mobilitätsinformationen. (Brauner, et al., 2013)

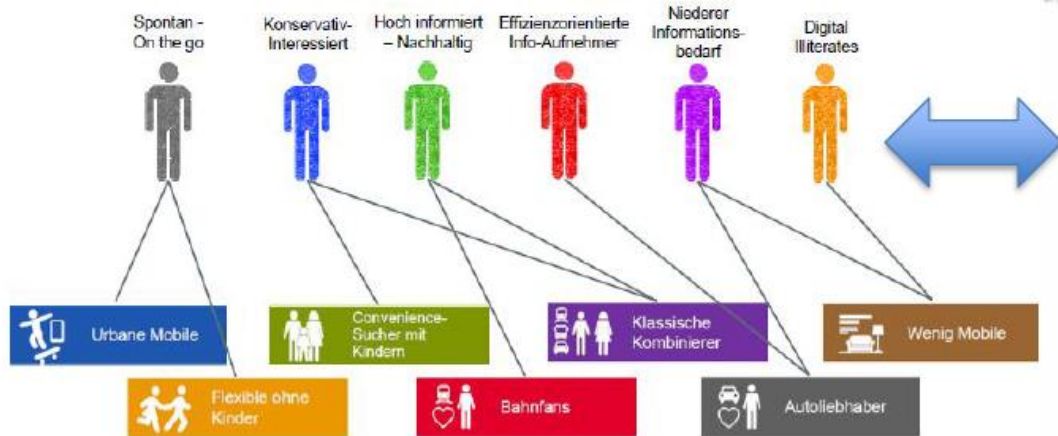


Abbildung 39: Einteilung der Personas

Da die Befragung Kinder von 0 bis <14 Jahren nicht berücksichtigen werden 3 Personengruppen, welche diese Personengruppen abbilden, zu einer Personengruppe „alle Kinder 0 bis <14 Jahre“ zusammengefasst. Die Verhaltenshomogenen Gruppen werden auf 13 reduziert, siehe Tabelle 14. Dies führt zu keiner Ungenauigkeit in der späteren Park & Ride –Modellierung, da diese verhaltenshomogene Gruppe nur Pkw-Mitfahrer beinhaltet.

Tabelle 14: Verhaltenshomogene Gruppe im Standard-Vier-Stufen-Modell

VHG	Beschreibung	Name
1	Kinder <14	alle Kinder 0 bis <14 Jahre
2	Jugendliche 14-18	Alle Jugendlichen von >=14 bis <19 Jahre
3	Studenten >= 19	Alle Studenten >=19
4	Erwerbstätigen mit PKW 19-34	Alle Erwerbstätigen mit PKW von >=19 bis <35
5	Anderer Tätigkeit mit PKW 19-34	Andere Personen mit PKW von >=19 bis <35
6	Erwerbstätigen mit PKW 35-64	Alle Erwerbstätigen mit PKW von >=35 bis <65
7	Anderer Tätigkeit mit PKW 35-64	Andere Personen mit PKW von >=35 bis <64
8	Erwerbstätigen ohne PKW 19-34	Alle Erwerbstätigen ohne PKW von >=19 bis <35
9	Anderer Tätigkeit ohne PKW 19-34	Andere Personen ohne PKW von >=19 bis <35
10	Erwerbstätigen ohne PKW 35-64	Alle Erwerbstätigen ohne PKW von >=35 bis <65
11	Anderer Tätigkeit ohne PKW 35-64	Andere Personen ohne PKW von >=35 bis <64
12	Alle Personen mit PKW >=65	Alle Personen mit PKW >=65
13	Alle Personen ohne PKW >=65	Alle Personen ohne PKW >=65

Für eine Auswertung anhand der Personas wurde ein Schlüssel gebildet, der die Anteile der verhaltenshomogenen Gruppen an den Personas bestimmt. Diese werden in der Abbildung 40 angeführt. Dabei lässt sich erkennen, dass jüngere Gruppen bis 35 Jahre einen höheren Anteil bei der Nutzung von Mobilitätsinformationen haben. Personen ohne Pkw weisen im Gegensatz zu Pkw-Besitzern ebenfalls einen hohen Anteil bei der Nutzung von Mobilitätsinformationen auf. Den geringsten Anteil bei der Nutzung von Mobilitätsinformationen haben Personen über 65 Jahre.

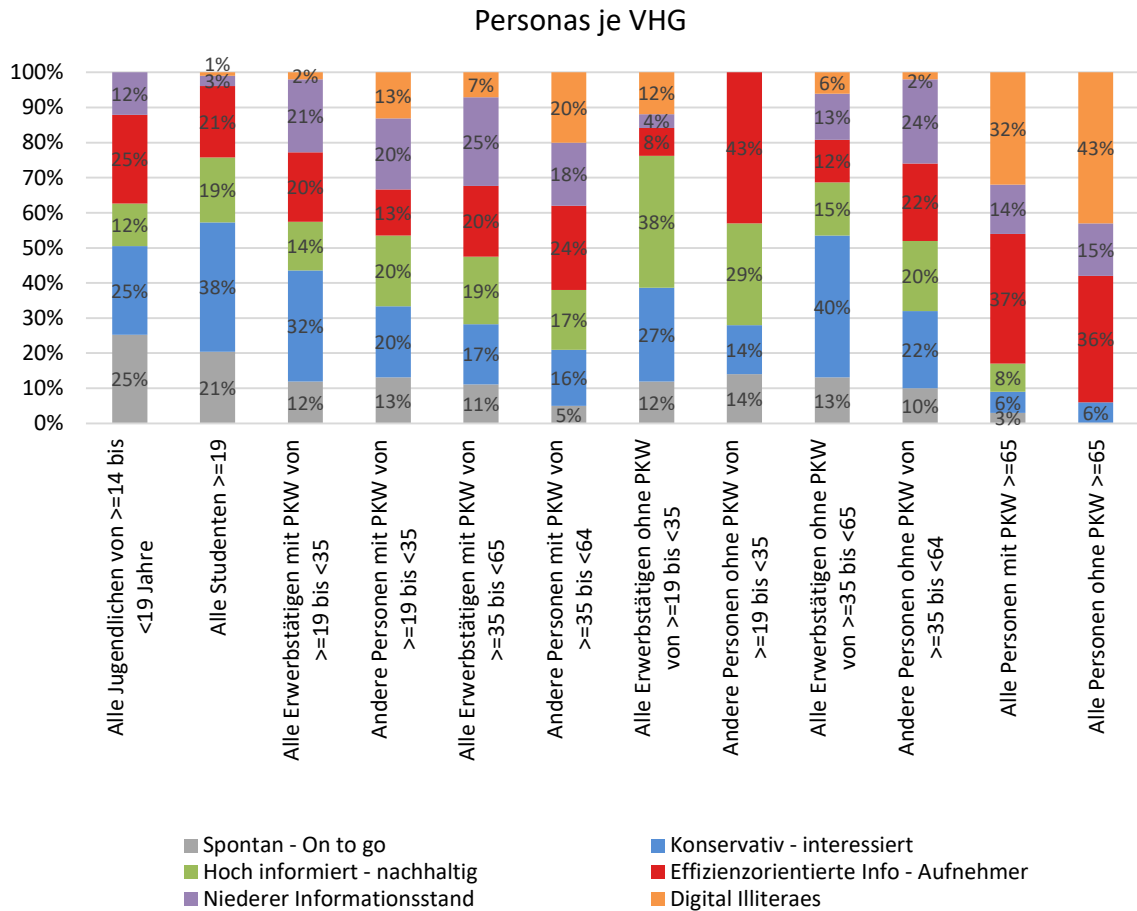


Abbildung 40: Personengruppenanteil an den Personas

Die im VisEVA-Nachfragemo­dell bestimmten Aktivitäten, sowie die daraus gebildeten Aktivitätenpaare werden wie in Tabelle 13 über­nommen und nicht weiter geän­dert. Aus den verhaltenshomo­genen Gruppen sowie den Aktivitätenpaaren werden 19 Nachfrageschichten gebildet.

4.5.2 Moduswahl

In dem auf­ge­bauten Standard-Vier-Stufen-Modell wird nach der Berechnung der Kenn­größen­matrizen, welche zu jenen des VisEVA keine Verän­derungen aufweisen, im näch­sten Schritt die Moduswahl durch­ge­führt. Das bedeutet, dass die Ver­kehrserzeugung und die Ver­kehrsverteilung nicht ausge­führt werden. Die für das vor­handene VisEVA-Nachfragemo­dell in der Ver­kehrsverteilung und Moduswahl gewählten Parameter und Funktionen können nicht in das Standard-Vier-Stufen-Modell über­tragen werden. Um mög­lichst ähnliche Ergebnisse berechnen zu können, werden aus dem VisEVA-Nachfragemo­dell Teile der Berechnung über­nommen und in das Standard-Vier-Stufen-Modell ein­ge­fügt.

Das Ver­fahren Moduswahl teilt die gesamte Nachfrage (Gesamtnachfragematrix) pro Nachfrageschicht auf die einzelnen Verkehrs­modi (z.B. IV, ÖV) anhand von modus­abhängiger Wider­stands­kenn­größen (z.B. Reisezeit, Kosten) auf (PTV Planung Transport Verkehr AG, 2017). Im VisEVA-Nachfragemo­dell wird die Ver­kehrserzeugung mit der Ver­kehrsverteilung verzahnt und Ver­kehrsverteilung mit der Moduswahl simultan durch­ge­führt. Dies führt dazu dass die Ein­gangs­daten für den Aufbau eines Vier-Stufen-Modell nicht kompatibel sind. Da die Ver­kehrsverteilung im VisEVA-Nachfragemo­dell nicht einzeln ausge­führt wird, werden daher auch keine Ver­teilungsmatrizen

ausgegeben. Um im Standard-Vier-Stufen-Modell eine Berechnung durchführen zu können, müssen daher die Nachfragematrizen aus der Moduswahl für die Ermittlung der Verteilungsmatrizen genutzt werden.

Modi

Um die Moduswahl in einem Standard-Vier-Stufen-Modell durchführen zu können, muss für jede Nachfrageschicht je Modus eine Verteilungsmatrix erstellt werden. Das VisEVA ITS Vienna Region Modell umfasst standardmäßig die vier verschiedenen Hauptverkehrsklassen Fuß, Rad, ÖV und MIV. Der multimodale Split kann aufgrund der komplexen Bestimmung der Nutzenfunktionen nur unter großen Aufwand verwendet werden. Aufgrund dessen, wird das Standard-Vier-Stufen-Modell in weiterer Folge um die Modi Fuß und Rad reduziert und bimodal (MIV, ÖV) fortgeführt. Dieser bimodale Modal-Split wird angewendet, da in der späteren Erweiterung durch den Modi Park & Ride keine Nachteile entstehen.

Verteilungsmatrix

Die Verteilungsmatrix für die Moduswahl im Vier-Stufen-Modell wird anhand der Ergebnisse der Moduswahl des VisEVA-Modells bestimmt. Dazu werden die Nachfragematrizen der Modi ÖV und MIV zu einer Verteilungsmatrix addiert und die Modi Fuß und Rad vernachlässigt, siehe Abbildung 41. Die neu entstandene Verteilungsmatrix beinhaltet daher je Nachfrageschicht die Summe aller Binnenwege die mit dem ÖV und dem MIV zurückgelegt werden.

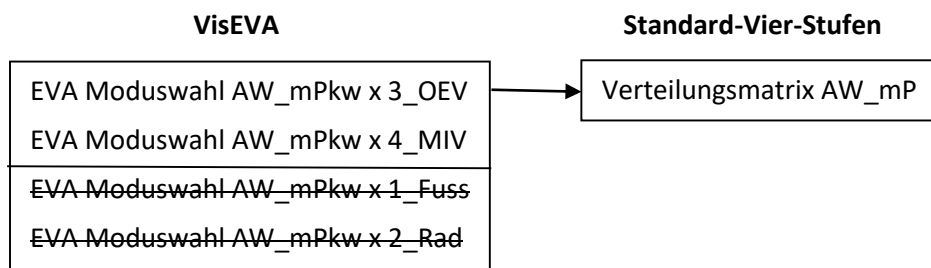


Abbildung 41: Verfahrensablauf für die Erstellung einer Verteilungsmatrix

Durch das Bestimmen der Verteilungsmatrizen aus dem VisEVA-Modell kann es in weiterer Folge in der Berechnung des Vier-Stufen-Modells zu keiner Änderung der Verteilungsmatrizen kommen.

Wahl des Funktionstyps in der Moduswahl

Die Wahl des Typs der Nutzenfunktion wurde an die Vorlesungsunterlagen sowie an dem Beispiel zur Modellierung von Park & Ride von PTV Visum angelehnt (Fellendorf, 2012). Hier wurde ein Logit-Ansatz verwendet der mit dem Faktor $c = 1$ festgelegt wurde.

Die Nutzenfunktion hat somit die Gestalt:

$$f(U_{ij}) = e^{U_{ij}} \quad (6)$$

mit:

$f(U_{ij})$ = Nutzenfunktion

U_{ij} = Nutzen für den Weg von Quellbezirk i nach Zielbezirk j

a, b, c = Parameter

Nutzenfunktion

Ähnlich dem Vorschlag aus den Vorlesungsunterlagen wurde die Nutzendefinition der Moduswahl aus mehreren Kenngrößen ermittelt (Fellendorf, 2012). Jedoch war es aufgrund der unterschiedlichen Kenngrößenmatrizen je Modi nur bedingt möglich eine einheitliche Nutzendefinition festzulegen. Für die Berechnung wurden jene Kenngrößen, die im VisEVA-Modell in der EVA-Bewertung für die einzelnen Modi genutzt wurden, gewählt. Ein bestimmter konstanter Nutzen wurde zusätzlich jedem Modus je Nachfrageschicht zugeordnet.

Eine empirische Ermittlung dieser Faktoren, welche das Ausmaß des Einflusses der jeweiligen Kenngrößen auf die Moduswahl beschreiben war nicht möglich, da keine Daten dazu vorhanden sind. Es wurden daher eine umfangreiche Kalibration durchgeführt, welche vollständig auf den Referenzdaten des VisEVA ITS Vienna Region Modell beruht. Es wurde dazu der Modal Split sowie die Reiseweitenverteilung herangezogen.

Die Parameter für die für die Moduswahl wurden oftmals iteriert, und eine Annäherung an den Modal Split, siehe Tabelle 15, und die Reiseweitenverteilung zu erreichen. Nach einigen Durchgängen wurde deutlich, dass die konstanten Parameter je Modus eine Annäherung des Modal Split, jedoch keine korrekte Verteilung der Reiseweiten ergeben. Aufgrund der langen Berechnung je Durchgang wurde eine beschlossen, die Parameter je Nachfrageschicht anzupassen, um zu den Modal Split eine möglichst gute Annäherung der Reiseweite zu ermöglichen. Dabei stellt die Soll (VisEVA) Verteilung jenen Model Split des ITS Vienna Region Modells dar. Die Ergebnisse der Näherung werden in dem Tabellenabschnitt Ist (4-Stufen-Modell) angegeben und zeigen den Modelsplit des aufgebauten Standard-4-Stufen Modells. Durch die Näherung konnte bei den Nachfrageschichten ein Model Split erreicht werden, der sich nur geringfügig vom Ausgangsmodell unterscheidet.

Tabelle 15: Annäherung des Modal Split an das VisEVA-Modell

	Soll (VisEVA)		Ist (4-Stufen-Modell)	
	ÖV	MIV	ÖV	MIV
AW_mPkw	32%	68%	32% (±0)	68% (±0)
AW_oPkw	90%	10%	88% (-2)	12% (+2)
BW	75%	25%	75% (±0)	25% (±0)
DW	19%	81%	19% (±0)	81% (±0)
EW	21%	79%	20% (-1)	80% (+1)
FW_mP	21%	79%	21% (±0)	79% (±0)
FW_oP	50%	50%	51% (+1)	49% (-1)
HW	71%	29%	70% (-1)	30% (+1)
SS	28%	72%	27% (-1)	73% (+1)
SW	24%	76%	24% (±0)	76% (±0)
WA_mPkw	33%	67%	33% (±0)	67% (±0)
WA_oPkw	88%	12%	87% (-1)	13% (+1)
WB	75%	25%	75% (±0)	25% (±0)
WD	20%	80%	20% (±0)	80% (±0)
WE	19%	81%	20% (+1)	80% (-1)
WF_mP	22%	78%	21% (-1)	79% (+1)
WF_oP	50%	50%	51% (+1)	49% (-1)
WH	71%	29%	71% (±0)	29% (±0)
WS	20%	80%	20% (±0)	80% (±0)

Um die Annäherung der Reiseweiten zu erreichen, mussten die Nutzendefinition iterativ angepasst werden. Dabei wurden je nach Nachfrageschicht die Parameter für die Reisezeit, die Bedienungshäufigkeit sowie die Konstante angepasst. Als Anpassungsfaktor wurde nach jeder Berechnung der Quell-, Ziel- und Binnenverkehr je Modus der einzelnen Verkehrszellen verglichen.

Die Nutzenfunktion des mIV wurde durch die Parameter der Reisezeit sowie dem konstanten Faktor verändert. Die Bedienungshäufigkeit ist nur für den ÖV relevant. Der konstante Faktor wird mit der Reisezeit multipliziert und beeinflusst daher längere Reisezeiten stärker als kurze Reisezeiten. Durch die Verringerung des Parameters wurden hauptsächlich die Reisezeiten, welche von ländlichen Gebieten nach Wien oder zu anderen Städten führen beeinflusst, was zu einer gewünschten Steigerung des mIV im Umland führte. Die Konstante hat auf den Modal Split der ländlichen Gebiete wenig Einfluss, da die Reisezeit in diesen Gebieten generell länger ist. Einen erheblichen Einfluss auf den mIV hat die Konstante auf den städtischen Modal Split. Durch die Addition eines positiven Wertes kann der mIV-Anteil am städtischen Verkehr erheblich reduziert werden.

Die Nutzenfunktionen des ÖV werden neben der empfundenen Reiseweite durch die Bedienungshäufigkeit sowie einen konstanten Parameter bestimmt. Die Abläufe zur Anpassung der Reiseweiten und des Modal Split erfolgten simultan zu der MIV Anpassung, da die beiden Modi aufgrund der Verteilungsmatrix abhängig voneinander sind. Die Bedienungshäufigkeit des ÖV war für Bestimmung der Verteilung des ÖV in den städtischen Gebieten ausschlaggebend. Ländliche Gebiete wurden aufgrund des geringen Anteils des öffentlichen Verkehrs nicht stark beeinflusst.

Es muss erwähnt werden, dass die Annäherung aufgrund langer Rechenzeiten nicht in größerem Umfang möglich war und gewisse Unterschiede zu dem ITS Vienna Region Modell bestehen.

Kalibrierung

Da ein Modell nur eine vereinfachte Wirklichkeit darstellt, kann sie den exakten Verhältnissen der Realität nicht entsprechen. Zusätzlich ergibt sich in diesem Fall die Schwierigkeit ein Standard-Vier-Stufen-Modell auf Basis eines VisEVA-Modells aufzubauen, was zu zusätzlichen Abweichungen führen kann. Um jedoch ein Modell möglichst realitätsnah aufzubauen, muss eine Kalibrierung durchgeführt werden. Bestimmte Kenngrößen werden dabei angepasst, um bekannte Vergleichsgrößen zu erreichen. Realdaten sollten als Referenzdaten verwendet werden, wie z.B. Verkehrsstärken oder Reiseweitenauswertungen. Die Kalibrierung erfolgte im ersten Schritt durch die Angleichung der Reiseweitenverteilung an das VisEVA-Nachfragemodell. Um Unschärfen aus dem VisEVA-Nachfragemodell auszugleichen, wurden im nächsten Schritt Zählstellen herangezogen um möglichst realitätsnahe Verkehrsbelastungen im Verkehrsmodell zu erreichen.

- Reiseweitenverteilung

Die Reiseweitenverteilung wurde neben dem Modal Split als Kalibrierungsmaßnahme für die beiden Modelle herangezogen. Es wurde im Rahmen der Möglichkeiten eine möglichst ähnliche Reiseweitenverteilung zu dem VisEVA Modell erreicht.

Dabei wurden die Reiseweitenverteilungen der einzelnen Nachfrageschichten und den unterschiedlichen Modi betrachtet. Ein besonderer Fokus lag dabei an der Verteilung Arbeiten-Wohnen mit dem Pkw (AW_mP x 3MIV), siehe Abbildung 42, Wohnen-Arbeiten mit dem Pkw (WA_mP x 3MIV), sowie der Nachfrageschicht Sonstiges-Sonstiges (SS x 3MIV), siehe Abbildung 43, welche insgesamt mehr als 50% aller Wege ausmachen. Die nach der Kalibrierung ausgegebenen Reiseweitenverteilungen weisen je Nachfrageschicht hauptsächlich nur Abweichungen im niedrigen

einstelligen Prozentbereich auf. Größere Abweichungen sind bei den Nachfrageschichten Wohnen-Arbeiten ohne Pkw sowie Arbeiten – Wohnen ohne Pkw aufgetreten und konnten nicht beseitigt werden.

