



Diploma Thesis

Big Data in cycling

A transport planning centered analysis of large-scale movement data from Bike Citizens

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Big Data im Radverkehr

Verkehrsplanerische Analyse der großmaßstäblichen Bewegungsdaten Bike Citizens

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Patrick Schnötzlinger

Matr.Nr.: 00928650

unter der Anleitung von

Ao.Univ.Prof. Mag.rer.soc.oec. Dr.rer.soc.oec. Günter Emberger

Dipl.-Ing. Tadej Brezina

Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich Verkehrsplanung und Verkehrstechnik
Technische Universität Wien,
Gußhausstraße 30/230, A-1040 Wien

Wien, am



Kurzfassung

Nachdem das Fahrrad lange Zeit als gleichberechtigtes Verkehrsmittel im Stadtverkehr vernachlässigt wurde, lässt sich in den letzten Jahren in vielen europäischen Städten eine starke Förderung des Radverkehrs beobachten. Die Gründe hierfür liegen in den zahlreichen Vorteilen, die das Fahrrad aufweist und dem damit verbundenen Potenzial, viele innerstädtische Probleme zu lösen. Die Förderung des Radverkehrs stellt aber eine große Herausforderung dar, da das Verhalten der RadfahrerInnen nur schwer erfasst werden kann. Mit der zivilen Öffnung von GPS (Globales Positionsbestimmungssystem) konnten auch erstmals Satelliten eingesetzt werden, um die Bewegungen von VerkehrsteilnehmerInnen zu verfolgen und daraus Aussagen über das Mobilitätsverhalten abzuleiten. Dies bietet großes Potenzial, da bis dahin lediglich punktuelle Informationen auf Basis von Zählungen verfügbar waren oder sehr kosten- und zeitintensive Erhebungen oder Befragungen durchgeführt werden mussten, um an entsprechende Informationen zu gelangen. Besonders vom Radverkehr (aber auch vom Fußgängerverkehr) war bisher relativ wenig bekannt. Nach ersten kleinen Feldversuchen, in denen das Potenzial von GPS für die Verkehrsplanung untersucht wurde, folgt mit der steigenden Verbreitung von Internet, Smartphones und Apps auch die Massentauglichkeit und damit auch die Zunahme an Bewegungsdaten. Da natürlicherweise auch viele ForscherInnen, Behörden und PlanerInnen an diesen umfassenden Daten interessiert sind, haben viele Unternehmen bereits begonnen, diese für Forschungszwecke oder eben Planungszwecke anzubieten. Dabei stellt sich jedoch die Frage, ob dadurch wirklich die bestehenden Methoden ersetzt oder sogar ergänzt werden können.

Am Beispiel von 42.354 Trajektorien, die 2015 in Wien über die Bike Citizens-App erfasst wurden, erfolgte daher eine Untersuchung, welche Schritte zur Aufbereitung der Daten notwendig sind und wie repräsentativ die vorliegenden Daten sind, welche neuen Informationen daraus abgeleitet werden können und ob sich diese für den zukünftigen Einsatz in der Verkehrsplanung eignen würden. Dabei wurden die, über einen 3-stufigen Filter, bereinigten Daten hinsichtlich bestimmter Mobilitätskennzahlen und der räumlichen Verteilung untersucht und mit anderen Quellen, wie Mobilitätshebungen oder Zählungen, verglichen. Bereits bei der Aufbereitung der Daten konnten bestimmte Limitierungsfaktoren festgestellt werden, die sich aus fehlerhaften Daten und den Aufwand für die notwendige Bereinigung der Daten ergeben. Im Zuge der Auswertung zeigte sich, dass die Daten, vor allem bei spezifischen bzw. kleinräumigen Analysen, erkennbare Abweichungen aufweisen, welche sich dadurch ergeben, dass eine geringe und nur eingeschränkt repräsentative Stichprobe des Radverkehrs vorliegt. Darüber hinaus konnten jedoch Zusatzinformationen aus diesen Daten gewonnen werden. So konnte die Durchschnittsgeschwindigkeit, welche bisher nur aufwendig mithilfe von Video oder Radar gemessen werden konnte, über dieser Methode bestimmt und in Abhängigkeit von Anlageart und Steigung untersucht werden. Die Verwendung von GPS in der Radverkehrsplanung kann daher besonders dann einen Zusatznutzen schaffen, wenn diese ergänzend zu den bestehenden Methoden genutzt wird, da durch die gegenseitige Auflösung der Limitierungsfaktoren Zusatzinformationen gewonnen werden können, die weiteren Aufschluss über das Radverkehrsverhalten geben.

Abstract

Bicycles have been neglected for a long time as an equitable mode of transport in urban traffic. In recent years though, cycling has been promoted in many European cities, as the politicians and decision-makers became aware of all the benefits that cycling brings and the potential to solve transport-related problems within the city. Promoting bicycle traffic however is challenging, since capturing the behaviour of cyclists is rather difficult. With the opening of GPS (Global Positioning System) for civil purposes, satellites could now be used to capture people's movements to derive statements about mobility patterns. Previously, information had been either point-based (traffic counting) or had to be gained through cost-intensive and time-consuming surveys. Especially little was known about cycling, as well as walking. The first field tests were used to examine GPS' potential in the field of transport planning. The growing use and popularity of the internet, smartphones and apps led to an increase in collected movement-data. Many people, especially researchers, authorities and planners, were interested in this data, which is why some companies started to offer the collected data for the purposes of research and planning. Thereby the question arises if the existing and conventional methods like traffic counting or surveying could be supplemented or even replaced.

The examples from 42,354 trajectories, which were collected in 2015 in Vienna via the app "Bike Citizens", were used to examine which steps would be necessary to pre-process the data, how representative the current data is, which new information could be obtained as well as whether and to what extent the data should be used for future matters in transportation planning. In this context, the data was cleaned through a specified 3-step filter, in which it was analysed by means of mobility indicators and its spatial distribution, followed by a comparison with other sources like surveys or traffic counts. Some limiting factors were already identified while processing the data, due to erroneous data and the necessity to clean the data correctly. During the evaluation of the data, it appeared that especially small-scale analysis tended to be deviated. This can be explained by the low sample size, in which representativeness was restricted. The present data can therefore not be used to replace the conventional methods, yet. However, it was possible to calculate and determine the mean speed in dependency of facility type, which could only be captured from afar via video or radar. GPS can therefore especially create additional value for transport planning, when it is used to supplement traditional methods. By using them in combination we extinguish their various, individual limiting factors.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	10
2	Grundlagen Radverkehr	14
2.1	Radverkehrsplanung	14
2.1.1	Anlagearten	15
2.1.2	Trassierungsgrundlagen	22
2.2	Radverkehr in Wien.....	24
2.2.1	Radnetz.....	25
3	Grundlagen Verkehrsdaten	29
3.1	Zählungen.....	29
3.2	Befragungen	31
3.3	Standortdaten	32
3.3.1	GPS	33
3.3.1.1	GPS im (Rad-)Verkehr.....	35
3.3.1.2	GPS-Genauigkeit.....	38
3.3.1.3	Anwendungsbereiche und Forschungsgebiete	41
3.3.2	Big Data	42
3.3.2.1	Einsatz von Smartphones und Apps	45
3.3.3	Datenschutz.....	49
4	Datenbasis.....	53
4.1	Bike Citizens	54
4.2	Datenstruktur	55
4.3	Rohdaten.....	57
5	Datenaufbereitung.....	61
5.1	Filterstufe 1&2.....	65
5.2	Filterstufe 3	68
6	Datenanalyse.....	72
6.1	Mobilitätskennzahlen.....	72
6.1.1	Wegelängenverteilung	72
6.1.2	Wege nach Wochentagstyp	73
6.1.3	Beginnzeiten der Wege	74
6.2	Räumliche Verteilung.....	76
6.2.1	Radverkehrsströme	76
6.2.2	Dauerzählstellen.....	79
6.2.2.1	Wochenganglinien.....	91
6.2.2.2	Wegelängen.....	94

6.3	Geschwindigkeit	96
6.3.1	Geschwindigkeit nach Steigung.....	100
6.3.2	Geschwindigkeit nach Anlageart.....	101
6.3.3	OLS: Geschwindigkeit nach Anlageart und Höhendifferenz	112
7	Zusammenfassung.....	117
8	Fazit	121
9	Literaturverzeichnis.....	123
10	Datenquellen	133
11	Abbildungsverzeichnis.....	134
12	Tabellenverzeichnis.....	137
ANHANG	138

Glossar

BeZo	Begegnungszone
BC	Bike Citizens
bzgl.	bezüglich
ca.	circa
DTV	Durchschnittliche Verkehrsstärke
EU	Europäische Union
DOD	Department of Defense
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
FG	FußgeherIn
FuZo	Fußgängerzone
Ggf.	Gegebenenfalls
GIS	Geographisches Informationssystem
GLONASS	Globalnaja nawigazionnaja sputnikowaja sistema (Globales Navigationssatellitensystem)
GPS	Global Positioning System (Globales Positionsbestimmungssystem)
GRW	Geh- und Radweg
inkl.	inklusive
Kfz	Kraftfahrzeug
km	Kilometer
km/h	Kilometer pro Stunde
MIV	Motorisierter Individualverkehr
mph	miles per hour
m/s	Meter pro Sekunde
NAVSTAR	Navigation Satellite Time and Ranging
NNSS	Navy Navigation Satellite System
OLS	Ordinary least squares
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖU	„Österreich unterwegs“
ÖV	Öffentlicher Verkehr
O-D	origin-destination

Pkw	Personenkraftwagen
POI	Point of Interest
PPS	Precise Positioning Service
RF	RadfahrerIn
RFID	radio-frequency identification
RV	Radverkehr
RFA	Radfahranlage
rd.	rund
RVS	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
s.	siehe
SA	Selective Availability
SPS	Standard Positioning Service
SQL	Structured Query Language
StVO	Straßenverkehrsordnung
URE	user range error
US	United States (Vereinigte Staaten von Amerika)
u.a.	unter Anderem
u.U.	unter Umständen
VLSA	Verkehrslichtsignalanlage
vs.	versus
WLAN	Wireless Local Area Network
z.B.	zum Beispiel
Zst	Zählstelle

Danksagung

Ich bedanke mich hiermit vor allem beim Team von Bike Citizens, welches diese Diplomarbeit, mit der zur Verfügungstellung dieser Daten, überhaupt erst ermöglicht hat. Danke auch dafür, dass ihr mit eurem Unternehmen dazu beiträgt, den Radverkehr zu fördern.

Bedanken möchte ich mich außerdem bei meinen Betreuern Ao.Univ.Prof. Mag. Dr. Emberger und Dipl.-Ing. Brezina vom FVV, welche die Idee zu dieser Diplomarbeit hatten und mir jederzeit hilfreich zur Seite standen.

Danke auch all meinen Freunden und besonders meiner Freundin, die in dieser Zeit viel zurückstecken mussten und mich immer unterstützt haben.

Der größte Dank gilt jedoch meiner Familie und speziell meinen Eltern, die mir dieses Studium erst ermöglicht haben und mich stets ermutigt haben weiter zu machen. Ohne euch wäre ich niemals so weit gekommen. Vielen Dank für alles!

1 Einleitung

Bedingt durch den Durchbruch und Aufschwung des Automobils und der zunehmenden Massenmotorisierung, verloren die nicht-motorisierten Verkehrsmittel (Rad, Fuß) mit Mitte des letzten Jahrhunderts immer mehr an Bedeutung. Eine Verkehrspolitik, die der Idee einer „autogerechten Stadt“ folgte, führte zudem zu einer einseitigen und unausgewogenen Verkehrsplanung, was starke ökologische Belastungen (Schadstoffe, Lärm, Flächenverbrauch, Fragmentierung, Versiegelung, etc.) und eine steigende Zahl an Verkehrsunfällen zur Folge hatte. Mit den Jahren wurde diese Art der Verkehrspolitik aber immer kritischer betrachtet. Viele Städte erkannten früh die Notwendigkeit umzudenken und begannen in den frühen 1970er Jahren verstärkt den Umweltverbund (Fuß, Rad, ÖV) zu fördern.

In Abhängigkeit von Kultur, Geschichte und Stadtstruktur sowie Zieldefinition der Verkehrspolitik, entwickelte sich der Modal Split der europäischen Städte unterschiedlich. Vor allem die nordeuropäischen Städte, wie Amsterdam und Kopenhagen, die seit jeher eng mit dem Fahrrad als Fortbewegungsmittel verbunden sind und auch früh mit einer konsequenten Förderung des Radverkehrs begonnen haben, gelten heute als Vorzeigebispiele für gelungene städtische Radverkehrsplanung. Aber auch die österreichischen Städte setzen zunehmend verstärkt auf das Fahrrad, da sich dieses durch eine Vielzahl von Vorteilen auszeichnet:

- Geringer Flächenverbrauch/ Geringe Flächeninanspruchnahme
- Geringe Kosten (nutzer-/ betreiberseitig)
- Hohe Verkehrsmittelverfügbarkeit (gesicherter Mobilitätszugang)
- Widerstandsfähig (ausfallsicher)
- Keine Emissionen (Lärm, Schadstoffe)
- Kein Energieverbrauch (ausgenommen Körperenergie)
- Gesundheitsfördernd
- Förderung kleinräumiger Siedlungsstrukturen
- Räumliche Flexibilität
- Möglichkeit Lasten zu befördern
- Verkehrssicherheit (weniger schwere Unfälle durch geringe Geschwindigkeiten)

Das Fahrrad besitzt außerdem großes Potenzial, den Pkw-Verkehr in Städten zu reduzieren, da sich dieses besonders gut für mittlere Distanzen eignet. Rund 60 % der PKW-Fahrten in Städten sind kürzer als sechs km und ein Drittel ist sogar kürzer als drei km¹. Bei einer Entfernung von bis zu fünf km im Tür-zu-Tür Stadtverkehr ist man mit dem Rad am schnellsten am Ziel².

¹ Vgl. RVS 03.02.13, S. 4f

² Vgl. Umweltbundesamt, 2016, online

Damit der Radverkehr zielgerichtet gefördert und der Anteil am Modal Split erhöht werden kann, muss jedoch das Angebot, allem voran die Radinfrastruktur, den Ansprüchen der RadfahrerInnen gerecht werden. Den VerkehrsplanerInnen und öffentlichen Behörden mangelte es an entsprechenden Instrumenten, um die Charakteristika der RadfahrerInnen umfassend abzubilden und Effekte, die sich durch die Veränderung der Radverkehrsnetze ergeben, vorherzusagen bzw. zu bewerten³.

Mit den traditionellen Methoden zur Erfassung des Radverkehrs, wie Zählungen und Befragungen, ist es nicht oder nur schwer möglich, die wirkliche Situation im Netz zu verorten. Dauerzählstellen erlauben zwar detaillierte Langzeitmessungen und bieten damit Informationen über die Entwicklung des Radverkehrsaufkommens in Abhängigkeit von Wetter, Tageszeit, Wochentag und Saison⁴, mit vielen Zählungen können aber eigentlich nur punktuelle und eingeschränkte Verkehrsinformationen erhoben werden⁵. Auch mit Befragungen können nur begrenzte Informationen, wie Start- und Zielort, Verkehrsmittelwahl oder Wegezweck, gesammelt werden⁶. Zudem sind sie durch den großen zeitlichen und finanziellen Aufwand und die notwendige Expertise limitiert, die notwendig ist, um die Befragung vorzubereiten, durchzuführen und auszuwerten⁷. Eine Herausforderung stellen auch die Ungenauigkeiten bei der Dokumentation durch die Befragten dar⁸. Andere Methoden, wie z.B. Verkehrsmodelle, werden aufgrund der geringen Datenbasis im Radverkehr selten genutzt⁹.

Mit der zivilen Öffnung von GPS ergab sich jedoch eine vielsprechende und kostengünstige Möglichkeit, um an hochqualitative Daten über das Mobilitätsverhalten zu kommen, indem die Standorte und Bewegungen der NutzerInnen über Satelliten aufgezeichnet werden¹⁰. Erste kleine Feldversuche dienten dazu, das Potenzial von GPS in der Verkehrsplanung zu untersuchen¹¹. Mit der steigenden Verbreitung des Internets sowie von Smartphones und Apps, folgte die Massentauglichkeit dieser Technologie und damit auch eine Zunahme der erfassten Daten. Dieses Phänomen, welches auch in anderen Branchen bekannt ist, nennt sich Big Data.¹²

Viele Unternehmen, welche die Bewegungen der NutzerInnen aufzeichnen, haben aufgrund eines zunehmenden Interesses seitens ForscherInnen, Behörden und PlanerInnen auch begonnen, die entsprechenden Daten bereitzustellen bzw. zu verkaufen¹³. Vor diesem Hintergrund stellt sich jedoch die Frage, ob die traditionellen Methoden der Verkehrsplanung durch den Einsatz von GPS ergänzt oder gar ersetzt werden können. Ziel dieser Arbeit ist es daher, anhand realer Daten zu überprüfen, wie repräsentativ solche GPS Daten sind, welche Informationen daraus gewonnen werden können und welche Limitierungsfaktoren sich durch diese Methoden ergeben. Dadurch

³ Vgl. El-Geneidy, Krizek, & Iacono, 2007, S. 2

⁴ Vgl. Stadt Wien - MA 46, o.J.f, online

⁵ Vgl. Mobilitätsagentur Wien GmbH, o.J.a, online

⁶ Vgl. Shen & Stopher, 2014, S. 2

⁷ Vgl. Schnabel & Lohse, 1997, S. 115

⁸ Vgl. Pratt, Evans IV, Levinson, Turner, & Nabors, 2012, S. 9

⁹ Vgl. Deutsches Institut für Urbanistik, 2017, online

¹⁰ Vgl. Wolf, et al., 2014, S. 3

¹¹ Vgl. ebd. S. 9

¹² Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 9

¹³ Vgl. ebd. S. 34

soll festgestellt werden, ob über GPS erfasste Bewegungsdaten in der aktiven Verkehrsplanung eingesetzt werden könnten und sollten. Auf Basis der über die Radrouten-App „Bike Citizens“ erfassten Radwege im Jahr 2015 in und um Wien, werden daher vertiefende Analysen durchgeführt, die diese Fragen beantworten sollen.

Wichtige theoretische Grundlagen für den empirischen Teil der Arbeit werden in Kapitel 2 und 3 diskutiert, wobei in Kapitel 2 näher auf den Radverkehr eingegangen wird. Neben einer Beschreibung der verschiedenen Anlagearten und Organisationsformen, die in Österreich zur Anwendung kommen bzw. rechtlich definiert sind, werden auch relevante Trassierungsgrundlagen, wie Projektierungsgeschwindigkeit und Steigung, behandelt. Weiters wird die Situation des Radverkehrs in Wien näher beschrieben. Kapitel 3 thematisiert die verschiedenen Quellen von Verkehrsdaten und die Herausforderungen, die damit einhergehen, wobei nur kurz auf die traditionellen Methoden, wie Zählungen und Befragungen, eingegangen wird. Folgend wird das Thema Standortdaten umfassend beschrieben. Dabei werden die Möglichkeiten der Erfassung diskutiert und die Geschichte und Funktionsweise von GPS und anderen satellitengestützten Systemen vorgestellt. Über die detaillierte Beschreibung der Genauigkeit der Standortbestimmung mittels GPS soll auf Limitierungen hingewiesen werden. Die Auflistung verschiedener Forschungsprojekte und Studien soll zeigen, wie GPS in der Mobilitätsforschung bereits eingesetzt wird und welches Potenzial GPS hierfür bietet. Des Weiteren werden aktuelle Entwicklungen, wie die fast flächenhafte Verbreitung von Smartphones und die zunehmenden Veröffentlichungen von Apps und deren Auswirkungen auf die Datenmenge im Sinne von Big Data, beschrieben. Aber auch die potenziellen Risiken, die sich durch diese Methoden ergeben (Stichwort Datenschutz) werden dabei diskutiert.

Die von Bike Citizens zur Verfügung gestellten Daten werden in Kapitel 4 genauer untersucht und beschrieben. Dadurch soll beantwortet werden, welche Daten überhaupt zur Verfügung stehen, welches Format und welche Struktur diese Daten haben und welche Attribute diese umfassen. Mithilfe von statistischen Kennwerten soll ein Überblick der Daten gegeben werden, um erste Schlüsse ziehen zu können. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Kapitel 4 werden in Kapitel 5 Methoden zur Bereinigung der Geodaten ausgearbeitet. Unter Berücksichtigung der Ansätze verschiedener wissenschaftlicher Arbeiten wird ein dreistufiger Filteransatz definiert, mit dem die fehlerhaften Daten entfernt werden sollen. Über die statistischen Kennwerte soll die Wirkung dieser Filterstufen dargelegt werden. Die Analyse der bereinigten Daten wird dann in Kapitel 6 beschrieben, wobei im ersten Teil die klassischen Mobilitätskennzahlen (soweit möglich) untersucht und mit den Ergebnissen aus anderen Erhebungen wie „Österreich unterwegs 2013/2014“ verglichen werden.

Im zweiten Teil der Arbeit werden die Verkehrsströme zwischen Bezirken analysiert (O-D-Matrix). Weiters wird über den Vergleich mit den Ergebnissen der Rad-Dauerzählstellen untersucht, wie gut die aufgezeichneten Wege die wirklich gefahrenen Wege in Wien hinsichtlich der räumlichen Verteilung repräsentieren. Im letzten Kapitel vor der Ergebnisdiskussion werden verschiedene Anlagearten in Hinsicht auf deren Auswirkung auf die gefahrenen Geschwindigkeiten untersucht, indem störungsfreie Abschnitte ausgewählt und näher analysiert werden. Zusätzlich wird überprüft, ob über die Unterscheidung nach Fahrtrichtung Rückschlüsse auf die Steigung und dessen Einfluss auf die Geschwindigkeit gezogen werden können. Die Einflüsse von Anlageart

bzw. Organisationsform und Steigung werden folgend in verschiedenen OLS-Modellen beschrieben, wodurch die Vorhersage der Durchschnittsgeschwindigkeiten auf anderen Abschnitten ermöglicht werden soll.

2 Grundlagen Radverkehr

2.1 Radverkehrsplanung

Laut Definition der StVO, ist das Fahrrad ein Fahrzeug¹⁴ und gehört damit grundsätzlich auf die Straße. Aufgrund unterschiedlicher Eigenschaften der Verkehrsarten kann es jedoch sinnvoll erscheinen oder notwendig werden, von diesem Grundsatz abzukommen und das Rad von der Straße zu nehmen. Generell sind daher zwei Arten der Organisation zu unterscheiden: die gemeinsame Führung des Radverkehrs mit anderen Verkehrsmitteln, wie Kfz und FußgängerInnen (Mischprinzip), oder die getrennte Führung von diesen (Trennprinzip).

Welches Prinzip nun im jeweiligen Fall zu wählen ist, hängt konkret von verschiedenen Kriterien ab, auf welche im Folgenden näher eingegangen wird. Tabelle 1 stellt einen ersten Überblick über die anzuwendenden Organisationsprinzipien- und -formen, in Abhängigkeit von der vorliegenden Straßenkategorie, dar. Auf die Organisationsform, die manuell definiert wurde, wird auch noch in Kapitel 6.3 Bezug genommen.

Tabelle 1: Anzustrebendes Organisationsprinzip des Radverkehrs im Ortsgebiet¹⁵

Straßentyp	Erlaubte Höchstgeschw.	Anzustrebendes Organisationsprinzip	Organisationsform
Fußgängerzone (Fahrverbot ausgenommen Radfahrer)	Schrittgeschw. (bis 10 km/h)	Mischprinzip Fußgänger und Rad	Verkehrsberuhigt
Wohnstraße	Schrittgeschw. (bis 10 km/h)	Mischprinzip Fußgänger, Rad und Kfz	Verkehrsberuhigt
Begegnungszone	≤ 20 km/h (≤ 30 km/h)	Mischprinzip Fußgänger, Rad und Kfz	Verkehrsberuhigt
Anliegerstraße, Sammelstraße	≤ 30 km/h (≤ 40 km/h)	Mischprinzip Rad und Kfz	Radfahren im Mischverkehr
Sammelstraße, Hauptstraße	≤ 50 km/h	Trennprinzip Kfz – Rad oder Mischprinzip Rad und Kfz	Markierte Anlagen (u.U. auch Baulich getrennte Anlagen)
Hauptstraße, Hochleistungs- straße	> 50 km/h	Trennprinzip Kfz – Rad getrennt	Baulich getrennte Anlagen (u.U. auch Markierte Anlagen)

Das Aufeinandertreffen von RV und MIV führt zu einem Konflikt- und Gefährdungspotenzial, das sich automatisch durch die Geschwindigkeitsunterschiede ergibt und durch die Massenunterschiede sowie den fehlenden Außenschutz des Fahrrads verstärkt wird¹⁶. Bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h und darüber ist der Radverkehr daher grundsätzlich vom restlichen Verkehr zu trennen. Bei max. 50 km/h und einem geringen oder mittleren Verkehrsaufkommen, kann auch das

¹⁴ Vgl. StVO. 1960 i.d.g.F., § 2 Abs. 1 Z 22

¹⁵ Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: RVS 03.02.13, S. 11f

¹⁶ Vgl. Knoflacher, 1995, S. 225

Mischprinzip angewendet werden. Das untergeordnete Straßennetz (≤ 30 km/h) eignet sich generell gut für die gemeinsame Führung von Rad und Kfz auf der Fahrbahn. Eine detailliertere Entscheidungsgrundlage hinsichtlich der Anwendung von Misch- oder Trennprinzip bietet ein Diagramm in den RVS, wo die Verkehrsstärke (DTV), also die Anzahl der Fahrzeuge je 24 Stunden, und die Geschwindigkeit (V85) des Kfz-Verkehrs, zur Beurteilung herangezogen werden¹⁷.