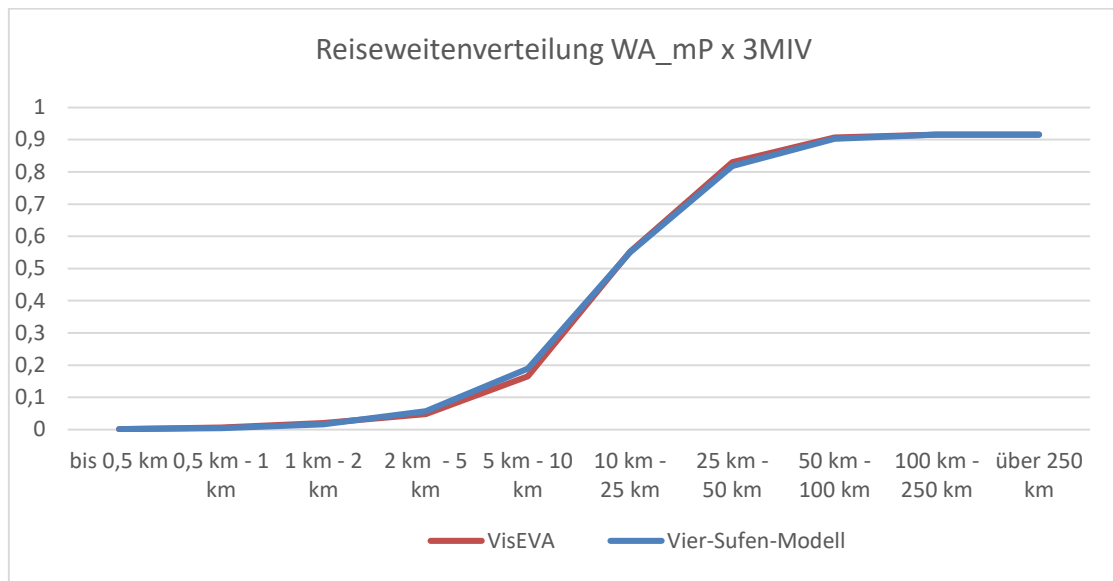


Abbildung 42: Vergleich der Reiseweitenverteilung Wohnen-Arbeiten

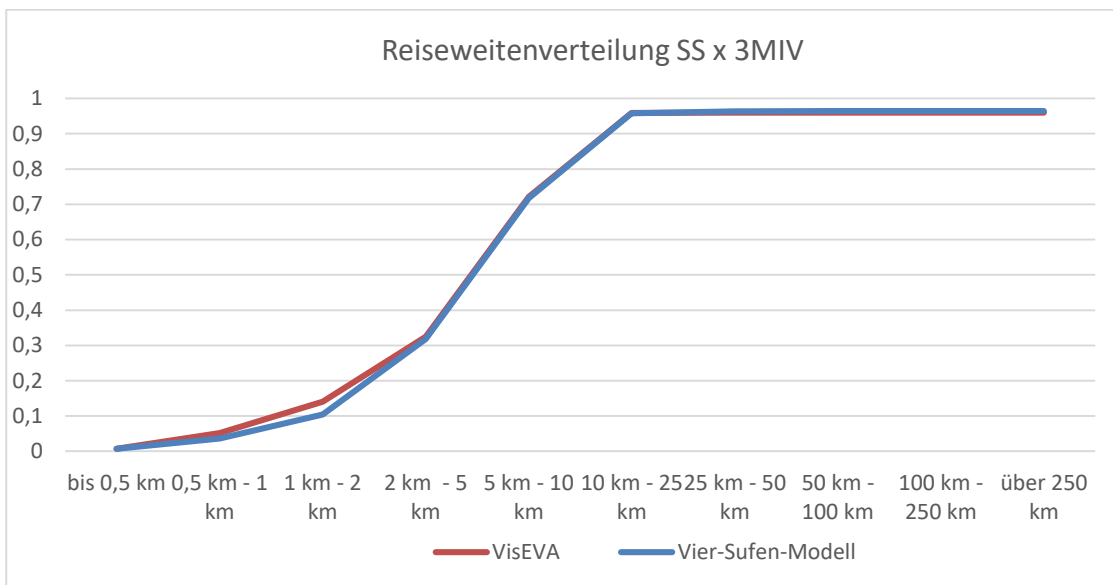


Abbildung 43: Vergleich der Reiseweitenverteilung Sonstiges-Sonstiges

- Zählstellen

Für die Kalibration des mIV wurden neben den von ITS Vienna Region zur Verfügung gestellten Zähldaten, zusätzlich noch aktuelle Daten der ASFINAG angewendet.²⁰ Dabei wurden die im vorhandenen Modell angeführten Zählstellen entlang des Autobahn- und Schnellstraßennetzes aktualisiert, sowie zusätzliche Zählstellen hinzugefügt. Zur Aktualisierung der Daten wurden die

²⁰<https://www.asfinag.at/verkehr/verkehrszaehlung/module-verkehrszaehlung/downloads-statistik-dauerzaehlstellen-aktuell/> [06.10.2018 - 12:00]

Verkehrsstatistik von Februar 2019 verwendet. Jene Zählstellen die nicht am Autobahn oder Schnellstraßennetz liegen wurden aus dem ITS Vienna Region Modell übernommen.

Als Qualitätsmaß für die die Ergebnisse des Verkehrsmodells kann der GEH-Wert herangezogen werden und dadurch eine Aussage über die Abweichungen der modellierten Verkehrsstärken von den gezählten getroffen werden. In die Berechnung gehen sowohl relative, als auch absolute Abweichungen ein (Friedrich, et al., 2010, p. 6). Der GEH-Wert errechnet sich aus der folgenden empirischer Formel:

$$GEH_h = \sqrt{\frac{2 \cdot (M - C)^2}{M + C}} \quad (7)$$

mit:

GEH_h = GEH-Wert bezogen auf Stunden-Verkehrsstärken

M = modellierte Verkehrsstärke

C = beobachtete (gemessene bzw. gezählte) Verkehrsstärke

Werden bei einer Kalibrierung Stunden-Werte genutzt, gilt die Anpassung des Modells als erfolgreich, wenn 85 % der Zählstellen einen GEH-Wert von kleiner 5 aufweisen. Ergibt der GEH-Wert 10 oder mehr kann von einem Problem im Nachfragemodell bzw. bei den Eingangsdaten ausgegangen werden. Da sich sowohl die Zählzeiten, als auch die modellierten Verkehrsstärken in dem Standard-Vier-Stufen-Modell auf das Intervall eines ganzen Tages beziehen, kann der GEH-Wert erhöht werden. Wenn man davon ausgeht, dass die Verkehrsstärke der Spitzenstunde in etwa einem Zehntel der Verkehrsstärke eines ganzen Tages entspricht, steht der Stunden-GEH-Wert von 5 einem Tages-GEH-Wert von 15,8 gleich.

In Abbildung 44 sind die gezählten Verkehrsstärken den modellierten gegenübergestellt (blaue Punkte). Insgesamt weisen 83,5% der Zählstellen einen kleineren GEH-Wert als 15,8 auf. Die schwarze Linie stellt den Grad des Zusammenhangs zwischen den modellierten und den gezählten Werten dar, welcher sich auf 1,061 beläuft. Die Güte des Zusammenhangs beträgt 0,988. Der ideale Grad und eine ideale Güte des Zusammenhangs wären bei 1 gegeben. Die Überschreitung des Grades des Zusammenhangs ist ein Indiz dafür, dass bei den betrachteten Zählstellen zu viel Verkehr modelliert wurde.

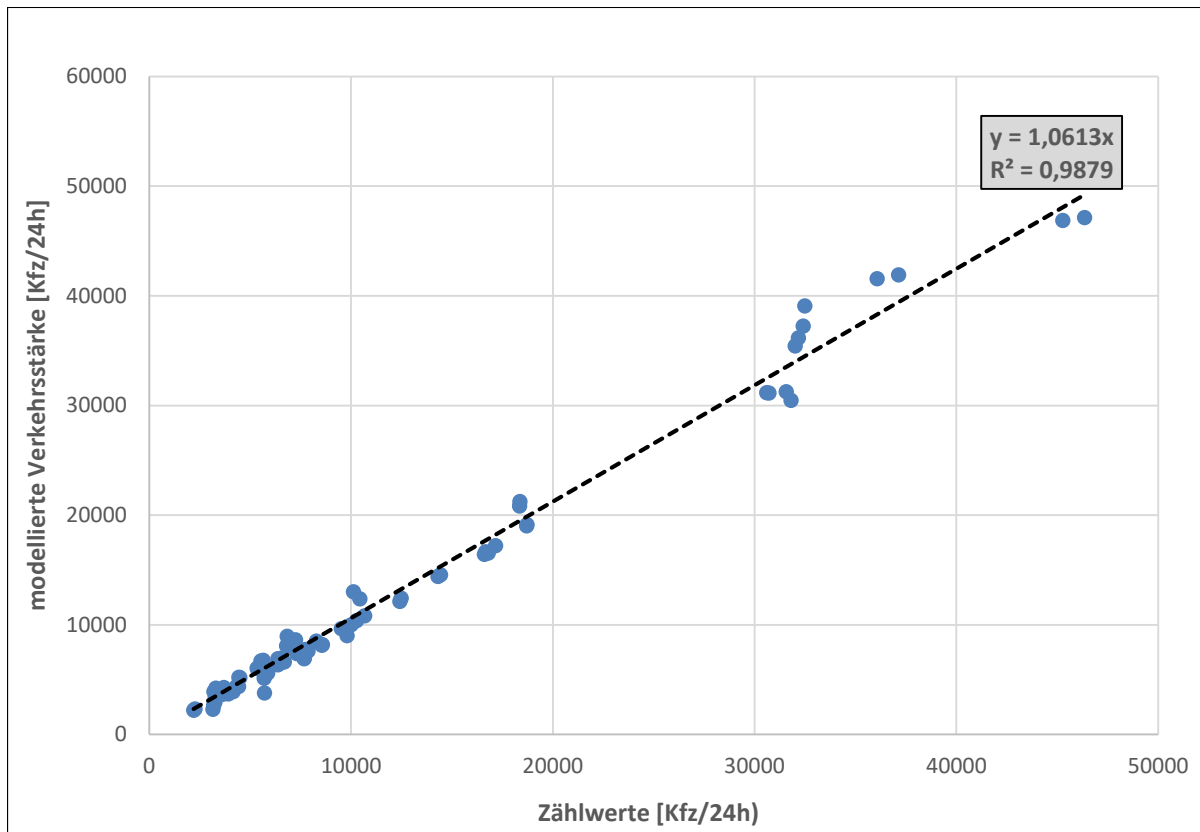


Abbildung 44: Vergleich von Zählwerten und modellierten Verkehrsstärken

4.5.3 Umlegung

Die Verkehrsumlegung, wie in Abschnitt 4.2.4 beschrieben, dient zur Verteilung der vorhandenen Verkehrsströme auf das vorhandene Verkehrsnetz. In der Umlegung wird zwischen der IV- und der ÖV-Umlegung unterschieden.

Für das Umlegungsverfahren im öffentlichen Verkehr wurde die fahrplanfeine Umlegung gewählt. Im Gegensatz zur IV-Umlegung ist die Umlegung des öffentlichen Verkehrs belastungsunabhängig. Diese Umlegung ermöglicht es alle Fahrten der ÖV-Linien mit den genauen Abfahrts- und Ankunftszeiten zu berechnen. Der dafür benötigte Liniennetzplan und detaillierte Fahrplan für alle Linien wurde ohne Veränderungen aus dem ITS Vienna Region Modell übernommen. Diese Umlegungsvariante führt zu sehr genauen Ergebnissen in der Kenngrößenberechnung. (PTV Planung Transport Verkehr AG, 2017)

Die Umlegung des Individualverkehrs wird durch die Sukzessivumlegung, die auch im ITS Vienna Region Modell angewendet wird, erreicht. Dabei werden alle Individualverkehrswege in dem Verkehrsnachfragemodell mit dem Nachfragesegment 4_MIV umgelegt. Die Matrix setzt sich aus der Binnenmatrix für den mIV zusammen. Zu der Binnenmatrix werden die Quell-, Ziel-, und Durchgangsverkehre durch die VMOE (Verkehrsmatrix-Österreich) hinzugefügt. Die Matrix Flug stellt Wege dar, die am Flughafen Schwechat beginnen oder enden.

5 Modellierung von Park & Ride

Dieser Teil der Arbeit schließt an den Aufbau des Standard-Vier-Stufen-Nachfragemodells an und erweitert dieses Modell um den Modus Park & Ride. Um dies zu ermöglichen, werden in dem Standard-Vier-Stufen-Modell zusätzliche Verfahrensschritte eingebunden. Die Park & Ride Modellierung ermöglicht es im Modell, dass Personen einen Teil ihres Weges mit dem MIV bzw. den ÖV zurücklegen. Um die Modellierung durchzuführen, wurde der von PTV zur Verfügung gestellte Leitfaden angewendet, wobei einige Anpassungen vorgenommen wurden (PTV Planung Transport Verkehr AG, 2017).

Die Modellierung von Park & Ride beginnt mit der Einbindung der Park & Ride Standorte aus der Standortanalyse, welche in Abschnitt 3 durchgeführt wurde. Dabei werden alle Park & Ride Standorte in das Standard-Vier-Stufen-Modell übernommen. Danach erfolgt eine Anpassung des Netzmodells um die Park & Ride Anlagen in das Modell einzubinden. Anschließend wird die Erweiterung des Nachfragemodells für den Modus Park & Ride, durch das Einbinden der zusätzlichen Verfahrensschritte und den benötigten Kenngrößen, erläutert, siehe Abbildung 48. Das Ergebnis bildet der Basisfall, welcher die Grundlage für die Berechnung verschiedener Szenarien bildet. Die Ergebnisse der Prognoseszenarien werden dargestellt und bilden den Abschluss dieses Kapitels.

Der Aufbau des Basisfalls, wurde wie auch das verwendete Standard-Vier-Stufen-Modell, als Ganztagsmodell berechnet. Das von PTV zur Verfügung gestellte Tutorial Modell ist ebenfalls auf eine nicht stundenfeine Berechnung ausgelegt.

Aufgrund der Größe des Nachfragemodells, sowie der langen Berechnungszeiten der Park & Ride – Modellierung, war im Umfang dieser Arbeit der Aufbau und die Kalibration nicht auf dem gesamten VOR-Gebiet möglich. Aus diesem Grund wurde die Modellierung von Park & Ride auf einem Teilgebiet der VOR-Region beschränkt, siehe Abschnitt 5.1.

5.1 Netzobjekte

Das in Abschnitt 4 aufgebaute Standard Vier Stufen Modell wird als Grundlage für die Park & Ride Modellierung genutzt und um den Park & Ride Verkehr erweitert. Dazu werden die Park & Ride Standorte importiert und Veränderungen im Netzmodell vorgenommen.

Importieren der Park & Ride Standorte

Da im bestehenden Modell keine Daten von Park & Ride Anlagen vorhanden sind, müssen diese importiert werden. Dazu werden die Standortkoordinaten aus dem Datensatz der Standortanalyse in Kapitel 3 herangezogen. PTV Visum ermöglicht es diese Standorte als Points of Interest (POI) zu importieren. Diese stellen benutzerdefinierte Netzobjekte mit räumlichen Bezug dar und werden im Fall der Park & Ride Anlagen als Punktobjekte eingefügt. Die aus der Standortanalyse vorhandenen Attribute werden ebenfalls mit dem Punktobjekt in das Verkehrsmodell übernommen.

Bei den Park & Ride Standorten, welche sich im Planungsgebiet befinden, wurde zuvor das Attribut Park & Ride Stellplätze aktualisiert. Dies erfolgte, da die vorhandenen Daten aus der Standortanalyse nicht alle Standorte auf den aktuellen Stand der verfügbaren Stellplätze abbilden. Um die aktuelle Anzahl der Park & Ride Stellplätze im VOR-Gebiet in das bestehende Modell zu integrieren, wurden die Daten aus der Datenbank der VOR-Region entnommen. Es wurden insgesamt 432 Park & Ride Anlagen im Planungsgebiet abgebildet, die insgesamt 42.926 Parkplätze zur Verfügung stellen.

Park & Ride Bezirke

Nachdem die Standorte der Park & Ride Anlagen bekannt sind, werden diese in das bestehende Standard-Vier-Stufen-Modell integriert. Um die Park & Ride Anlagen in ein bestehendes Nachfragemodell zu integrieren, werden laut dem Leitfaden von PTV Visum, im ersten Schritt zusätzliche benutzerdefinierte Attribute für Bezirke erstellt, welche eine Park & Ride Verfügbarkeit abbilden. Die beiden Attribute bilden folgende Größen ab:

- PR_Cap ist das Attribut, welches die Parkplatzkapazität einer Anlage abbildet
- PR_VDF enthält eine CR-Funktion, welche für die Berechnung des auslastungsabhängigen Widerstandes verwendet wird.

Eine Angabe der Parkplatzkapazität in einem Bezirk führt dazu, dass ein Bezirk als Park & Ride Bezirk erkannt wird. Die Modellierung nach dem Leitfaden von PTV Visum würde bedeuten, dass die bestehenden Bezirke des Verkehrsmodells nachträglich als Park & Ride Bezirke definiert werden müssen. Bei Bezirken mit mehreren Park & Ride Anlagen, wie in Abbildung 45, können in diese nicht einzeln modelliert werden. Die Anzahl der Parkplätze der Park & Ride Standorte würde addiert und dem Attribut der Parkplatzkapazität, des jeweiligen Bezirks, zugewiesen. Ein weiterer Nachteil dieser Art der Modellierung ist, dass jeder Bezirk der als Park & Ride Bezirk bestimmt wird nicht als Ausgangspunkt für Park & Ride Verkehr genutzt werden kann. Das bedeutet, dass alle Personen in Park & Ride Bezirken weiterhin nur den Modus mIV oder ÖV wählen können. Das Nutzen der Park & Ride Anlage im eigenen Bezirk ist ebenfalls nicht möglich, da Park & Ride Verkehre innerhalb eines Bezirkes nicht erkannt werden. Dies hätte zur Folge, dass ein erheblicher Teil an potenziellen Nutzern in den Bezirken entlang der Schienenhauptachsen in der Berechnung nicht einbezogen würden.

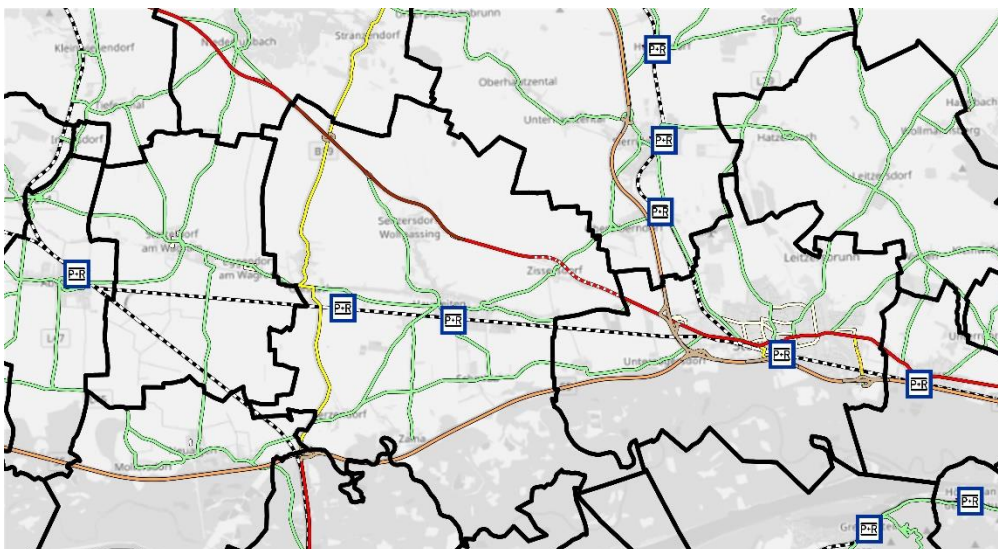


Abbildung 45: Darstellung der Park & Ride Anlagen in der Gemeinde Hausleiten

Die Erweiterung der bestehenden Bezirke durch die neuen Attribute würde jedoch aufgrund der negativen Folgen zu falschen Ergebnissen in der Modellierung führen und wird deshalb nicht ausgeführt. Um eine realitätsnahe Park & Ride Modellierung zu ermöglichen, werden Park & Ride Anlagen daher als eigenständige Bezirke modelliert.

Die Modellierung der Park & Ride Anlagen als neue Bezirke ermöglicht es die einzelnen Anlagen separat und ohne Begrenzungen für Verkehrsteilnehmer zu integrieren. Durch den erhöhten Aufwand wurde

jedoch beschlossen die Modellierung der Park & Ride Bezirke auf ein Teilgebiet der VOR Region zu begrenzen. Dazu wurde ein Teilgebiet Niederösterreichs nördlich sowie nordwestlich von Wien bestimmt und umfasst folgende Bezirke:

- Gänserndorf
- Gmünd
- Hollabrunn
- Horn
- Korneuburg
- Krems an der Donau
- Krems-Land
- Mistelbach
- Tulln
- Waidhafen an der Thaya
- Zwettl

Die Bezirke, die in im Teilgebiet der VOR Region zur Modellierung der Park & Ride Bezirke erfasst werden, sind Abbildung 46 dargestellt.

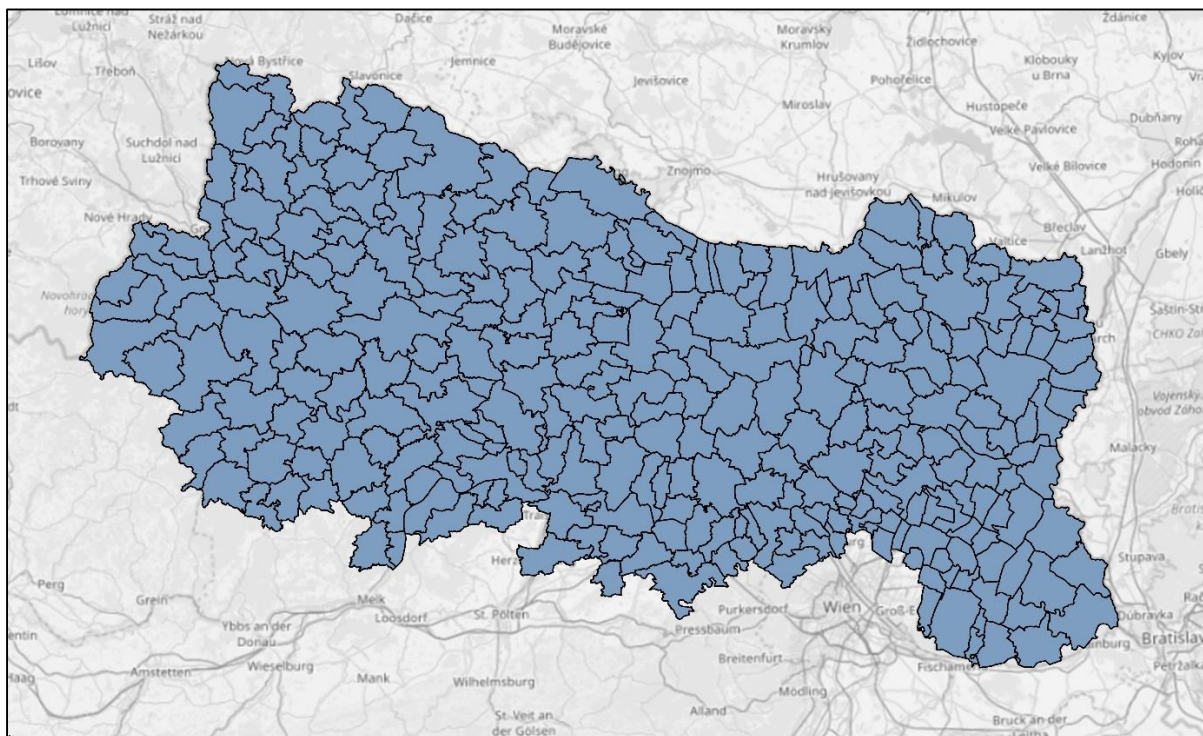


Abbildung 46: Gewähltes Teilgebiet der VOR-Region zur Modellierung von Park & Ride

Dieses Teilgebiet Niederösterreichs deckt zusätzlich die Park & Ride –Anlage Stockerau, die in Kapitel 3 als Teststandort für die Testanlage gewählt wurde, sowie das Einzugsgebiet dieser Anlage für die spätere Auswertung, ab. Park & Ride -Anlagen mit weniger als 30 Stellplätzen wurden in dem Teilgebiet ebenfalls nicht modelliert, da sie aufgrund der geringen Kapazität zu keinen wesentlichen Veränderungen in der Berechnung führen. Die Park & Ride –Anlagen in den Bezirken Gmünd, Waidhofen an der Thaya sowie Zwettl wurden nicht modelliert, da der Park & Ride –Verkehr aufgrund

der Distanz gering ist. Diese Maßnahmen führen dazu, dass insgesamt 70 Park & Ride Anlagen in Form von Park & Ride Bezirken in das bestehende Standard-Vier-Stufen-Modell modelliert werden. Die modellierten Park & Ride Bezirke sowie die enthaltenen Attribute werden im Anhang .. angeführt.

Die Modellierung einer Park & Ride Anlage erfolgt durch das Hinzufügen eines neuen Bezirkes in dem bestehenden Verkehrsmodell. Die Anbindung des Park & Ride Bezirkes erfolgt einerseits durch die Verkehrssysteme Fahrrad und PKW, welche die Zu- und Abfahrt mit dem Individualverkehrsmittel ermöglichen. Die zweite Anbindung erfolgt durch das Verkehrssystem ÖV-Fuß, welches den Weg vom abgestellten Individualverkehrsmittel zu dem jeweiligen Bahnhof oder der Haltestelle abbildet, und den Umstieg auf ein öffentliches Verkehrsmittel ermöglicht. Mit der Festlegung der Parkplatzanzahl durch das Attribut der Parkplatzkapazität werden die Bezirke als Park & Ride Bezirke erkannt. In Abbildung 47 wird ein Park & Ride Bezirk mit den benötigten Anbindungen sowie der verfügbaren Stellplätze abgebildet. Die Zu- und Abgangszeiten der Bezirke wurden einheitlich gewählt. Für die benötigte CR-Funktion wird eine Funktion mit dem Typ BPR gewählt.

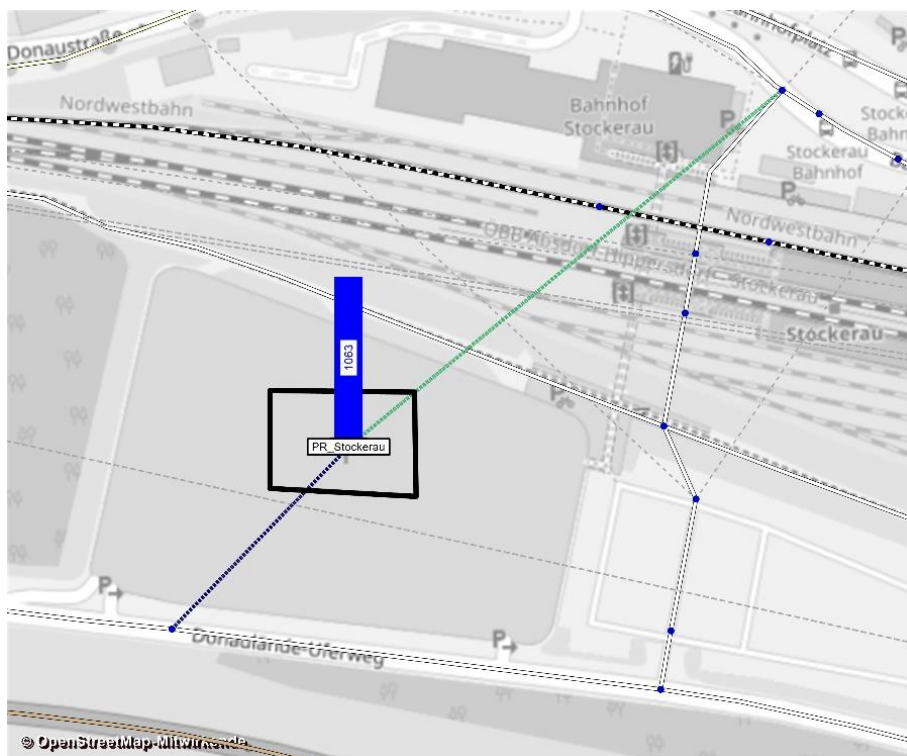


Abbildung 47: Abbildung eines erstellten Park & Ride Bezirks

5.2 Verfahrensablauf zur Modellierung von Park & Ride

Nach der Erweiterung des Netzmodells wird im nächsten Schritt das Nachfragemodell um den Modus Park & Ride erweitert. Wie in der Abbildung 48, werden dazu zusätzliche Verfahren in den bestehenden Verfahrensablauf des Nachfragemodells integriert. Es handelt sich dabei um die Park & Ride Platzwahl und um die Park & Ride Teilwege-Zerlegung. Die Park & Ride Platzwahl berechnet zum einen die Kenngrößen für den Modus Park & Ride und zum anderen die Aufteilung der Park & Ride Nachfrage auf die Park & Ride Parkplätze. Die Park & Ride Teilweg-Zerlegung füllt aus den ausgegebenen Wege-Abfolge-Mengen die Nachfragematrizen für den mIV und den ÖV. Wege-Abfolgen sind Wege, welche mit mehreren Modi zurückgelegt werden und bei Park & Ride aus den drei Wege-Abfolge-Elementen Quellbezirk, dem Bezirk, der die Park & Ride Anlage repräsentiert und dem Zielbezirk bestehen.



Abbildung 48: Verfahrensablauf für die Modellierung von Park & Ride

Modus Park & Ride

Das bestehende Nachfragemodell wird neben den Modi IV und ÖV um den Modus Park & Ride erweitert. Dazu wird der Modus Park & Ride mit dem Verkehrssystemtyp IV erzeugt und als zusätzlicher Modus im Nachfragemodell ausgewählt. Dieser Modus ermöglicht es Fahrten mit Park & Ride in den Verfahren Park & Ride Platzwahl und Park & Ride Teilweg-Zerlegung innerhalb einer Wegekette auf die Modi IV und ÖV aufzuteilen.

Nachfrageschichten

Die Nachfrageschichten werden des Standard-Vier-Stufen-Modells werden nicht verändert, jedoch werden weitere benutzerdefinierte Attribute definiert. Das benutzerdefinierte Nachfrageattribut IsPR bestimmt, ob für eine bestimmte Nachfrageschicht der Park & Ride Verkehr berechnet wird. Für die Park & Ride Modellierung wurden folgende Nachfrageschichten gewählt, für die Park & Ride ermöglicht wird:

- WA_oP (Wohnen-Arbeiten mit PKW)
- WF_mP (Wohnen-Freizeit mit PKW)
- WH (Wohnen-Hochschule)
- WS (Wohnen-Sonstiges)

Diese Nachfrageschichten decken den größten Teil jener Personengruppen mit Pkw-Verfügbarkeit ab, die als potentielle Nutzer für Park & Ride Anlagen angesehen werden. Das benutzerdefinierte Attribut IsPR führt dazu, dass für die ausgewählten Nachfrageschichten die Nachfragematrix für den Modus Park & Ride erzeugt wird.

Matrizen

Um zu bestimmen auf welchen Relationen Park & Ride erlaubt ist, wird eine Matrix angelegt. Diese Matrix wird bei der späteren Bearbeitung der Park & Ride Kenngrößenmatrix verwendet. Auf Relationen, die nicht für den Park & Ride Verkehr zugelassen werden, wird der Matrixwert der Matrix auf null gesetzt. Die Kenngrößenmatrix wird daraufhin manipuliert, dass diese Relationen einen

geringen Nutzen (-99999) aufweisen und dadurch keine Park & Ride Nachfrage auf diesen Relationen entsteht.

Zu den bestehenden Matrizen wird für jede Nachfrageschicht, bei der Park & Ride erlaubt ist, eine Nachfragematrix für den Modus Park & Ride erzeugt. Die Belegung dieser Matrix erfolgt wie üblicherweise im Verfahren Moduswahl.

Zusätzlich werden für die vier gewählten Nachfrageschichten jeweils zwei Matrizen erzeugt, die durch die spätere Teilweg-Zerlegung befüllt werden. Diese beinhalten einerseits den Teil des Weges mit dem Pkw bzw. jenen Teil der mit dem ÖV zurückgelegt wird.

Park & Ride Platzwahl

Das Verfahren Park & Ride Platzwahl berechnet für jede Nachfrageschicht und den gewählten Park & Ride Modus eine kombinierte Kenngrößenmatrix. Zusätzlich werden je Quell-Ziel-Beziehung eine gewisse Menge an Park & Ride Parkplätzen und die Aufteilung der Nachfrage auf diese Plätze aus der gesamten Park & Ride Belastung ermittelt. Neben der Kapazität des Park & Ride -Platzes werden weitere Eingabekenngrößen für das Verfahren benötigt. Dabei dienen die Kenngrößenmatrizen beziehungsweise der daraus abgeleitete Nutzen für den eingehenden und ausgehenden Teilweg sowie die auslastungsabhängigen Kosten der Park & Ride Nutzung. Dazu wird die in Abschnitt 5.1 beschriebene CR-Funktion verwendet, welche einzeln für jeden Park & Ride Bezirk bestimmt werden kann. (PTV Planung Transport Verkehr AG, 2017, p. 240)

Das Aufgabe des Verfahrens ist es, je Nachfrageschicht n und Quell-Ziel-Beziehung i,j eine Menge von optimalen Park & Ride Plätzen p sowie deren anteilmäßige Nachfrage R zu finden, sodass unter der Berücksichtigung der nachfrageabhängigen Kapazitätsauslastung des P+R-Platzes und der Kenngrößen diese Verteilung im Gleichgewicht ist (PTV Planung Transport Verkehr AG, 2017). Dieses iterativ Verfahren passt die Nachfrage je Nachfrageschicht und Quell-Ziel-Beziehung so lange an, bis eine ausgeglichene Verteilung, in Abhängigkeit der Eingabegrößen, erreicht wird.

Das Verfahren ermittelt je Quell-Ziel-Beziehung zunächst alle erreichbaren Park & Ride Plätze. Park & Ride Plätze gelten als nicht erreichbar, wenn die Summe der Nutzen der eingehenden und ausgehenden Kenngrößen sowie der Parkplatznutzung den Wert 99999 unterschreitet. Anschließend beginnt die eigentliche Iteration, in der die anteilmäßige Nachfrage je Nachfrageschicht, Quell-Ziel-Beziehung und Parkplatz eine veränderliche Größe darstellt, die im Verlauf der folgenden Iterationen angepasst wird. Es wird zu Beginn jeder Iteration pro Quell-Ziel-Beziehung eine Kurzwegsuche durchgeführt und dadurch die gesamte Nachfrage über den gefundenen Park & Ride Platz geführt. In der Regel stellt dies jedoch keine optimale Verteilung dar. Durch das skalieren mit einem Faktor λ wird diese auf einen Weg umgelegte Nachfrage nach folgender Formel zur Verteilung des letzten Iterationsschritts hinzugefügt (PTV Planung Transport Verkehr AG, 2017, p. 241):

$$\tilde{R}(\lambda) = (1 - \lambda) \cdot R + \lambda \cdot \Gamma \quad \lambda \in (0,1) \quad (8)$$

mit:

\tilde{R} = neu ermittelte Verteilung in diesem Iterationsschritt

R = Verteilung aus dem letzten Iterationsschritt

Γ = Verteilung der Gesamtnachfrage nach Kurzwegsuche

λ = Skalierungsfaktor

Der Skalierungsfaktor wird so angepasst, dass sich der Gap verringert. Der Gap beschreibt das Verhältnis aus den tatsächlichen Nutzen unter Berücksichtigung der Verteilung der Nachfrage über alle

erreichbaren Parkplätze und den Nutzen, die sich aus der Verteilung der Gesamtnachfrage über den gefundenen Kurzweg ergeben, aus. Die Berechnung der Nutzen für das Gap erfolgt jeweils über alle Quell-Ziel-Beziehungen und Nachfrageschichten. Das Verfahren wird beendet, wenn entweder die maximale Anzahl Iterationen erreicht ist oder das definierte Gap unterschritten wird. (PTV Planung Transport Verkehr AG, 2017, p. 241)

Das Verfahren Park & Ride Platzwahl wird, wie in der Abbildung ersichtlich, zwei Mal angewendet. Das erste Verfahren wird lediglich dazu genutzt, die Nutzenmatrix für die gewählten Nachfrageschichten für Park & Ride zu berechnen. Diese Matrix dient im nächsten Schritt als Eingangsgröße bei der Moduswahl. Die Aufteilung der Nachfrage auf die Park & Ride Plätze ist in diesem Schritt noch nicht von Bedeutung, da noch keine Park & Ride Nachfrage vorliegt. Als Eingabekenngrößen werden je Nachfrageschicht die Nutzendefinitionen der Modi MIV und ÖV genutzt. Dabei bildet die Nutzendefinition des MIV die eingehende und die Nutzendefinition des ÖV die ausgehende Komponente. In späteren Iterationen erfolgt die Ermittlung der Park & Ride Nutzenmatrix auf Basis des aktualisierten Nutzens für den IV der letzten IV Umlegung am Ende der vorherigen Schleife.

Die zweite Durchführung des Verfahrensschritts Park & Ride Platzwahl erfolgt nach der Moduswahl. In diesem Schritt werden aus der Park & Ride Nachfrage Wege-Abfolgen erzeugt, die die Aufteilung der Nachfrage auf die Park & Ride Stellplätze enthalten.

Die maximale Anzahl der Iteration wird auf 50 und das maximale Gap auf 0,01 festgelegt. Sobald die Iterationen erreicht werden oder das Gap unterschritten wird, wird das Verfahren beendet.

Moduswahl

Die Moduswahl wird durch den neuen Modus Park & Ride erweitert. Für jene Nachfrageschichten die Park & Ride Nutzen, wird die berechnete kombinierte Kenngrößenmatrix eingesetzt. Bei allen Nachfrageschichten die nicht für Park & Ride freigegeben sind, wird der Nutzen (-99999) so gering gesetzt, dass für diese Nachfrageschichten keine Park & Ride Nachfrage berechnet wird. Die Park & Ride Nachfrage, die als Ergebnis der Moduswahl ermittelt wird, wird anschließend in dem zuvor angeführten Verfahren Park & Ride Platzwahl auf die Park & Ride Plätze aufgeteilt.

Teilweg-Zerlegung

Das Verfahren Teilweg-Zerlegung ermittelt aus den Park & Ride Wege-Abfolge-Mengen, welche die Aufteilung der Nachfrage auf die P+R-Plätze enthalten, die Nachfragematrizen für den IV und den ÖV. Für das auf dem ersten Teil des Weges benutzte Verkehrssystem enden die Wege auf den P+R Plätzen und beginnen am Quellbezirk, für den zweiten Teil des Weges beginnen alle Wege in Bezirken, die als P+R Platz gekennzeichnet sind, und führen bis zum Zielbezirk. (PTV Planung Transport Verkehr AG, 2017, p. 241)

Die für die Teilweg-Zerlegung benötigten Wege-Abfolge-Mengen werden in der zuvor durchgeführten Park & Ride Platzwahl ausgegeben. Für die vier gewählten Nachfrageschichten werden die jeweils zwei zuvor erzeugten Matrizen, durch die Teilweg-Zerlegung befüllt. Die aus der Park & Ride Teilweg-Zerlegung entstandenen Nachfragematrizen je Teilweg, werden den jeweils für den IV bzw. den ÖV umgelegt.

Umlegung

Die aus der Park & Ride Teilweg-Zerlegung entstandenen Nachfragematrizen je Teilweg, werden den jeweils für den IV bzw. den ÖV umgelegt. Die Umlegungsverfahren für den IV und den ÖV werden dabei nicht verändert.

5.3 Kalibration

Das Ziel der Kalibration ist es das vorhandene Park & Ride Modell so anzupassen, dass eine realitätsnahe Nutzung erreicht wird. Dabei wird anhand der vorhandenen Referenzdaten versucht diese im Modell zu erreichen. Als Ergebnis soll eine Angleichung der Park & Ride Stellplatzauslastung an einer Erhebung dienen, die in den Jahren 2011 und 2012 durchgeführt wurde. Die Erhebung wurde auf dem gesamten Gebiet der VOR-Region durchgeführt. Abbildung 49 zeigt alle Park & Ride –Anlagen der VOR-Region mit 25 Stellplätzen oder mehr. Auffällig ist das die Auslastung bei Park & Ride –Anlagen mit mehr als 100 Stellplätzen sehr hoch ist. Anlagen in der Nähe zur Stadtgrenze von Wien sind besonders stark ausgelastet. (Rittler, 2011, p. 11).