Für die Wahl der Organisationform sollten weiters folgende Kriterien herangezogen werden¹⁸:

- Knotenpunktkriterium (Ausstattung und Anzahl der Knotenpunkte)
- Fußgängerverkehr
- Zusammensetzung des Radverkehrs
- Problem- und Engstellen
- Parksituation
- ÖV
- Längsneigung
- Kosten

Zu beachten ist zudem die Durchgängigkeit und größtmögliche Homogenität des gesamten Radverkehrsnetzes im Untersuchungsgebiet¹⁹. Ist die Entscheidung bezüglich der Organisationsform gefallen, kann darauf aufbauend das entsprechende Querschnittselement (Radverkehrsanlage) gewählt werden.

2.1.1 Anlagearten

Die wirkliche Führung des Radverkehrs erfolgt über Radverkehrsanlagen, welche als Wege oder Straßenabschnitte verstanden werden, die für den Radverkehr bestimmt sind. Rechtlich sind hierbei Radfahranlagen²⁰, Fahrradstraßen sowie Straßen, Wege und Sonderfahrstreifen mit allgemeinen oder speziellem Fahrverbot, auf denen der Radverkehr zugelassen ist, zu unterscheiden.²¹ Die im jeweiligen Fall in Frage kommenden Radverkehrsanlagen werden dabei aus dem anzustrebenden Organisationsprinzip abgeleitet, wobei hier meist verschiedene Anlageformen/-arten zur Auswahl stehen²²:

¹⁷ Vgl. RVS 03.02.13, S. 13

¹⁸ Vgl. im Folgenden: RVS 03.02.13, S. 12ff; Meschik, 2008, S. 56ff

¹⁹ Vgl. Meschik, 2008, S. 58

²⁰ Als Radfahranlagen werden laut § 2 Abs .1, Z 11b StVO Radfahrstreifen, Mehrzweckstreifen, Radwege, Geh- und Radwege und Radfahrerüberfahrten zusammengefasst.

²¹ Vgl. RVS 03.02.13, S. 4

²² Vgl. im Folgenden: ebd. S. 11

Radfahren im Mischverkehr:

- Mischverkehr
- Radroute

Markierte Anlagen:

- Radfahrstreifen
- Mehrzweckstreifen
- Radfahren gegen die Einbahn
- Fahrstreifen für den Radverkehr und ÖV (Radfahren auf Busspuren)

Verkehrsberuhigt:

- Fußgängerzone
- Begegnungszone
- Wohnstraße

Baulich getrennte Anlagen:

- Baulicher Radweg
- Gemischte/getrennte Geh- und Radwege

Weiters ist die Anlageart Fahrradstraße zu nennen, die sich nicht in diese Kategorien einordnen lässt und daher einen Sonderfall darstellt.

Die schlussendliche Wahl der geeignetsten Anlage für einen zu prüfenden Straßenabschnitt hängt von den individuellen Anforderungen und örtlichen Gegebenheiten ab. In diese Wahl fließen dabei indirekt auch die Eigenschaften und die jeweiligen Vor- und Nachteile der verschiedenen Anlageformen ein. Die nachfolgenden Seiten sollen hierzu einen kurzen Überblick bieten und als Grundlage für Kapitel 6.3 dienen.

Führung auf der Fahrbahn (Mischverkehr)

Fahrrad und Kfz nutzen die Fahrbahn hier gemeinsam. Besonders geeignet ist diese Anlageform, wenn die Geschwindigkeitsunterschiede gering sind, da durch die gleichen Geschwindigkeiten weniger Konflikte und Unfälle entstehen (keine Überholmanöver)²³. Grundsätzlich kommt die Führung auf der Fahrbahn bei geringen Kfz-Mengen und niedrigen Geschwindigkeiten zur Anwendung und wird daher idealerweise in verkehrsberuhigten Bereichen (Tempo-30 Zone) eingesetzt²⁴. Die Trennung von Radverkehr und MIV sollte somit eigentlich den Ausnahmefall darstellen und sich nur auf Abschnitte mit Höchstgeschwindigkeiten von 50 km/h oder mehr beschränken²⁵. Subjektiv wird der Mischverkehr jedoch als gefährlich angesehen und wird daher von

²³ Vgl. Meschik, 2008, S. 59

²⁴ Vgl. ebd. S. 61f

²⁵ Vgl. Knoflacher, 1995, S. 225

FahranfängerInnen und generell bei hohen Geschwindigkeiten bzw. Verkehrsstärken eher gemieden. Als positiv sind die äußerst geringen Kosten und die gute Oberflächenqualität (Fahrbahn) zu sehen. Von Vorteil ist auch die unkomplizierte und logische Führung des Radverkehrs, die sich auf gute Sichtbeziehungen und eine erhöhte Sicherheit im Kreuzungsbereich auswirkt.²⁶

Radroute

Sonderform in Wien. Siehe Führung auf der Fahrbahn.

Radfahrstreifen

Als Radfahrstreifen wird „ein für den Fahrradverkehr bestimmter und besonders gekennzeichnete Teil der Fahrbahn [...]“²⁷ verstanden. Der Verlauf wird hierbei „[...] durch wiederholte Markierung mit Fahrradsymbolen und das Ende durch die Schriftzeichenmarkierung „Ende“ angezeigt [...]“²⁸. Radfahrstreifen grenzen üblicherweise an die Fahrstreifen des Kfz-Verkehrs an und dürfen dabei „[...] nur in der dem angrenzenden Fahrstreifen entsprechenden Fahrtrichtung befahren werden [...]“²⁹. Vorteilhaft sind die geringen Kosten und die hohe Sicherheit in Kreuzungsbereichen (gute Sichtbarkeit). Weiters kommt es zu keinen Begegnungen und daher auch zu keinen Konflikten mit FußgängerInnen oder entgegenkommenden RadfahrerInnen. Das Überholen der RadfahrerInnen untereinander ist nur möglich, wenn der Radfahrstreifen ausreichend breit ist. Zwischen Kfz und Rad gibt es zwar keine unmittelbaren Überholmanöver, in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Verkehrsstärke kann jedoch trotzdem ein erhöhtes Konfliktpotenzial festgestellt werden. Auch der ruhende Verkehr kann einen Unsicherheitsfaktor darstellen, wenn keine ausreichenden Sicherheitsabstände oder Breiten berücksichtigt worden sind. Anwendung findet der Radfahrstreifen generell dann, wenn die Trennung von Kfz und Radverkehr sinnvoll erscheint, der Bau eines Radwegs jedoch nicht zielführend (z.B. hohe Kreuzungsdichte) oder gar nicht möglich ist (z.B. Platzprobleme). Weiters kann eine abschnittsweise Einrichtung von Radfahrstreifen angedacht werden, wenn beispielsweise Steigungsstellen im Mischverkehr zu einem erhöhtem Konfliktpotenzial führen würden.³⁰

Mehrzweckstreifen

Ein Mehrzweckstreifen ist definiert als „ein Radfahrstreifen oder ein Abschnitt eines Radfahrstreifens, der unter besonderer Rücksichtnahme auf die RadfahrerInnen von anderen Fahrzeugen befahren werden darf, wenn für diese der links an den Mehrzweckstreifen angrenzende Fahrstreifen nicht breit genug ist oder wenn das Befahren durch Richtungspfeile auf der Fahrbahn für das Einordnen zur Weiterfahrt angeordnet ist“³¹. Mehrzweckstreifen finden vor allem dort Anwendung, wo aufgrund der Straßenbreite keine Radfahrstreifen oder Radwege realisiert werden können. Weil die

²⁶ Vgl. Meschik, 2008, S. 61f

²⁷ StVO. 1960 i.d.g.F., § 2 Abs. 1 Z 7

²⁸ Ebd.

²⁹ Ebd. § 8a Abs. 2

³⁰ Vgl. Meschik, 2008, S. 63f

³¹ StVO. 1960 i.d.g.F., § 2 Abs. 1 Z 7a

verbleibende Kernfahrbahn trotzdem schmaler wird und es bei Begegnungsfällen im Kfz-Verkehr ansonsten zu Problemen kommen könnte, ist hier die Befahrung durch andere Fahrzeuge zu erlauben. Diese Anlageform nutzt den Straßenraum bestmöglich aus und bietet eine günstige Möglichkeit den Radverkehr zu fördern. Bedingt durch die verringerte Straßenbreite, kommt es auch gleichzeitig zu einer Geschwindigkeitsreduktion und zu einer Verkehrsberuhigung im Kfz-Verkehr. Wie beim Mischverkehr und beim Radfahrstreifen, profitieren RadfahrerInnen auch hier von der guten Oberflächenqualität der Fahrbahn. Es entstehen keine Konflikte mit FG und entgegenkommenden RadfahrerInnen und zwischen Rad und Kfz kommt es nur indirekt zu Begegnungen. Vor allem ungeübte RadfahrerInnen fühlen sich auf diesen Anlagen jedoch unter Umständen unsicher (dichter und schneller Verkehr).³²

Radfahren gegen die Einbahn

Wie alle anderen Fahrzeuge auch, haben sich Fahrräder an die Einbahnregelung zu halten. Einbahnen behindern jedoch den umwegempfindlichen Radverkehr. Durch eine entsprechende Beschilderung („ausgenommen Radfahrer“) ist es daher möglich, die Einbahn für den Radverkehr freizugeben (allgemein ab 3m Fahrbahnbreite). Dadurch können unkompliziert Direktverbindungen geschaffen und das Radnetz attraktiviert werden. In Richtung der Einbahn wird der Radverkehr gemischt mit dem Kfz-Verkehr geführt, die Führung in Gegenrichtung kann mit oder ohne Markierung erfolgen. Radfahren gegen die Einbahn ist, obwohl vermutet, nicht gefährlicher als andere Organisationsformen. Dies liegt unter anderem daran, dass Begegnungen zwischen Kfz und Rad weniger kritisch sind als Überholmanöver, da sich der Abstand hier besser einschätzen lässt.³³ Als Begleitmaßnahme bietet sich eine Geschwindigkeitsreduktion im entsprechenden Straßenabschnitt an. Auch in nicht geöffneten Einbahnen wird oft gegen die Einbahn gefahren (z.B. Fahrbahn oder Gehweg), was durchaus gefährlich ist und zu Unfällen führt, da dies nicht erwartet wird. Eine „offizielle“ Öffnung von Einbahnen kann daher dazu beitragen, die Sicherheit in den entsprechenden Straßenabschnitten zu erhöhen.³⁴

Radfahren auf Busspuren

Bei dieser Anlageart wird der Radverkehr auf bestehenden Busspuren geführt. Sie kommt vor allem dann zum Einsatz, wenn eine eigene Radverkehrsanlage nicht möglich ist. Bei ausreichend Platz im Querschnitt, kann ein Radfahrstreifen neben dem Busfahrstreifen geplant werden. Andernfalls ist ein kombinierter Fahrstreifen Bus/Rad, auch Umweltspur genannt, anzudenken, wodurch Radverkehrsverbindungen (Haupttrouten) einfach geschaffen werden können.³⁵ Eine Führung des Radverkehrs auf dem allgemeinen Fahrstreifen neben der Busspur ist jedenfalls nicht zulässig. Diese muss auf einem Radweg, auf einem Radfahrstreifen oder eben auf der Busspur erfolgen³⁶. Die Geschwindigkeit der Busse sollte bei ca. 30 km/h liegen und wie bei Mehrzweckstreifen

³² Vgl. Meschik, 2008, S. 67f

³³ Vgl. ebd. S. 97ff

³⁴ Vgl. ebd. S. 102f

³⁵ Vgl. ebd. S. 90f

³⁶ Vgl. Meschik, 2016, S. 135

oder Radfahrstreifen gilt Einrichtungsverkehr. Um das Konfliktpotenzial gering zu halten, sollte diese Form der Radverkehrsorganisation nur angewandt werden, wenn wenige RadfahrerInnen und wenige Busse auf dem Abschnitt unterwegs sind. Bei maximal 15 bis 20 Bussen/h und maximal 50 RF/h sollte die gemeinsame Führung problemlos möglich sein. Höhere Werte erfordern Überholstellen oder sogar überhaupt eine breitere Dimensionierung der Busspuren, um das Überholen (jederzeit) zu ermöglichen.³⁷ Zu berücksichtigen ist weiters, dass auch andere VerkehrsteilnehmerInnen wie Taxis oder Einsatzfahrzeuge den Bussonderstreifen benützen können³⁸. Grundsätzlich sollte bei der Mischung von Radverkehr und ÖV auf die Steigung bzw. das Gefälle geachtet werden. Auf Gefällestrecken (> 4 %) ist die gemeinsame Führung von Bus und Rad gut verträglich. Bei Steigungen von über 2 % sollten die beiden Verkehre jedoch, wenn möglich, getrennt geführt werden oder die Busspuren dementsprechend breiter dimensioniert werden.³⁹

Wohnstraße

Wohnstraßen sind Gebiete oder Teile einer Straße, in welchem der Fahrzeugverkehr verboten ist. Davon ausgenommen sind unter anderem Fahrzeuge des Straßendienstes oder der Müllabfuhr sowie der Radverkehr, wobei dieser (wie auch der Fußgängerverkehr) nicht behindert oder gefährdet werden darf. Es gilt Schrittgeschwindigkeit, was auch vom Radverkehr einzuhalten ist.⁴⁰ Wohnstraßen eignen sich daher nicht als Hauptadtrouten, ermöglichen aber eine flächige Erschließung ohne großen Aufwand⁴¹. Besonders ist hier die Tatsache, dass RadfahrerInnen Wohnstraßen in beide Richtungen befahren dürfen, selbst wenn die Wohnstraße als Einbahnstraße verordnet ist⁴².

Begegnungszone (BeZo)

2013 wurde auch die Begegnungszone rechtlich in der StVO verankert⁴³. Begegnungszonen sind Maßnahmen für die Verkehrsberuhigung und definieren Straßen oder Gebiete, welche für die gemeinsame Nutzung durch Fahrzeuge (Kfz, Rad) und FußgängerInnen vorgesehen sind⁴⁴. LenkerInnen von Fahrzeugen dürfen FußgängerInnen hierbei aber weder gefährden noch behindern. Zudem dürfen auch Radfahrzeuge nicht von KraftfahrzeuglenkerInnen gefährdet oder behindert werden. FußgängerInnen dürfen andererseits den Fahrzeugverkehr nicht mutwillig behindern. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 20 km/h, wobei diese unter gewissen Voraussetzungen von der Behörde auf 30 km/h erhöht werden kann.⁴⁵

³⁷ Vgl. Meschik, 2008, S. 90f

³⁸ Vgl. StVO. 1960 i.d.g.F., § 53 Abs. 1 Z. 25

³⁹ Vgl. Meschik, 2016, S. 135

⁴⁰ Vgl. StVO. 1960 i.d.g.F., § 76b Abs. 1 bis 3

⁴¹ Vgl. Meschik, 2008, S. 87f

⁴² Vgl. StVO. 1960 i.d.g.F., § 7 Abs. 5

⁴³ Vgl. BGBl. I Nr. 39/2013, 2013

⁴⁴ Vgl. StVO. 1960 i.d.g.F., § 2 Abs. 1 Z. 2a

⁴⁵ Vgl. ebd. §76c Abs. 2 bis 6

Fußgängerzone (FuZo)

Bei Fußgängerzonen handelt es sich um „[...] Straßenstellen oder Gebiete, [die] dauernd oder zeitweilig dem Fußgängerverkehr vorbehalten“⁴⁶ sind. Laut StVO können Fußgängerzonen jedoch auch für den Radverkehr geöffnet werden⁴⁷. Fußgängerzonen dienen vorrangig der Flächenerschließung bzw. dem Lückenschluss im Radnetz⁴⁸. Die Organisation des Radverkehrs innerhalb der FuZo kann dabei unterschiedlich erfolgen⁴⁹:

- Uneingeschränkte Freigabe (räumlich und zeitlich)
- Trennung von Rad- und Fußgängerverkehr (gestalterisch) → „Zerschneidung der FuZo“
- Räumlich beschränkte Freigabe (Abhängig von FG-Verteilung)
- Zeitlich beschränkte Freigabe (Abhängig von FG-Spitzen)

Zu beachten ist dabei jedoch das Konfliktpotential, welches durch die gemeinsame Führung von Fuß- und Radverkehr entsteht. In Bereichen mit Gefällen > 6 % ist das Radfahren in Fußgängerzonen eher ungünstig (Meschik empfiehlt sogar max. 3 %⁵⁰). Ebenso in Bereichen, in welchen sich viele Kinder oder ältere Menschen aufhalten.⁵¹ Zur ersten Abschätzung der Verträglichkeit von RadfahrerInnen in Fußgängerzonen, bieten die RVS außerdem ein Diagramm, welches die Fußgängermengen und Radverkehrsmengen (bezogen auf eine fünf Meter Verkehrsraumbreite) gegenüberstellt⁵².

Radweg

Laut StVO ist der Radweg als „ein für den Verkehr mit Fahrrädern bestimmter und als solch gekennzeichnete Weg“⁵³ definiert. Der Radverkehr wird hier auf einer baulich vom Kfz-Verkehr und FG-Verkehr getrennten Anlage geführt. Auf freier Strecke gibt es also (im besten Fall) keine Interaktionen mit anderen Verkehrsarten, weswegen diese Anlageform auch vor allem von FahranfängerInnen und wenig geübten RadfahrerInnen als subjektiv sicher empfunden und daher auch bevorzugt wird. Diese Anlageform eignet sich vor allem bei großen Geschwindigkeitsunterschieden zwischen Kfz und Rad sowie großen Kfz-Verkehrsmengen. Als Grundvoraussetzung für die Einrichtung eines Radwegs gelten das Vorhandensein von ausreichend Platz und guter Sichtbeziehungen. Da es vor allem in Kreuzungsbereichen zu Konflikten kommen kann, sollten sie primär auf Strecken mit großen Maschenweiten eingesetzt werden.⁵⁴ Radwege können als Einrichtungs- oder Zweirichtungsradweg ausgeführt werden. Da sie grundsätzlich in beide Richtungen befahren werden dürfen, muss ein Einrichtungsradweg daher eindeutig gekennzeichnet

⁴⁶ Ebd § 76a Abs. 1

⁴⁷ Vgl. ebd. § 76a Abs. 2

⁴⁸ Vgl. Meschik, 2008, S. 86

⁴⁹ Vgl. im Folgenden: RVS 03.02.13, S. 31; Meschik, 2008, S. 85

⁵⁰ Vgl. Meschik, 2008, S. 86

⁵¹ Vgl. RVS 03.02.13, S. 32

⁵² Vgl. ebd. S. 31

⁵³ StVO. 1960 i.d.g.F., § 2 Abs. 1 Z 8

⁵⁴ Vgl. Meschik, 2008, S. 68

werden.⁵⁵ Getrennte Radwege stellen eigentlich nur ein Hilfsmittel dar, um bei einem geringen Radverkehrsanteil sichere Anlagen für die Fortbewegung zu schaffen. Steigt der Anteil am Modal Split auf 25 bis 30 %, wird der Radverkehr auf dem Hauptstraßennetz abgewickelt werden müssen.⁵⁶

Geh- und Radweg

Ein Geh- und Radweg ist „ein für den Fußgänger- und Fahrradverkehr bestimmter und als solcher gekennzeichnet Weg“⁵⁷, wobei dieser entweder gemeinsam oder getrennt geführt werden kann⁵⁸. „[...] Radfahrer haben [sich] so zu verhalten, dass Fußgänger nicht gefährdet werden“⁵⁹. Um Konflikte generell zu vermeiden, sollten Geh- und Radwege eine Mindestbreite von 3 m aufweisen und auf Strecken mit Gefällen gemieden werden, da es durch die Geschwindigkeitsunterschiede zu einem erhöhten Unfallrisiko kommen kann. Geh- und Radwege eignen sich auf Straßenabschnitten mit geringem RF- und FG-Aufkommen, vor allem außerorts und im Freizeitverkehr. Innerorts stellen Geh- und Radwege kein wollwertiges Netzelement dar und sollten lediglich zum Lückenschluss (Erschließung, unterste Netzkategorie III) oder als Notmaßnahme eingesetzt werden. Zu beachten gilt, dass Geh- und Radwege von RadfahrerInnen grundsätzlich verpflichtend zu verwenden sind.⁶⁰ Eine Ausnahme bildet der Geh- und Radweg ohne Benützungspflicht. Speziell ungeübte und schutzbedürftige RadfahrerInnen (Kinder) sind hier gut aufgehoben, da, bedingt durch die geringen Geschwindigkeitsunterschiede zwischen RF und FG, nur ein geringes Konfliktpotenzial besteht. Schnellere RadfahrerInnen haben bei größeren RF-Mengen bzw. FG-Dichten jedoch die Möglichkeit auf die Fahrbahn auszuweichen.⁶¹

Fahrradstraße

Mit der 25. StVO-Novelle im Jahr 2013 wurden in Österreich die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Einrichtung einer Fahrradstraße geschaffen⁶². Damit können unter bestimmten Voraussetzungen, Straßen oder Straßenabschnitte dauernd oder zeitweilig zu Fahrradstraßen erklärt werden. Mit Ausnahme vom Radverkehr ist hier (fast) jeder andere Fahrzeugverkehr verboten. Davon ausgenommen sind z.B. auch Fahrzeuge des Straßendienstes, der Müllabfuhr, Einsatzfahrzeuge oder Fahrzeuge zum Zwecke des Zu- und Abfahrens.⁶³ Per Verordnung kann zusätzlich die Befahrung durch andere Fahrzeuge genehmigt werden. Jedenfalls erlaubt ist die Querung der Fahrradstraße.⁶⁴ Zu beachten gilt die Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h und dass der Radverkehr weder behindert noch gefährdet werden darf.⁶⁵ Mithilfe von Fahrradstraßen

⁵⁵ Vgl. ebd. S. 72

⁵⁶ Vgl. Knoflacher, 1995, S. 198

⁵⁷ StVO. 1960 i.d.g.F., § 2 Abs. 1 Z 11a

⁵⁸ Vgl. ebd. § 52 Abs. 17a

⁵⁹ Ebd. § 68 Abs. 1

⁶⁰ Vgl. Meschik, 2008, S. 80-83

⁶¹ Vgl. Meschik, 2016, S. 117

⁶² Vgl. BGBl. I Nr. 39/2013, 2013

⁶³ Vgl. StVO. 1960 i.d.g.F., § 67 Abs. 1

⁶⁴ Vgl. ebd. § 67 Abs. 2

⁶⁵ Vgl. ebd. § 67 Abs. 3

können Verbindungen höchster Qualität für Haupttrouten des Radverkehrs geschaffen werden und gleichzeitig eine Verkehrsberuhigung erzielt werden.⁶⁶

2.1.2 Trassierungsgrundlagen

Bei der Trassierung von Radverkehrsanlagen müssen viele Faktoren, wie beispielsweise Breiten und Sichtweiten, berücksichtigt werden. Für die vorliegende Arbeit sind aber vor allem zwei Themen interessant: Projektierungsgeschwindigkeit und Längsneigung.

Projektierungsgeschwindigkeit

Die mittlere Fahrgeschwindigkeit auf ebener Strecke liegt bei ca. 18 km/h⁶⁷. Um den Radverkehr zu fördern, sollte auch innerorts, zumindest auf Strecken der oberen Netzhierarchie, eine Fahrgeschwindigkeit von 20 bis 30 km/h erzielt werden können (siehe Tabelle 2), was der Geschwindigkeit vom MIV in verkehrsberuhigten Tempo-30-Bereichen entspricht. Der Radverkehr kann dadurch als gleichwertiges Verkehrsmittel zum MIV betrachtet werden und erhält somit auch eine gewisse Chancengleichheit bei der Verkehrsmittelwahl. Damit der Radverkehr mit dem MIV mithalten kann, ist es wichtig, konstante Fahrgeschwindigkeiten für RadfahrerInnen zu schaffen. Dies wird durch die entsprechende Auswahl der Radfahranlage erzielt. Zu vermeiden ist ebenso eine häufige Unterbrechung des Radverkehrs durch Nachrang (z.B. Verlassen einer RFA), gefährliche Abschnitte (z.B. Einfahrten) oder Behinderungen (FG auf gemeinsamen Flächen). Als optimale Anlageart ergibt sich somit der Mischverkehr des RV mit dem motorisierten Verkehr in verkehrsberuhigten Tempo-30-Bereichen, da hier alle Fahrzeuge gleichberechtigt sind.⁶⁸

Tabelle 2: Projektierungsgeschwindigkeit für Netzelemente des Radverkehrs⁶⁹

Netzhierarchie	Projektierungsgeschwindigkeit V_p [km/h]
Haupttrouten	20 bis 30 (bei Gefälle bis 50)
Verbindungs-, Sammel- und Stichrouten	15 bis 30
Flächenerschließung	15 bis 20

Längsneigung

RadfahrerInnen sind sehr sensibel gegenüber Steigungen. Strecken mit großen Höhenunterschieden werden daher, wenn möglich, vermieden und es wird auf andere Routen ausgewichen. Steigungsstrecken sind daher möglichst nur da einzusetzen, wo sie sich, bedingt durch die Topografie (große Umwege), nicht vermeiden lassen.⁷⁰ Generell sind Steigungen von weniger als 4 % sehr gut für den Radverkehr geeignet. Im Bereich von 4 bis 12 % liegt nur eine bedingte Eignung vor und Steigungen über 12 % sind

⁶⁶ Vgl. Meschik, 2008, S. 88

⁶⁷ Vgl. Aleksa, 2001 zitiert nach: Meschik, 2008, S. 46

⁶⁸ Vgl. Meschik, 2008, S. 46f

⁶⁹ Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Meschik, 2008, S. 46

⁷⁰ Vgl. ebd. S. 52

überhaupt nicht für den Radverkehr geeignet.⁷¹ In der RVS 03.02.13 sind zudem die maximal „zumutbaren“ Steigungen in Abhängigkeit von Höhendifferenzen und Abschnittslänge definiert. Bei Neutrassierungen sollten Steigungen von mehr als 3 % vermieden werden. Bei höheren Werten ist folgende Tabelle 3 heranzuziehen.⁷²

Tabelle 3: Empfohlene maximale Steigungen in Abhängigkeit von der zu überwindenden Höhendifferenz⁷³

Höhendifferenz [m]	Steigung max. [%]	Länge der Steigung max. [m]
1	12	8
2	10	20
4	6	65
6	5	120
10	4	250
> 10	3	beliebig

Zu erkennen ist, dass bei geringen Höhenunterschieden höhere Steigungen zulässig sind, da der Schwung berücksichtigt werden kann. Die Geschwindigkeit des Radverkehrs ist stark steigungsabhängig, weshalb diese bei Gefälleabschnitten jener vom Kfz-Verkehr und in Steigungspassagen jener vom Fußgängerverkehr entspricht. Dadurch ergibt sich auch der naheliegende Grundsatz, dass der Radverkehr bergab gemeinsam mit dem Kfz-Verkehr geführt werden soll, bergauf jedoch getrennt auf eigenen Anlagen. Der Radverkehr sollte nur dann gemeinsam mit dem FG-Verkehr geführt werden, wenn bergab fahrende RF ausgeschlossen werden können (striker Einrichtungsverkehr). Weiters ist die Führung mit dem Fußgängerverkehr nur bei bestimmten Steigungen sinnvoll, da zu hohe Steigungen zu einem „Schlingern“ der RadfahrerInnen und zu Konflikten führen können. Können diese Grenzen nicht eingehalten werden, sind Sonderlösungen zu entwickeln, damit die Abschnitte trotzdem angenommen werden: Aufstiegshilfen wie z.B. der Fahrradlift in Trondheim (Norwegen), die Förderung von Elektrofahrrädern, die Mitnahme im ÖV, oder künstlich verlängerte Rampen, um die Steigung zu reduzieren („Serpentinen“).⁷⁴

⁷¹ Vgl. Olbrich, 1998, zitiert nach: Amt der steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 16 Verkehr und Landeshochbau, 2016, S. 20

⁷² Vgl. RVS 03.02.13, S. 18f

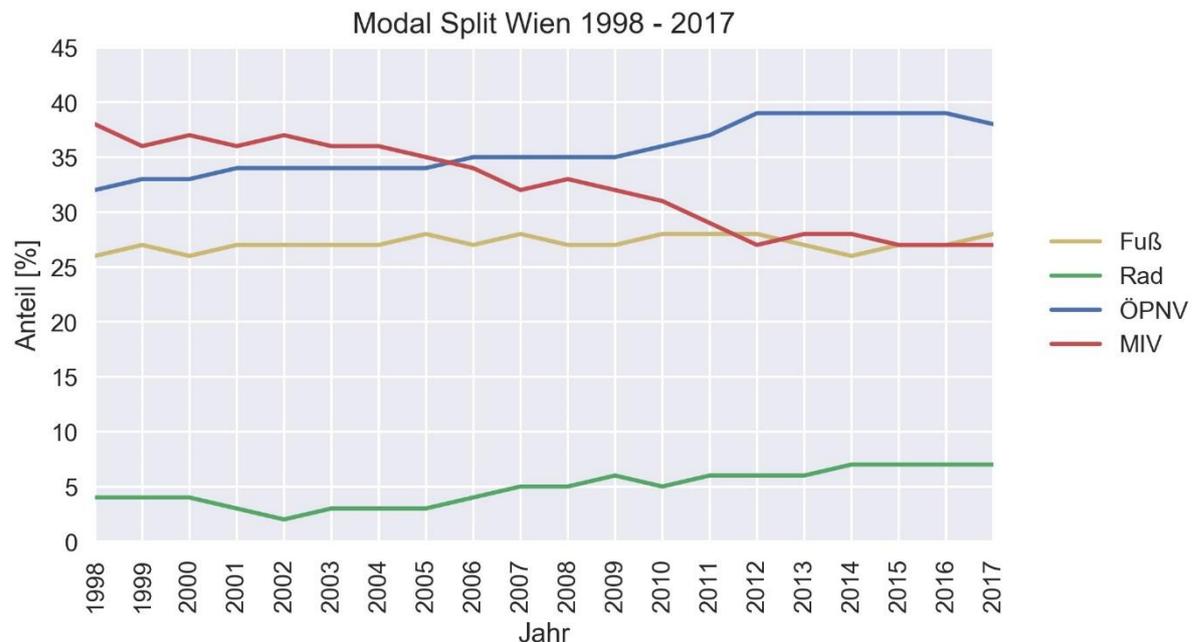
⁷³ Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: RVS 03.02.13, S. 19

⁷⁴ Vgl. Meschik, 2008, S. 52

2.2 Radverkehr in Wien

Einen ersten Eindruck vom Radverkehr in Wien soll Abbildung 1 vermitteln, in welcher die Entwicklung des Modal Split seit 1998 dargestellt wird.

Abbildung 1: Modal Split in Wien 1998-2017⁷⁵



Auffallend sind die Entwicklungen im ÖPNV bzw. MIV, die entgegengesetzt verlaufen sind (2006 hat der ÖV den MIV als meistgenutzte Verkehrsart abgelöst). Der Fußverkehr ist über die Jahre annähernd konstant geblieben und der Radverkehr erfuhr eine leichte Zunahme von ehemals vier auf nun sieben Prozentpunkte. Die Anteile im öffentlichen Verkehr und im Fußverkehr sind im europaweiten Vergleich schon recht hoch⁷⁶. Weitere Verbesserungen zugunsten des Umweltverbunds können daher am ehesten durch Maßnahmen im Radverkehr erzielt werden.

Die Stadt Wien selbst misst dem Radverkehr eine bedeutende Rolle für die nachhaltige Veränderung des städtischen Verkehrs bei. Das Fachkonzept Mobilität, welches 2014 vom Gemeinderat beschlossen wurde⁷⁷, stellt ein eigenes Strategiepapier für die Mobilitätsziele bis 2025 dar⁷⁸. Als Hauptziele werden darin u.a. die faire Aufteilung des Straßenraums und die „Leistungsfähigkeit“ nachhaltiger Mobilität für alle beschrieben. Beide Punkte beziehen sich direkt auf den Radverkehr. Weiters wird auf die gesunde Mobilität abgezielt, die durch eine Förderung von Fuß- und Radverkehr erreicht werden soll. Alle sechs Hauptziele (fair, gesund, kompakt, ökologisch, robust, effizient) beziehen sich mehr oder weniger direkt auf den Radverkehr und von den 50 definierten Maßnahmen betreffen 32 Maßnahmen auch den Radverkehr, womit dieser von allen

⁷⁵Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage: SOCIALDATA, o.J., online; Wiener Linien GmbH & Co KG, 2013, S. 7; Wiener Linien GmbH & Co KG, 2017, S. 4

⁷⁶ Vgl. European Platform on Mobility Management (EPOMM), o.J., online

⁷⁷ Vgl. Stadtentwicklung Wien, MA 18 (Hrsg.), 2015, S. 126

⁷⁸ Vgl. ebd. S. 15

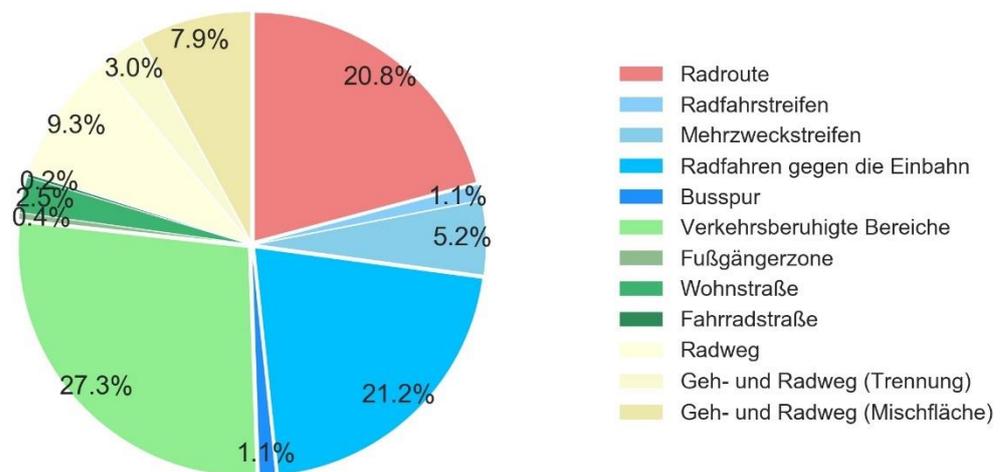
Verkehrsarten am prominentesten vertreten ist.⁷⁹ Generelles „Ziel der Stadt Wien ist es, immer mehr Menschen für den Umstieg auf das Rad zu begeistern. Radfahren soll noch attraktiver und sicherer werden.“⁸⁰

2.2.1 Radnetz

Die Stadt Wien verfügt mit Stand 2017 über ein 1.379 km langes Radnetz (2015: 1.298 km)⁸¹, wobei anhand von Abbildung 2 abgelesen werden kann, wie sich dieses auf die unterschiedlichen Anlagearten aufteilt. Es muss angemerkt werden, dass die Anlageart „Verkehrsberuhigte Bereiche“ eine Sonderform in Wien darstellt, die neben Begegnungszonen z.B. auch Abschnitte mit Fahrverboten ausgenommen Fahrrad umfasst.

Abbildung 2: Aufteilung des Radverkehrsnetzes nach Anlageart in Wien 2017⁸²

Aufteilung des Radverkehrsnetzes nach Anlagearten Wien 2017



Bauliche Anlagen, wie separate Radwege sowie Geh- und Radwege, stellen mit rund 20 % die kleinste Gruppe der Radfahranlagen dar. Rund ein Viertel aller Anlagen sind markierte Anlagen (Radfahren gegen die Einbahn, Radfahrstreifen und Mehrzweckstreifen) und über die Hälfte fällt auf Radrouten, verkehrsberuhigte Bereiche (inkl. FuZo, BeZo und Wohnstraße), Fahrradstraßen und freigegebene Busspuren.

Besonders zu erwähnen sind die Entwicklungen bei den markierten Anlagen. Als einfache Maßnahme um Lücken im Radnetz zu schließen, wurde das Radfahren gegen die Einbahn in den letzten Jahren sehr stark gefördert. Von 2000 bis 2017 hat sich der Anteil dieser Anlageart am gesamten Radnetz von 10,6 % auf 21,0 % fast verdoppelt⁸³.

⁷⁹ Vgl. ebd. S. 19-25;35f;117-120;126

⁸⁰ Stadt Wien - MA 46, o.J.a, online

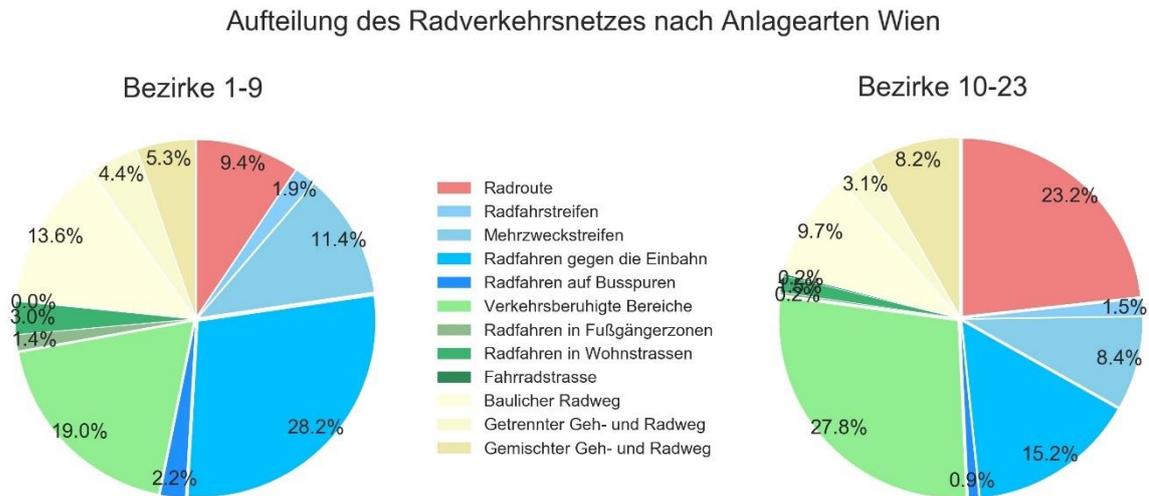
⁸¹ Vgl. Stadt Wien - MA 46, 2018a, online

⁸² Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage: Stadt Wien - MA 46, 2018b, online

⁸³ Vgl. Stadt Wien - MA 46, 2018a, online; Stadt Wien - MA 46, 2018c, online

Um eine vertiefende Analyse zu ermöglichen, wurden die Radanlagen weiters nach Bezirken aufgeteilt. Die folgende Abbildung 3 stellt daher die Aufteilung der Radfahranlagen in den Innenstadtbezirken und den Bezirken 10 bis 23 gegenüber.⁸⁴

Abbildung 3: Aufteilung des Radverkehrsnetzes nach Anlagearten Wien 2016 Bezirke 1 bis 9 und 10 bis 23⁸⁵



Radfahren gegen die Einbahn bildet dabei innerhalb des Gürtels den größten Anteil an Radfahranlagen. Verkehrsberuhigte Bereiche (Absolutes Fahrverbot für Kfz, Begegnungszonen) sind mit 19 % die zweitgrößte Fraktion. Fahrradstraßen sind hingegen, wie zu erwarten war, gar nicht zu finden. Betrachtet man die Organisationsform, so sind markierte Anlagen am prominentesten vertreten. Den größten Anteil am Radverkehrsnetz in den Außenbezirken stellen verkehrsberuhigte Bereiche dar. Ähnlich stark vertreten sind Radrouten mit rund 23 %. Es ist ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Mischverkehr (Radrouten), markierten Anlagen, baulichen Anlagen und verkehrsberuhigten Bereichen (inkl. Fußgängerzone, Wohnstraße und Fahrradstraße) festzustellen.

Das Wiener Radverkehrsnetz lässt sich generell in vier Teilnetze gliedern⁸⁶:

- Basisrouten
- Grundnetz
- Erweitertes Grundnetz
- Erschließungsnetz

Als Rückgrat des Radverkehrsnetzes stellen die 27 definierten Basisrouten eine gewisse Grundversorgung an Radinfrastruktur im gesamten Stadtgebiet sicher. Aufbauend darauf bildet das Grundnetz eine Verdichtung des Netzes, indem wichtige Direktverbindungen zwischen Bezirken bzw. Stadtteilen geschaffen werden. Das erweiterte Grundnetz

⁸⁴ Interessanterweise besteht eine leichte Abweichung zwischen den Angaben zu den Anteilen laut MA 46 und den berechneten Werten aus den OGD mithilfe von GIS. Es ist jedoch nicht klar, woher diese Unterschiede stammen.

⁸⁵ Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung, Datengrundlage: Stadt Wien – MA 46: Radfahranlagen Wien (OGD)

⁸⁶ Vgl. im Folgenden: Stadt Wien - MA 46, o.J.b, online

umfasst wichtige Verbindungen innerhalb der Bezirke, die aus der Potenzialberechnung heraus für eine Erhöhung der Netzabdeckung und einer Verknüpfung wichtiger Quell- und Zielpunkte dienen. Diese drei Netztypen bilden das Wiener Hauptradverkehrsnetz, welches über ein zentrales Radverkehrsbudget der Stadt Wien finanziert wird. Für die Umsetzung der Bauprogramme stehen hierzu jährlich ca. sechs Millionen Euro zu Verfügung. Im Rahmen des Erschließungsnetzes, als viertes Netzelement, werden flächendeckende Feinerschließungen realisiert, welche als Zubringer zum Hauptradverkehrsnetz dienen. Der Ausbau und die Erhaltung dieser Anlagen liegt jedoch im Verantwortungsbereich der Bezirke.⁸⁷

Historische Entwicklung des Radverkehrsnetzes

Der erste Radweg in Wien wurde 1956 eröffnet⁸⁸. Infolge der stadtentwicklungs- und verkehrspolitischen Entscheidungen sowie der politischen Förderung des Kraftfahrzeugs in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts und in Verbindung mit dem wirtschaftlichen Aufschwung nach dem Krieg und dem Siegeszug des Autos, kam es in den Industriestaaten zu einem enormen Anstieg des Motorisierungsgrades. Viele stadtentwicklungspolitische und verkehrspolitische Entscheidungen wurden unter der Maxime „der autogerechten Stadt“ getroffen. So wurde mit der Wiener Stadtentwicklungsenquete 1972/73 zwar immerhin der ÖV und der Fußverkehr gefördert, der Radverkehr wurde dabei aber schlichtweg ignoriert. Das Radwegnetz in Wien schrumpfte in dieser Zeit von 23 km (1970) auf ein Rekordtief von lediglich 11 km (1977). Der Gemeinderatsbeschluss im Jahr 1980 kam einer Wende in der Verkehrspolitik im Allgemeinen und der Radverkehrsplanung im Speziellen gleich, da hier ein Programm zur Förderung des Radverkehrs beschlossen wurde, mit welchem auf eine Neuaufteilung des Straßenraums bzw. eine Rückgewinnung des Straßenraums durch den Fuß- und Radverkehr abgezielt wurde. Im Zuge dessen kam es bis 1986 zu einer Erweiterung des Radverkehrsnetzes auf 186 km, wobei in einer ersten Phase vor allem Teilnetze in Erholungs- und Stadtrandbereichen sowie Abschnitte entlang der Donau und im Donaukanalbereich forciert wurden.⁸⁹ 1993 umfasste das Radverkehrsnetz bereits 503 km⁹⁰.

Mit dem Beschluss des Wiener Verkehrskonzepts 1993 setzte man sich zum Ziel, den Radverkehrsanteil bis 2010 auf sechs Prozent aller Wege zu erhöhen⁹¹. Grundvoraussetzung hierfür stellte 1994 die Erstellung eines Hauptradwegnetzes im Zuge des generellen Maßnahmenprogramms dar, welches durch Begleitmaßnahmen, wie etwa der Fortsetzung der Kampagne „Fahrradabstellanlagen im öffentlichen Raum (Wiener Bügel)“ und der Erlaubnis zur Mitnahme des Fahrrads in der U-Bahn zu bestimmten Zeiten, unterstützt wurde. Im Zuge eines Dezentralisierungsschritts im Jahr 1997 wurde die Planung und Realisierung aller Radverkehrsanlagen im Hauptstraßennetz auf die Bezirke übertragen. 2000 erfolgte die Überarbeitung des Hauptradverkehrsnetzes mit den Schwerpunkten Lückenschlussprogramm, Organisation

⁸⁷ Vgl. ebd. online

⁸⁸ Vgl. Stadt Wien - MA 46, o.J.a, online

⁸⁹ Vgl. Stadt Wien - MA 46, o.J.c, online

⁹⁰ Vgl. Magistrat der Stadt Wien - Stadtplanung (Hrsg.), 1994, S. 25

⁹¹ Vgl. Magistrat der Stadt Wien, MA 18 (Hrsg.), 1994, S. 12

und Marketingmaßnahmen. Dieses Konzept bildete damit die Grundlage für die Planung der nächsten Jahre und war auch Auslöser für die „Rückzentralisierung“ des Radwegenetzes im Jahr 2003. Alle Streckenabschnitte sollten somit künftig über ein zentrales Radwegebudget geplant und umgesetzt werden (s.o.). 2008 erfolgt die Überarbeitung des Hauptradverkehrsnetzes, was unter anderem die Unterteilung in die vier Teilnetze mit sich brachte. Das Hauptradverkehrsnetz wird laufend aktualisiert bzw. angepasst.⁹² Dazu werden mithilfe von Strukturdaten des Quellverkehrs, der räumlichen Situation und wichtiger Zielpunkte, die Potenziale einzelner Streckenabschnitte berechnet⁹³.

⁹² Vgl. Stadt Wien - MA 46, o.J.c, online

⁹³ Vgl. Stadt Wien - MA 46, o.J.d, online

3 Grundlagen Verkehrsdaten

Wie in der Einleitung bereits festgestellt wurde, muss das Angebot, und besonders die Radinfrastruktur, den Ansprüchen der RadfahrerInnen gerecht werden, wenn der Radverkehr gefördert werden soll. Verkehrspolitische Aktionen, wie allgemeine Strategien, konkrete Konzepte, aber vor allem detaillierte Bauprogramme, wie neue Radverkehrsverbindungen, erfordern als konkrete Entscheidungsgrundlage Informationen über das Verhalten der RadfahrerInnen als auch die Beziehung zwischen RadfahrerInnen und anderen VerkehrsteilnehmerInnen sowie der baulichen Umgebung⁹⁴. Die Beschaffung dieser Daten ist daher ein zentrales Thema. Das PBIC (Pedestrian and Bicycle Information Center) hat vier Kategorien definiert, mit welchen die verschiedenen Methoden und Ansätze zur Sammlung von Radfahrdaten zusammengefasst werden können⁹⁵:

1. Methoden, welche die Nutzung quantifizieren, wie z.B. manuelle und automatische Zählungen (Dauerzählstellen und händische Zählungen)
2. Methoden, welche die Präferenzen und Einstellungen von RadfahrerInnen erheben (z.B. Fahrradreport Wien)
3. Methoden, die den Umfang von Radeinrichtungen dokumentieren, was auch die Erfassung des Zustands und die räumliche Analyse mit GIS umfasst
4. Nationale oder regionale Haushaltsbefragungen bzw. Mobilitätserhebungen (z.B. Österreich unterwegs 2013/2014)

Mit der zivilen Freigabe von GPS bzw. dem Einsatz anderer Technologien für die Erfassung von Standortdaten, wie z.B. Bluetooth, WiFi oder das Mobilfunknetz, ergeben sich neue Möglichkeiten, das Verkehrsverhalten entsprechend abzubilden. Diese können somit als fünfte Kategorie in der obigen Auflistung betrachtet werden.⁹⁶

3.1 Zählungen

Zählungen stellen eine eher einfache Methode der Verkehrserhebung dar, bei der alle Fahrzeuge und/oder FußgängerInnen erhoben werden, die einen definierten Querschnitt, einen Knoten oder ein Gebiet in einem bestimmten Zeitraum durchqueren⁹⁷. Je nach konkretem Aufbau der Erhebung lassen sich Zählungen, wie folgt, unterscheiden⁹⁸:

- Querschnittszählung
- Knotenstromzählung
- Stromerhebung

⁹⁴ Vgl. Dill & Gliebe, 2008, S. 55; Schlossberg & Brehm, 2009, zitiert nach: Smith & Fehr & Peers, 2015, S. 3

⁹⁵ Vgl. im Folgenden Schneider et. al 2005, zitiert nach: Meyer, 2013, S. 5

⁹⁶ Vgl. Meyer, 2013, S. 5

⁹⁷ Vgl. RVS 02.01.12, S. 15-18

⁹⁸ Vgl. im Folgenden: RVS 02.01.12, S. 15; Schnabel & Lohse, 1997, S. 111

Für die Erfassung des Radverkehrs kommt hauptsächlich die Querschnittszählung zur Anwendung, weshalb diese im Folgenden detaillierter beschrieben wird.

Querschnittszählung

Erfassung aller Fahrzeuge und/oder FußgängerInnen, die während eines definierten Zeitraums einen bestimmten Punkt oder Querschnitt passieren, wobei nach Fahrzeugart und Fahrtrichtung unterschieden werden kann⁹⁹. Die Zählungen können entweder manuell oder automatisch erfolgen:

- Manuelle Zählung

Simple Form der Querschnittszählung, bei der die passierenden Fahrzeuge bzw. FußgängerInnen von Personen mithilfe von Zähluhren, Stift und Papier (oder auch elektronischen Geräten wie Tablets oder Smartphones und entsprechender Software) gezählt werden. Dadurch lassen sich im Radverkehr auch weitere Merkmale, wie Geschlecht, Altersgruppe, Helmnutzung oder Fahrverhalten usw. erfassen, was mit automatischen Zählungen nicht (so einfach) möglich wäre.¹⁰⁰ Diese Form der Querschnittszählung kommt vor allem kurzzeitig und projektabhängig zur Anwendung, wenn beispielsweise die Verkehrsstärken auf bestimmten Straßenabschnitten benötigt werden¹⁰¹. Manuelle Zählungen werden aber auch verwendet, um passende Standorte für neue automatische Zählstellen zu finden und um die Ergebnisse von automatischen Zählstellen zu validieren¹⁰².

- Automatische Zählung

Durch die Anwendung physikalischer Prinzipien und den Einsatz entsprechender technischer Geräte, wie z.B. Radar, Infrarot, Induktionsschleifen oder Pneumatik, kann die Querschnittszählung automatisiert werden¹⁰³. Diese Art der Zählung wird vor allem bei Dauerzählstellen verwendet, obwohl diese zunehmend auch bei kurzzeitigen bzw. anlassbezogenen Zählungen zur Anwendung kommt (z.B. aufklebbare Induktionsschleifen)¹⁰⁴. Dauerzählungen beschreiben Zählungen durch fix installierte Anlagen an bestimmten Punkten im Netz, die es ermöglichen, den Verkehr einer Stadt zu quantifizieren und Entwicklungen auf stündlicher/täglicher/saisonaler Basis zu beobachten¹⁰⁵. Bei der automatisierten Zählung des Radverkehrs haben sich vor allem zwei Methoden durchgesetzt: Als ältere Methode gilt die Radartechnologie, wo mithilfe von Überkopfanlagen in ca. 3 m Höhe eine Anlagenbreite von bis zu 2,5 m erfasst wird. Unterschieden wird dabei nach Richtung, Datum und Uhrzeit. Es werden alle beweglichen Objekte erfasst, wobei eine bestimmte Mindestgröße und Mindestgeschwindigkeit festgelegt wird, um andere Arten der Fortbewegung (FußgängerInnen,

⁹⁹ Vgl. RVS 02.01.12, S. 15

¹⁰⁰ Vgl. Ryus, et al., 2014, S. 76

¹⁰¹ Vgl. Meyer, 2013, S. 6

¹⁰² Vgl. Ryus, et al., 2014, S. 76

¹⁰³ Vgl. komobile Verkehrsplanung Gmunden, 2009, S. 24ff; Ryus, et al., 2014, S. 75

¹⁰⁴ Vgl. komobile Verkehrsplanung Gmunden, 2009, S. 22;25

¹⁰⁵ Vgl. Stadt Wien - MA 46, o.J.f, online

SkaterInnen usw.) ausschließen zu können.¹⁰⁶ Induktionsschleifen stellen eine neuere Methode zur Erfassung der Radverkehrsstärken dar, welche ohne sichtbare bauliche Anlageteile auskommt. Stattdessen werden Kabelschleifen ca. 2 bis 5 cm tief in die Fahrbahndecke eingelassen¹⁰⁷, welche über die elektromagnetische Induktion metallische Gegenstände erfassen¹⁰⁸. Mithilfe dieser Technik können somit direkt andere Fortbewegungsarten, wie zu Fuß gehen, ausgeschlossen werden¹⁰⁹.