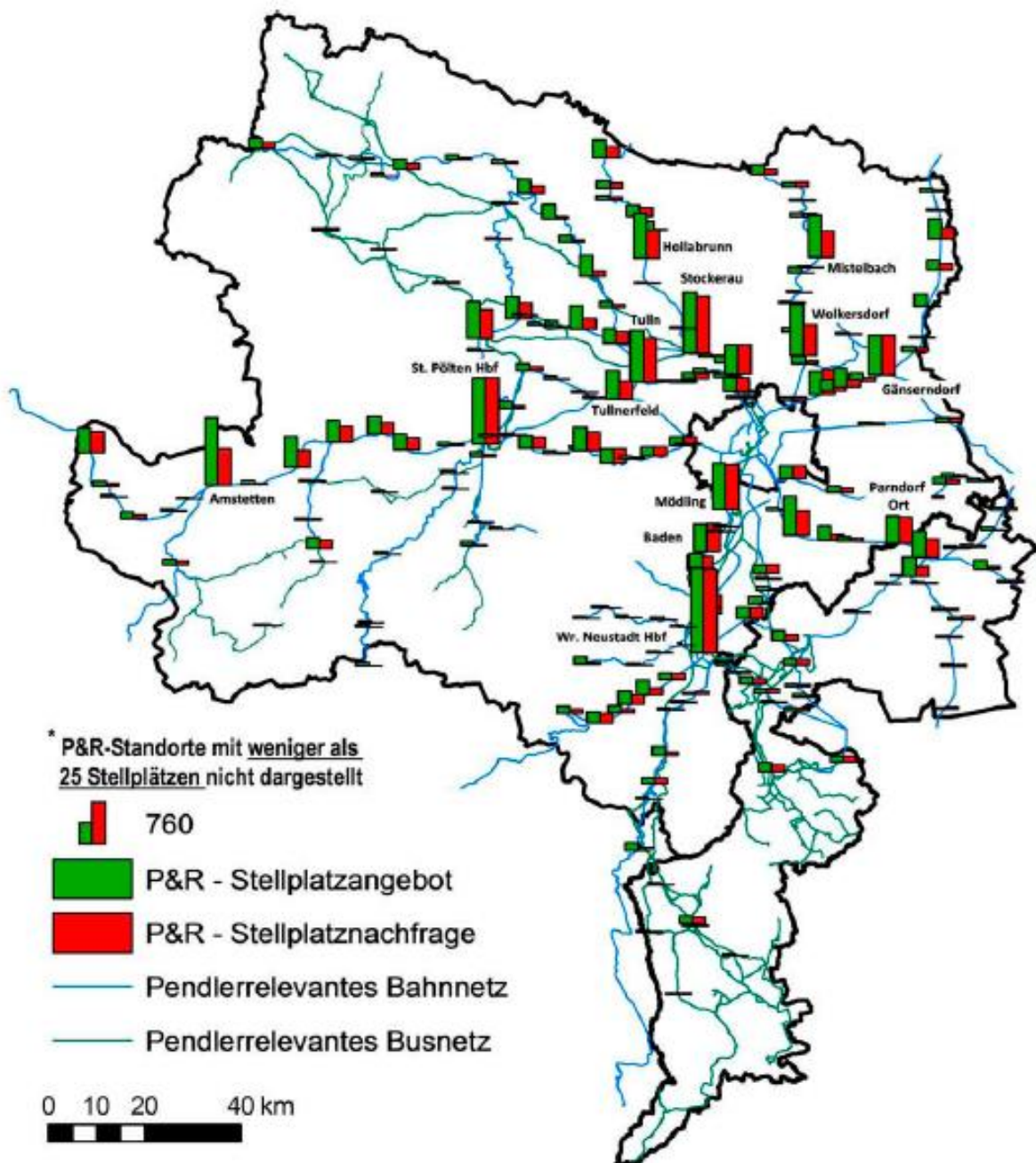


Abbildung 49: Park & Ride Stellplatzauslastung in der Ost Region (ohne Wien)(Rittler, 2011, p. 11)

Um die Ergebnisse der Erhebung zu erreichen, wurden im ersten Schritt Maßnahmen durchgeführt die nötig waren um eine korrekte Park & Ride Modellierung durchführen zu können.

Moduswahl

Die Moduswahl Park & Ride nutzt für die Berechnung der nicht freigegebenen Nachfrageschichten für Park & Ride einen geringen Nutzen (-99999), der zu keiner Nachfrage führen soll. Im bestehenden Modell führten im Betrachtungsgebiet jedoch einzelne Nutzen für die Modi IV und ÖV dazu, dass der Modus Park & Ride trotzdem gewählt wurde. Da es sich für den Park & Ride Verkehr um nicht relevante Verkehrsteilnehmer handelt (außerhalb der Planungsgebietes), wurde beschlossen die vorhandene Kenngrößenmatrix des IV in der Nutzendefinition um eine Wenn-Funktion zu erweitern. Diese verhindert, dass der Fahrzeit t_{akt} im belasteten Netz 180 Minuten überschreitet. Somit wird erreicht, dass der MIV Nutzen immer höher ist als der definierte Nutzen -99999.

Änderung des Park & Ride Nutzen

Die Wahl des Modus Park & Ride steht in direkter Konkurrenz zu dem Modus IV. Der Nutzen von Park & Ride sollte daher höher sein um bei einem Verkehrsteilnehmer angenommen zu werden. Dieser Nutzen wird jedoch in den peripheren Gebieten der VOR-Region nicht erreicht. Durch die Kombination von IV und ÖV Nutzen, wird ein Nutzen gebildet der sich mit zunehmenden Abstand zum Stadtgebiet Wien verschlechtert. Um eine realitätsnähere Nutzung zu erreichen, wird das untersuchte Gebiet in vier Zonen unterteilt, siehe Abbildung 50. Diese Zonen werden als Ring um die Stadt Wien angelegt, und dienen ausschließlich dem Park & Ride Verkehr nach Wien. Es wird eine Korrekturmatrix erstellt, die in Abhängigkeit der Lage den Nutzen des Modus Park & Ride beeinflusst.

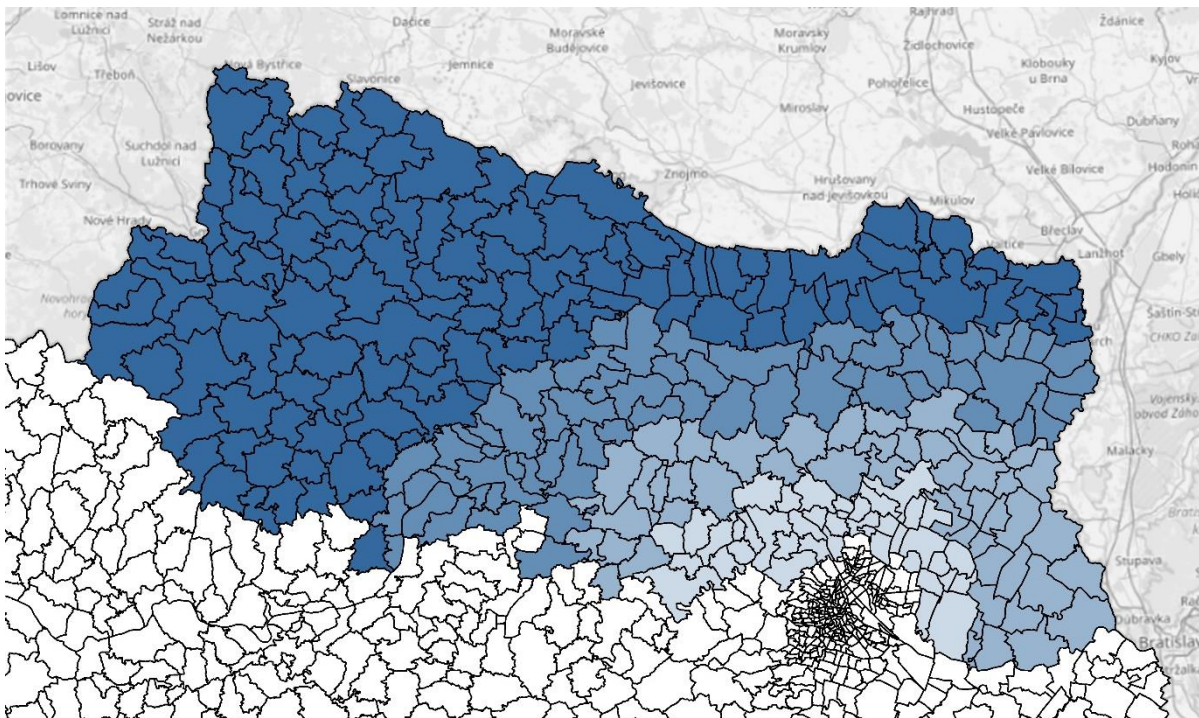


Abbildung 50: Zoneneinteilung für den Korrekturfaktor

Rückweg

In diesem Verfahrensablauf wurde nur der Hinweg für Nutzung von Park & Ride als relevant betrachtet. Am Beispiel der Aktivitätenpaare WA und AW lässt sich die Problematik der Park & Ride Rückwege beschreiben. Mit dem Aktivitätenpaar Wohnen-Arbeiten wird der Hinweg beschrieben, wo Park & Ride genutzt wird. Für den Rückweg müsste daher das Aktivitätenpaar Arbeiten-Wohnen ausgewählt

werden. In dem Verfahren Park & Ride Platzwahl würde realistisch gesehen das Attribut Parkplatzkapazität keinen Einfluss nehmen, da die Pkws bereits abgestellt sind und für den Rückweg abgeholt werden. Da sich die CR-Funktion jedoch nicht je Nachfrageschicht in der Park & Ride Platzwahl bestimmen lässt, ist dies nicht möglich.

Ein weiteres Problem ist, das bei der gespaltenen Aktivitätenpaare nicht sichergestellt werden kann, dass für zusammengehörende Fahrten über die gleiche Park & Ride Anlage verlaufen. In der Realität würde der Rückweg mit Park & Ride zum Wohnort über die selbe Park & Ride Anlage verlaufen, wie der Hinweg.

Aus diesem Grund wird anhand des von PTV Visum zur Verfügung gestellten Beispielmodells eine Spiegelung der Hinwege durchgeführt. Dabei werden die Nachfragematrizen je Teilweg transponiert und dem und wie der Hinweg umgelegt. Um dadurch keine zusätzlichen Wege zu erzeugen, wird die transponierte Nachfrage je Teilweg von der IV- sowie der ÖV-Gesamtnachfragematrix abgezogen.

CR-Funktion

Wie in Abschnitt 5.1 beschrieben, kann für jeder Park & Ride ein auslastungsabhängiger Widerstand berechnet werden. Je steiler diese gewählt wird, desto Mehr Einfluss hat die Auslastung auf den Widerstand. Dabei wurde eine Funktion vom Typ BPR gewählt. In Abhängigkeit der Lage ist es nötig eine Kalibrierung zur Bestimmung der jeweiligen Widerstandsfunktionen für die Anlagen durchzuführen. Es ist zu erkennen, dass sich die gewählten Parameter je nach der Lage des Park & Ride Platzes stark unterscheiden. Da Aufgrund der Datengröße und der daraus folgenden langen Berechnungszeiten des Verfahrens nicht alle Anlagen einzeln kalibriert werden konnten, wurden diese in Abhängigkeit ihrer Lage zur Stadtgrenze Wiens sowie der Auslastung des ersten Durchgangs in zwei Gruppen zusammengefasst und einheitliche BPR-Funktionen je Gruppe verwendet. Die BPR-Funktionen werden je Anlage im Anhang 7 angeführt.

Die in Kapitel 5 durchgeführten Schritte zur Modellierung von Park & Ride in einem bestehenden Nachfragemodell sollen den aktuellen Stand der Park & Ride Nutzung darstellen. Das Ergebnis liefert einen Basisfall für die Park & Ride Modellierung, welcher die Grundlage für unterschiedliche Szenarien darstellt, welche im nächsten Abschnitt ausgewertet werden.

Basisfall

Der Basisfall, umfasst eine realitätsnahe Nutzung von Park & Ride Anlagen in einem Teilgebiet der VOR-Region. Das für den Modus Park & Ride zugelassene Gebiet umfasst das Bundesland Wien sowie das nördliche sowie nordwestliche Teilgebiet Niederösterreichs. Park & Ride Anlagen sind, wie in Abschnitt 5.1, nur auf dem Gebiet Niederösterreich als Park & Ride Bezirke modelliert worden. Jene Park & Ride Anlagen, die auf dem Stadtgebiet Wiens liegen, wurden nicht modelliert, da diese auf die festgelegten Szenarien keinen Einfluss hätten. In Abbildung 51 wird die Parkplatzkapazität, sowie die Stellplatzauslastung angegeben. Das Ziel war es diese den verfügbaren Daten der durchgeführten Erhebung aus den Jahren 2011 und 2012 möglichst anzugleichen. Um dies zu erreichen wurde die prozentuale Auslastung herangezogen, da sich die Parkplatzkapazität vieler Anlagen in diesem Zeitabstand erhöht hat.

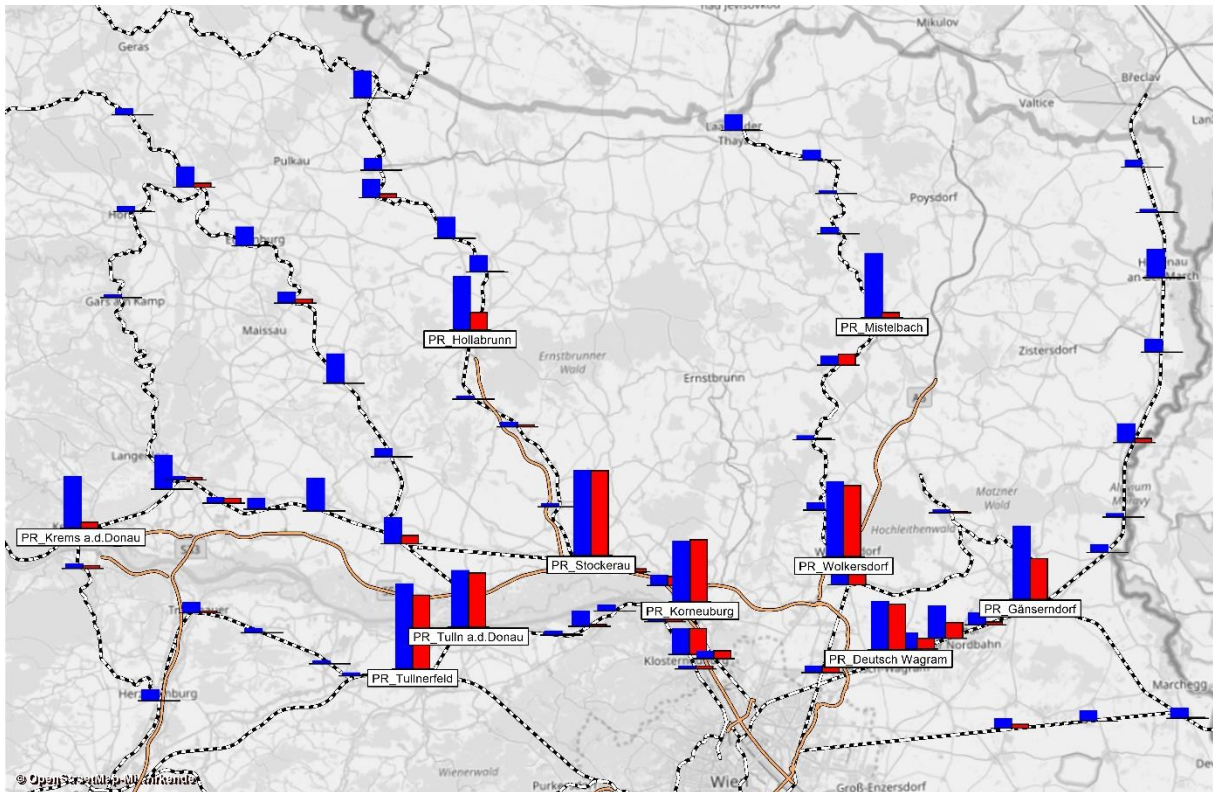


Abbildung 51: Park & Ride Basisfall

Die Ergebnisse der Berechnung lassen sich aufgrund der wenigen Referenzdaten nur Anhand Auslastung der Anlagen mit realen Daten vergleichen. Dabei zeigt sich, dass Anlagen, welche an den Einfahrkorridoren nach Wien liegen, durch die in der Modellierung gewählten Parameter, wie auch in der Realität, hohe Auslastungen aufweisen. Der Grund dafür ist die Kombination der Kenngrößenmatrizen für den Park & Ride Nutzen, welche die Vorteile des IV in den peripheren und jene des ÖV in den dicht besiedelten Gebieten nutzen. Dabei können die Anlagen an den Standorten Deutsch-Wagram, Gänserndorf, Korneuburg, Stockerau, Tulln a. d. Donau, das Tullnerfeld und Wolkersdorf als solche definiert werden. In Tabelle 16 werden diese Park & Ride Anlagen mit dem Parkplatzangebot, der Stellplatznachfrage sowie mit der jeweiligen Auslastung angeführt. Die geringere Auslastung der Park & Ride Gänserndorf als in der Erhebung ergibt sich aufgrund der Nähe zur Staatsgrenze. Da für den grenzüberschreitenden Verkehr kein Park & Ride Verkehr möglich ist, führt dies zu einer geringeren Nachfrage.

Tabelle 16: Park & Ride Anlagen mit höchster Stellplatznachfrage

Park & Ride Anlage	Stellplatzangebot	Stellplatznachfrage	Kapazitätsauslastung
Tullnerfeld	1.175	822	70%
Stockerau	1.063	1.035	97%
Wolkersdorf	884	833	94%
Gänserndorf	863	457	53%
Korneuburg	705	728	103%
Tulln a.d. Donau	667	631	95%
Deutsch Wagram	569	533	94%

Verkehrsteilnehmer aus den peripheren Regionen nutzen aufgrund der längeren Fahrzeiten und geringeren Taktdichte seltener Park & Ride Anlagen in diesen Gebieten. Durch längere Wege mit dem Pkw werden Park & Ride Anlagen mit einer guten ÖV Anbindung genutzt. Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in der Park & Ride Modellierung wieder.

Es muss jedoch auch festgestellt werden, dass die Modellierung in gewissen Teilen des Untersuchungsgebietes nicht das gewünschte Ergebnis liefert. Anlagen, welche entlang der Staatsgrenze liegen weisen größtenteils eine geringe Park & Ride Nutzung auf. Obwohl in den Grenzbezirken Park & Ride Quellverkehr erzeugt wird, kann durch die Park & Ride Platzwahl die Nutzung dieser Anlagen nicht erreicht werden. Aufgrund der geringen Anzahl der Stellplätze sowie der geringen Auslastung wirken sich diese Differenzen auf den weiteren Verlauf nicht aus. Den Abschluss dieses Kapitels bilden die Maßnahmenzenarien, welche auf der Grundlage des Basisfalls gebildet werden.

5.4 Auswertung der Maßnahmenzenarien

Im folgenden Kapitel werden die angenommenen Maßnahmenzenarien für das bestehende Park & Ride Modell dargestellt. Es werden die Ergebnisse der Umlegungen der einzelnen angenommenen Szenarien mit dem Basisfall verglichen und die daraus folgenden Veränderungen betrachtet. Dabei handelt es sich um Szenarien die Kapazitätserweiterungen von Park & Ride Anlagen sowie Veränderungen im hochrangigen Straßennetz, wie Störungen und den weiteren Ausbau betrachten. Zusätzlich werden noch Veränderungen im ÖV-Angebots untersucht und durch die Kombination der einzelnen Maßnahmen weitere Szenarien erstellt.

Betreffend der Ergebnisse der Umlegungen ist zu erwähnen, dass im bestehenden Modell gewisse Aspekte die für die Nutzung von Park & Ride eine erhebliche Rolle spielen, nicht in die Modellierung einfließen, da dies im Umfang dieser Arbeit nicht möglich war. Die Auswertung enthält keine Kosten die sich beim Abstellen des Fahrzeuges in bewirtschafteten Park & Ride Anlagen ergeben können, da das bestehende Modell keine Kostensensitivität beinhaltet. Zurzeit können jene Anlagen, welche auf dem Gebiet Niederösterreichs in das Nachfragemodell modelliert wurden kostenfrei genutzt werden. Die Erweiterung der Parkraumbewirtschaftung und Erhöhungen der Preise für Parktickets der Stadt Wien sind in den Prognoseszenarien ebenfalls nicht enthalten ebenso wie Tarifveränderungen des Verkehrsverbund Ost-Region (VOR).