Knotenpunkterhebung

Die Knotenpunkterhebung basiert auf der Querschnittszählung. Neben der Anzahl der verschiedenen Fahrzeugarten wird hier jedoch auch noch die Fahrtrichtung mitberücksichtigt. Damit ist es möglich, die Verkehrsströme in den einzelnen Relationen abzubilden. Aufgrund der Komplexität dieser Zählweise, erfolgt die Erfassung der Verkehrsströme vorrangig manuell.¹¹⁰

Stromerhebung

Bei dieser Art der Verkehrszählung werden Verkehrsströme in einem definierten Beobachtungsraum (Kordon) erhoben. Zur Durchführung der Zählung werden die Fahrzeuge an bestimmten Stellen erfasst und durch die Verfolgung der Fahrzeuge (Nachfahrmethode), die Ermittlung der Kennzeichen oder das Austeilen verschiedenfarbiger Zettel (je nach Einfahrtskorridor), können Quell-, Ziel- und Transitverkehr im Kordon bestimmt werden.¹¹¹

3.2 Befragungen

Eine der klassischen Methoden der Verkehrserhebung stellt die Befragung dar. Diese dient vor allem dazu, mithilfe von Fragebögen Merkmale und Gegebenheiten zu erfassen, die durch Zählungen nicht ermittelt werden können. Es gibt verschiedene Arten von Befragungen, die üblicherweise wie folgt kategorisiert werden:

Befragungen im Verkehrsraum

Zu unterscheiden sind hier einerseits die schriftliche Befragung und andererseits die mündliche Befragung. Bei der schriftlichen Befragung im Verkehrsraum werden den VerkehrsteilnehmerInnen Fragebögen ausgeteilt, welche sie später ausgefüllt mit der Post zurückschicken. Die Beeinträchtigung des Verkehrsablaufs hält sich daher in Grenzen. Befragt man die VerkehrsteilnehmerInnen direkt im Verkehrsnetz nach bestimmten Merkmalen, wie Quell- und Zielort, Wegezweck oder Verkehrsmittel, erhält

¹⁰⁶ Vgl. Stadt Wien - MA 46, o.J.e, online

¹⁰⁷ Vgl. nast consulting ZT GmbH, o.J., online

¹⁰⁸ Vgl. Ryus, et al., 2014, S. 84

¹⁰⁹ Vgl. komobile Verkehrsplanung Gmunden, 2009, S. 25

¹¹⁰ Vgl. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 1991, zitiert nach: Cerwenka, Hauger, Hörl, & Klamer, 2004, S. 32

¹¹¹ Vgl. RVS 02.01.12, S. 17f; Schnabel & Lohse, 1997, S. 111f

man zwar unmittelbar die Daten, es kann aber zu starken Beeinträchtigungen des Verkehrsablaufs kommen.¹¹² Es gibt aber auch Befragungen, wo es eher darum geht, ein Bild zur Stimmung der Bevölkerung zu gewinnen, indem den Personen Fragen zur Verkehrspolitik, der Verkehrsinfrastruktur an sich oder dem eigenen Verkehrsverhalten gestellt werden (z.B. Fahrrad Report der Stadt Wien¹¹³).

Befragungen außerhalb des Verkehrsraumes

Diese Form der Befragung findet vorrangig in Haushalten statt und kann mündlich (persönlich vor Ort), schriftlich (postalisch oder web-gestützt) oder telefonisch erfolgen und dient vor allem der Erfassung des wirklichen Verkehrsverhaltens der BewohnerInnen eines Untersuchungsgebiets. Von allen Mitgliedern eines (ausgewählten) Haushalts werden dabei Mobilitätstagebücher geführt, in welchen alle Aktivitäten an definierten Stichtagen im Detail beschrieben werden (Start-/Zielort/-zeit, Verkehrsmittel, Wegezweck usw.). Zu berücksichtigen ist hier die entsprechende Anpassung der Form des beiliegenden Fragebogens an die jeweilige vorab definierte Fragestellung und Zielsetzung, da sich Fehler im Fragebogen schwerwiegend auf die Ergebnisse und die Verwertbarkeit dieser auswirken kann. Zu bedenken ist auch, dass sich mit dem zunehmenden Umfang eines Fragebogens auch die Bereitschaft zu Teilnahme reduziert und damit die Rücklaufquote sinkt, welche als wichtiger Indikator zu Beurteilung der Repräsentativität einer Befragung gilt.¹¹⁴

Haushaltsbefragungen können auf verschiedenen räumlichen Ebenen erfolgen. So wurde 2013/2014 die erste österreichweite Mobilitätserhebung seit 1995 durchgeführt (Österreich unterwegs 2013/2014)¹¹⁵. Daneben gibt es aber auch zahlreiche kleinräumige Erhebungen auf Bundesland- (z.B. Mobilitätserhebung Salzburg 2012¹¹⁶) oder Gemeindeebene (z.B. Mobilitätsverhalten der Grazer Wohnbevölkerung 2013¹¹⁷). Auf Basis der Haushaltsbefragung 2009 in Wien wurde auch eine spezifische Auswertung des Radverkehrs durchgeführt (siehe Erhebung Radverkehr 2010¹¹⁸).

3.3 Standortdaten

Als bekannteste System zur Erfassung von Standortinformationen gilt GPS. GPS-fähige Geräte übermitteln in regelmäßigen Abständen die Position und die genaue Zeit (kontinuierliche Erfassung), wodurch Geschwindigkeiten und Fahrtrichtungen abgeleitet und Wegerouten bestimmt werden können¹¹⁹. Die Qualität dieser Dienste ist jedoch stark vom Standort des Nutzers/der Nutzerin abhängig (s. Kapitel 3.3.1.2)¹²⁰. Daneben gibt es

¹¹² Vgl. Schnabel & Lohse, 1997, S. 112f

¹¹³ Vgl. Mobilitätsagentur Wien GmbH, 2016

¹¹⁴ Vgl. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 1991, zitiert nach: Cerwenka, Hauger, Hörl, & Klamer, 2004, S. 33

¹¹⁵ Vgl. Tomschy, et al., 2016

¹¹⁶ Vgl. Herry Consult GmbH, 2014

¹¹⁷ Vgl. Stadt Graz, o.J., online

¹¹⁸ Vgl. Snizek + Partner Verkehrsplanung, 2011, S. 7

¹¹⁹ Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 16

¹²⁰ Vgl. Modsching, Kramer, & ten Hagen, 2006, S. 209

auch noch landbasierte Systeme, wie z.B. Mobilfunk, WLAN, RFID, Bluetooth und andere Sensoren¹²¹. Diese Systeme haben den Vorteil, unabhängig vom Wetter zu sein und auch gut in urbanen Gebieten und geschlossenen Räumen zu funktionieren¹²². Da diese Systeme auf festinstallierten Anlagen basieren, kann der Standort jedoch nur erfasst werden, wenn eine Interaktion zwischen Sender und Empfänger stattfindet (Punkt-basierte Erfassung)¹²³.

Standortdaten, die mithilfe dieser Methoden generiert werden, können nun analysiert werden, um zu bewerten, wie die Infrastruktur oder andere Faktoren das Verhalten von RadfahrerInnen beeinflussen. Kenntnisse über die individuelle Mobilitätsnachfrage und Nutzungscharakteristiken sollen daher die gezielte Umsetzung verkehrspolitischer Maßnahmen erleichtern.¹²⁴

3.3.1 GPS

Das Global Positioning System (kurz GPS), oder auch Globales Positionsbestimmungssystem, ist ein globales Navigationssystem auf Basis von Satelliten, welches eine 3-dimensionale Positionsbestimmung mit einer Genauigkeit von bis zu einem Meter und einer Präzision von Nanosekunden überall auf der Welt ermöglicht¹²⁵. Die Wurzeln von GPS liegen in der Sputnik-Ära, als Wissenschaftler erstmals Satelliten mithilfe des Doppler-Effekts verfolgen konnten. Mitte der 1960er-Jahre des letzten Jahrhunderts führte die US Navy Experimente mit Satellitennavigation durch, um eigene, mit Nuklearwaffen bestückte, U-Boote zu verfolgen. Dieses Navy Navigation Satellite System (NNSS) galt als erstes Satellitennavigationssystem der Welt und umfasste sechs Satelliten, die die Pole umkreisten. Durch die Änderung der Position der Satelliten und mithilfe des Doppler-Effekts konnten die U-Boote ihren eigenen Standort bestimmen. In den 1970ern begann das Department of Defense (DoD) mit der Planung und Entwicklung eines neuen Satellitennavigationssystems. Der erste Satellit des neuen GPS-Navigationssystems, auch NAVSTAR (Navigation System with Timing and Ranging) genannt, wurde 1978 in die Umlaufbahn geschossen. 1993 war das 24 Satelliten umfassende System schließlich völlig einsatzfähig.¹²⁶

GPS ist ein vielseitig nutzbares, weltraumbasiertes Funknavigationssystem, das im Besitz der U.S. Regierung steht und von der US-Air Force betrieben wird, um die nationale Verteidigung und Sicherheit des Landes zu gewährleisten, aber auch um zivile, kommerzielle und wissenschaftliche Anforderungen zu erfüllen. Verfügbar sind zwei Service-Levels, wobei das Standard Positioning System (SPS) allen NutzerInnen weltweit frei zur Verfügung steht. Das PPS (Precise Positioning System), welches eine noch genauere Ortung zulässt, kann nur durch die Streitkräfte und Behörden der USA und ausgewählte andere Einrichtungen genutzt werden.¹²⁷ Die anfängliche bewusste

¹²¹ Vgl. Wolf, et al., 2014, S. 1f

¹²² Vgl. Shoval & Isaacson, 2005, zitiert nach: Modsching, Kramer, & ten Hagen, 2006, S. 210

¹²³ Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 48

¹²⁴ Vgl. Segadilha & da Penha Sanches, 2014, S. 199

¹²⁵ Vgl. NASA, 2017a, online

¹²⁶ Vgl. NASA, 2017b, online

¹²⁷ Vgl. ebd.

Verschlechterung von zivilen GPS-Signalen, auch Selective Availability (SA) genannt, die vor allem dem Schutz von militärischen Operationen dienen sollte, wurde 2000 abgeschaltet, um den Zugang für zivile und kommerzielle NutzerInnen weltweit zu verbessern. 2007 beschloss die US-Regierung bei der Nachfolgegeneration (GPS III) von Haus aus auf SA zu verzichten.¹²⁸

Um eine gewisse Unabhängigkeit vom amerikanischen System (GPS) bzw. vom russischen System (GLONASS) zu erlangen, hat die EU beschlossen, ein eigenes Satellitennavigationssystem, namens Galileo, zu entwickeln¹²⁹. Galileo wurde 1999 das erste Mal von der Europäischen Kommission erwähnt und in den frühen 2000er Jahren einigte man sich schließlich auf die Finanzierung des Projekts¹³⁰.

Mit der Entwicklung von Galileo wollte man generell folgende Ziele verfolgen¹³¹:

- Technologische Unabhängigkeit unter Berücksichtigung der bestehenden bzw. geplanten Systeme
- Mobilisierung der ökonomischen und strategischen Vorteile durch die Kontrolle eines ständig verfügbaren Satellitennavigations-Dienstes
- Begünstigende Rahmenbedingungen für die Entwicklung von neuen Produkten und Diensten, die auf Satellitensignalen basieren
- Vorteile für Forschung, Entwicklung und Innovation

Durch Galileo sollte eben auch die Wettbewerbsfähigkeit der EU-Industrie gefördert werden. Unabhängige Untersuchungen gehen davon aus, dass Galileo der EU-Wirtschaft in den ersten 20 Jahren des Betriebs rund 90 Milliarden Euro bringen wird. Davon profitiert einerseits die Raumfahrtindustrie inkl. Zulieferer, andererseits aber auch die Gesellschaft, durch z.B. effektive Transportsysteme. Die Abhängigkeit der EU-Wirtschaft von Satellitennavigation wird auf rund 7 % geschätzt, allen voran Branchen wie Transport, Logistik Telekommunikation und Energie. Der Markt für Satellitennavigations-Dienste ist stetig gestiegen und soll im Jahr 2022 bei 220 Milliarden Euro pro Jahr liegen.¹³²

Galileo steht, im Gegensatz zu den anderen Systemen in USA, Russland und China, nicht unter militärischer, sondern unter ziviler Kontrolle und bietet daher eine höhere Zuverlässigkeit im Betrieb. Das europäische System konkurriert jedoch nicht mit den anderen beiden Systemen, sondern soll diese bestmöglich ergänzen. Es basiert auf der gleichen Grundtechnologie wie GPS und ist daher direkt kompatibel. Zusammen mit GPS soll daher eine deutlich höhere Genauigkeit erreicht und die Ausfallsicherheit reduziert werden. Galileo soll eine Echtzeitortung mit einer Genauigkeit im Meterbereich zulassen, was bisher noch kein öffentlich zugängliches System ermöglicht hat.¹³³

¹²⁸ Vgl. National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, 2016, online

¹²⁹ Vgl. ESA, o.J.a., online

¹³⁰ Vgl. Europäische Kommission, o.J.a, online

¹³¹ Vgl. im Folgenden: Europäische Kommission, o.J.b, online

¹³² Vgl. Europäische Kommission, o.J.b, online

¹³³ Vgl. ESA, o.J.a., online

2011 wurden die ersten beiden Satelliten in den Orbit geschossen, welche in den ersten Jahren lediglich dazu dienten, Tests durchzuführen und technische Lösungen zu validieren¹³⁴. In regelmäßigen Abständen wurden weitere Satelliten ins All geschickt. Der bisher letzte Start erfolgte im Juli 2018, mit den Satelliten 23 bis 26.¹³⁵ Seit 2016 ist das System für die Allgemeinheit zugänglich, wobei in dieser Phase nur ein eingeschränkter Betrieb möglich ist. Zwar sind die Signale sehr genau, aber noch nicht rund um die Uhr verfügbar. Galileo muss daher in dieser Phase in Kombination mit anderen Systemen (z.B. GPS) betrieben werden. Zu Beginn können die folgenden drei Services angeboten werden¹³⁶:

- Open Services
- Public Regulated Service
- Search and Rescue Service

Mit der Vollfunktionsfähigkeit, die 2020 mit 30 Satelliten erreicht werden soll¹³⁷, sollen dann auch der kommerzielle Dienst (Commercial Services) und der sicherheitskritische Dienst (Safety of Life Services) zur Verfügung stehen¹³⁸.

3.3.1.1 GPS im (Rad-)Verkehr

Obwohl ursprünglich für die maritime Navigation entwickelt, liegt das Hauptaugenmerk für die Verwendung von GPS seit den 190ern auf dem Landtransport¹³⁹. Abseits vom Einsatz in der Navigation sind seit der Inbetriebnahme von GPS aber auch VerkehrsplanerInnen von dessen Potenzial für die eigene Arbeit fasziniert, denn mit der zunehmenden Komplexität in der Planung, durch z.B. Verkehrsmodelle, werden qualitativ hochwertige Daten benötigt, um das Verkehrsverhalten sowie Eigenheiten des Verkehrssystems besser abzubilden.¹⁴⁰

Bis vor kurzem basierte das Verständnis über die Entscheidungen von RadfahrerInnen bzgl. ihrer Routenwahl, in Abhängigkeit von Länge, Steigung, Verkehrsstärke oder Geschwindigkeit, vor allem auf stated preference Befragungen, da es noch nicht möglich war, die zurückgelegten Routen zu verfolgen. Mit der Entwicklung und Verbreitung von GPS sollte sich diese Situation deutlich ändern.¹⁴¹ Anfangs wurde GPS lediglich verwendet, um die Antworten der Befragten bei Haushaltsbefragungen mit detaillierten Wegeinformationen zu ergänzen¹⁴². GPS bietet mittlerweile aber eine Genauigkeit und Detailliertheit hinsichtlich zeitlicher und örtlicher Informationen, welche von den Befragten im Rahmen der klassischen Erhebungsmethoden nie so genau beschrieben

¹³⁴ Vgl. Europäische Kommission, o.J.c, online

¹³⁵ Vgl. ESA, 2018, online

¹³⁶ Vgl. hier und im Folgenden: Europäische Kommission, o.J.b, online

¹³⁷ Vgl. ebd. online

¹³⁸ Vgl. ESA, o.J.b, online

¹³⁹ Vgl. Romanillos, Austwick, Ettema, & de Kruijff, 2015, S. 3

¹⁴⁰ Vgl. Wolf, et al., 2014, S. 9

¹⁴¹ Vgl. Menghini, Carrasco, Schüssler, & Axhausen, 2009, S. 3

¹⁴² Vgl. Wolf, et al., 2014, S. 3

werden könnten.¹⁴³ Der Einsatz von GPS in Erhebungen hat daher das Potenzial, den Bias, der durch self-reported-data entstanden ist, zu eliminieren¹⁴⁴.

Perdok et al. (1998) schlugen beispielsweise bereits 1998 eine Strategie vor, bei der die Personen einen sehr klobigen GPS-Empfänger bei sich tragen, mit welchem die Position und Zeit erfasst werden. Verkehrsmittel und Wegezweck mussten dabei nachträglich ergänzt werden.¹⁴⁵

Komplett GPS-basierte Erhebung würden die Belastung für die Befragten auf ein Minimum reduzieren und gleichzeitig die Qualität und Quantität der erfassten Informationen verbessern - vor allem für die automatisierte Sammlung von zurückgelegten Wegen und deren Attribute, inklusive Beginn- und Endzeit, Standorte der Aktivität und Dauer sowie Routenwahl.¹⁴⁶ Andere Attribute, wie z.B. die Verkehrsmittelwahl, können derzeit jedoch noch nicht ganz richtig mit GPS bestimmt werden und müssen somit noch manuell nachgetragen werden¹⁴⁷. Es gibt jedoch zahlreiche Studien und Forschungsprojekte, die sich dieser Aufgabe widmen (siehe Kapitel 3.3.1.3). ForscherInnen haben weiters erkannt, dass die detaillierten Daten der GPS-Bewegungen, in Kombinationen mit anderen Details zu den Wegen und geographischen Informationen, das Potenzial haben, um das Verkehrsverhalten ohne die aktive Teilnahme des Befragten zu bestimmen. Zum Beispiel kann das Ende eines Weges, welches über passiv-gesammelte GPS-Daten abgeleitet wird, mit geographisch referenzierten Landnutzungsdaten kombiniert werden, um den Wegezweck zu bestimmen. Diese Datenvereinigungs-Prozesse sind besonders für VerkehrsverhaltensforscherInnen attraktiv, da die Entwicklung von selbst angegebenen Daten (Befragungen) hin zu gemessenen Daten die Zuverlässigkeit der Daten erhöht.¹⁴⁸

GPS wird daneben aber auch noch für weitere Fragestellungen eingesetzt¹⁴⁹:

- Generieren von Korrekturfaktoren für Wegeraten
- Identifikation von Aktivitäts-Zeitplänen
- Erforschung der Aktivitätsinteraktionen innerhalb von Haushalten und sozialen Netzwerken
- Identifikation von Aktivitätsstandorten
- Identifikation von Präferenzen zur Routenwahl und Verkehrsmittelwahl
- Bestimmung von Veränderungen und Muster im Mobilitätsverhalten
- Identifikation des Grund-Verkehrsnetzes und dessen Kondition
- Evaluierung des Verkehrsverhaltens

¹⁴³ Vgl. Lawson, Chen, & Gong, 2010, S. 1-1

¹⁴⁴ Vgl. Segadilha & da Penha Sanches, 2014, S. 200

¹⁴⁵ Vgl. Perdok, Draijer, & Kalfs, 1998, zitiert nach: Lawson, Chen, & Gong, 2010, S. 1-2

¹⁴⁶ Vgl. Wolf, 2000; Murakami, Morris, & Arce, 2003, zitiert nach: Wolf, et al., 2014, S. 4

¹⁴⁷ Vgl. Lawson, Chen, & Gong, 2010, S. 1-1

¹⁴⁸ Vgl. Wolf, et al., 2014, S. 17

¹⁴⁹ Vgl. im Folgenden: Wolf, et al., 2014, S. 9

- Validierung von Nachfragemodellen
- Identifikation von Wegezweck und Aktivitätstyp

Weiters können GPS-Daten genutzt werden, um Standorte für neue Dauerzählstellen zu bestimmen. Die Dauerzählstellen könnten in jenen Bereichen errichtet werden, die auf Basis der Gesamt-Radaktivität in der Gemeinde höchstrepräsentativ für den Radverkehr sind.¹⁵⁰

Die benötigten räumlichen Daten sind jedoch oft limitiert, schwierig zu finden oder in einem ungeeigneten Format¹⁵¹. Mit der Zunahme konsumentenbasierter GPS-Produkte, wie alleinstehende Empfänger, mobile Navigationssysteme oder GPS-fähige Smartphones, ist jedoch auch die Menge der produzierten Daten gestiegen, die herangezogen werden können, um das Mobilitätsverhalten abzubilden und zu verstehen¹⁵². Vor allem die zunehmende Nachfrage nach Apps zur Standortbestimmung und Crowdsourcing bzw. der Prozess zur Gewinnung von Informationen und Wissen aus benutzergenerierten Daten, die über das Internet oder Apps bereitgestellt werden, können dabei helfen mögliche Datenlücken zu schließen¹⁵³.

Viele Unternehmen nutzen die Möglichkeiten und erfassen mithilfe von Apps oder Software die Bewegungen der NutzerInnen. Aufgrund des wachsenden Interesses an diesen GPS-Daten, haben manche dieser Unternehmen auch schließlich begonnen, diese Daten, unter Berücksichtigung des Datenschutzes, zu verkaufen.¹⁵⁴ Als Beispiel gilt das Unternehmen Strava aus San Francisco, welches eine App entwickelte, die es den NutzerInnen ermöglicht, die eigenen Radwege über GPS zu erfassen. Neben der mobilen App für Smartphones bietet Strava auch ein Datenprodukt für den Verkauf an. Strava Metro, wie es sich nennt, umfasst Shapefiles und dbfs mit aggregierten Nutzerdaten, die in GIS-Programmen betrachtet und analysiert werden können. Des Weiteren sind Visualisierungen gesammelter Datensätze auf der „Strava labs“-Webseite öffentlich zugänglich.¹⁵⁵

Durch die Zusammenarbeit von kommerziell betriebenen Unternehmen und öffentlichen Behörden könnten die derzeitigen Methoden der Verkehrserfassung ergänzt und die Verkehrsplanung verbessert werden. Die räumlichen und zeitlichen Informationen böten den Gemeinden jedenfalls die Möglichkeit, Entscheidung für neue Bauprogramme oder Strategien, die dazu beitragen sollen, den Radverkehr sicherer und komfortabler zu machen, auf Basis von besseren Grundlagen zu treffen. Die Zeit und die Erfahrung für die Nachbearbeitung und Analyse von GPS-Daten ist jedoch nicht zu unterschätzen und könnte ein Problem für jene Planungsbehörden darstellen, die über keine ausreichenden Ressourcen verfügen. Für die Verwendung der Daten in großen Maßstäben müssten die Daten in jenen Programmen bearbeitet und analysiert werden, die den PlanerInnen bereits bekannt sind. ForscherInnen und EntwicklerInnen sollten daher Wege finden, um

¹⁵⁰ Vgl. Meyer, 2013, S. 63

¹⁵¹ Vgl. Smith & Fehr & Peers, 2015, S. 5

¹⁵² Vgl. Wolf, et al., 2014, S. 1

¹⁵³ Vgl. Smith & Fehr & Peers, 2015, S. 1

¹⁵⁴ Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 34

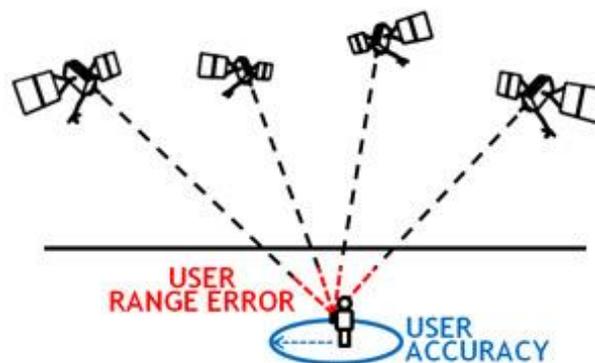
¹⁵⁵ Vgl. Smith & Fehr & Peers, 2015, S. 10

automatische Map-Matching-Algorithmen und andere Open-Source-Datenaufbereitungs-Tools zu entwickeln, welche den PlanerInnen die Arbeit mit den Daten erleichtert.¹⁵⁶

3.3.1.2 GPS-Genauigkeit

Die amerikanische Regierung gibt an, dass das GPS-Signal im Weltraum mit einem durchschnittlichen Ortungsfehler (URE, user range error) von $\leq 0,715$ m (95 % Wahrscheinlichkeit) übermittelt wird¹⁵⁷.

Abbildung 4: Schematische Darstellung GPS-Genauigkeit¹⁵⁸



Dieser URE ist aber nicht als Nutzer-Genauigkeit (user accuracy), also der Genauigkeit der GPS-Punkte, zu verstehen, da diese von vielen Faktoren beeinflusst werden kann. Dazu zählen vor allem¹⁵⁹:

- Die Satellitenanordnung
- Atmosphärische Konditionen
- Die Empfängerqualität
- Die Anwendung im Innen- oder Außenbereich bzw. die genaue Lage des Empfängers
- Die Blockierung von Signalen durch Gebäude, Brücken oder Bäume
- Die Reflexion von Signalen an Gebäuden oder Wänden (multipath)

Einfluss auf die Genauigkeit können weiters Interferenzen, Sonneneruptionen, die Wartung von Satelliten, die eine temporäre Abdeckungslücke mit sich bringt, oder auch ungeeignete Empfänger, die nicht den GPS-Spezifikationen entsprechen, haben. Neben den externen Faktoren und Problemen mit der Hardware, können auch seitens der Mapping-Software (GIS) Probleme entstehen, die sich auf die Genauigkeit auswirken, wie

¹⁵⁶ Vgl. Meyer, 2013, S. 63f

¹⁵⁷ Vgl. National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, 2017, online

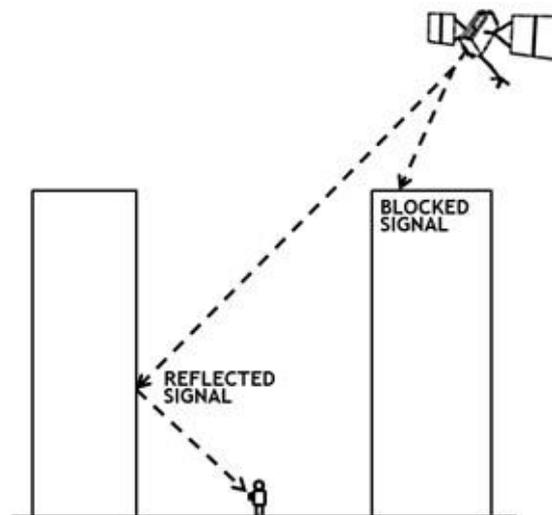
¹⁵⁸ Quelle: National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, 2017, online

¹⁵⁹ Vgl. hier und im Folgenden: National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, 2017, online

z.B. fehlerhafte Karten, falsch gelabelte POIs, fehlende Straßen, Gebäude oder Gemeinden.¹⁶⁰

Die größte Genauigkeit wird generell in offenen Landschaften erreicht. In Gebieten mit hohen Gebäuden entlang der Straße werden hingegen die schlechtesten Ergebnisse erzielt. Durch diese städtischen Schluchten ergeben sich oft erhöhte Lageungenauigkeiten, die auch multipath-Fehler genannt werden.¹⁶¹ Da dieses Phänomen vor allem in dichtbebauten, innerstädtischen Gebieten vorkommt, wird es auch als „urban canyon“ bezeichnet¹⁶². Diese Fehler sind das Ergebnis der Reflektion der Satellitensignale an Hausfassaden, welche bewirkt, dass die Zeit bis das Signal ankommt, zunimmt. Da die Zeit aber herangezogen wird, um den Standort zu bestimmen und der Empfänger nichts von der Bebauung weiß, wird die Position abseits des tatsächlichen Standorts gesetzt. Durch die laufende Änderung der Satellitenkonstellation kann sich jedoch auch der Fehler in der Standortbestimmung für die gleiche Position über die Zeit verändern.¹⁶³

Abbildung 5: Schematische Darstellung „urban-canyon“¹⁶⁴



Mit der Entfernung der bereits erwähnten Selective Availability im Jahre 2000, stieg die generelle Genauigkeit im zivilen GPS von 100 m (95 %) auf 22m (95 %)¹⁶⁵. Eine Untersuchung von GPS-Geräten ergab, dass der Fehler kommerzieller GPS-Empfänger bei weniger als 15m (95 %) lag¹⁶⁶. Beschrieben wird auch, dass in städtischen Gebieten (outdoor) im schlechtesten Fall mindestens 90 % der vom Smartphone erzeugten GPS Punkte eine Fehler-Distanz von weniger als 60 Meter bzw. 100 % weniger als 100 Meter aufweisen¹⁶⁷.

Die Ungenauigkeiten von GPS-Signalen können entweder bereits während der Erfassung oder in einem nachgelagerten Schritt (post-processing) reduziert werden¹⁶⁸. Zusätzliche

¹⁶⁰ Vgl. ebd

¹⁶¹ Vgl. ebd.

¹⁶² Vgl. Czerniak, et al., 2002, S. 40; Schüssler & Axhausen, 2008, S. 6

¹⁶³ Vgl. Modsching, Kramer, & ten Hagen, 2006, S. 215

¹⁶⁴ Quelle: National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, 2017, online

¹⁶⁵ Vgl. Zhao, Ochieng, Quddus, & Noland, 2003, S. 2

¹⁶⁶ Vgl. Ehsani et al., 2009, zitiert nach: Bierlaire, Chen, & Newman, 2012, S. 95

¹⁶⁷ Vgl. Blunck et al., 2011, zitiert nach: Bierlaire, Chen, & Newman, 2012, S. 96

¹⁶⁸ Vgl. Czerniak, et al., 2002, S. 16

Systeme, wie Beschleunigungssensor, Gyroskop oder Magnetometer, können dabei helfen, den aktuellen Standort auf Basis des letzt-verfügbaren GPS-Signals und der Berechnung von Fahrtrichtung und Geschwindigkeit zu bestimmen¹⁶⁹. Durch die Verwendung dieser Systeme, auch Dead Reckoning (DR) genannt, kann somit bereits bei der Erfassung des Standorts die Genauigkeit erhöht werden, wodurch die notwendige Navigationsleistung (RNP) selbst in Gebieten mit schwachem oder keinem GPS-Signal (z.B. dichte Bebauung, hohe Baumdichte, Tunnel) gewährleistet wird¹⁷⁰. Mit post-process Schritten, wie der Filterung und Glättung von GPS-Rohdaten, werden die systematischen und zufälligen Fehler, die bei der Erfassung entstanden sind, nachträglich behandelt¹⁷¹. Die Ansätze zur Bereinigung von Rohdaten werden in Kapitel 5 näher beschrieben.

Eines der größten Probleme bei der Analyse von Trajektorien ist jedoch die räumliche und geometrische Ungenauigkeit bzw. die Abweichung von der tatsächlich zurückgelegten Route, die sich durch bereits genannte Einflussfaktoren ergeben kann.¹⁷² Die Zuordnung der Tracks zu den entsprechenden Straßennetzwerken, die unter anderem dazu dient Routenwahlen nachzuverfolgen bzw. zu analysieren, wird dadurch erschwert¹⁷³. Zahlreiche wissenschaftliche Forschungen und Studien haben sich damit beschäftigt, dieses Problem durch verschiedene sogenannte Map-Matching-Ansätze zu lösen¹⁷⁴. Der meist verwendete geometrische Map-Matching-Ansatz basiert auf einem einfachen Suchkonzept¹⁷⁵. Dabei wird jeder Positionspunkt dem nächsten Knoten im Netzwerk zugeordnet (bekannt als point-to-point matching). Eine Weiterentwicklung davon ist der point-to-curve-Ansatz. Hier werden die einzelnen Positionspunkte den Kanten zugeordnet. Beim curve-to-curve-Ansatz wird die Trajektorie mit bekannten Straßen verglichen. Dieser Ansatz baut auf einem point-to-point-Ansatz auf und ist sehr empfindlich gegenüber Ausreißern.¹⁷⁶ Ein weiterer Ansatz ist die integrierte Verwendung von GPS und Dead Reckoning mithilfe eines sogenannten Kalman Filters¹⁷⁷.

Map-Matching Methoden sind generell sehr wirkungsvoll. Standortpunkte weichen zum Teil bis zu 40 Meter von der eigentlich gefahrenen Route ab und die durchschnittliche Standardabweichung (error sigma) im GPS/DR System liegt bei 10 bis 16 m. Nach der Anwendung von Map-Matching beträgt diese nur noch 4 bis 5 Meter.¹⁷⁸

Obwohl anfangs vor allem für den MIV eingesetzt, bedient man sich mittlerweile auch im Radverkehr der Map-Matching-Methode. Dadurch können Routencharakteristika, wie die Anzahl der benutzten Radeinrichtungen, die benachbarte Nutzung (land use) oder die durchschnittliche Steigung, festgestellt werden. Die Zuordnung zu einem Netzwerk kann

¹⁶⁹ Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 48

¹⁷⁰ Vgl. Zhao, Ochieng, Quddus, & Noland, 2003, S. 1

¹⁷¹ Vgl. Schüssler & Axhausen, 2009a, S. 3

¹⁷² Vgl. Barakatsoulas, Pfoser, Salas, & Wenk, 2005, S. 1

¹⁷³ Vgl. Wolf, et al., 2014, S. 20

¹⁷⁴ Vgl. hierzu unter anderem: White, Bernstein, & Kornhauser, 2000; Zhao, Ochieng, Quddus, & Noland, 2003; Ochieng, Quddus, & Noland, 2003; Quddus, Ochieng, Zhao, & Noland, 2003; Marchal, Hackney, & Axhausen, 2004; Quddus, Ochieng, & Noland, 2006; Quddus, Noland, & Ochieng, 2006; Quddus, Ochieng, & Noland, 2007; Schüssler & Axhausen, 2009b; Velaga, Quddus, & Bristow, 2009; Bierlaire, Chen, & Newman, 2012; Miwa, Kiuchi, Yamamoto, & Morikawa, 2012

¹⁷⁵ Vgl. Ochieng, Quddus, & Noland, 2003, S. 2

¹⁷⁶ Vgl. Bernstein & Kornhauser, 1996, S. 4-8

¹⁷⁷ Vgl. Zhao, Ochieng, Quddus, & Noland, 2003

¹⁷⁸ Vgl. Ochieng, Quddus, & Noland, 2003, S. 10;13

aber, aufgrund von GPS Fehlern und der Tatsache, dass RadfahrerInnen ihre Bewegungen nicht auf das bestehende Straßennetzwerk beschränken, sehr schwierig werden. Map-Matching-Algorithmen benötigen daher ein hochauflösendes Netzwerk, um die von den RadfahrerInnen genutzten Segmente korrekt und genau zu bestimmen. Das Netzwerk muss daher nicht nur Hauptstraßen und Sammelstraßen umfassen, sondern auch Erschließungsstraßen, Gehsteige, Pfade oder ähnliche Wege abseits der Straße, die vom Radverkehr genutzt werden können.¹⁷⁹

Die Entwicklung, die Adaption, aber auch die Anwendung von Map-Matching-Prozessen sind jedoch sehr aufwendig. In der vorliegenden Arbeit wird daher darauf verzichtet - auch dadurch begründet, dass der Fokus auf anderen Themen liegt. Wo notwendig, werden stattdessen vereinfachte Ansätze für die Zuordnung von Tracks gewählt (siehe Kapitel 6.3).

3.3.1.3 Anwendungsbereiche und Forschungsgebiete

Die zivile Nutzung von GPS führte auch zu einer verstärkten Untersuchung der verschiedenen potenziellen Anwendungsmöglichkeiten von GPS-Daten in der Verkehrsforschung bzw. -planung. Folgende Themen waren dabei Gegenstand der Forschung:

- Route-Choice: Untersuchung der Routenwahl von RadfahrerInnen und die Entwicklung eines Modells mithilfe von GPS Daten. Identifikation von Gegenden, wo der Bau von Infrastruktur den meisten Nutzen bringt, Bewertung der Nachfragen nach neuen Anlagen (Lückenschluss), Bestimmung der Präferenzen von RadfahrerInnen und Untersuchung des Einflusses der Anlagearten auf die Routenwahl.¹⁸⁰
- Mode-Choice: Ermittlung des verwendeten Verkehrsmittels von untersuchten Personen anhand von GPS-Daten und teilweise zusätzlicher Technik, wie Beschleunigungssensor oder smart devices. Verwendung verschiedener Ansätze, wie z.B. Fuzzylogic, regelbasierte Algorithmen, Entscheidungsbaum oder neuronale Netze.¹⁸¹
- Weitere Forschungsgegenstände:
 - Ermittlung des Reisezwecks mittels GPS-Daten.¹⁸²
 - Entwicklung eines Modells um die Geschwindigkeiten von RadfahrerInnen vorherzusagen. Unterscheidung zwischen verschiedenen Radfahrertypen und Anlagearten.¹⁸³

¹⁷⁹ Vgl. Meyer, 2013, S. 22

¹⁸⁰ Vgl. unter anderem: Dill & Gliebe, 2008; Menghini, Carrasco, Schüssler, & Axhausen, 2009; Broach, Gliebe, & Dill, 2010; Larsen & El-Geneidy, 2011; Hood, Sall, & Charlton, 2011; Segadilha & da Penha Sanches, 2014; Sultan, Ben-Haim, Haunert, & Dalyot, 2015

¹⁸¹ Vgl. hierzu unter anderem: Stopher, Clifford, Zhang, & Fitzgerald, 2008; Schüssler & Axhausen, 2008; Schüssler & Axhausen, 2009a; Zheng, Chen, Li, Xie, & Ma, 2010; Xia, Qiao, Jian, & Chang, 2014

¹⁸² Vgl. hierzu unter anderem: Stopher, Clifford, Zhang, & Fitzgerald, 2008

¹⁸³ Vgl. hierzu: El-Geneidy, Krizek, & Iacono, 2007

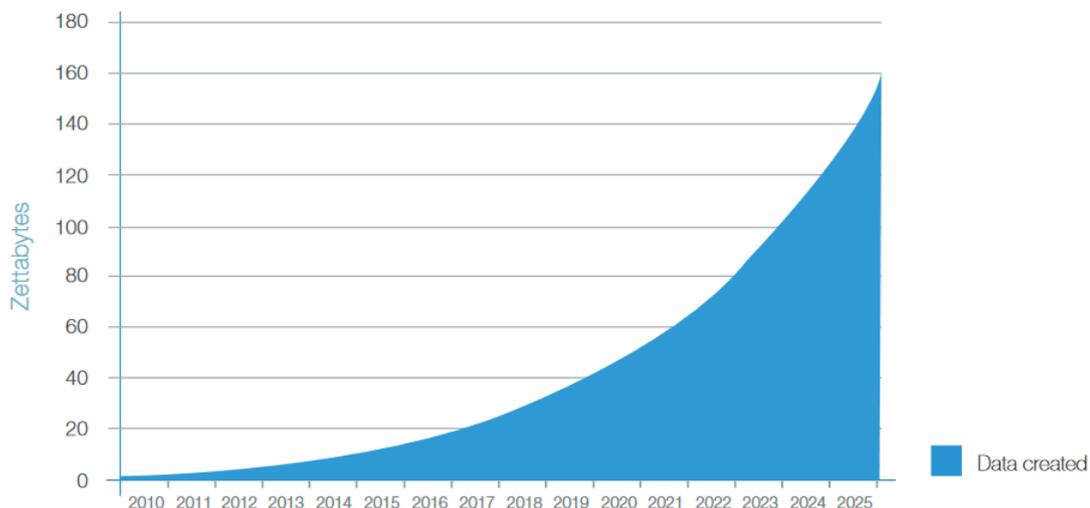
- Abschätzen von Ampelprogrammen anhand der GPS-Tracks von RadfahrerInnen, für die weitere Nutzung in der Echtzeitnavigation.¹⁸⁴
- Untersuchung von GPS-Daten (Trajektorien), um Points of interest (POIs) zu bestimmen. Analyse von Ähnlichkeiten zwischen den NutzerInnen auf Basis der POIs (Erstellung sozialer Netzwerke durch ähnliche Bewegungsmuster von Personen).¹⁸⁵
- Untersuchung der Leistungsfähigkeit von in Smartphone integrierten oder externen GPS-Empfängern im Hinblick auf die Möglichkeit festzustellen welche Anlagearten benutzt wurden.¹⁸⁶

3.3.2 Big Data

Die letzten Jahre sind durch eine starke technologische Entwicklung in allen Lebensbereichen geprägt. Das Zusammentreffen neuer Mechanismen der Datensammlung auf Basis allgegenwärtiger digitaler Geräte und Dienste, stark gesteigener Speicherplätze und Rechenleistung sowie verbesserter Sensoren und Kommunikationstechnologien, führte dazu, dass immer mehr Daten erfasst und verwertet werden.¹⁸⁷

Mit Stand 2016 soll sich der weltweite Datenbestand auf 16,1 Zettabyte (ZB) belaufen haben (1 Zettabyte entspricht 1012 Gigabyte) und bis 2025 soll dieser auf 163 ZB angewachsen sein (siehe Abbildung 6).¹⁸⁸

Abbildung 6: Weltweiter Datenbestand 2010 bis 2025¹⁸⁹



Die großen Datenmengen, die in den verschiedensten Branchen generiert werden, werden allerdings oftmals gar nicht genutzt, obwohl diese, aufbereitet und analysiert, ein

¹⁸⁴ Vgl. hierzu: Schönauer, Richter, Markus, Rudloff, & Dragaschnigg, 2013

¹⁸⁵ Vgl. hierzu: Peixoto, 2013

¹⁸⁶ Vgl. hierzu: Lindsey, Hankey, Wang, Chen, & Gorjestani, 2013

¹⁸⁷ Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 9

¹⁸⁸ Vgl. Reinsel, Gantz, & Ryding, 2017, S. 3

¹⁸⁹ Quelle: Reinsel, Gantz, & Ryding, 2017, S. 9

enormes Potenzial bieten, da neue Aussagen abgeleitet bzw. bestehende Arbeitsabläufe effizienter gestaltet werden können. Der Grund für die fehlende Verarbeitung liegt in der Größe und/oder Komplexität der Datensätze, bei welcher die traditionellen Methoden der Datenanalyse an ihre Grenzen stoßen. Diese Besonderheit lässt sich durch den eher abstrakten Begriff „Big Data“ beschreiben.¹⁹⁰

Big Data als das Phänomen dahinter ist schon länger bekannt, der Begriff selbst wurde jedoch erst später etabliert. Bereits vor 70 Jahren gab es die ersten Versuche, die Wachstumsrate der Daten zu quantifizieren und zu bestimmen, was auch als „Informationsexplosion“ bekannt wurde¹⁹¹. 1997 haben Michael Cox und David Ellsworth ein wissenschaftliches Paper zum Thema „Application-controlled demand paging for out-of-core visualization“ veröffentlicht. Darin merken sie an, dass Daten immer größer und umfangreicher werden und damit eine Herausforderung für Hauptspeicher, lokale Festplatten, aber auch Server entsteht. Diese Tatsache haben sie als Big Data definiert.¹⁹² Unter Big Data versteht man heute generell sehr große Datensets, die durch moderne Technologie gespeichert, verarbeitet, visualisiert und interpretiert werden können¹⁹³. Obwohl es keine allgemeingültige Definition von Big Data gibt, wird für die Beschreibung des Begriffs oft das 3-V-Modell verwendet, welches auf eine Studie von Doug Laney aus dem Jahr 2001 zurückgeht. Darin werden drei Dimensionen definiert, mit welchen die Herausforderung im Datenmanagement erklärt werden können¹⁹⁴:

- Volume – Die Datenmenge
- Velocity – Die Geschwindigkeit, mit der Daten erzeugt bzw. weiterverarbeitet werden
- Variety – Die Datenvielfalt

Big Data bezeichnet daher Informationsbestände, welche sich, gemäß den 3-Vs, durch eine große Menge, eine hohe Geschwindigkeit und/oder unterschiedliche Beschaffenheiten, auszeichnen. Gelegentlich werden aber auch weitere Dimensionen, wie z.B. Validity, Value oder Veracity, herangezogen, mit welchen der Begriff Big Data noch genauer beschrieben werden soll. Wirklich durchgesetzt haben sich jedoch nur die drei oben beschriebenen Kern-Dimensionen.¹⁹⁵ Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass dies nur beschreibende Termini sind. Diese bilden nicht die fundamentalen Veränderungen der letzten Jahre ab, die zu den starken Entwicklungen in diesem Bereich geführt haben.¹⁹⁶

Dadurch, dass Sensoren zur Positionsbestimmung immer kleiner, billiger und präsenter geworden sind, wurden auch immer größere Mengen von Bewegungsdaten verfügbar¹⁹⁷. Big Data hat damit auch das Potenzial, signifikante Einflüsse auf die Raum- und

¹⁹⁰ Vgl. Ben Ayed, Ben Halima, & Alimi, 2015, S. 311

¹⁹¹ Vgl. Press, 2013, online

¹⁹² Vgl. Cox & Ellsworth, 1997, S. 1

¹⁹³ Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 11

¹⁹⁴ Vgl. hierzu und im Folgenden: Laney, 2001, S. 1f

¹⁹⁵ Vgl. QSC AG - digitales-wirtschaftswunder.de, 2016, online

¹⁹⁶ Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 11

¹⁹⁷ Vgl. Sultan, Ben-Haim, Haurert, & Dalyot, 2015, S. 3

Verkehrsplanung zu nehmen, indem nun räumliche Prozesse, die bisher schlecht untersuchbar waren (sample-Größe), beleuchtet werden können¹⁹⁸.

Der erste dokumentierte Fall, wo öffentliche Behörden großformatige Daten genutzt haben, um das Mobilitätsverhalten abzuschätzen, war 2009 in Israel. In dieser Studie wurden Bewegungsdaten genutzt, welche von 1.000 Mobiltelefonen über einen Zeitraum von 16 Wochen generiert wurden. Das Projekt wurde als Teil einer landesweiten Bemühung zum Aufbau eines Verkehrsnachfragemodells durchgeführt. Während das Projekt im Hinblick auf die Bereitstellung umfangreicher Bewegungsdaten der Bevölkerung erfolgreich war, wurde jedoch angemerkt, dass diese Erhebungen besser in Verbindung mit traditionellen Befragungsmethoden hätten durchgeführt werden sollen, um die spezifischen Anforderungen von Stadt- und Regionalplanung an das Verkehrsmodell zu erfüllen.¹⁹⁹

Radverkehrsdaten erfüllen jedoch gar nicht alle drei genannten V's. So entsprechen diese dem ersten V (Volume) von Big Data, aufgrund der großen Datenmengen, die sich durch eine Erfassung über z.B. GPS ergibt. Unter Umständen wird auch noch das zweite Kriterium (Velocity) erfüllt, da einige Daten in Echtzeit verfügbar sind. Es ist jedoch fraglich, ob das Kriterium Variety entsprechend berücksichtigt werden kann.²⁰⁰

Durch Big Data ergeben sich nicht nur Chancen, sondern ebenso Herausforderungen. Dies trifft auch auf transportbezogene Daten zu. Mit Big Data sollen die Planung und das Management von Transportaktivitäten durch eine starke Erhöhung der Menge und der (fast) Echtzeit-Verfügbarkeit von mobilitätsbezogenen Daten verbessert werden. Durch die Vielzahl an Daten ergibt sich generell die Möglichkeit, neue Verbindungen und Zusammenhänge zu entdecken.²⁰¹ Die Unmengen an Daten, die durch die neuen Technologien erzeugt werden, erfordern jedoch auch ein entsprechendes Datenmanagement. Als Beispiel gilt hier die Anwendung von hochfrequenten GPS-Aufzeichnungen: Bei einer täglichen Reisezeit von durchschnittlich 90 Minuten pro Tag werden je Person 37.800 GPS-Punkte generiert. Bei 1.000 Personen ergibt dies einen Speicherplatz von zwei bis drei GB, wobei der genaue Speicherbedarf davon abhängt, welche Attribute mitaufgezeichnet werden oder in welcher Frequenz der Standort erfasst wird. Diese zwei bis drei GB mögen heutzutage keine große Datenmenge mehr darstellen, es muss jedoch berücksichtigt werden, dass diese Daten auch effektiv gespeichert, verwaltet, verarbeitet und visualisiert werden müssen. Es gibt jedoch verschiedene Methoden, um große Datensets zu managen und zu verarbeiten. Durch bestimmte Filtermechanismen kann die Datenmenge bereits beim Import reduziert werden. Handelt es sich beispielsweise um die Messung von Reisezeiten, können einfach Geschwindigkeiten unter einer gewissen Schwelle ignoriert werden. Eine andere Möglichkeit ist die Verringerung der sampling-Häufigkeit (statt sekundlich nur alle 10 Sekunden), wobei damit leider weitere Informationen verloren gehen. Diese mag für die sofortige Anwendung keine Rolle spielen, könnte aber spätere Anwendungen limitieren.²⁰²

¹⁹⁸ Vgl. Romanillos, Austwick, Ettema, & de Kruijf, 2015, S. 1

¹⁹⁹ Vgl. Gur et al., 2009, zitiert nach: Wolf, et al., 2014, S. 26

²⁰⁰ Vgl. Romanillos, Austwick, Ettema, & de Kruijf, 2015, S. 2;13f

²⁰¹ Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 9f

²⁰² Vgl. Wolf, et al., 2014, S. 32f

Die Aufbereitung und Bereinigung der Daten mag zwar durch die Nutzung entsprechender Algorithmen erleichtert werden, die Wahl des Algorithmus kann jedoch selbst zu einem Fehler führen, wenn z.B. fehlende Werte falsch interpretiert werden oder Ausreißer entfernt werden, die eigentlich wichtig gewesen wären (siehe auch Kapitel 4.3).²⁰³ Durch die großen Datenmengen könnten sich auch fragliche Korrelationen verstärken, welche, falls nicht richtig interpretiert, schwerwiegende Folgen haben können. Weiters können mit Big Data auch nicht die klassischen Statistikfallen, wie Stichprobenfehler/-bias, beseitigt werden. So könnte sich aus der Nutzung von Smartphone-basierten Standortdaten ein Bias ergeben, der sich aus der unterschiedlichen Smartphone-Durchdringung in den verschiedenen demografischen Gruppen ergibt (siehe Kapitel 3.3.2.1). Für gut definierte Problemstellungen, wo ein ausreichendes Wissen über die Variablen und deren Beziehungen vorliegt, können kleine, repräsentative Datensets möglicherweise sogar sinnvoller und effektiver sein als Big Data.²⁰⁴

3.3.2.1 Einsatz von Smartphones und Apps

Seit 2007 gibt es einen beachtlichen Anstieg in der Anzahl der GPS-Daten, auch aufgrund der zunehmenden Verbreitung von Smartphones²⁰⁵. Auch andere Technologien in Smartphones, wie WiFi-Module, Bluetooth und andere Sensoren, aber auch Zusatzausstattungen, wie Spracheingabe, Beschleunigungssensor oder Kameras, können verwendet werden, um die Standorte und Bewegungen von Personen zu erfassen²⁰⁶.