Korridor Stockerau

Zur Durchführung der Maßnahmenzenarien wurde die Park & Ride Anlage Stockerau sowie das Einzugsgebiet der Anlage ausgewählt. Aufgrund der in Kapitel 3 durchgeführten Standortanalyse sowie der Lage der Anlage im modellierten Gebiet, eignet sich die Park & Ride Anlage Stockerau zur Durchführung der Maßnahmenzenarien im Park & Ride Verkehr besonders gut. Die Szenarien erfassen neben der Park & Ride –Anlage auch den Bahnhof Stockerau und den Autobahnabschnitt der A22, der durch die Gemeinde Stockerau verläuft. Um die Veränderungen der Szenarien vollständig zu erfassen, muss zusätzlich das gesamte Einzugsgebiet untersucht werden, siehe Abbildung 52. Die Gemeinde Stockerau umfasst drei Einfahrtskorridore, welche in Richtung Wien führen. Dies sind die S3 (Weinviertel Schnellstraße) und die S5 (Stockerauer Schnellstraße), welche in die A22 (Donauufer Autobahn) in Richtung Wien zusammengeführt werden. Zusätzlich mündet die B4 (Horner Straße) in Stockerau in die B3 (Donau Straße) in Richtung Wien.

Auch der öffentliche Verkehr wird an dem Bahnhof Stockerau gebündelt und anschließend Richtung Wien weitergeführt. Der größte Anteil des öffentlichen Verkehrs wird über die Schnellbahn-Linien S3

und S4 abgewickelt. Dabei verläuft die S3 vom nördlich gelegenen Hollabrunn über Stockerau nach Wien und die S4 vom westlich liegenden Tullnerfeld. Zusätzlich wird von der Gemeinde Unterterretzbach ein Regionalexpress, sowie zahlreiche Schnellbuslinien aus den nordwestlichen Niederösterreich über diesen Bahnhof nach Wien geführt.

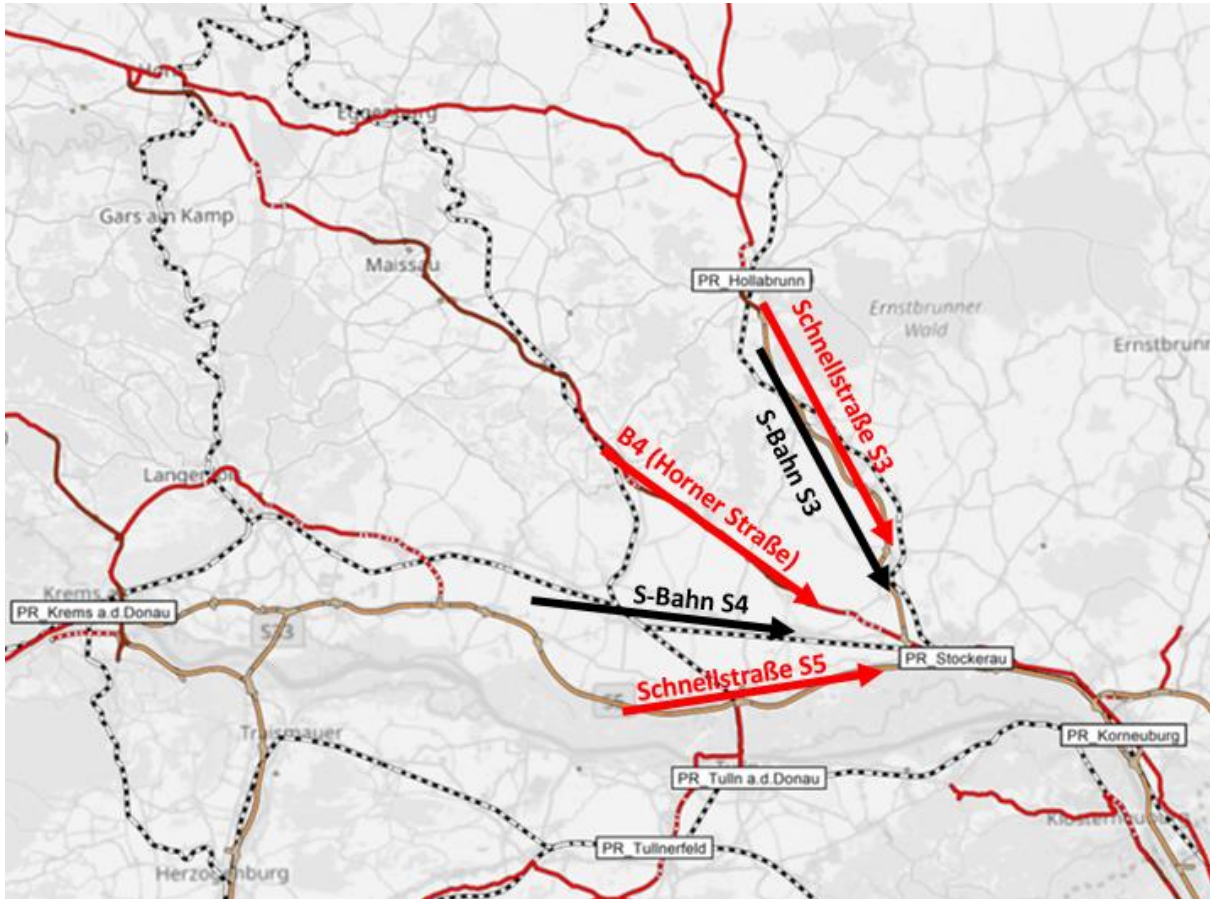


Abbildung 52: Einzugsgebiet des Einfahrtskorridor Stockerau

Um den Einfluss auf die Park & Ride Anlage Stockerau durch Veränderungen in der Umgebung zu untersuchen, wurden zusätzlich Maßnahmenszenarien eingeführt, an denen Kapazitätserweiterungen der Park & Ride Anlagen Tulln und Tulln a.d. Donau und der Ausbau der Schnellstraße S3 angenommen werden. Um einen Überblick auf die durchgeführten Maßnahmenszenarien zu schaffen, werden diese in Tabelle 17 aufgelistet.

Tabelle 17: Durchgeführte Maßnahmenszenarien

Szenario	Maßnahme
1	Kapazitätserweiterung der Park & Ride Anlage Stockerau
2	Kapazitätserweiterung der Park & Ride Anlagen Tulln a.d. Donau und Tullnerfeld
3	Teilsperre der A22 in Richtung Wien
4	Sperre der A22 in Richtung Wien
5	Kapazitätserweiterung der Park & Ride Anlage Stockerau sowie die Sperre der A22 in Richtung Wien
6	Vollausbau der S3 (Weinviertel Schnellstraße)
7	Ausfall des Regionalexpress am Bahnhof Stockerau
8	Taktverdichtung der Schnellbahn S3

Maßnahmenszenario 1 „Kapazitätserweiterung der Park & Ride Anlage Stockerau“

Das „Maßnahmenszenario Kapazitätserweiterung der Park & Ride Anlage Stockerau“ sieht eine Erhöhung der verfügbaren Stellplätze der Park & Ride Anlage Stockerau vor. Aufgrund der hohen Auslastung der Anlage, kann nach einer Kapazitätserweiterung mit einer Zunahme des Park & Ride Verkehrs gerechnet werden und so das hochrangige Straßennetz ab Stockerau zusätzlich entlastet werden. Die Auswirkungen auf die Stellplatznachfrage der Park & Ride Anlagen, welche bei einer Erweiterung der Park & Ride Anlage Stockerau von 1.063 auf 2.126 Stellplätze entstehen, werden in der Tabelle 18 aufgezeigt. Dabei werden jene Anlagen angeführt, welche von der Maßnahme beeinflusst werden. Zusätzlich wird noch je Park & Ride Anlage die Auslastung je Maßnahme und die Differenz zum Basisfall angegeben. Es ist zu erkennen, dass trotz einer Verdoppelung der Stellplätze die Auslastung der Park & Ride Stockerau mit 88% weiterhin hoch ist. Insgesamt werden durch die Kapazitätserhöhung der Park & Ride Anlage Stockerau im modellierten Gebiet 7.324 Park & Ride Fahrten durchgeführt, was im Vergleich zu den Fahrten im Basisfall einer Steigerung von 113 Fahrten oder 2% entspricht.

Tabelle 18: Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenszenario 1

Park & Ride Anlage	Stellplätze	Stellplatznachfrage	Auslastung	Differenz zum Basisfall	
Stockerau	2.126	1.863	88%	834	39%
Tullnerfeld	1.175	559	48%	-263	-22%
Hollabrunn	628	166	26%	-41	-7%
Korneuburg	705	698	99%	-30	-4%
Tulln a.d.Donau	667	603	90%	-28	-4%
Absdorf-Hippersdorf	306	53	17%	-26	-9%
Krems a.d.Donau	607	40	7%	-21	-3%
Leobendorf-Burg Kr.	118	92	78%	-12	-10%

Die zusätzlichen Park & Ride Fahrten lassen sich auf die zusätzlichen Kapazitäten der Park & Ride Anlage zurückführen. Im Vergleich zur höheren Nutzung der Park & Ride Anlage Stockerau, ist im Einzugsgebiet der Anlage ein Rückgang der Auslastung festzustellen. Dieser Rückgang fällt zum größten Teil auf die Park & Ride Anlage Tullnerfeld, da hier die Auslastung um 22% bzw. 263 Fahrzeuge zurückgeht. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass durch die zusätzlichen Kapazitäten an der Park & Ride Anlage Stockerau, Pkw-Fahrten auf der Schnellstraße S5 bis zu dieser Anlage weitergeführt werden. Aufgrund der zusätzlichen Park & Ride Nutzung an der Park & Ride Anlage Stockerau kommt es an dem Autobahnabschnitt der A22 (Donauufer Autobahn), bei der Zählstelle Knoten Stockerau Ost zu einer Verringerung des Verkehrsaufkommens auf 31.466 Fahrzeuge pro Tag, was eine Reduktion von 0.7% zum Basisfall bedeutet. Um einen besseren Überblick zu verschaffen werden die Park & Ride Anlagen in Abbildung 53 dargestellt.

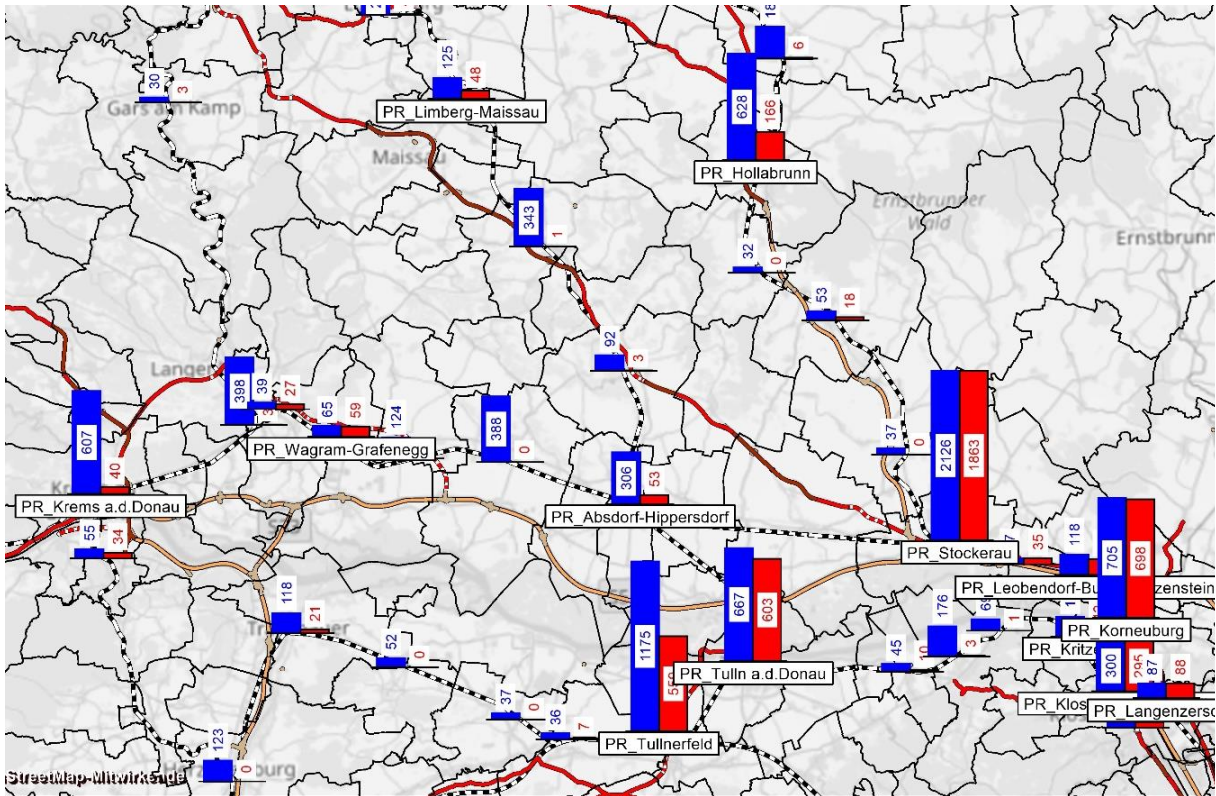


Abbildung 53: Maßnahmenzenario 1 „Kapazitätserweiterung der Park & Ride Anlage Stockerau“

Zusätzlich zu dieser Kapazitätserweiterung wurde noch eine weitere Kapazitätserweiterung der Park & Ride Anlage Stockerau berechnet um die Veränderungen des Auslastungsgrades zu untersuchen. Dabei wurde neben der Verdoppelung der Stellplätze zusätzlich die 4-fache Kapazitätserweiterung der Park & Ride Anlage durchgeführt. Die Ergebnisse des Auslastungsgrades in Abhängigkeit der Erweiterung der Anlage wird in Abbildung 54 dargestellt. Dabei zeigt sich das die Erweiterung der Anlage zu einer geringeren Auslastung führt. Eine höhere Kapazitätserweiterung würde in weiterer Folge aufgrund des Erreichens des Sättigungszustandes zu einem Rückgang der Kapazitätsauslastung führen.

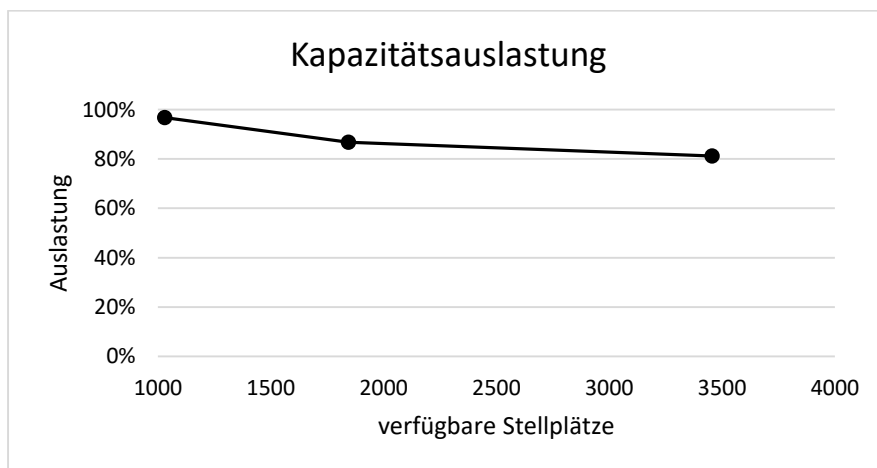


Abbildung 54: Auslastung der Park & Ride Anlage Stockerau bei steigender Stellplatzverfügbarkeit

Maßnahmenszenario 2 „Kapazitätserweiterung der Park & Ride Anlagen Tulln a.d. Donau und Tullnerfeld“

In diesem Szenario soll anhand einer Kapazitätserweiterung der Park & Ride Anlagen Tulln a.d. Donau und Tullnerfeld die Auswirkungen auf die Park & Ride Anlage Stockerau sowie dem Einzugsgebiet der Anlage betrachtet werden. Dabei muss beachtet werden, dass sich diese Park & Ride Anlagen aufgrund ihrer Lage nicht ausschließlich im Einzugsgebiet des Korridor Stockerau, sondern im Überlappungsgebiet mit dem Einfahrtskorridor Klosterneuburg, befinden. Aufgrund dessen, muss im Vorfeld beachtet werden, dass sie geringere Auslastung der Park & Ride Anlage Tullnerfeld auf das teilweise fehlende Einzugsgebiet der Anlage zurückzuführen ist.

Die Berechnung zeigt, dass es zu einer Steigerung der Parkplatznachfrage kommt, diese aber keinen erheblichen Einfluss auf die Park & Ride Anlage Stockerau haben, siehe Tabelle 19. Die Lage der Park & Ride Anlage Stockerau mit drei Zufahrtsstraßen und die gute ÖV-Anbindung führen zu einem hohen Nutzen, der trotz eines Ausbaues der Park & Ride Anlagen Tullnerfeld und Tulln a.d. nicht beeinflusst wird. Park & Ride Anlagen die sich entlang der S5 (Stockerauer Schnellstraße) befinden weisen einen Rückgang der Stellplatznachfrage auf. In Summe erreichen die beiden Anlagen eine Steigerung der Stellplatznachfrage um 781 Park & Ride Nutzer, was trotz der leichten Rückgänge bei den umliegenden Park & Ride Anlagen, insgesamt zu einer Steigerung des Park & Ride Verkehrs führt. Die zusätzliche Steigerung der Nachfrage der Park & Ride Anlage Tulln a.d. Donau lässt sich bereits durch die hohe Auslastung im Basisfall erkennen.

Tabelle 19: Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenszenario 2

Park & Ride Anlage	Stellplätze	Stellplatznachfrage	Auslastung	Differenz zum Basisfall	
Tulln a.d. Donau	1.334	1.205	90%	574	43%
Tullnerfeld	2.350	1.029	44%	207	9%
Wagram-Grafenegg	65	59	90%	-11	-17%
Sierndorf	37	9	8%	-7	-17%
Krems a.d. Donau	607	55	9%	-5	-1%
Stockerau	1.063	1.029	97%	0	0%

Maßnahmenszenario 3 „Tagesbaustelle auf der A22 in Richtung Wien“

Dieses Maßnahmenszenario betrifft die Teilsperre eines Autobahnabschnittes, wie sie bei einer Tagesbaustelle eintreten kann. Es wird der Autobahnabschnitt der A22 (Donauufer Autobahn), zwischen dem Knoten Stockerau Ost und dem Knoten Korneuburg, auf einen Fahrstreifen reduziert. Es muss beachtet werden, dass es sich in diesem Vier-Stufen-Modell um ein Tagesmodell handelt, daher wird die Teilsperre als ganztägiges Ereignis berechnet.

Die Ergebnisse der Berechnung zeigen, dass die Fahrstreifenreduktion einen Anstieg der Park & Ride Nutzung bedeutet. Wie in Tabelle 20 zu erkennen ist, sind die höchsten Zuwächse an den Park & Ride Anlagen entlang der S5 (Stockerauer Schnellstraße) zu verzeichnen, welche eine Steigerung der Stellplatznachfrage um ca. 150 Park & Ride Fahrten ergibt. Entlang der S3 (Weinviertel Schnellstraße) kommt es ebenfalls, wie am Beispiel der Park & Ride Anlage Hollabrunn zu sehen ist, zu einer erhöhten Nutzungsbereitschaft. Die Anlage Stockerau, welche sich unmittelbar an der Teilsperre befindet, wird ebenfalls zusätzlich genutzt, wobei aufgrund der bereits hohen Auslastung im Basisfall keine markanteren Veränderungen möglich sind. Es ist zu erkennen, dass die Park & Ride Anlage Tullnerfeld bei Staubildungen entlang der A22 (Donauufer Autobahn), als Ausweichstelle für die bereits

ausgelastete Park & Ride Anlage Stockerau dienen kann. Insgesamt erhöht sich der Park & Ride Verkehr im untersuchten Gebiet um 2,46 % wobei bei dem Wegeanteil mit dem Pkw die größten Zunahmen bei Fahrten zwischen 25-50 km zu erkennen sind.

Tabelle 20: Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenzenario 3

Park & Ride Anlage	Stellplätze	Stellplatznachfrage	Auslastung	Differenz zum Basisfall	
Tullnerfeld	1.175	878	75%	56	5%
Absdorf-Hippersdorf	306	97	32%	18	6%
Hollabrunn	628	224	36%	17	3%
Krems a.d.Donau	607	72	12%	12	2%
Stockerau	1.063	1.040	98%	11	1%
Tulln a.d.Donau	667	640	96%	9	1%
Leobendorf-Burg Kr.	118	106	90%	2	1%

Maßnahmenzenario 4 „Sperre der A22 in Richtung Wien“

Das Maßnahmenzenario 4 stellt einen Extremfall dar, indem der im letzten Szenario angeführte Autobahnabschnitt der A22 (Donauufer Autobahn), zwischen dem Knoten Stockerau Ost und dem Knoten Korneuburg, völlig gesperrt wird. Diese Maßnahme führt in der Berechnung nicht nur zu Veränderungen in der Park & Ride Stellplatznachfrage, sondern auch zu großen Veränderungen der Verkehrsbelastungen um die Gemeinde Stockerau.