Im Jahr 2017 besaßen 68 % der über 15-jährigen in Österreich ein Smartphone²⁰⁷. In einer Studie von 2016 gaben 92 % der Befragten zwischen 15 und 69 Jahren an, ein Smartphone zu nutzen. Von 73 % der Befragten werden standortbezogene Apps verwendet; 93 % davon nutzen diese für die Standortabfrage, 87 % für die Navigation.²⁰⁸ Aus 2017, wo die Nutzung des Smartphones übrigens bereits bei 94 % lag, ist weiters bekannt, dass rund dreiviertel (77 %) der App-NutzerInnen GPS nutzen. 79 % verwenden Bluetooth, 97 % WLAN und 13 % NFC.²⁰⁹ Die zunehmende Anzahl an geographischen Daten, die durch Smartphones oder andere elektronische Geräte, wie Navigationsgeräte oder GPS-Geräte generiert werden, hat wiederum zu einer Zunahme von Projekten geführt, die sich damit beschäftigen, wertvolle Informationen aus diesen Datensätzen abzuleiten.²¹⁰

Bevor Smartphones so weit verbreitet und so umfangreich ausgestattet waren, konnten Standortdaten jedoch nur mithilfe von PDAs (Personal Digital Assistant) mit integrierten GPS-Empfängern erfasst werden²¹¹. Ein frühes Beispiel dafür war die Führung eines elektronischen Verkehrstagebuchs, als Teil der im Jahr 2000 durchgeführten

²⁰³ Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 22

²⁰⁴ Vgl. ebd. S. 20f

²⁰⁵ Vgl. Romanillos, Austwick, Ettema, & de Kruijf, 2015, S. 4

²⁰⁶ Vgl. Wolf, et al., 2014, S. 2;6;29

²⁰⁷ Vgl. Statista GmbH, o.J., online

²⁰⁸ Vgl. Mobile Marketing Association Austria, 2016, S. 1;3

²⁰⁹ Vgl. Mobile Marketing Association Austria, 2017, S. 1

²¹⁰ Vgl. Peixoto, 2013, S. 1

²¹¹ Vgl. Wolf, et al., 2014, S. 23

Mobilitätserhebung in der Region von Atlanta²¹². Die TRAC-IT-App ist eine der ersten Beispiele für die aktive Sammlung von Daten zum Verkehrsverhalten mittels Smartphones²¹³. TRAC-IT wurde 2007²¹⁴ entwickelt, um das Verkehrsverhalten von Haushalten besser zu verstehen und abzubilden sowie diese über das eigene Verkehrsverhalten aufzuklären. Mithilfe von GPS-fähigen Mobiltelefonen wird dabei der Standort erfasst und in Echtzeit übertragen. Durch die gesammelten Daten eines jeden Teilnehmers konnten individuelle Vorschläge zur Optimierung des Verkehrsverhaltens gemacht werden, mit dem Ziel Zeit und Geld einzusparen.²¹⁵

Mittels Smartphones wurden auch fahrzeugbasierte GPS-Daten im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zur kilometerabhängigen Mautgebühr erfasst. In diesem Projekt wurden 500 freiwilligen TeilnehmerInnen Smartphones zur Verfügung gestellt. Diese Geräte wurden für den Zeitraum von sechs Monaten permanent in den Fahrzeugen installiert und die TeilnehmerInnen haben sich einverstanden erklärt, in dieser Zeit eine kilometerabhängige Maut zu entrichten. Die gesammelten GPS-Daten wurden genutzt, um Gebühren anhand des Straßentyps, der Geographie und anderer Faktoren abzuschätzen.²¹⁶

Mit der steigenden Verfügbarkeit von Smartphones ist somit auch das Sammeln rad-spezifischer Daten immer einfacher geworden, womit auch die Radverkehrsplanung in unterschiedlichster Weise verbessert werden kann. Die über das Smartphone erfassten Wege bzw. Routen können potenziell für folgende Bereiche angewendet werden²¹⁷:

- Entwicklung von Routenwahl-Modellen im Radverkehr auf Basis des gezeigten Verhaltens, anstatt der angegebenen Präferenzen
- Erlangen eines besseren Verständnisses über die Art und Weise wie neue Radfahranlagen das Verhalten der RadfahrerInnen beeinflussen
- Überprüfung der angegebenen Informationen in Haushaltsbefragungen, um ggf. unzureichende Angaben zu korrigieren
- Sammlung von detaillierten Informationen hinsichtlich der Unterschiede im Verhalten verschiedener Benutzergruppen, um das Radfahren dadurch für alle Bevölkerungsgruppen entsprechend zu fördern bzw. alle Gruppen anzusprechen
- Bereitstellen von Radfahrdaten zu deutlich geringeren Kosten als traditionelle Sammlungsmethoden.

Eine der ersten Arbeiten, welche die Mobilität von RadfahrerInnen mittels GPS untersucht, geht auf das Jahr 2007 zurück. Dabei wurden die TeilnehmerInnen der Studie mit einem GPS-Gerät ausgestattet, welches sie die nächsten drei Wochen auf ihren Radwegen mitführen sollten. Weiters wurden sie aufgefordert, verschiedene Routen zu wählen und Aussagen zur gefühlten Sicherheit, Komfort, etc. zu treffen. Durch die Analyse

²¹² Vgl. hierzu: Wolf, Guensler, Washington, & Frank, 2000, S. 1f

²¹³ Vgl. Wolf, et al., 2014, S. 23

²¹⁴ Vgl. ebd.

²¹⁵ Vgl. Location-Aware Information Systems Laboratory, o.J., online

²¹⁶ Vgl. Battelle Memorial Institute, 2012, zitiert nach: Wolf, et al., 2014, S. 24

²¹⁷ Vgl. hierzu und im Folgenden: Meyer, 2013, S. 27

des Verkehrsverhaltens sollten Vorschläge für die Priorisierung von infrastrukturellen Baumaßnahmen getroffen werden können.²¹⁸ In der Studie wurde unter anderem festgestellt, dass GPS-Geräte zwar eine effektive Möglichkeit zur Datensammlung darstellen, die Datenprozessierung jedoch sehr aufwendig ist, da zum Teil Ungenauigkeiten und Fehler festgestellt wurden, die erst manuell bereinigt werden mussten²¹⁹.

Reddy et al. haben 2010 die erste Studie durchgeführt, in welcher Smartphones verwendet wurden, um GPS-Daten zu sammeln. Mithilfe der Biketastic-Plattform sollte der Wissensaustausch zwischen den RadfahrerInnen erleichtert werden. Eine eigene App erlaubt es den NutzerInnen, nicht nur die Wege zu visualisieren und zu verwalten und Statistiken anzuwenden, sondern auch die zurückgelegten Wege mit anderen NutzerInnen zu teilen.²²⁰

Im Jahr 2009 wurde eine eigens entwickelte App eingesetzt, um die Bewegungen der RadfahrerInnen im Raum San Francisco zu erfassen, welche als Grundlage für die Entwicklung eines Routenwahlmodells dienen sollte²²¹. Mit fast 1.000 Freiwilligen, die ihre Daten über einen Zeitraum von fünf Monaten zur Verfügung gestellt haben, umfasste diese Initiative die bis dahin größte Stichprobe von Rad-GPS-Tracks für Forschungszwecke. Dabei konnten insgesamt rund 7.100 trips erfasst werden, wobei nach dem Filtern rund 5.200 trips übriggeblieben sind.²²² Zweck der Entwicklung des Routenwahlmodells war es, quantitative und statistisch valide Infos darüber zu erhalten, welche Trade-Offs RadfahrerInnen treffen (Umwege für bestimmte Anlagearten) und die folgende Einarbeitung der Werte von Radinfrastrukturen (z.B. Radfahrstreifen vs. Mischverkehr) in das Verkehrsnachfragemodell der Region. Davon inspiriert haben auch andere Städte, wie z.B. Austin, Seattle, Los Angeles oder Toronto, begonnen, Cycletracks einzusetzen, um die Bedürfnisse der RadfahrerInnen zu verstehen.²²³

Es gibt jedoch wenige Studien, die sich mit den GPS-Datensätzen von App-Usern beschäftigen. Cintia, Pappalardo, und Pedreschi (2013) untersuchten die GPS-Tracks von fast 30.000 RadfahrerInnen, die via Strava-App erfasst wurden. Die RadfahrerInnen wurden dabei anhand von Trainingsaufwand und Trainingsleistung untersucht.²²⁴ Die Verwendung von Daten aus Fahrrad-Apps wird auch für lokale Behörden immer leichter. Strava war das erste Unternehmen, welches GPS-Daten der NutzerInnen verkauft hat. Mit der im Mai 2014 veröffentlichten kommerziellen Marke Strava metro, konnten die anonymisierten Daten (bzw. Lizenzen an den Daten) an öffentliche Behörden, Forschungseinrichtungen und andere interessierte Personen oder Parteien verkauft werden.²²⁵ Das Oregon's Department of Transportation war die erste öffentliche Einrichtung, die dieses Angebot in Anspruch genommen hat²²⁶. Mit Stand 2017 sind

²¹⁸ Vgl. Harvey & Krizek, 2017, S. 1

²¹⁹ Vgl. ebd. S. 18ff

²²⁰ Vgl. Reddy, et al., 2010, S. 1

²²¹ Vgl. San Francisco County Transportation Authority, o.J., online

²²² Vgl. Hood, Sall, & Charlton, 2011, S. 4

²²³ Vgl. San Francisco County Transportation Authority, o.J., online

²²⁴ Vgl. Cintia, Pappalardo, & Pedreschi, 2013, S. 1

²²⁵ Vgl. Sutton, 2014, online

²²⁶ Vgl. Maus, 2014, online

diesem Beispiel bereits rund 125 Planungsbehörden auf der ganzen Welt gefolgt²²⁷. Mit Strava labs wurde weiters eine Plattform veröffentlicht, auf welcher die erfassten Daten in verschiedenen Projekten aufbereitet und dargestellt werden²²⁸. Nichtsdestotrotz haben auch die Strava metro-Daten limitierende Faktoren. Aufgrund des Datenschutzes ist es nicht möglich, einzelne Fahrten zu analysieren (z.B. Wegelänge, Wegezwecke oder Routenwahl auf einer Agentenebene). Durch diese Aggregation können daher auch keine Verbindungen zwischen Variablen, wie beispielsweise der Zusammenhang von Routenwahl und Wegezwecke, untersucht werden.²²⁹

Auch Bike Citizens, auf die in Kapitel 4.1 noch näher eingegangen wird, stellt seine Daten für wissenschaftliche oder planerische Fragestellungen zur Verfügung. Mit der BikeCitizens-App können beispielsweise die gefahrenen Radrouten von den NutzerInnen aufgezeichnet werden. Durch die damit gesammelten Daten lassen sich direkt Aussagen über den Radverkehr in einzelnen Straßenzügen und Stadtgebieten treffen: Wie viele Radfahrenden fahren wann, zu welcher Uhrzeit und auf welchen Strecken. Je mehr Wege dabei ausgewertet werden, umso aussagekräftiger sind die Daten. Wie aussagekräftig diese Daten wirklich sind, soll im empirischen Teil dieser Arbeit festgestellt werden.

Obwohl sich natürlich ein potenziell großer Vorteil durch die Smartphone-basierte Sammlung von GPS-Daten ergibt, gibt es bei diesen Methoden auch Limitierungsfaktoren, die berücksichtigt werden müssen, um die Anwendung im großen Maßstab zu ermöglichen. Dazu zählen unter anderem²³⁰:

- Die Zeit und Erfahrung, die für die Nachbearbeitung und Analyse von GPS-Daten benötigt wird.
- Die Tatsache, dass die Sammlung der Daten derzeit eher aktiv, denn passiv erfolgt. Die NutzerInnen sind sich also bewusst, dass die Daten gesammelt werden, was auch einen Einfluss auf das Verkehrsverhalten und die Aussagekraft der Daten haben kann.
- Die Überzeugung seitens der NutzerInnen, dass die Akkulaufzeit des Smartphones durch die Nutzung von GPS beeinflusst wird.
- Bedenken hinsichtlich Privatsphäre und Datenschutz (s. Kapitel 3.3.3).
- Probleme hinsichtlich Stichproben-Bias, wodurch Aussagen zum Verkehrsverhalten der Gesamt-Bevölkerung erschwert werden.

Das Stichproben-Bias stellt ein besonderes Problem bei der Datensammlung mittels Smartphones dar. Das Bias ergibt sich durch die Tatsache, dass nicht jede Person ein Smartphone besitzt und jene, die es tun, nicht die Gesamtbevölkerung repräsentieren (unterschiedlicher Smartphone-Besitz in den verschiedenen soziodemografischen Gruppen, z.B. alt-jung, reich-arm, weiblich-männlich).²³¹ Die Möglichkeit, die Daten freiwillig bereitzustellen (crowdsourcing) bzw. die freiwillige Nutzung von Apps, führt

²²⁷ Vgl. Schneider, 2017, online

²²⁸ Vgl. Strava, o.J., online

²²⁹ Vgl. Romanillos, Austwick, Ettema, & de Kruijff, 2015, S. 8

²³⁰ Vgl. hierzu und im Folgenden: Meyer, 2013, S. 27

²³¹ Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 20

daher automatisch zu einem gewissen Bias durch eine selbstselektive Stichprobe²³². Außerdem besteht die Gefahr, dass jene RadfahrerInnen, welche die App nutzen, möglicherweise ein anderes Verhalten aufzeigen, als andere (hier nicht berücksichtigte) RadfahrerInnen. Die Erfahrung von RadfahrerInnen hat z.B. einen großen Einfluss auf die Wahl der Radfahranlage.²³³ Die letzte Gefahr besteht darin, dass die RadfahrerInnen möglicherweise nur ausgewählte Wege aufzeichnen lassen²³⁴.

Bei den vorliegenden Daten, die die Bewegung von NutzerInnen einer Radrouten-App darstellen, kommt noch ein weiterer Grund für ein mögliches Bias hinzu. Das Routing wird wahrscheinlich nur genutzt, um bisher unbekannte Wege oder Wege zu neuen Zielen anzeigen zu lassen. Wege, die regelmäßig gefahren werden, werden wahrscheinlich nicht mehr geroutet. Eine Ausnahme stellen VielfahrerInnen bzw. EnthusiastInnen dar, die gerne ihren Fortschritt beobachten und Fahrten noch mal analysieren wollen.

Um ein mögliches Bias der Stichprobe zu eliminieren, kann es daher notwendig werden, diese Daten nachzubearbeiten (post-processing) oder aber auch mit anderen Datenquellen zu verbinden. Dafür eignen sich z.B. analoge Daten, wie Zähl- oder auch Befragungsdaten (siehe Kapitel 3.1 & 3.2), obwohl hierbei anzumerken ist, dass selbst bei den Zähl- oder Befragungsdaten kein Bias ausgeschlossen werden kann.²³⁵

3.3.3 Datenschutz

Die zunehmende Verwendung von GPS für standortbasierte Dienste und die Möglichkeit, dadurch die Standorte und Aktivitäten der NutzerInnen zu bestimmen, führte zu berechtigten Bedenken hinsichtlich Privatsphäre und Datenschutz. Diese Entwicklung wird sich wahrscheinlich immer weiter verstärken, da sich die Technologien zur Standortermittlung auch immer schneller verbreiten. Alle Smartphones, die heute auf den Markt kommen, verfügen über GPS-Chipsets, WLAN-Module und eine Reihe weiterer eingebetteter Sensoren. Diese Technologien machen es den Netzbetreiber und App-EntwicklerInnen möglich, auf äußerst präzise Standortdaten zuzugreifen (eine Option, die von vielen App-EntwicklerInnen auch gezogen wird).²³⁶ Personen, die ihre Positionen (mehr oder weniger) freiwillig zur Verfügung stellen, haben die Erwartungen, dass mit ihren Daten die Qualität des genutzten Dienstes entsprechend verbessert wird. Dieser Austausch ist die Basis für viele Dienste, welche Echtzeitverkehrsinfos oder ähnliches anbieten. Der Wert dieser Daten ist aber nicht auf diese eigene Nutzung beschränkt. Viele Unternehmen verkaufen die aggregierten Daten oder die Ergebnisse der Datenanalysen an andere Unternehmen oder öffentliche Einrichtungen, welche diese dann weiterverarbeiten oder mit anderen Daten verschneiden.²³⁷ So besteht auch für die Verkehrsplanung und Raumplanung ein großes Potenzial, da durch diese Daten detaillierte Bewegungsmuster der BewohnerInnen erfasst werden könnten. Es gibt jedoch einen starken Trade-off zwischen der Interpretierbarkeit von Daten und der

²³² Vgl. Romanillos, Austwick, Ettema, & de Kruijff, 2015, S. 14

²³³ Vgl. Meyer, 2013, S. 25

²³⁴ Vgl. Charlton et al., 2011, zitiert nach: Meyer, 2013, S. 26

²³⁵ Vgl. Romanillos, Austwick, Ettema, & de Kruijff, 2015, S. 11

²³⁶ Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 46

²³⁷ Vgl. ebd. S. 34

Bewahrung von Privatsphäre und Vertraulichkeit.²³⁸ Bereits 1980 verabschiedete die OECD die erste international anerkannte (aber nicht bindende) Richtlinie bezüglich der Sammlung und den Austausch personenbezogener Daten – Die Richtlinien über den Schutz der Privatsphäre und den grenzüberschreitenden „Verkehr“ personenbezogener Daten. Innerhalb dieser Richtlinie wurden folgende acht Grundsätze definiert²³⁹:

- Beschränkungen bzgl. Sammlung von Daten
- Datengenauigkeit und Relevanz für genannten Grund
- Kommunikation über den Zweck der Datensammlung und Beschränkung der Datennutzung für diesen Zweck
- Auflagen bei der Veröffentlichung/Weitervergabe von Daten
- Datenschutz/Datensicherung und Sicherheitsmaßnahmen
- Transparenz bezüglich der Nutzung personenbezogener Daten
- Das Recht von Personen bzgl. Zugang und Kontrolle über die Nutzung ihrer Daten
- Verantwortung der Datenverantwortlichen bezüglich oben genannter Grundsätze

In der Richtlinie ist jedoch auch angegeben, dass davon nur personenbezogene Daten, also Informationen, welche eine Person über den Namen oder eine Personenkennziffer identifizieren könnten oder dazu verwendet werden könnten, um eine Adresse zu identifizieren, betroffen sind. Personenbezogene Daten, die bereits anonymisiert wurden (also Entfernung personenbezogener Komponenten oder Modifizierung der Daten, die eine Identifizierung unwahrscheinlich machen), sind außerhalb des Geltungsbereichs der Richtlinie. 1995 wurde die EU Richtlinie 95/46/EG („Richtlinie zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten und zum freien Datenverkehr“²⁴⁰) erlassen. Die darin definierten Grundsätze entsprechen weitgehend den Grundsätzen der OECD. Auch die 2002 erlassene und 2009 überarbeitete ePrivacy Directive behandelt das Thema Standortdaten. 2012 stellte die Europäische Kommission einen Entwurf für eine neue Datenschutz-Verordnung vor, die jene von 1995 ersetzen soll.²⁴¹ Diese Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) stellt die (aktuelle) Grundlage des Datenschutzrechts in der EU dar und war mit 25. Mai 2018 von allen Mitgliedsstaaten entsprechend umzusetzen. So auch in Österreich, wo mit dem Datenschutz-Anpassungsgesetz 2018 das bis dahin geltende Datenschutzgesetz (DSG) geändert und an die Vorgaben der DSGVO angepasst wurde.²⁴² Von Relevanz für die vorliegende Arbeit ist Artikel 4 der DSGVO, der besagt, dass der Begriff „[...] personenbezogene Daten alle Informationen [bezeichnet], die sich auf eine identifizierte oder identifizierbare natürliche Person [...] beziehen; als identifizierbar wird eine natürliche Person angesehen, die direkt oder indirekt, insbesondere mittels Zuordnung zu einer Kennung wie einem Namen, zu einer Kennnummer, zu Standortdaten, zu einer Online-Kennung oder zu einem oder mehreren besonderen Merkmalen identifiziert werden kann, die

²³⁸ Vgl. Rusitschka & Curry, 2016, S. 237

²³⁹ Vgl. hierzu und im Folgenden: International Transport Forum, 2015, S. 35

²⁴⁰ Vgl. Österreichische Datenschutzbehörde, o.J.a, online

²⁴¹ Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 36

²⁴² Vgl. Österreichische Datenschutzbehörde, o.J.b, online

Ausdruck des physischen, physiologischen, genetischen, psychischen, wirtschaftlichen, kulturellen oder sozialen Identität dieser natürlichen Person sind“²⁴³. Es ist laut Gesetz also auch notwendig, Standortdaten soweit unkenntlich zu machen, dass eine eindeutige Identifikation von NutzerInnen nicht möglich ist. Die Informationen, die mittels GPS-Geräten gesammelt werden können, weisen nämlich so eine hohe Genauigkeit auf, dass durch diese Daten, welche einen Zeit- und Ortsbezug aufweisen, viele andere Informationen abgeleitet werden können.²⁴⁴ Standortdaten können daher sogar als sehr persönliche Daten gesehen werden.

Mithilfe von Verfahren des Datenschutzes zur De-Identifikation, wie Anonymisierung, Generalisierung oder Verschlüsselung, soll die Zuordnung von gewissen Bewegungen zu bestimmten Personen oder Haushalten unmöglich gemacht werden. Damit geht aber meistens auch ein Informationsverlust einher. Es wurden daher viele Anstrengungen unternommen, Wege zu finden, um Daten entsprechend zu anonymisieren und gleichzeitig eine ausreichende Detailliertheit der Daten aufrecht zu erhalten. Um das zu erreichen, müssen anonymisierte Daten hinsichtlich folgender drei Risiken widerstandsfähig sein²⁴⁵:

- Aussonderung: Einzelne Individuen oder Objekte sollen nicht isoliert werden können.
- Verbindungen: Einzelne Daten oder eine Gruppe von Daten sollen/soll nicht mit anderen Daten im gleichen oder einem anderen Datenset in Verbindung gebracht werden können.
- Rückschluss: Eigenschaften eines Individuums oder eine Gruppe von Daten sollen nicht durch die Werte anderer Attribute abgeleitet werden können.

Nichtdestotrotz ist es mithilfe der genauen Standortdaten weiterhin möglich, den Wohnort, Arbeitsort, oder andere häufig besuchte Orte zu identifizieren²⁴⁶. Obwohl eigentlich anonymisiert, sind die Bewegungen im Raum von Personen sehr einzigartig und fast so identifizierbar wie ein Fingerabdruck. Verknüpft man Bewegungsdaten mit öffentlich zugänglichen Personen- und Unternehmensregistern, können Rückschlüsse auf tägliche Aktivitätsmuster gezogen werden: wo schläft und arbeitet eine Person, wo verbringt sie ihre Freizeit. Diese Daten können außerdem Aufschluss über die Religion von Personen (Besuch von Gotteshäusern) oder deren politische Einstellungen (Besuch von politischen Einrichtungen oder z.B. Demonstrationen) geben. Analysen feinskalierter GPS-Signale lassen sogar Aussage darüber zu, mit welchen Verkehrsmitteln die Personen unterwegs sind.²⁴⁷ De Montjoye et al. (2013) haben gezeigt, dass vier räumlich-zeitliche Punkte (ungefähre Zeit und Standort) ausreichen, um 95 % von 1,5 Millionen Personen in einer Mobilitätsdatenbank eindeutig zu identifizieren. Durch die Verwendung von Metadaten kann daher die Anonymisierung überlistet werden. In dieser Studie wurde

²⁴³ Verordnung (EU) 2016/67, 2016

²⁴⁴ Vgl. Wolf, et al., 2014, S. 29

²⁴⁵ Vgl. hierzu und im Folgenden: International Transport Forum, 2015, S. 52f

²⁴⁶ Vgl. Wolf, et al., 2014, S. 30

²⁴⁷ Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 50f

weitere behauptet, dass selbst Daten, die zusätzlich räumlich und zeitlich aggregiert wurden (Generalisierung), noch zugeordnet werden konnten.²⁴⁸

Weder Anonymisierung noch Generalisierung können jedoch verhindern, dass die standortbasierten Daten weitergeleitet, interpretiert und verwertet werden. Diese setzen sich immer noch aus standortbezogenen Informationen zusammen, obwohl in unterschiedlichen Detailgraden. Methoden der Verschlüsselung hingegen beseitigen die Möglichkeit, die räumlichen Daten zu transformieren. Nur jene Personen mit einem Schlüssel können die Daten in reinen Text zurückkonvertieren und daraus wieder die räumlichen Daten auswerten. Die Verschlüsselung von Standortdaten bietet einen vielversprechenden Ansatz, der auch viel Aufmerksamkeit erfahren hat. Ansätze der Verschlüsselung benötigen jedenfalls eine ausreichend widerstandsfähige und sicherere Systemarchitektur, um die Schlüssel, Zertifikate etc. zu managen.²⁴⁹

²⁴⁸ Vgl. de Montjoye, Hidalgo, Verleysen, & Blondel, 2013, S. 1

²⁴⁹ Vgl. International Transport Forum, 2015, S. 54f

4 Datenbasis

Auf Basis der Grundlagen-Kapitel erfolgt im empirischen Teil dieser Arbeit die Sichtung, Aufbereitung und Analyse von GPS-Daten der Bewegungen von RadfahrerInnen, die über die App „Bike Citizens“ im Jahr 2015 in der Stadt Wien erfasst wurden. Für die spätere Analyse und Auswertung dieser Daten wurden zusätzlich noch weitere, über OGD bezogene, shape-Files verwendet²⁵⁰:

- BEZIRKSGRENZEODG: Bezirksgrenzen der Stadt Wien
- LANDESGRENZEODG: Landesgrenze der Stadt Wien
- RADWEGEODG: Radwegenetz in Wien nach Anlageart
- DAUERZAEHLOGD: Lage der Dauerzählstellen
- STRASSENGRAPHODG: Straßenwegenetz der Stadt Wien

Für die späteren Auswertungen in Kapitel 6 wurde außerdem das freiverfügbare digitale Geländemodell (DGM) im 1 Meter Raster beschafft²⁵¹.

Die einzelnen Schritte der Datenverarbeitung wurden mithilfe folgender Werkzeuge und Software durchgeführt:

- ArcMap 10.4.1: Hauptbestandteil des Geoinformationssystems ArcGIS Desktop, wo Geodaten als geographische Informationen in einer Kartenansicht dargestellt und über die graphische Benutzeroberfläche bearbeitet werden können.
- QGIS 2.18: Freies (Open-Source) Geoinformationssystem zur Betrachtung und zum Editieren von räumlichen Daten.
- Excel 2016: Weit verbreitetes Tabellenkalkulationsprogramm und Teil der MS-Office-Familie. Es dient der Betrachtung, Analyse und Visualisierung von Daten.
- PostgreSQL 9.5: Freies, objektrelationales Datenbankmanagementsystem. Möglichkeit zur Bearbeitung und Abfrage von Daten über SQL.
- PostGIS 2.3: Erweiterung für PostgreSQL, um geographische Daten über SQL abzufragen oder zu bearbeiten.
- Python 3.6: Objektorientierte Programmiersprache. Verwendung folgender Packages/Libraries:
 - ArcPy: Ausführung von in ArcGIS verfügbaren Funktionen über eigene scripts.
 - Pandas: Manipulation und Analyse von tabellarischen Daten.
 - NumPy: Anwendung mathematischer und wissenschaftlicher Funktionen.

²⁵⁰ Siehe im Folgenden: <https://www.data.gv.at>

²⁵¹ Siehe <https://www.wien.gv.at/ma41datenviewer/public>

- Matplotlib: Erstellung von Plots und statistischen Graphiken (Erweiterung von NumPy).
- Seaborn: Erstellung von Plots und statistischen Graphiken.
- PythonWin: Freie (simple) IDE (Entwicklungsumgebung) für die Programmiersprache Python. Ausführung von Scripts zur automatisierten Bearbeitung von Geodaten.
- Jupyterlab 0.27.0: Interaktive Entwicklungsumgebung, um die Daten mithilfe der verschiedenen Packages zu verarbeiten.

4.1 Bike Citizens

Die Bewegungsdaten, die im Folgenden noch genauer beschrieben werden, wurden von der Bike Citizens Mobile Solutions GmbH für die Bearbeitung dieser Masterarbeit zur Verfügung gestellt. Das Unternehmen mit Sitz in Graz wurde 2011 von zwei Fahrradkurieren als BikeCityGuide mit dem Ziel gegründet²⁵², „[...] wertvolles Wissen über das Radfahren in Städten zu teilen“²⁵³. Das Kernprodukt ist die Bike Citizens Fahrrad-App - ein Radroutenplaner für das Smartphone. Diese ist laut eigenen Worten, „[...] die erste Fahrrad-App, die auf die Bedürfnisse von Radfahrenden im urbanen Raum eingeht“²⁵⁴. Bei der Routenplanung kann zwischen verschiedenen Routing-Profilen und Fahrrad-Typen unterscheiden werden. Aufbauend darauf fließen auch Höhenprofile und Oberflächenbeschaffenheiten in die Routenplanung ein, um die individuelle perfekte Route zu erhalten²⁵⁵. Derzeit (Stand Jänner 2018) ist die App für über 450 Städten in Europa und USA verfügbar²⁵⁶ und zählt weltweit mehr als 450.000 User²⁵⁷. Die Bike Citizens Fahrrad-App umfasst folgende Funktionen²⁵⁸:

- Neue Radwege entdecken
- Fahrten aufzeichnen und teilen
- Neue Orte entdecken (Infos zu POIs)
- Von Sprachansagen führen lassen
- News rund ums Radfahren
- Stadt erkunden (vorgeschlagene Fahrradrouten von lokalen RadfahrerInnen)
- Übersicht deiner Aktivitäten (Heatmaps)
- An Kampagnen teilnehmen (z.B. Österreich radelt zur Arbeit)

²⁵² Vgl. Bike Citizens Mobile Solutions GmbH, o.J.a, online

²⁵³ Ebd.

²⁵⁴ Bike Citizens Mobile Solutions GmbH, o.J.b, online

²⁵⁵ Vgl. ebd.

²⁵⁶ Vgl. ebd.

²⁵⁷ Vgl. Bike Citizens Mobile Solutions GmbH, o.J.a, online

²⁵⁸ Vgl. im Folgenden: Bike Citizens Mobile Solutions GmbH, o.J.b, online

Rund 400.000 Personen tragen täglich zur Verbesserung der Bedingungen für RadfahrerInnen in ihren Städten bei, indem ihre aufgezeichneten Fahrten (nach Zustimmung) anonymisiert werden und für städte- bzw. verkehrsplanerische Zwecke analysiert werden²⁵⁹. Aufbauend auf der Radroutenplanung hat sich Bike Citizens daher auch zusätzlich auf die Datenanalyse für Städte konzentriert. Mit der NHTV Breda University of Applied Sciences wurde unter anderem das Datenanalyse-Tool Bike Citizens Analytics entwickelt, welches die Auswertung von Radverkehrsdaten vereinfachen soll. Mithilfe des Tools können die über die App genierten Daten aber zusätzlich auch externe Datensets (z.B. öffentliche Verkehrsmittel) verarbeitet und analysiert werden, was zu einer nachhaltigen Förderung und Optimierung des Radverkehrs in Städten beitragen soll. Mit dem Tool kann das Verkehrsaufkommen auf jedem einzelnen Straßenabschnitt analysiert, bevorzugte und eher gemiedene Routen identifiziert und Wartezeiten bestimmt werden. Das Tool bietet außerdem die Möglichkeit, den zukünftigen Radverkehr zu simulieren. Dadurch kann z.B. abgeschätzt werden, wie sich der Bau einer neuen Radfahranlage auf die Anzahl der RadfahrerInnen auswirken würde.²⁶⁰

4.2 Datenstruktur

Die vorliegenden Daten entsprechen den übermittelten Fahrten der User in und um Wien im Zeitraum von 01.01.2015 bis 31.12.2015. Die Daten, die im GPX-Format zur Verfügung gestellt wurden und dann für die Weiterbearbeitung in ein Shapefile konvertiert und in das ETRS89-Referenzsystem²⁶¹ gebracht wurden, bestehen aus zwei relevanten Datensets: die Trackpoints (die Wegpunkte als Punktdaten) und die Tracks (die Wege selbst als Liniendaten), wobei sich jeder Track aus einer Menge an Trackpoints zusammensetzt.

Folgende Informationen sind Teile der Wegedatenbasis (Tracks): Zeitstempel vom Start der Fahrt (Jahr, Monat, Tag, Uhrzeit), zurückgelegte Distanz (Meter) und Dauer (Sekunden) des Weges. Die Wegpunkte beinhalten folgende Informationen: Track-ID, Track-Segment, Datum, Meereshöhe und Horizontalgenauigkeit.

Über GPS wird sekundlich die aktuelle Position (Trackpoints) des Nutzers/der Nutzerin erfasst. Sollte das GPS-Signal jedoch verloren gehen, erfolgt die Standortbestimmung über Mobilfunksender (Triangulation). Die Anonymisierung der Daten wird einerseits durch eine fehlende Personeninformation (Personen-ID) und andererseits durch das Abschneiden der ersten und der letzten 100 Meter einer jeden Fahrt gewährleistet.²⁶²

Für die weiteren Schritte (Bereinigung, Analyse, Auswertung) dieser Arbeit wurden dem Datenbasis der Tracks, zusätzlich zu den bestehenden Informationen, noch folgende Kennwerte hinzugefügt:

²⁵⁹ Vgl. ebd.

²⁶⁰ Vgl. Bike Citizens Mobile Solutions GmbH, 2017, online

²⁶¹ Es gilt zu berücksichtigen, dass durch die Projektion der Erdoberfläche auf eine ebene Fläche Streckenverzerrungen auftreten können, die auf die Berechnung der Distanzen (und folgend der Geschwindigkeit) über ein GIS Einfluss haben und daher leichte Ungenauigkeiten entstehen können.

²⁶² Information aus einem Telefonat mit Daniel Kofler (Geschäftsführer Bike Citizens Mobile Solutions GmbH) am 10.03.2015

- track_fid: Fortlaufende, eindeutige ID für jede einzelne Fahrt. Bisher enthielt die Datenbasis nur eine von ArcGIS generierte FID, welche sich jedoch beim Löschen von einzelnen Tupeln verändert (nicht statisch), wodurch die Tracks und Trackpoints in weiterer Folge nicht mehr korrekt verknüpft werden können.
- dur_BC: Dauer der Fahrt in Sekunden laut Bike Citizens. Die Datenbasis enthielt bereits eine gemeinsame string-Variable mit Distanz und Dauer der Fahrten. Diese Daten wurden gesplittet und die Dauer in einer neuen Variable abgespeichert.
- dist_BC: Zurückgelegte Distanz der Fahrt in Metern laut Bike Citizens. Wie bei dur_BC, erfolgte eine Auftrennung der Daten, um die Distanz in einer neuen Variable abzuspeichern.
- dist_GIS: Zurückgelegte Distanz laut GIS.
- dist_GIS200: Zurückgelegt Distanz der Fahrt in Metern laut GIS plus 200 Meter. Berechnung der Geometrie der Fahrten mithilfe von ArcGIS, unter Berücksichtigung zusätzlicher 200 Meter, die im Zuge der Anonymisierung seitens Bike Citizens abgeschnitten wurden.
- dur_GIS: Dauer der Fahrt in Sekunden laut Trackpoints. Berechnung der Dauer über die Anzahl der Trackpoints je Track mithilfe von PostgreSQL (siehe Anhang 1).
- dur_GIS200: Dauer der Fahrt in Sekunden laut Trackpoints und Ergänzung der fehlenden 200 Meter - näherungsweise mithilfe der Durchschnittsgeschwindigkeit des gesamten Tracks laut GIS ($\text{dur_GIS} + 200/v_GIS$)²⁶³.
- v_GIS: Geschwindigkeit der Fahrten in m/s über $\text{dist_GIS}/\text{dur_GIS}$.
- v_BC: Geschwindigkeit laut Bike Citizens in m/s über $\text{dist_BC}/\text{dur_BC}$.

Die parallele Berechnung der Variablen über BC und GIS soll einerseits dazu dienen, die Werte auf generelle Plausibilität zu prüfen und andererseits dabei helfen, möglichst viele Datenfehler zu identifizieren, wie z.B. GPS-Fehler, die über die Werte laut Bike Citizens vielleicht nicht feststellbar wären.

Manche der Variablen, wie dur_GIS200, v_GIS und v_BC, konnten aber nicht zur Gänze fehlerfrei berechnet werden, da die Rohdaten teilweise unsauber waren. So ergab die Berechnung von dur_GIS, dass manche Tracks keine Trackpoints aufweisen und somit auch gar nicht als Geodaten verfügbar sind. Dadurch gab es auch zum Teil kein Ergebnis für die Variablen v_GIS und dur_GIS200. Die Berechnung von v_BC führte ebenso zu Fehlermeldungen, da manche duration-Werte (dur_BC) den Wert 0 haben und eine Division somit nicht möglich ist. Mithilfe der genannten Variablen konnten somit auch erste Rückschlüsse auf etwaige Datenfehler gezogen werden. Die Behebung dieser Probleme im Zuge der Datenbereinigung wird in Kapitel 5 beschrieben.

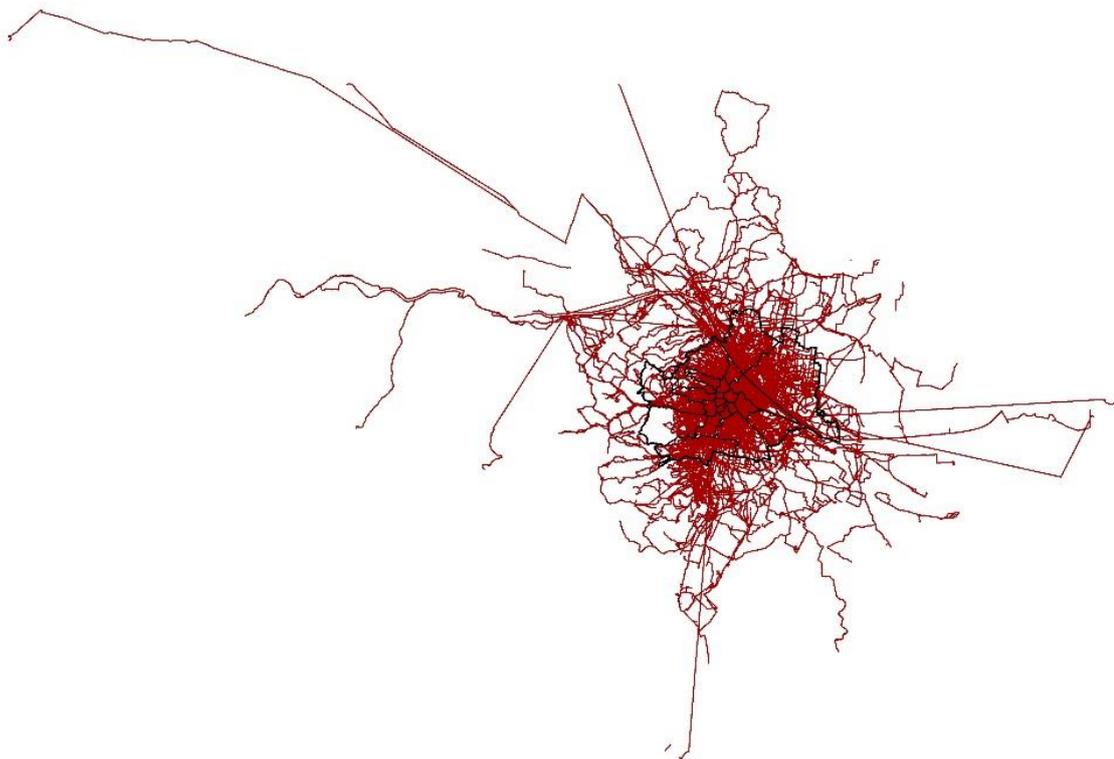
²⁶³ Die Geschwindigkeit der ersten und letzten 100 Meter kann deutlich von der Durchschnittsgeschwindigkeit abweichen. Mögliche Gründe hierfür sind: Zeit für die Montage bzw. den Abbau des Smartphones am Fahrrad, das Einrichten und Beenden der APP oder einfach nur die Beschleunigung aus dem Stand bis zur „Betriebsgeschwindigkeit“.

Der Datenbasis der Wegepunkte wurden keine weiteren Informationen angehängt. Etwaige Fehler in den Daten konnten daher noch nicht festgestellt werden. Die Begutachtung der Daten über die Attribut-Tabelle in ArcGIS war nicht zufriedenstellend, da die einzelnen Datensätze, bedingt durch die Größe der Datei, nicht richtig dargestellt wurden.

4.3 Rohdaten

Die Datenbasis umfasst insgesamt 42.354 Tracks (n_T) und 46.179.069 Trackpoints (n_{TP}). Im Durchschnitt besteht daher jeder Track aus 1.090 Trackpoints, was einer ungefähren Wegedauer von 18 Minuten entspricht. Werden alle erfassten Tracks auf die Anzahl der Tage im Jahr 2015 heruntergebrochen, ergibt dies eine durchschnittliche tägliche Wegeanzahl von 116 im ganzen Wiener Radverkehrsnetz. Für alle späteren Analysen und Auswertungen gilt es daher, diese doch geringe Stichprobe im Hinterkopf zu behalten.

Abbildung 7: Rohdaten der Tracks²⁶⁴



Die statistischen Kennwerte der berechneten Variablen sind Tabelle 4 zu entnehmen.

²⁶⁴ Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Stadt Wien – MA 41: Bezirksgrenzen Wien (OGD); Stadt Wien – MA 41: Landesgrenzen Wien (OGD)

Tabelle 4: Statistische Kennwerte der Rohdaten

	dist_BC [km]	dist_GIS200 [km]	dur_BC [min]	dur_GIS [min]
Mittelwert	5,57	5,54	21,28	18,16
Standardabweichung	6,62	5,94	21,12	18,83
Minimum	0,00	0,20	0,00	0,00
25 %-Perzentil	1,98	1,96	8,32	6,03
50 %-Perzentil	4,06	4,04	16,47	13,43
75 %-Perzentil	7,26	7,24	28,00	24,42
Maximum	590,31	156,40	1.150,6 (=19,2 h)	339,40 (=5,7 h)

Teilweise ergeben sich große Unterschiede zwischen den Bike Citizens und den GIS-Daten. Nachfolgende Abbildung 8 zeigt einen ausgewählten Track (türkis), der laut Bike Citizens 590 km und laut GIS nur rund 4 km (4,040 inkl. 200 m) misst.

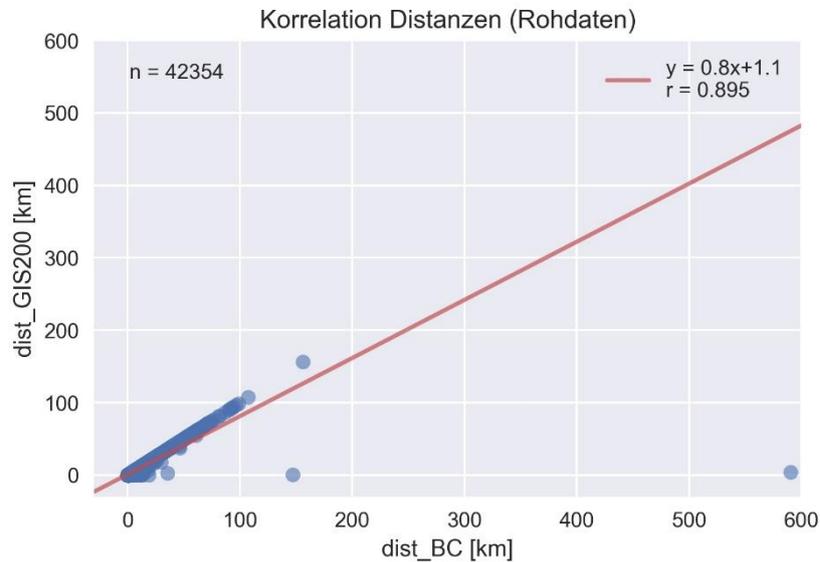
Abbildung 8: Ausgewählter Track mit stark unterschiedlichen Distanzwerten (türkis)²⁶⁵

Laut Bike Citizens dauerte dieser Weg rund 13 Minuten (796 s), was einer Durchschnittsgeschwindigkeit von ca. 2.670 km/h entspricht. Die Berechnung in GIS ergibt eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 406 km/h. Der Datensatz ist also in irgendeiner Art und Weise fehlerbehaftet. Mit den Filter- und Bereinigungsritten, die in Kapitel 5 näher beschrieben werden, werden solche Datensätze entfernt.

²⁶⁵ Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Stadt Wien – MA21 : Straßengraph Wien (OGD); Stadt Wien – MA 41: Bezirksgrenzen Wien (OGD); Stadt Wien – MA 46: Radfahranlagen Wien (OGD)

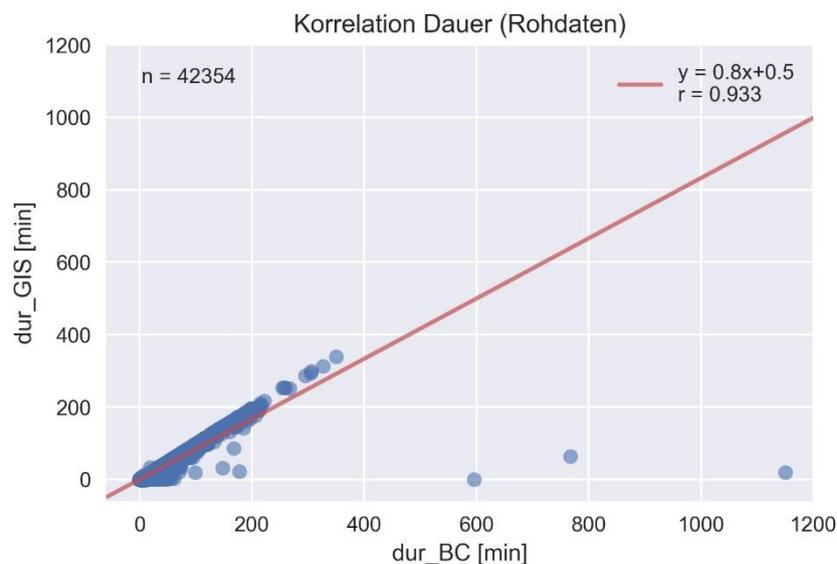
Um die genannten Unterschiede zwischen den Variablen weiter zu untersuchen, zeigt folgende Abbildung 9 die Ergebnisse einer Korrelation zwischen den Variablen `dist_BC` und `dist_GIS200`.

Abbildung 9: Korrelation der Distanzen (Rohdaten)



Bei Betrachtung der Abbildung ist sofort der starke Zusammenhang zwischen den beiden Variablen zu erkennen. Bei der Regressionsgeraden wäre eigentlich ein Steigungsfaktor von 1 zu erwarten gewesen, welcher aber durch die zwei starken Ausreißer etwas gedämpft wird. Der Pearson Korrelations-Koeffizient r liegt bei 0,895. Statistisch gesehen besteht also eine sehr deutliche Korrelation zwischen den Distanzwerten laut Bike Citizens und GIS. Wie folgende Abbildung 10 deutlich macht, zeigt sich für die Dauer ein ähnliches Bild.

Abbildung 10: Korrelation der Dauer (Rohdaten)



Aufgrund der genannten Probleme mit der Berechnung von `dur_GIS200`, musste für diese Analyse stattdessen die Variable `dur_GIS` herangezogen werden. Dies sollte jedoch kein

Problem darstellen, da die Dauer für die fehlenden 200 Meter vernachlässigbar gering ist und diese 200 Meter außerdem eine Konstante darstellen, womit die Gerade lediglich in geringem Maße auf der y-Achse verschoben ist. Es sind einige Ausreißer vor allem in der Nähe der X-Achse zu erkennen. Da einige der Werte laut Bike Citizens sehr hoch sind (> 10 Stunden), lässt dies darauf schließen, dass die GIS-Werte eigentlich korrekt sein müssten und bei der Erfassung der Werte ein Schreib-/Messfehler aufgetreten ist. Solche Ausreißer wirken sich auch direkt auf die Regressionsgerade aus, die eigentlich einen Steigungsfaktor von 1 ausweisen müsste. Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten ergibt einen extrem hohen Wert von 0,933, womit ein sehr deutlicher Zusammenhang zwischen den beiden Variablen beschrieben wird.

Diese Ergebnisse waren zwar zu erwarten, zeigen aber, dass die angegebenen Werte im Großen und Ganzen plausibel sind und sich die GPS-Fehler in Grenzen halten.

5 Datenaufbereitung

Wie im letzten Kapitel ersichtlich, beinhaltet die Roh-Datenbasis eine Reihe von Datensätzen, die nicht den Erwartungen entsprechen bzw. außerhalb gültiger Wertebereiche liegen, welche auch als Ausreißer bezeichnet werden. Durch die Aufbereitung der Daten sollen daher alle jene Datensätze entfernt bzw. ersetzt werden, die zu Verzerrungen bei der Analyse führen können. Davor muss jedoch noch unterschieden werden, um welche Art von Ausreißer es sich handelt:

- Schreibfehler/Messfehler (bad data), wie GPS-/Lagefehler
- Extremwerte, also reale Werte, die untypisch sind, wie z.B. sehr lange Radwege im Zuge eines Sporttrainings
- Daten, die einfach nicht relevant für die Fragestellung sind (z.B. Wege außerhalb des Untersuchungsgebiets)

Die Bestimmung solcher Ausreißer kann generell durch die Sichtung der Daten erfolgen, was jedoch nur bei kleinen Datensets Sinn macht. Bei einer sehr umfangreichen Datenbasis, wie in diesem Fall, wäre dieser Ansatz zu aufwändig. Hier ist die Festlegung von Grenzwerten die geeignetste Methode. Es gibt jedoch keine eindeutige Definition von Ausreißern, womit es auch nicht möglich ist, allgemeingültige Schwellwerte anzugeben, mithilfe derer Ausreißer identifiziert werden können. Die Grenzen müssen daher immer individuell festgelegt werden, womit eben auch unterstellt wird, dass gewisse Werte falsch sind. Ausreißer können die Berechnung bestimmter statistischer Kennwerte, wie arithmetisches Mittel stark beeinflussen, wohingegen andere Kenngrößen, wie der Median, robust gegenüber Ausreißer sind. Mithilfe einer linearen Regressionsanalyse kann dieser Einfluss gut dargestellt werden. Die Steigung der Regressionsgeraden und auch der Erklärungswert dieser ist stark davon abhängig, ob und wie viele Ausreißer vorliegen und wie stark diese sind. Dadurch ist es jedenfalls ratsam, Ausreißer zu bestimmen und ggf. Schritte zu setzen, wobei die entsprechenden Daten gelöscht oder den Daten neue Werte zugeordnet werden. Fehlerbehaftete Daten sollten auf jeden Fall entfernt bzw. ersetzt werden. Bei der Entfernung von Daten sollte jedoch immer vorsichtig vorgegangen werden, um die Datenbasis nicht unnötig zu verkleinern.