Generell ist eine Erhöhung der Stellplatznachfrage im gesamten Einzugsgebiet der Park & Ride Anlage Stockerau zu erkennen, siehe Tabelle 21. Aufgrund der Sperre des Autobahnabschnittes werden 360 zusätzliche Park & Ride Fahrten zurückgelegt, was eine Steigerung des Park & Ride Verkehrs um 4,99% ergibt. Der größte Anteil entfällt dabei auf die Park & Ride Anlage Tullnerfeld mit einer Erhöhung der Stellplatznachfrage auf 971 NutzerInnen, was einen Anstieg von 13 % gegenüber der Stellplatznachfrage im Basisfall bedeutet. Die Park & Ride Anlage Stockerau erreicht, aufgrund des hohen Auslastungsgrades im Basisfall, eine Steigerung von 4%. Weitere hohe Zuwächse der Auslastung verzeichnet die Park & Ride Anlage Absdorf-Hippersdorf, an der S3 (Weinviertel Schnellstraße), mit plus 18%. Auslastungen über 100% sind bei den Park & Ride –Anlagen möglich, da an einem Tag eine mehrfache Nutzung des Stellplatzes möglich ist.

Tabelle 21: Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenzenario 4

Park & Ride Anlage	Stellplätze	Stellplatznachfrage	Auslastung	Differenz zum Basisfall	
Tullnerfeld	1.175	971	83%	149	13%
Absdorf-Hippersdorf	306	133	43%	54	18%
Stockerau	1.063	1.071	101%	42	4%
Hollabrunn	628	237	30%	38	5%
Krems a.d.Donau	607	93	15%	32	5%
Tulln a.d.Donau	667	658	99%	27	4%
Korneuburg	705	763	104%	9	1%

Es ist zu erkennen, dass die Sperre der des Autobahnabschnittes zu einem massiven Anstieg des Verkehrs auf der B3 (Donau Straße) in Richtung Wien führt. Zusätzlicher Park & Ride Verkehr wird mit dem Pkw hauptsächlich entlang der S3 sowie der B19 (Tullner Straße) von Göllersdorf Richtung Tulln

erzeugt, siehe Abbildung 55. Man erkennt, in diesem Bereich gut, dass die Park & Ride Anlage Tulln a.d. Donau und Tulln eine alternative Route für den Park & Ride Verkehr entlang der S3 (Weinviertel Schnellstraße) bildet. Stärker befahren werden ebenfalls die B3 (Donau Straße) ab dem Anschluss Stockerau-Ost sowie die L31, welche von Sierndorf nach Wien führt.

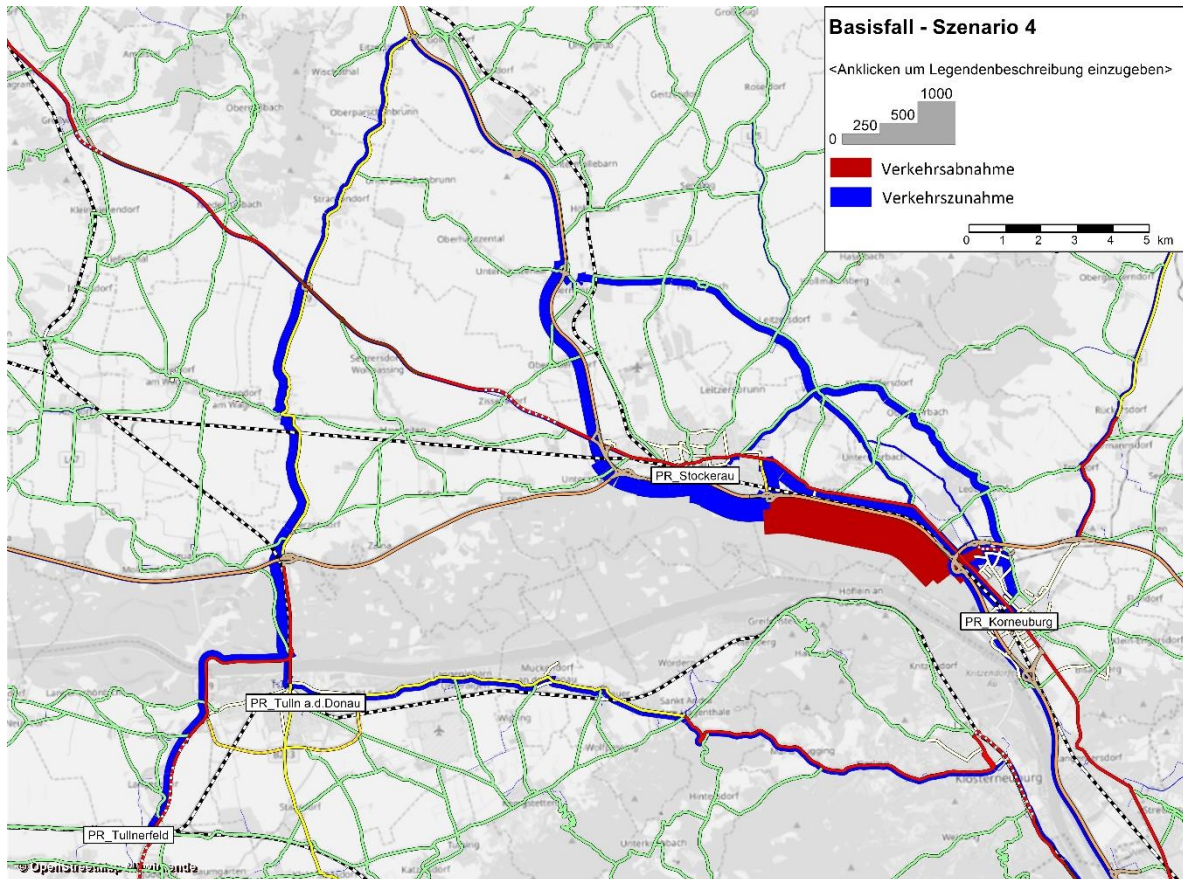


Abbildung 55: Veränderung der Park & Ride Wege zum Basisfall

Maßnahmenszenario 5 „Kapazitätserweiterung der Park & Ride Anlage Stockerau und Sperre der A22 in Richtung Wien“

Das Maßnahmenszenario 5 bildet eine Kombination der Szenarien 1 und 4 ab. Dabei wird sowohl die Kapazität der Park & Ride Anlage Stockerau erhöht als auch eine Sperre des Autobahnabschnittes der A22 (Donauufer Autobahn), zwischen dem Knoten Stockerau Ost und dem Knoten Korneuburg, durchgeführt. Wie auch in Szenario 4 lässt sich ein Anstieg des Pkw-Verkehrs entlang der bereits erwähnten Strecken feststellen.

Im Maßnahmenszenario 5 wird wie auch im Maßnahmenszenario 4 eine Steigerung des Park & Ride Verkehrs, die sich durch die Verdoppelung der Stellplätze der Anlage Stockerau zusätzlich erhöht, festgestellt. Insgesamt werden in diesem Szenario 596 zusätzliche Park & Ride Wege zurückgelegt, was einer Steigerung von 8,3% zum Basisfall entspricht, siehe Tabelle 22 Die Park & Ride Anlage Stockerau erreicht durch die Kapazitätserhöhung eine Steigerung der Stellplatznachfrage um 892 Plätze oder 42%. Diese Kapazitätserhöhung der Park & Ride Anlage Stockerau führt wie auch in Szenario 1 dazu, dass durch den hohen Nutzen der Anlage der größte Teil des zusätzlichen Park & Ride Verkehr über die Anlage Stockerau geführt wird und diese dadurch weiterhin eine hohe Auslastung aufweist. Durch die erhöhte Stellplatznachfrage der Park & Ride Stockerau weisen Park & Ride Anlagen eine sinkende Stellplatznachfrage auf. Durch den höheren Nutzen und verfügbare Kapazitäten werden Park & Ride

Fahrten zusätzlich über die Park & Ride Anlage Stockerau geführt. Der Rückgang erfolgt an den Anlagen entlang der S3 und S4, wobei die Park & Ride Anlage Tullnerfeld mit einem Rückgang der Stellplatznachfrage von 152 Stellplätzen bzw. 13% den höchsten Rückgang aufweist.

Tabelle 22: Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenzenario 5

Park & Ride Anlage	Stellplätze	Stellplatznachfrage	Auslastung	Differenz zum Basisfall	
Stockerau	2.126	1.921	90%	892	42%
Tullnerfeld	1.175	670	57%	-152	-13%
Korneuburg	705	689	98%	-38	-5%
Hollabrunn	628	171	27%	-36	-6%
Krems a.d.Donau	607	40	7%	-21	-3%
Absdorf-Hippersdorf	306	62	20%	-17	-5%
Tulln a.d.Donau	667	617	93%	-14	-2%

Im Vergleich zu dem Maßnahmenzenario 4 lässt sich der Unterschied bei der Auslastung der Anlagen feststellen. Die Erhöhung der Stellplatzkapazität der Park & Ride Anlage Stockerau führt dazu, dass trotz der Sperre des Autobahnabschnitts die Stellplatznachfrage der restlichen Anlagen, im Gegensatz zu Szenario 4, größtenteils sinkt. Beim Vergleich dieser Szenarien beträgt der Unterschied der Stellplatznachfrage am Park & Ride Standort Tullnerfeld 301 Stellplätze.

Maßnahmenzenario 6 „Vollausbau der S3 (Weinviertel Schnellstraße)“

Das Maßnahmenzenario 6 soll den Einfluss des Vollausbaues der S3 (Weinviertel Schnellstraße) auf die Park & Ride Anlagen in der Umgebung aufzeigen. Die S3 verläuft vom Knoten Stockerau nach Hollabrunn und führt durch das Weinviertel. Die Strecke wird zurzeit von Stockerau bis Hollabrunn wechselweise auf 2+1 Fahrstreifen geführt. Um die Berechnung durchzuführen, werden beide Fahrrichtungen der S3 jeweils mit 2 Fahrstreifen modelliert.

Die Berechnung zeigt, dass es zu keinen erheblichen Veränderungen in der Park & Ride Nutzung kommt. Die betroffenen Park & Ride Anlagen weisen entlang der Schnellstraße S3 zwar Rückgänge auf, jedoch belaufen sich diese auf ca. 50 Park & Ride Fahrten, Tabelle 23. Die Park & Ride Anlage Stockerau verzeichnet mit -29 Park & Ride Fahrten den höchsten Rückgang auf, welcher sich auf dem verbesserten Nutzen des MIV-Modus zurückführen lässt. Insgesamt sinkt die Anzahl der Park & Ride Fahrten um 1,8 % im untersuchten Gebiet. Die Park & Ride Anlage Stockerau zeigt im Vergleich zum Basisfall einen Rückgang um lediglich 3 Fahrten.

Tabelle 23: Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenzenario 6

Park & Ride Anlage	Stellplätze	Stellplatznachfrage	Auslastung	Differenz zum Basisfall	
Hollabrunn	628	178	28%	-29	-5%
Wagram-Grafenegg	65	46	71%	-12	-19%
Sierndorf	37	0	0	-9	-25%
Tullnerfeld	1.175	816	69%	-6	0%
Stockerau	1.063	1.025	96%	-3	0%
Leobendorf-Burg Kr.	118	102	86%	-3	-2%
Korneuburg	705	725	103%	-3	-0%

Maßnahmenszenario 7 „Ausfall des Regionalexpress am Bahnhof Stockerau“

Die letzten beiden Maßnahmenzenarien werden durchgeführt um zu untersuchen, wie sich Veränderungen im ÖV-Angebot auf die Park & Ride Nachfrage auswirken. Im Szenario 7 wird der Bahnhof Stockerau als Haltepunkt für den Regionalexpress von der Gemeinde Unterretzbach Richtung Wien berechnet. Dabei werden in den restlichen Bahnhöfen die Halte des Regionalexpress weiterhin durchgeführt. Damit wird eine geringere Umsteigemöglichkeit am Bahnhof Stockerau simuliert, ohne dabei andere Bahnhöfe zu beeinflussen.

Die Ergebnisse weisen beim der Park & Verkehr einen Rückgang von 139 Park & Ride Fahrten auf, was -2,1 % entspricht. Zudem sinkt die Zahl der beförderten Personen mit dem öffentlichen Verkehr und an der Zählstelle Stockerau Knoten Ost gibt es einen Anstieg des Pkw-Verkehrs auf 32.188 Fahrzeuge pro Tag bzw. 1,6%. Die Auslastung der Park & Ride Anlage Stockerau sinkt um 20%, was einen Rückgang der Stellplatznachfrage um 214 Plätze bedeutet, siehe Tabelle 24 Aufgrund des verringerten Nutzen der Park & Ride Anlage Stockerau, steigt die Stellplatznachfrage an mehreren Park & Ride Standorten. Denn höchsten Zuwachs weist die Park & Ride Anlage Hollabrunn auf, welche sich an der Strecke des Regionalexpress befindet. Weitere Steigerungen erfolgen an den Park & Ride Anlagen Tullnerfeld und Krems a.d. Donau.

Tabelle 24: Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenzenario 7

Park & Ride Anlage	Stellplätze	Stellplatznachfrage	Auslastung	Differenz zum Basisfall	
Stockerau	1.063	815	77%	-214	-20%
Hollabrunn	628	246	39%	39	2%
Tullnerfeld	1.175	850	72%	28	3%
Krems a.d.Donau	607	77	13%	17	1%
Tulln a.d.Donau	667	635	95%	4	1%
Absdorf-Hippersdorf	306	83	27%	4	1%
Korneuburg	705	732	104%	4	1%

Ebenfalls wurde versucht alle Halte von öffentlichen Verkehrsmitteln am Bahnhof Stockerau zu unterbinden, was nicht erreicht werden konnte. Es wurden nur die Zughalte am Bahnhof Stockerau ausgesetzt. Aufgrund des zeitlichen Aufwandes sowie Systemabstürzen bei der Bearbeitung der Bus-Verkehrs konnte dieser nicht geändert werden. Das Ergebnis der Ausfälle der Zughalte führt an der Park & Ride -Anlage Stockerau zu einem Rückgang der Auslastung auf 51%. Die Park & Ride -Anlage wird weiterhin genutzt, da in diesem Fall der Bus als zweites Verkehrsmittel für den Modus Park & Ride gewählt wird.

Maßnahmenszenario 8 „Erhöhung des Taktes der Schnellbahn S3“

Das Maßnahmenzenario 8 soll die Auswirkungen einer Taktverdichtung der Schnellbahn S3, welche zwischen Hollabrunn und Wiener Neustadt, verkehrt. Dabei wurden die ohnehin bereits hohen Taktdichten über den ganzen Tag verdoppelt.

Dabei zeigt sich, dass sich die Anzahl der Park & Ride Fahrten insgesamt nur gering ändert, siehe Tabelle 25. Das verbesserte ÖV-Angebot führt dazu, dass sich der Anteil des ÖV im untersuchten Gebiet verbessert und zu weniger Pkw- und Park & Ride-Fahrten führt. Der Park & Ride Verkehr verringert sich dabei um 1,2% im Vergleich zum Basisfall. Bei der Stellplatznachfrage der Park & Ride Anlagen ist entlang der Schnellbahn S3 eine Steigerung zu erkennen. Dies umfasst die Park & Ride Anlagen Stockerau, Hollabrunn und Leobersdorf-Burg Kreuzenstein. Die Anlage Stockerau erreicht dabei einen

Auslastungsgrad von 99% was eine zusätzliche Steigerung von 2% bedeutet. Obwohl sich die Park & Ride Anlage Göllersdorf zwischen Hollabrunn und Stockerau befindet, ist hier ein Rückgang von 13 Fahrten zu verzeichnen. Dies ist auf den gesteigerten Nutzen der Park & Ride Anlagen Stockerau und Hollabrunn zurückzuführen. Weitere Rückgänge verzeichnen die Park & Ride Anlagen Tullnerfeld und Tulln a.d. Donau, wo aufgrund des verbesserten ÖV Angebotes der Schnellbahn S3, weniger Pkw-Fahrten von der S3 (Weinviertel Schnellstraße) über die B19 (Tullner Straße) zu den Park & Ride Anlagen geführt werden.

Tabelle 25: Park & Ride Stellplatznachfrage im Maßnahmenzenario 8

Park & Ride Anlage	Stellplätze	Stellplatznachfrage	Auslastung	Differenz zum Basisfall	
Stockerau	1.063	1.050	99%	22	2%
Hollabrunn	628	222	35%	15	2%
Leobendorf-Burg Kr.	118	112	95%	8	7%
Tullnerfeld	1.175	744	63%	-78	-7%
Göllersdorf	53	13	25%	-13	-24%
Tulln a.d.Donau	667	625	94%	-6	-1%

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Diese Arbeit umfasst, basierend auf einigen theoretischen Grundlagen, im ersten Hauptteil die Durchführung einer GIS basierten Standortanalyse zur Bewertung von Park & Ride Standorten in ganz Österreich. Dabei wurden Bahnhöfe und Haltestellen der österreichischen Bundesbahnen (ÖBB), die als multimodale Schnittstellen zwischen dem motorisierten Individualverkehr und dem öffentlichen Personennahverkehr dienen können, identifiziert. Das Ergebnis der Analyse bilden Kriterien, anhand denen die Bahnhöfe und Haltestellen als Standorte für zukünftige Park & Ride Projekte bestimmt werden können. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Entlastung des hochrangigen Straßennetzes in Ballungsgebieten.

Im Zuge dieses Projektes wurde festgestellt, dass sich eine GIS basierte Analyse für Park & Ride Anlagen besonders gut eignet. Die zur Verfügung gestellten Datensätze der Technischen Universität sowie der österreichischen Bundesbahnen können als Grundlage für eine Analyse zur Bewertung der Park & Ride Standorte gut genutzt werden. Die Ergebnisqualität wird allerdings durch die fehlende Aktualität des Stellplatzangebots und der Auslastungen bestehender Park & Ride –Anlagen eingeschränkt. Dieser Fehler wird die Reihung guter und weniger guter potentieller Park & Ride –Standorte nur geringfügig beeinflussen.

Der große Vorteil dieser GIS basierten Standortanalyse ist, dass eine Erweiterung durch zusätzliche Kriterien oder eine Aktualisierung des jetzigen Standes in der Zukunft jederzeit möglich ist. So können Daten aus durchgeführte Erhebungen jederzeit in die bestehende Analyse integriert werden. Zusätzlich kann die Berücksichtigung der einzelnen Takte an den Bahnhöfen während der Hauptverkehrszeit am Morgen zu noch valideren Ergebnissen führen. Die Nutzung dieser Analyse könnte den weiteren Ausbau des Park & Ride Angebotes in ganz Österreich positiv beeinflussen.

Im zweiten Hauptteil der Arbeit wurde ein Verkehrsnachfragemodell unter Einbeziehung von Park & Ride -Anlagen für die Ostregion aufgebaut, um das Nachfragepotential von Park & Ride -Anlagen mit Hilfe eines Modells für den bevölkerungsreichsten Teil von Österreich abschätzen zu können. Der Aufbau des Modells erfolgte auf der Grundlage eines bestehenden Verkehrsmodells ITS Vienna Region. Das vorhandene Werktagverkehrsmodell umfasst als Planungsgebiet die drei Bundesländer Wien, Niederösterreich und das Burgenland, welche gemeinsam den Verkehrsverbund Ost-Region bilden. Das Ergebnis bildet die Modellierung von Park & Ride in einem Nachfragemodell, zur Simulation und Bewertung von Prognoseszenarien.

Bevor die Modellierung von Park & Ride durchgeführt werden konnte, musste zuerst ein Standard-Vier-Stufen Nachfragemodell aufgebaut werden. Dazu wurden das Netzmodell sowie Strukturdaten aus dem VisEVA Nachfragemodell ITS Vienna Region übernommen. Zusätzlich wurden die Verteilungsmatrizen des bestehenden Modells in das Standard-Vier-Stufen Modell integriert. Der Model Split sowie die Reiseweitenverteilung wurden iterativ an die vorhandenen Daten des ITS Vienna Region Modells angeglichen.

Die Modellierung von Park & Ride wird auf Basis des von PTV Visum zur Verfügung gestellten Leitfadens durchgeführt. Dabei werden zum bestehenden Netzmodell zusätzliche Bezirke modelliert, welche Park & Ride Anlagen darstellen. Das Nachfragemodell wird um den Modus Park & Ride sowie den zusätzlichen Verfahrensschritten Park & Ride Platzwahl und Park & Ride Teilwegzerlegung erweitert. Das Ergebnis bildet der Basisfall, der das Verkehrsverhalten von Park & Ride Nutzern abbildet. Auf dieser Basis wurden verschiedene Maßnahmenzenarien berechnet, welche die Veränderungen der Park & Ride Nutzung durch das Ausbauen von Park & Ride Anlagen oder durch Störungen im Verkehrsnetz aufzeigen.

Im Zuge dieses Teiles der Arbeit wurde bald festgestellt, dass sich der Aufbau eines Standard-Vier-Stufen-Nachfragemodells auf der Grundlage eines VisEVA Nachfragemodells als aufwendig erwies, da die vorhandenen Verkehrserzeugungs- und Verkehrsverteilungsdaten für das Vier-Stufen-Modell nicht genutzt werden konnten. Die genutzten Verteilungsmatrizen, die die Gesamtnachfrage je Nachfrageschicht beinhalten, wurden unverändert in das Vier-Stufen-Modell übernommen. Die Nutzenfunktionen für die Nachfrageschichten wurden iterativ berechnet, womit eine Angleichung des Modal Split sowie der Reiseweitenverteilung erreicht wurde. Für die Kalibration der mIV-Belastungen kamen Zählraten der ASFINAG bzw. der ITS Vienna Region zum Einsatz.

Die Park & Ride Modellierung konnte nur auf einem Teilgebiet des vorhandenen Nachfragemodells erfolgen. Der Hauptgrund für diese Entscheidung war, dass eine Park & Ride Berechnung auf dem gesamten Planungsgebiet über 24h dauert und somit weitere Anpassungsschritte im Rahmen der Arbeit nicht möglich wären. Zusätzlich wurde erkannt, dass Park & Ride Bezirke, welche die Park & Ride Anlage darstellen sollen, nicht als Quellbezirk für Park & Ride Verkehre bestimmt werden können. Das bedeutet, dass die Bevölkerung aller Bezirke mit Park & Ride Anlagen diese nicht nutzen könnte. Aufgrund dessen wurden zusätzliche Bezirke modelliert, die die Park & Ride Anlagen darstellten.

Aufgrund des Verfahrensablauf bei der Park & Ride Modellierung kann nur der Hinweg für die Nutzung von Park & Ride als relevant betrachtet werden. Aufgrund der Aktivitätenpaare müsste der Rückweg getrennt berechnet werden. Dabei ist es nicht möglich, den auslastungsabhängigen Widerstand für die Rückfahrt zu bestimmen, da hier das Pkw bereits abgestellt ist und nur abgeholt wird. Es kann ebenfalls nicht sichergestellt werden, dass zusammengehörende Fahrten über die gleiche Park & Ride Anlage verlaufen.

Das aufgebaute Standard-Vier-Stufen-Modell, welches für die Park & Ride Modellierung benötigt wurde, konnte durch durchgeführten Modellierungsschritte und die Kalibration ähnliche Resultate wie das zur Verfügung gestellte VisEVA Modell. Die Verfahrensschritte der Park & Ride Modellierung führen in den Berechnungen dazu, dass eine hohe Rechenleistung bei dieser Modellgröße benötigt wird und die Verringerung der Iterationsschritte der Platzwahl zu einer leichten Schwankung bei der Park & Ride Nachfrage führen können.

Der Vergleich der Umlegungsergebnisse der einzelnen simulierten Maßnahmenzenarien mit dem Basisfall zeigt, dass gewisse Maßnahmen zu einer Entlastung des hochrangigen Straßennetzes führen. Durch Kapazitätserweiterungen der Park & Ride –Anlagen, entlang der Einfahrtskorridore, sowie ein verbessertes ÖV-Angebot könnte eine Verringerung des Verkehrsaufkommens erreicht werden.

Neu erstellte Nachfragemodelle, welche die Anforderungen des Modus Park & Ride zu Beginn miteinbeziehen, können die Modellierung erleichtern. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die Berechnung der Park & Ride Verfahrensschritte bei größeren Modellen, wie in diesem Fall, zu langen Berechnungszeiten führen und die Kalibration erschweren. Um in Zukunft jedoch genauer Park & Ride modellieren zu können, müsste mehr Daten zur Verfügung stehen, die im Modellaufbau integriert werden können.

Literaturverzeichnis

Amt der Kärntner Landesregierung, 2016. *Mobilitäts Masterplan Kärnten 2035*, Klagenfurt.

Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2015. *Mobilitätskonzept Niederösterreich 2030+. Mobilität in ihrer Vielfalt sichern, zukunftsfähig gestalten und fördern.*, St.Pölten.

Amt der Oö. Landesregierung, 2014. *Ergebnis der oberösterreichische Verkehrserhebung 2012*, Linz.

Anderhub, G., 2006. *Park & Ride und Bike & Ride*, Zürich: ETH Zürich.

ArcGIS - ArcMap:

<https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/>

[Download am 04.10.2018 - 14:00]

Baudirektion des Kantons Zug, 2003. *Park + Ride - Konzept Kanton Zug*, Zug: Amt für Raumplanung.

Bökemann, D., 1983. *Zentralitätsgefüge und Versorgungsqualität*, Wien: Magistrat der Stadt Wien.

Brauner, B., Bauer, K. & Mayr, M., 2013. *Pro:motion - Empirische Entwicklung der Typologie*, Wien : Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Bundesamt für Strassenbau, 1984. *Park and Ride in Schweizer Städten, Forschungsarbeit 21/77, Heft 92*, Bern.

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016. *Österreich unterwegs 2013/2014*, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2017. *Richtlinie Park & Ride -Anlagen. Richtlinie für Planung, Errichtung und Betrieb von Parkdecks, Park & Ride -Anlagen und Bike & Ride -Anlagen der Österreichischen Bundesbahnen*, Wien.

Definition der Multimodalität und Intermodalität:

www.tu-braunschweig.de/soziologie/schwerpunkte/sozialstruktur/forschung/drittm/fahrrad

[Download am 27.07.2018 - 16:30]

Die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft, 2018. *Multimodale Optimierung der Verkehrsinfrastruktur mittels Informationsplattform für Parkraummanagement.*
<https://projekte.ffg.at/projekt/3030248/pdf>

[Download am 10.11.2018 - 11:00]

Dugge, B., 2006. *Ein simultanes Erzeugungs-, Verteilungs-, Aufteilungs- und Routenmodell (EVA-U)*. Dresden: Technische Universität Dresden.

Fauland, A., 1983. *Park and Ridr-Programm für Wien. Kurz- und mittelfristige Ausbaumaßnahmen*, Wien: Magistrat der Stadt Wien.

Fellendorf, M., 2012. *Verkehrsplanung*, Graz: Institut für Straßen- und Verkehrswesen – Technische Universität Graz.

- Fohringer, A., 2008. *I2-ÖPNV. Intermodaler Informations- und Buchungsdienst im öffentlichen Personennahverkehr - Endbericht*, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Friedrich, M., Wacker, M., Immisch, K. & Schleupen, G., 2010. *Untersuchung der Wirksamkeit eines LkwDurchfahrtsverbots auf die verkehrsbedingten Lärm- und Schadstoffbelastungen*, Stuttgart: Universität Stuttgart.
- Gronalt, M. et al., 2010. *Handbuch Intermodaler Verkehr, Kombiniertes Verkehr: Schiene – Straße – Binnenwasserstraße*. Wien: Bohmann.
- Guillaume-Gentil, S. et al., 2004. *Efficiency énergétique des P+R*, Bern: Office fédéral de l'énergie.
- Holz-Rau, C., Wilke, G. & Dörnemann, M., 1996. *Park + Ride und Bike + Ride - Konzepte und Empfehlungen*. Dortmund: Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen.
- Jermann, J., 2004. *GIS-basiertes Konzept zur Modellierung von Einzugsbereichen auf Bahn-Haltestellen. Doctoral Thesis*, Zürich: ETH Zürich.
- Köhler, U., 2014. *Einführung in die Verkehrsplanung : Grundlagen, Modellbildung, Verkehrsprognose, Verkehrsnetze*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl.
- Krause, S., Hiesel, C., Fiby, H. & Kicking, H., 2018. *Verkehrsmodell für Wien, Niederösterreich und Burgenland*, Wien: ITS Vienna Region.
- Kröll, F., Bersinger, L., Ismail, A. & Overzier, D., 2015. *Forschungsprojekt PRÖVIMM - P+R und ÖPNV-Informationen machen Menschen mobil*, München: Münchner Verkehrs- und Tarifverbund GmbH.
- Lohse, D. & Schneider, R., 1997. *Vergleichende Untersuchung der aggregierten und disaggregierten Verkehrsplanungsmodelle*. Dresden: Techn. Univ., Inst. für Verkehrsplanung und Straßenverkehr.
- Magistratsabteilung 18 – Stadtentwicklung und Stadtplanung, 2014. *STEP 2025 - Stadtentwicklungsplan Wien*, Wien: Stadtentwicklung Wien Magistratsabteilung 18 – Stadtentwicklung und Stadtplanung.
- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2019. *move-BW. Mobilitätsinformationen und Verkehrssteuerung Baden-Württemberg*, Stuttgart.
- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg - move-BW - Park & Ride:
<https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/politik-zukunft/zukunftskonzepte/digitale-mobilitaet/movebw/>
[Download am 25.08.2019 – 16:00]

Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV) - Park & Ride:

<https://www.mvv-muenchen.de/service/weitere-mobilitaetsangebote/park-ride/index.html>

[Download am 10.03.2020 -14:00]

Neumann, A. et al., 2016. *Operationalisierung der Multimodalität im Personenverkehr in Österreich*, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Planungsbüro Jud AG, 2017. *Bedeutung des P+R-Angebots im Kanton Zürich - Schlussbericht*, Zürich: Amt für Verkehr Kanton Zürich.

Pretsch, H. et al., 2005. *Ergebnisse und Hinweise für die Planungspraxis aus dem Projekt Bahn.Ville*, Gresswiler: Girol.

PTV Planung Transport Verkehr AG, 2017. *PTV Visum 17 - Handbuch*. Karlsruhe

Regierungsrat des Kantons Zürich, 2018. *Gesamtverkehrskonzept Kanton Zürich 2018*, Zürich: Amt für Verkehr, Volkswirtschaftsdirektion Kanton Zürich.

Rittler, C., 2011. *Kordonenerhebung Wien in den Jahren 2008 bis 2010*, Wien: Planungsgemeinschaft Ost.

Rittler, C., 2013. *EinpendlerInnen nach Wien*, Wien: Planungsgemeinschaft Ost.

Schiller, C., 2004. *Integration des ruhenden Verkehrs in die Verkehrsangebote- und Verkehrsnachfragemodellierung*. Dresden: Technische Universität Dresden.

Schiller, C., 2007. *Erweiterung der Verkehrsnachfragemodellierung um Aspekte*. Dresden: Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr - Technische Universität Dresden.

Schnabel, W. & Lohse, D., 2011. *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und Verkehrsplanung. Band 1 Straßenverkehrstechnik*. 3. Auflage Hrsg. Berlin: Beuth Verlag.

Schnabel, W. & Lohse, D., 2011. *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und Verkehrsplanung. Band 2 Verkehrsplanung*. Berlin: Beuth Verlag.

Schütte, F., 2000. *Dynamische Simulation des werktäglichen motorisierten Individualverkehrs - am Beispiel der EXPO 2000* -. Hannover: Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Universität Hannover.

Schwillinsky, S., Weiss, L. & Herbst, S., 2018. *ÖV-Güteklassen – ein Werkzeug zur Analyse der Versorgung eines Standortes mit ÖV*, Berlin - Offenbach: Wichmann Verlag.

Stadt Graz - tim:

https://www.graz.at/cms/beitrag/10341836/8106444/tim_waechst_auf_Knoten.html

[Download am 28.02.2020 - 12:30]

Stadt Wien, 2018. *Leitfaden Mobilitätsstationen. Die Umsetzung von Mobilitätsstationen in Stadtentwicklungsgebieten am Beispiel Zielgebiet Donauefeld*, Wien., Wien: Stadt Wien,

Stadtentwicklung und Stadtplanung (MA 18) und Stadtteilplanung und Flächennutzung (MA 21).

Statistik Austria, 2016. *Allgemeine Erwerbstatistik und Arbeitsstättenzählung*, Wien: Statistik Austria.

Statistik Austria, 2016. *Registerbasierte Statistiken - Pendlerdistanzen*, Wien: STATISTIK AUSTRIA.

Statistik Austria - Erwerbpendlerinnen und Erwerbpendler (STATatlas):

https://www.statistik.at/atlas/?mapid=them_bevoelkerung_pendler&layerid=layer1&sublayerid=sublayer0&languageid=0

[Download am 04.11.2018 - 16:00]

Statistik Austria - Pendlerinnen und Pendler:

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/volkszaehlungen_registerzaehlungen_abgestimmte_erwerbsstatistik/pendlerinnen_und_pendler/index.html

[Download am 04.11.2018 - 16:30]

Staudinger, M. & Car, A., 2000. *Ein konzeptionelles Datenmodell für ein Verkehrsplanungs-GIS*, Heidelberg: Wichmann.

Steierwald, G., Künne, H. & Vogt, W., 2005. *Stadtverkehrsplanung. Grundlagen, Methoden, Ziele 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

U.S. Bureau of Public Roads, 1964. *Traffic Assignment Manual for Application with a Large, High Speed Computer*. Washington: U.S. Government Printing Office.

Unger, F., 2015. *Die Stadt der kurzen Wege? – Einsatz von GIS zur Analyse der nahmobilen, fußläufigen Erreichbarkeit der Nahversorgung in Wien*, Wien: Universität Wien.

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1993. *Konzeption, Planung und Betrieb von*, Köln.

Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart (VVS):

<https://www.vvs.de/rundum-mobil/unterwegs/park-ride/>

[Download am 25.08.2019 – 15:30]

Von der Ruhren, S. et al., 2003. *Bestimmung multimodaler Personengruppen*, Aachen/Karlsruhe.

VOR - Park & Ride:

<https://www.vor.at/mobil/parkbike-ride/>

[Download am 22.01.2019 – 14:00]

Vrtic, M., 2003. *Simultanes Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell*. Dresden: Technische Universität Dresden.

Walther, K., 1997. *Die P+R-Nachfrage und ihre Einflussgrößen*. Aachen: Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Institutes der RWTH Aachen.

Weidmann, U., Kirsch, U., Carrasco, N. & Anderhub, G., 2012. *Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität*, Zürich: Bundesamt für Strassen.

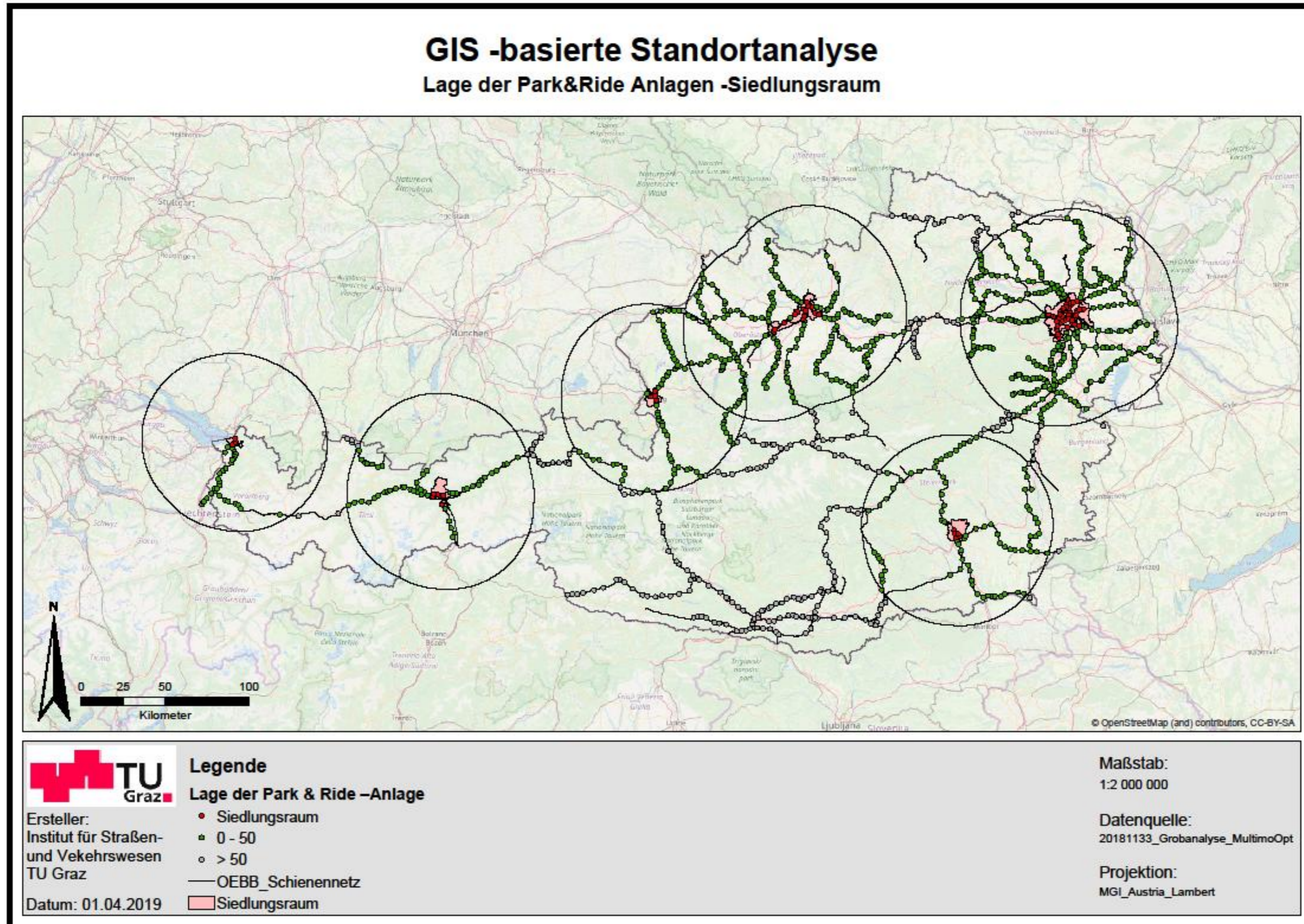
Weiss, L., Schwillinsky, S., Castellazzi, B. & Prinz, T., 2018. *Erreichbarkeitsmodell Österreich – ein Werkzeug zur österreichweiten Analyse der Versorgung mit MIV und ÖV*, Berlin - Offenbach: Wichmann Verlag.

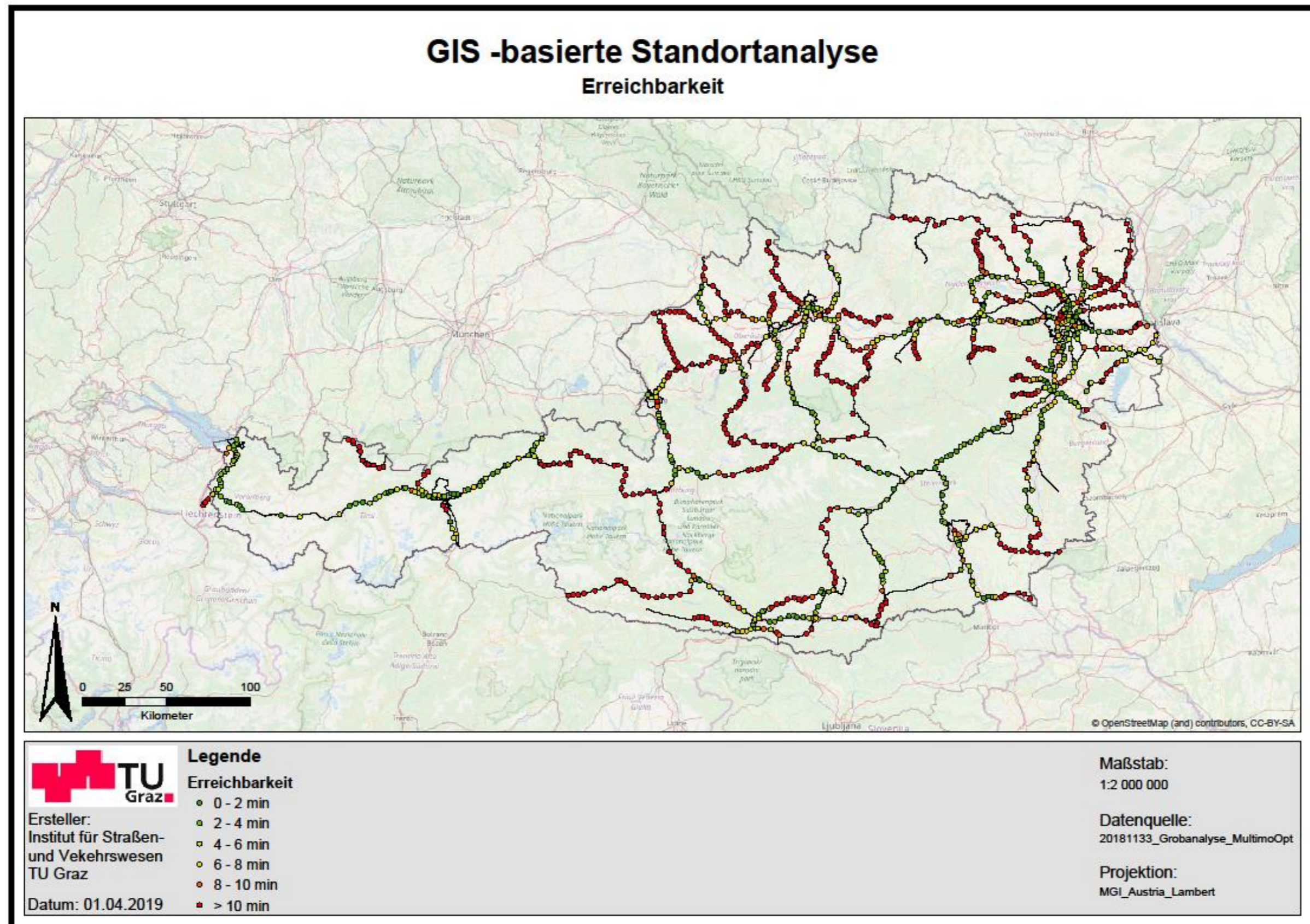
Weninger, A., 2017. *Von der intermodalen Schnittstelle zum multimodalen Knoten*, Wien.

https://www.fvv.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-verkehrsplanung/Diverse/Lehre/RingVO_OeffentlicherVerkehr/2017-01-25_weninger.pdf
[Download am 01.09.2019 - 16:30]

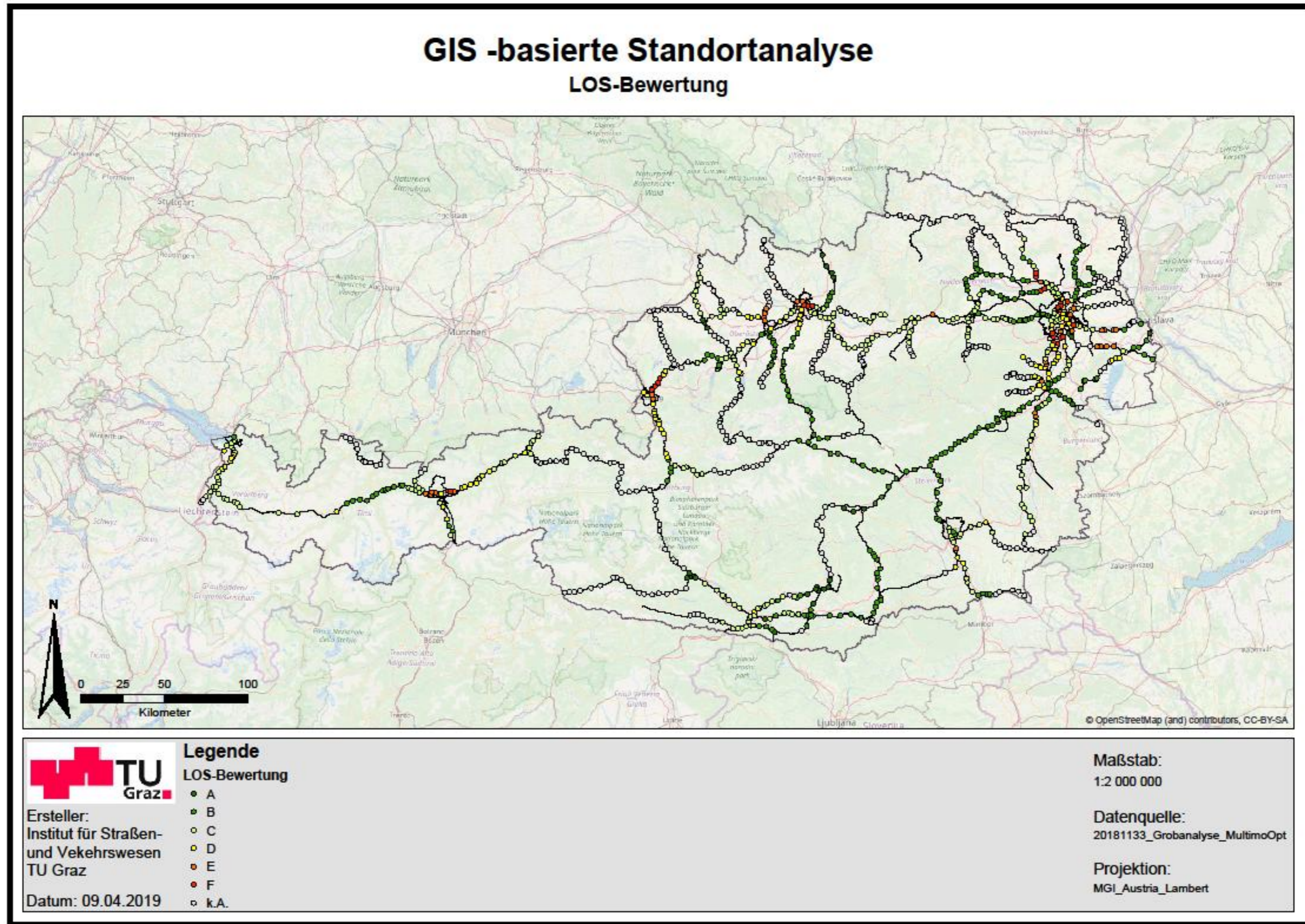
Anhang

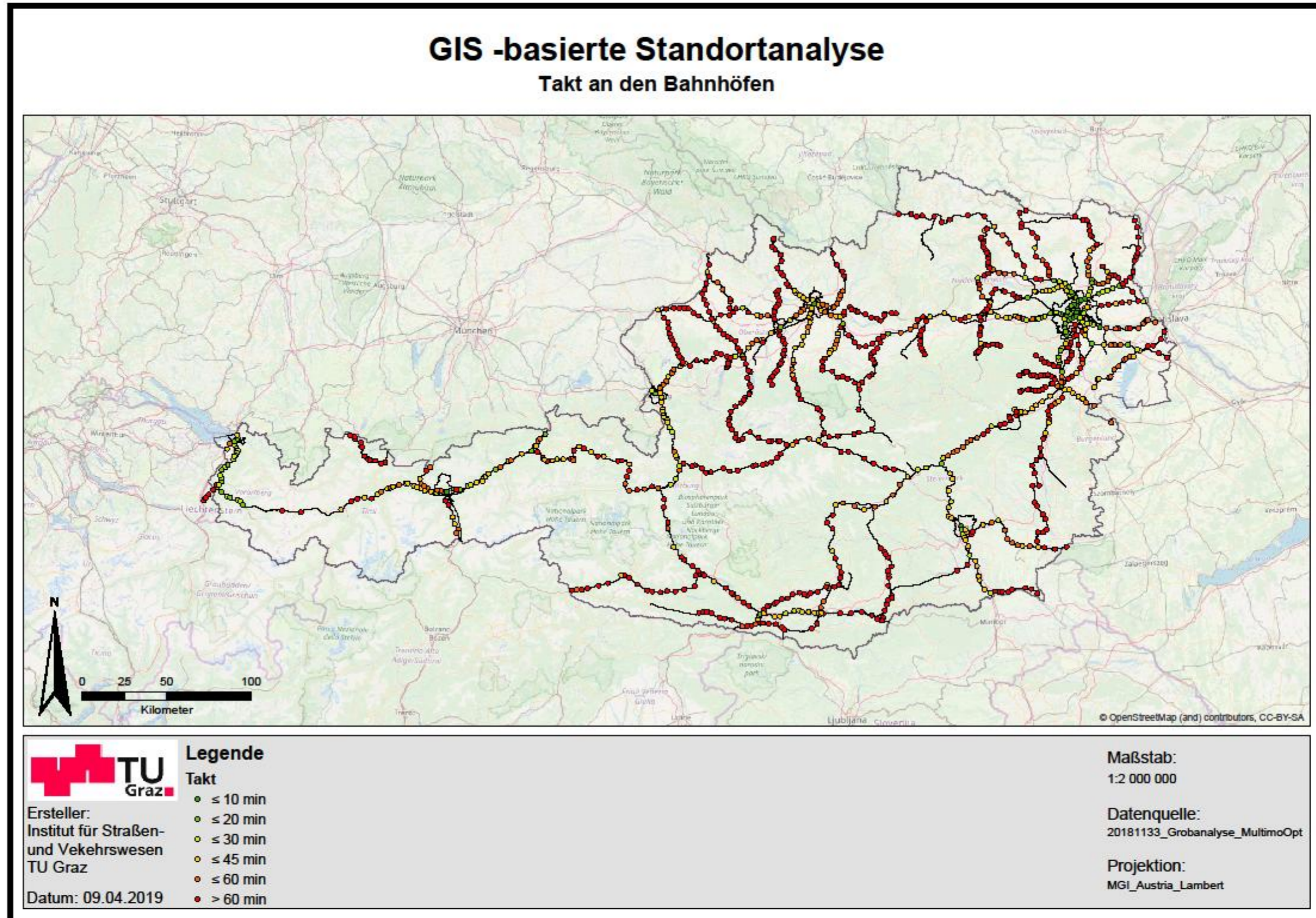
Anhang 1 – Lage der Park & Ride Standorte:



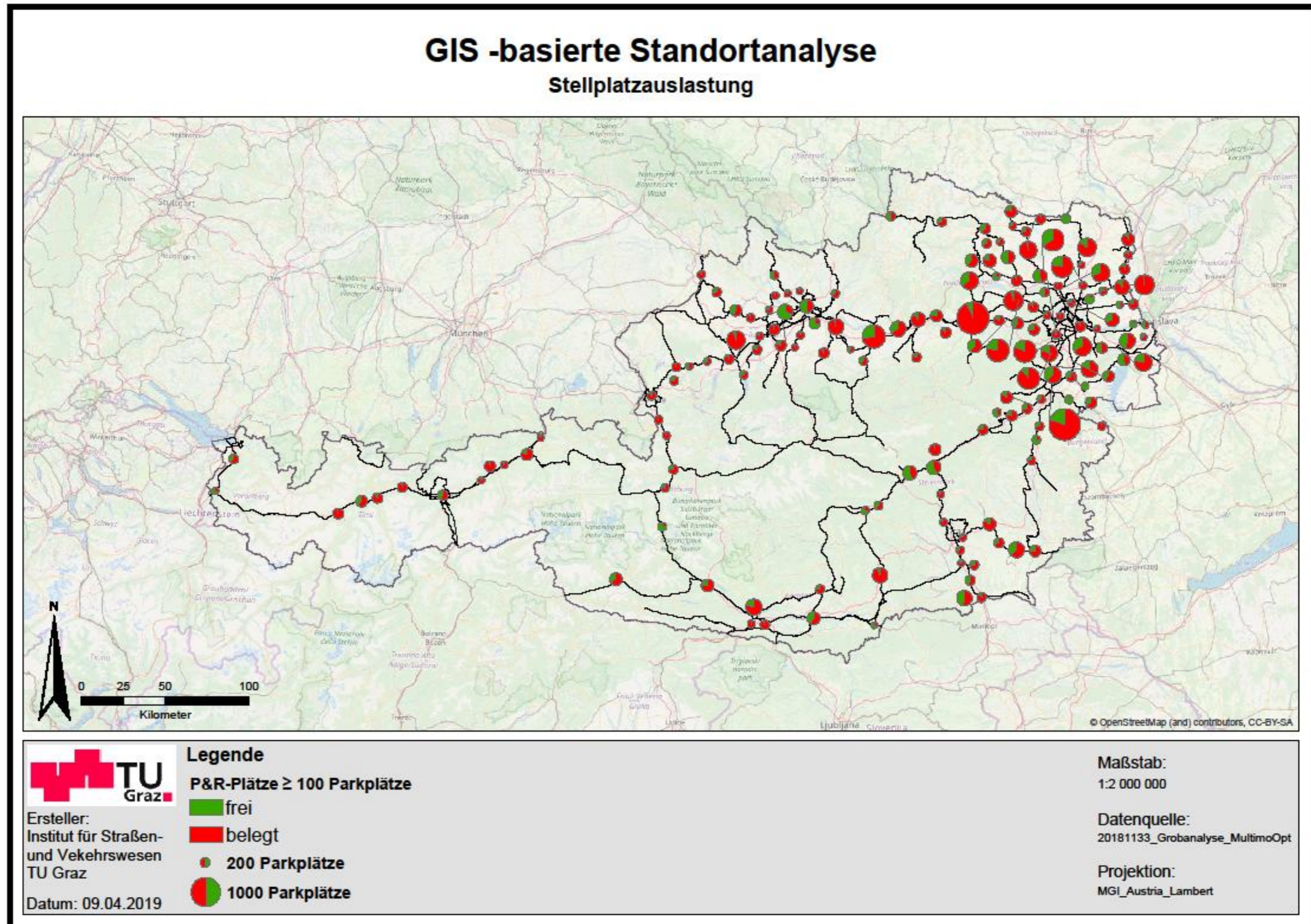


Anhang 3 – LOS Bewertung:





Anhang 5 – Stellplatzauslastung:



Anhang 6 – Aus der Standortanalyse ermittelte potentielle Standorte für Park & Ride –Anlagen:

Standort	Bundesland	Erreichbarkeit	Lage	LOS_2017	LOS 2017_N1	LOS 2017_N2	LOS 2017_N3	Takt	Anzahl Stellplätze	Auslastungsgrad
Jenbach	Tirol	0 - 2 min	0 - 50	D	D	C	D	<= 20 min	252	95%
Wolfurt	Vorarlberg	2 - 4 min	0 - 50	C	C	C	C	<= 30 min	16	75%
Gleisdorf	Steiermark	2 - 4 min	0 - 50	D	C	C	C	<= 30 min	337	84%
Hallein	Salzburg	0 - 2 min	0 - 50	D	D	D	-	<= 30 min	158	97%
Leobendorf-Burg Kreuz.	Niederösterreich	2 - 4 min	0 - 50	C	C	D	D	<= 30 min	132	93%
Frastanz	Vorarlberg	2 - 4 min	0 - 50	C	C	C	C	<= 20 min	71	94%
Schwaz	Tirol	0 - 2 min	0 - 50	D	D	D	E	<= 30 min	105	88%
Korneuburg	Niederösterreich	2 - 4 min	0 - 50	C	D	D	D	<= 20 min	676	69%
Leobersdorf	Niederösterreich	2 - 4 min	0 - 50	E	C	D	D	<= 20 min	581	80%
Altach	Vorarlberg	2 - 4 min	0 - 50	D	D	D	D	<= 30 min	9	33%
Salzburg Liefering	Salzburg	2 - 4 min	0 - 50	D	C	C	C	<= 30 min	-	-
Mannswörth	Niederösterreich	0 - 2 min	0 - 50	D	E	E	F	<= 30 min	-	-
Lauterach	Vorarlberg	2 - 4 min	0 - 50	C	C	C	C	<= 30 min	31	52%
Flughafen Wien	Niederösterreich	0 - 2 min	0 - 50	C	D	E	E	<= 10 min	-	-
Stockerau	Niederösterreich	0 - 2 min	0 - 50	E	C	C	D	<= 20 min	1002	66%
Kuchl	Salzburg	2 - 4 min	0 - 50	D	D	D	D	<= 30 min	39	79%
Fritzens-Wattens	Tirol	0 - 2 min	0 - 50	D	D	E	F	<= 30 min	55	95%
Hall in Tirol	Tirol	0 - 2 min	0 - 50	E	F	D	C	<= 20 min	95	86%
Rankweil	Vorarlberg	2 - 4 min	0 - 50	C	C	C	C	<= 20 min	-	-
Götzis	Vorarlberg	2 - 4 min	0 - 50	C	D	D	D	<= 20 min	34	71%
Schlins-Beschling	Vorarlberg	2 - 4 min	0 - 50	C	C	C	C	<= 30 min	16	38%
Klaus in Vorarlberg	Vorarlberg	0 - 2 min	0 - 50	C	C	C	D	<= 30 min	22	100%
Nenzing	Vorarlberg	0 - 2 min	0 - 50	C	C	C	C	<= 20 min	26	69%
Bad Vöslau	Niederösterreich	2 - 4 min	0 - 50	C	D	D	D	<= 20 min	582	79%
St.Valentin	Niederösterreich	2 - 4 min	0 - 50	C	C	C	C	<= 20 min	513	96%
Feldkirch	Vorarlberg	2 - 4 min	0 - 50	C	C	C	C	<= 20 min	117	27%
Nüziders	Vorarlberg	0 - 2 min	0 - 50	C	C	C	C	<= 30 min	6	33%
Hohenems	Vorarlberg	2 - 4 min	0 - 50	D	D	D	D	<= 20 min	67	39%
Bludenz	Vorarlberg	0 - 2 min	0 - 50	C	C	C	C	<= 20 min	-	-
Parndorf Ort	Burgenland	2 - 4 min	0 - 50	C	C	E	E	<= 30 min	509	53%
Schwechat	Niederösterreich	2 - 4 min	0 - 50	C	D	D	D	<= 30 min	233	91%
Dornbirn-Schoren	Vorarlberg	2 - 4 min	0 - 50	D	D	C	C	<= 30 min	26	42%
Rum	Tirol	2 - 4 min	0 - 50	F	D	C	D	<= 20 min	-	-

Anhang 7 – Modellierete Park & Ride –Standorte:

Name	Stellplatzanzahl	BPR-Funktion	Parameter		
			a	b	c
PR_Absdorf-Hippersdorf	306	2	1	1	1
PR_Angern	90	2	1	1	1
PR_Bernhardsthal	77	2	1	1	1
PR_Breitenwaida	32	2	1	1	1
PR_Deutsch Wagram	569	1	1	6	1
PR_Drösing	149	2	1	1	1
PR_Dürnkrot	219	2	1	1	1
PR_Eggenburg	220	2	1	1	1
PR_Enzersdorf bei Staats	31	2	1	1	1
PR_Etsdorf-Straß	39	2	1	1	1
PR_Fels	124	2	1	1	1
PR_Frättingsdorf	68	2	1	1	1
PR_Furth-Palt	55	2	1	1	1
PR_Gänserndorf	863	2	1	1	1
PR_Gars-Thunau	30	2	1	1	1
PR_Gerasdorf	75	1	1	6	1
PR_Göllersdorf	53	2	1	1	1
PR_Greifenstein-Altenberg	69	1	1	6	1
PR_Groß Schweinbarth	32	2	1	1	1
PR_Groß Weikersdorf	92	2	1	1	1
PR_Guntersdorf	244	2	1	1	1
PR_Hadersdorf am Kamp	398	2	1	1	1
PR_Helmahof	189	1	1	6	1
PR_Herzogenburg	123	2	1	1	1
PR_Hetzmansdorf-Wullersdorf	187	2	1	1	1
PR_Hohenau	330	2	1	1	1
PR_Hollabrunn	628	2	1	1	1
PR_Horn	64	2	1	1	1
PR_Hötzelsdorf-Geras	69	2	1	1	1
PR_Kirchberg am Wagram	388	2	1	1	1
PR_Klosterneuburg-Kierling	300	1	1	6	1
PR_Klosterneuburg-Weidling	32	1	1	6	1
PR_Korneuburg	705	1	1	6	1
PR_Krems a.d.Donau	607	2	1	1	1
PR_Kritzendorf	116	1	1	6	1
PR_Laa a.d.Thaya	184	2	1	1	1
PR_Ladendorf	104	2	1	1	1
PR_Langenzersdorf	87	1	1	6	1
PR_Leobendorf-Burg Kreuzenstein	118	1	1	6	1
PR_Limberg-Maissau	125	2	1	1	1
PR_Marchegg	120	2	1	1	1
PR_Michelhausen	36	2	1	1	1

Name	Stellplatzanzahl	BPR-Funktion	Parameter		
			a	b	c
PR_Mistelbach	755	2	1	1	1
PR_Moosbierbaum-Heiligeneich	37	2	1	1	1
PR_Niederkreuzstetten	47	2	1	1	1
PR_Obersdorf Haltestelle	127	1	1	6	1
PR_Platt	214	2	1	1	1
PR_Rabensburg	35	2	1	1	1
PR_Retz	312	2	1	1	1
PR_Schleinbach	84	2	1	1	1
PR_Schönfeld-Lasse	118	2	1	1	1
PR_Siebenbrunn-Leopoldsdorf	115	2	1	1	1
PR_Sierndorf	37	2	1	1	1
PR_Sigmundsherberg	239	2	1	1	1
PR_Silberwald	140	2	1	1	1
PR_Sitzenberg-Reidling	52	2	1	1	1
PR_Spillern	37	1	1	6	1
PR_St.Andrä-Wördern	176	1	1	6	1
PR_Staatz	118	2	1	1	1
PR_Stillfried	38	2	1	1	1
PR_Stockerau	1063	1	1	6	1
PR_Strasshof Haltestelle	377	2	1	1	1
PR_Traismauer	118	2	1	1	1
PR_Tulln a.d.Donau	667	1	1	6	1
PR_Tullnerfeld	1175	1	1	6	1
PR_Wagram-Grafenegg	65	2	1	1	1
PR_Wolkersdorf	884	1	1	6	1
PR_Zeiselmauer-Königstetten	45	1	1	6	1
PR_Zellerndorf	138	2	1	1	1
PR_Ziersdorf	343	2	1	1	1