Zwar gibt es verschiedene geläufige statische Methoden zur Bestimmung von Ausreißern, wie z.B. Tukey's Fences oder Z-Score²⁶⁶. GPS-Daten stellen jedoch einen Spezialfall dar und es kann nicht davon ausgegangen werden, dass diese Filtermethoden die gewünschte Wirkung erzielen. In der vorliegenden Arbeit werden diese Methoden somit auch nicht weiterverfolgt.

Die Bereinigung und Filterung von Geodaten wurde bereits in mehreren wissenschaftlichen Arbeiten behandelt, die im Folgenden kurz beschrieben werden. Es gibt jedoch keine Universallösung für dieses Problem. ForscherInnen haben daher sehr verschiedene Ansätze für diese Probleme entwickelt. Mögliche allgemeine Schritte für die Glättung bzw. Bereinigung von Daten werden von Czerniak et al. (2002) beschrieben: Dazu zählen die Entfernung irrelevanter Daten (z.B. werden Daten im 1-s Intervall erfasst,

²⁶⁶ Vgl. Kaliyaperumal, Kuppusamy, & Arumugam, 2015, S. 232f

aber nur im 5-s Intervall benötigt), die Entfernung doppelter Daten, das Ersetzen von falschen Daten bzw. die Ergänzung fehlender Daten²⁶⁷. Konkreter wird es bei Fröhlich & Krumm (2008), die zwischen dem „Trip-Cleansing“, also der Bereinigung und dem „Trip Filtering“, der Filterung, unterscheiden. Bei der Bereinigung werden alle Trackpoints auf GPS-Fehler geprüft. Dies erfolgt über die Bestimmung der Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte der einzelnen Teilstrecken zwischen zwei Trackpoints (Segmente) und Definition eines Grenzwerts. Trackpoints von Segmenten mit einer Geschwindigkeit über 160,9 km/h oder einer Beschleunigung über 128.720 km/h² werden daraufhin gelöscht. Bei der Filterung wurden sechs verschiedene Ansätze verfolgt, wobei für die vorliegende Arbeit nur drei von Relevanz sind: Mit dem ersten Ansatz werden alle Tracks mit weniger als zehn Trackpoints oder einer Dauer kleiner 30 Sekunden entfernt. Tracks außerhalb einer definierten räumlichen Grenze (administrative Grenze) werden ebenso gelöscht.²⁶⁸ In der Arbeit von Sultan et al. (2015) wird ein unterer Grenzwert für die Anzahl der Trackpoints je Track angewendet. Dieser wird auf 30 gesetzt, was einer Distanz von rund 150 m entspricht. Kürzere Tracks werden nicht mehr weiter berücksichtigt. Die Autoren beschreiben weiters einen Grenzwert für die Geschwindigkeit von RadfahrerInnen in urbanen Räumen, die bei 10 m/s (36 km/h) liegt.²⁶⁹ Menghini et al. (2009) beschreiben in ihrer Arbeit einen mehrstufigen Ansatz, welcher für die Bereinigung von durch RadfahrerInnen generierte Geodaten in Zürich angewendet wurde. Zuerst wurden alle Wege entfernt, die nicht gänzlich innerhalb der Stadt Zürich zurückgelegt wurden. Im weiteren Verlauf legte man einen 26 m breiten Puffer um alle Straßenachsen, um alle Trackpoints außerhalb davon zu löschen. Über eine zusätzliche manuelle Durchsicht der Daten wurden alle jene Tracks entfernt, die starke GPS-Fehler aufwiesen (große Sprünge zwischen den einzelnen Punkten) und im letzten Schritt wurden auch all jene Tracks ausgeschlossen, die eine Distanz kleiner 150 m aufwiesen.²⁷⁰ In ihrem Abschlussbericht über die Verwendung von Smartphones zur Sammlung von Daten zu Fahrradfahrten in Texas, beschreiben Hudson et al. (2012), wie sie die gesammelten GPS-Daten bereinigt haben. Unter anderem wurden die Tracks außerhalb des Untersuchungsgebiets ausgeschlossen und weiters wurden alle Trackpoints, die nicht lagerichtig waren bzw. eine Geschwindigkeit kleiner 3,2 km/h oder größer 48,3 km/h aufwiesen, entfernt. Gelöscht wurden außerdem alle Wege mit weniger als fünf Trackpoints.²⁷¹ Ein ähnliches Verfahren haben auch Schönauer et al. (2013) in ihrer Arbeit zur Abschätzung bzw. Bestimmung von Ampelschaltungen durch RadfahrerInnen anwendet. Hier wurden unter anderem alle Trackpoints außerhalb des Untersuchungsgebiets aussortiert und danach alle Trackpoints mit einer unrealistischen Geschwindigkeit von 50 m/s oder mehr entfernt.²⁷² Schüssler & Axhausen (2008) beschreiben in ihrer Abhandlung, dass sie die gesammelten GPS-Rohdaten bereinigt haben, indem alle Trackpoints mit einer Geschwindigkeit größer 50 m/s oder einer Beschleunigung größer 10 m/s² gelöscht wurden. Weiters wurden alle Trackpoints mit einer Höhe von weniger als 200 Meter oder mehr als 4200 m über Seehöhe entfernt.²⁷³

²⁶⁷ Vgl. Czerniak, et al., 2002, S. 23ff

²⁶⁸ Vgl. Froehlich & Krumm, 2008, S. 3ff

²⁶⁹ Vgl. Sultan, Ben-Haim, Haurert, & Dalyot, 2015, S. 6

²⁷⁰ Vgl. Menghini, Carrasco, Schüssler, & Axhausen, 2009, S. 5f

²⁷¹ Vgl. Hudson, Duthie, Rathod, Larsen, & Meyer, 2012, S. 21

²⁷² Vgl. Schönauer, Richter, Markus, Rudloff, & Dragaschnigg, 2013, S. 9f

²⁷³ Vgl. Schüssler & Axhausen, 2008, S. 7

Einen ähnlichen Ansatz verfolgten Cassello et al. (2010) in ihrer Arbeit, wo sie alle Punkte mit einer unrealistischen Höhendifferenz größer 35 m entfernt haben. Gelöscht wurden unter anderem auch all jene Punkte, welche Geschwindigkeiten über 75 km/h erzeugten.²⁷⁴

Auf Basis der genannten Methoden wurde ein eigener, an die vorliegenden Daten angepasster, 3-stufiger Filterprozess entwickelt, der wie folgt aufgebaut ist:

Filterstufe 1 - (Räumliche) Lage: Zu aller erst werden alle Fahrten (Tracks) entfernt, welche gänzlich außerhalb der Gemeinde durchgeführt wurden. Die Wahl nicht nur Wege innerhalb der Gemeinde (=Binnenwege) zu wählen, ergibt sich dadurch, dass es in den späteren Auswertungsschritten (Verkehrsstärken an den Dauerzählstellen, Geschwindigkeiten nach Anlageart) keine Rolle mehr spielt, wo die einzelnen Wege starten und enden und dadurch eine größere Datenbasis erhalten werden kann. Mit der ersten Filterstufe blieben daher nur Quell-, Ziel-, Binnen- und Transitwege innerhalb von Wien übrig. Dies erfolgte mithilfe der räumlichen Selektion in ArcGIS, wobei hier die geometrische Form (shape) der Gemeinde mit jener der Tracks verschnitten wird (intersect).

Filterstufe 2 - Duplikate: Im nächsten Schritt werden, mithilfe des ArcGIS Tools „Delete identical“, alle doppelten Tracks identifiziert und gelöscht. Die Tracks werden dabei anhand ihrer geometrischen Form (shape) verglichen und bei gleicher bzw. ähnlicher Form (1-Meter Toleranz) werden alle entsprechenden Tracks bis auf einen gelöscht.

Filterstufe 3 - Ausreißer: Im Zuge dieser Bereinigungsstufe wird auf die effektive Entfernung von allen Ausreißern bei gleichzeitigem Erhalt von möglichst vielen Datensätzen abgezielt. Erreicht werden soll dies durch die möglichst umfassende Entfernung von fehlerbehafteten Daten (bad data). Extremwerte sollen hingegen nur dann bereinigt werden, wenn dies der Gewährleistung der Repräsentativität dient. Mit diesem Filter werden daher all jene Tracks aussortiert, deren Attributwerte nicht innerhalb des definierten bzw. gewünschten Bereichs liegen, wobei die Filtervariablen Fahrdauer, -entfernung und Geschwindigkeit berücksichtigt werden. Die manuellen Grenzwerte wurden dabei, so weit möglich, basierend auf den zuvor zitierten wissenschaftlichen Arbeiten gesetzt. In zwei dieser Studien wurden Tracks mit einer Distanz kleiner 150 m entfernt. In vorliegender Datenbasis sind alle Wege um jeweils 100 m am Anfang und am Ende gekürzt worden, womit indirekt bereits eine untere Grenze von 200 m gesetzt wurde und alle Wege unter 200 m entfernt wurden. Bei der Dauer wurde der Ansatz von Fröhlich & Krumm (2008) verfolgt und eine untere Grenze von 30 Sekunden gesetzt.²⁷⁵ Da Dauer und Distanz sehr stark vom Untersuchungsgebiet abhängig sind (Fläche, Struktur), wurden die oberen Grenzwerte unter anderem mithilfe der österreichweiten Mobilitätserhebung Österreich Unterwegs 2013/2014 (ÖU 13/14) bestimmt. Hierzu wurden die entsprechenden, von der Austriatech zu Verfügung gestellten, anonymisierten Ergebnisdatensätze²⁷⁶ herangezogen und folgend die Dauer und Distanz der mit dem Rad zurückgelegten Binnen-, Quell- und Zielwege in Wien ausgewertet. Für die Bestimmung der Maximalgeschwindigkeit wurden weitere

²⁷⁴ Vgl. Casello, Nour, Rewa, & Hill, 2010, S. 10f

²⁷⁵ Vgl. Froehlich & Krumm, 2008, S. 4

²⁷⁶ Vgl. BMVIT: Anonymisierte Datensätze zu Österreich unterwegs 2013/2014

Publikationen berücksichtigt. Stopher et al. (2005) gehen in ihrer Arbeit, die sich unter anderem mit der Mode detection befasst, davon aus, dass Durchschnittsgeschwindigkeiten von bis zu 40 km/h (11,1 m/s) dem Rad zuzuordnen sind, wenn sie nicht bereits dem ÖV zugeordnet werden konnten (ausgenommen in staugeprägten Gebieten).²⁷⁷ In der Arbeit von Segadilha & da Penha Sanches (2014) wurden mittels GPS erfasste Pendlerstrecken von RadfahrerInnen analysiert. Die maximale Durchschnittsgeschwindigkeit lag hier bei 31,7 km/h (8,8 m/s).²⁷⁸ El-Geneidy et al. (2007) haben in ihrer Arbeit, die das Vorhersagen von Radfahrgeschwindigkeiten auf verschiedenen Arten von Radfahranlagen unter Verwendung von GPS-Daten behandelt, maximale Geschwindigkeiten von umgerechnet 33,37 km/h (9,27 m/s) erfasst.²⁷⁹ Bei der videounterstützten Erfassung bzw. Analyse von RadfahrerInnen auf einem Radweg in Denver, Colorado haben Khan & Raksuntorn (2001) Geschwindigkeiten von 17,2 bis 35,9 km/h (4,78 bis 10 m/s) gemessen.²⁸⁰ Auf Basis der oben genannten Werte und der Annahme, dass die Durchschnittsgeschwindigkeit von verschiedenen Faktoren, wie Verkehrsorganisation (Anlageart, VLSA), Fahrbahnoberfläche, Raumstruktur oder Wetter abhängig sein kann, wurde die maximale Durchschnittsgeschwindigkeit in vorliegender Arbeit auf 36 km/h (10 m/s) gesetzt. Dadurch sollen auch Wege berücksichtigt werden, die unter optimalen Bedingungen bzw. ohne jegliche Störungseinflüsse zurückgelegt wurden. Die minimale Geschwindigkeit wurde dagegen auf 3,6 km/h (1 m/s) gesetzt, um etwaige Ausreißer herauszufiltern. Die oberen Grenzwerte für die Distanz und die Dauer wurden mithilfe von Erhebungen definiert. Herangezogen wurde die Radverkehrserhebung Wien aus dem Jahr 2010, wo die Wegelängen auf Basis einer Haushaltsbefragung erhoben wurden. Dabei wurden Wege bis 50 km erfasst.²⁸¹ Mit einer 50 km-Grenze werden auch 99,9 % der (hochgerechneten) Wege laut ÖU 13/14 berücksichtigt, womit lediglich zwei Einzelwege (ohne Hochrechnung) mit 51 und 55 km unberücksichtigt bleiben.²⁸² Als obere Grenze für die Distanz wurden daher 50 km gewählt. In der zuvor gefilterten Datenbasis (Filterstufe 1&2) sind 82 Tracks (rd. 2 ‰ der Rohdaten) außerhalb dieser Grenze und wurden daher aussortiert. Betrachtet man die 82 Tracks mit den höchsten Werten hinsichtlich der Dauer, erhält man einen Grenzwert von 150,73 min. Im Folgenden werden daher alle Wege über 150 min entfernt, was genau 2 ½ Stunden entspricht. Somit ergeben sich folgende Grenzwerte für die 3. Filterstufe:

Tabelle 5: Grenzwerte 3. Filterstufe

	Distanz [km]	Dauer [min]	Geschwindigkeit [km/h]
Untere Grenze	0,2*	0,5	3,6
Obere Grenze	50,0	150,0	36,0

* Bedingung bereits durch Rohdaten erfüllt

²⁷⁷ Vgl. Stopher, Jiang, & Fitzgerald, 2005, S. 13

²⁷⁸ Vgl. Segadilha & da Penha Sanches, 2014, S. 201

²⁷⁹ Vgl. El-Geneidy, Krizek, & Iacono, 2007, S. 8

²⁸⁰ Vgl. Khan & Raksuntorn, 2001, zitiert nach: El-Geneidy, Krizek, & Iacono, 2007, S. 3

²⁸¹ Vgl. Snizek + Partner Verkehrsplanung, 2011, S. 27

²⁸² Eigene Berechnung auf Basis BMVIT: Anonymisierte Datensätze zu Österreich unterwegs 2013/2014

Durch diese immer noch hohen Werte werden auch untypische Wege (meist Freizeitwege) berücksichtigt, die laut Erhebungen jedoch plausibel erscheinen. Ziel der Bereinigung war es, so viele Wege wie möglich zu behalten und nur fehlerhafte Daten zu entfernen. Dies sollte hiermit erfüllt sein. Für die Filterung bieten sich, wie schon erwähnt, die Variablen laut Bike Citizens und jene laut GIS an. Im Fall der Distanz bzw. Dauer besteht jedoch ein großer Zusammenhang zwischen den beiden Datenquellen und es sollte daher generell reichen, den Filter auf eine Variable anzuwenden. Da sich bei der Korrelation der Distanzen bzw. der Dauer im vorigen Kapitel jedoch zeigte, dass ungewöhnliche Werte, die entfernt werden sollen, nur bei den BC-Daten zu finden sind, werden die Filter im Folgenden auf diese angewendet. Bei der Geschwindigkeit besteht lediglich ein geringer Zusammenhang zwischen den beiden Quellen. Da sowohl die BC-Daten als auch die GIS-Daten ungewöhnliche Werte aufweisen, gelten die Grenzwerte für beide Variablen.

5.1 Filterstufe 1&2

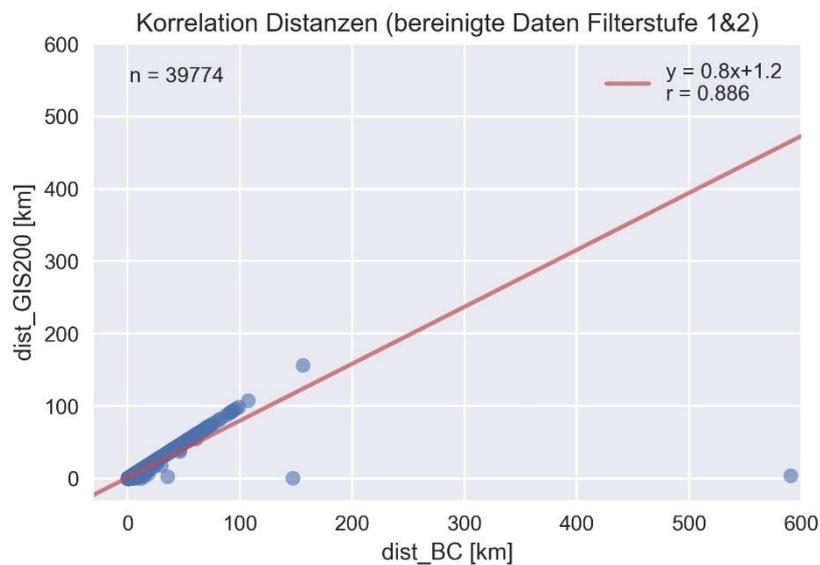
Die Entfernung aller Wege, die gänzlich außerhalb Wiens zurückgelegt wurden, reduzierte die Datenbasis mit den Tracks auf 39.845 Datensätze. Durch das Herausfiltern doppelter Datensätze wurden weitere 71 Datensätze gelöscht, womit die Datenbasis nun 39.774 Datensätze umfasst. Mit diesem Filter wurden gleichzeitig auch alle Tracks entfernt, die, wie bereits erwähnt, keine Geographie (Länge: 0 m) aufweisen. Folgende Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Wertebereiche der Variablen.

Tabelle 6: Statistische Kennwerte der mit Filterstufe 1&2 bereinigten Daten

	dist_BC [km]	dist_GIS200 [km]	dur_BC [min]	dur_GIS200 [min]	v_BC [km/h]	v_GIS [km/h]
Mittelwert	5,71	5,68	21,87	19,37	15,81	22,72
Standard- Abweichung	6,55	5,81	20,80	18,47	38,93	82,26
Minimum	0,20	0,21	0,18	0,02	0,26	0,64
25 %-Perzentil	2,20	2,17	9,17	7,50	12,69	14,78
50 %-Perzentil	4,21	4,19	17,08	14,76	15,00	17,30
75 %-Perzentil	7,38	7,37	28,38	25,54	17,50	20,06
Maximum	590,31	156,40	1.150,6	340,09	6.228,80	8.892,80

Im Gegensatz zu den Rohdaten haben sich die Werte für Dauer und Distanz nur geringfügig verändert. Wie die Tabelle zeigt, enthält die Datenbasis immer noch extreme Ausreißer, die unrealistisch sind und sich wahrscheinlich durch GPS- oder Datenfehler begründen lassen. So liegt die maximale Geschwindigkeit laut Bike Citizens bei über 6.200 km/h, laut GIS gibt es sogar einen Track mit knapp 9.000 km/h. Auch der bereits gezeigte Datensatz mit einer Distanz von 590 km befindet sich immer noch in der Datenbasis. Wie stark sich die beiden Filterschritte auf die Distanzwerte auswirken, soll genauer mithilfe einer weiteren Korrelation in Abbildung 11 untersucht werden.

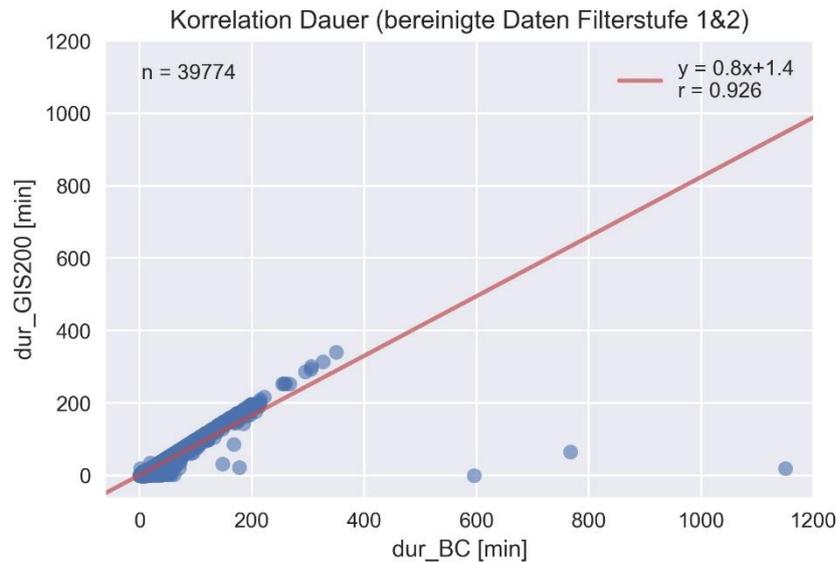
Abbildung 11: Korrelation der Distanzen (bereinigte Daten Filterstufe 1&2)



Auf den ersten Blick gibt es keinen Unterschied zu den Rohdaten. Die Berechnung des Korrelationskoeffizient r ergibt einen Wert von 0,886. Obwohl der Wert damit überraschenderweise etwas geringer als bei den Rohdaten ausfällt (0,886 statt 0,895), ist immer noch eine sehr deutliche Korrelation zwischen den Distanzwerten zu erkennen. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass Ausreißer den Korrelationskoeffizienten künstlich erhöhen bzw. senken können. Diese haben ebenso Einfluss auf die Regressionsgeraden, welche eigentlich einen Steigungsfaktor von ca. 1 aufweisen sollte.

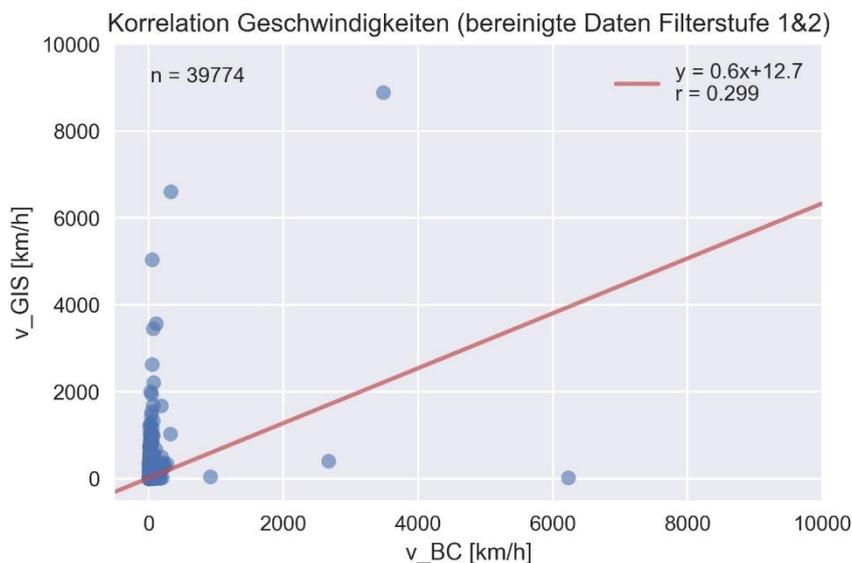
Der Datenpunkt in der rechten unteren Ecke ist als Datenfehler einzustufen. Auffällig sind hier vor allem die deutlich unterschiedlichen Werte zwischen den beiden Variablen. Ähnlich der Datenpunkt auf gleicher Höhe der X-Achse bei $\text{dist_BC} \sim 150$ km. Anders ist die Situation hingegen beim Datenpunkt am oberen Ende der Gerade bei $\text{dist_BC} \sim 160$ km, welcher zwar heraussticht, aber bedingt durch die doch realistische Größenordnung und die Übereinstimmung beider Variablen, als Extremwert gehandelt werden kann. Auch die Wegedauer soll im Folgenden einer näheren Analyse unterzogen werden (siehe Abbildung 12).

Abbildung 12: Korrelation der Dauer (bereinigte Daten Filterstufe 1&2)



Ähnlich den Distanzwerten, lässt sich hier ein deutlicher Zusammenhang erkennen, der sich durch einen Korrelationskoeffizienten r von 0,926 bestätigen lässt. Die erkennbaren extremen Ausreißer wurden bereits bei den Rohdaten festgestellt und konnten in diesem Schritt offensichtlich noch nicht aussortiert werden. Beim Vergleich der Bike Citizens-Daten und der GIS Daten in Tabelle 6 sticht besonders die Geschwindigkeit heraus: Die Werte laut BC sind weniger gestreut, als jene die mithilfe von GIS berechnet wurden. Dies sagt aber noch nichts über die Plausibilität oder Richtigkeit der Werte aus. Obwohl wenig gestreut, können die Werte natürlich auch ungenau bzw. falsch sein. Folgende Abbildung 13 soll daher der näheren Analyse der beiden Variablen dienen.

Abbildung 13: Korrelation der Geschwindigkeiten (bereinigte Daten Filterstufe 1&2)



Es ist deutlich erkennbar, dass, im Gegensatz zu den Dauer- und Distanzwerten, keine (beinahe) 1:1-Beziehung vorliegt. Die Steigung der Gerade wird vor allem durch die starken Ausreißer beeinflusst, die bedingt durch die unrealistisch hohen Werte als

Datenfehler einzustufen sind. Der Korrelationskoeffizient liegt bei lediglich 0,299. Eine Korrelation zwischen den beiden Variablen ist also nicht feststellbar, wobei natürlich auch hier wieder der Einfluss der Ausreißer berücksichtigt werden muss.

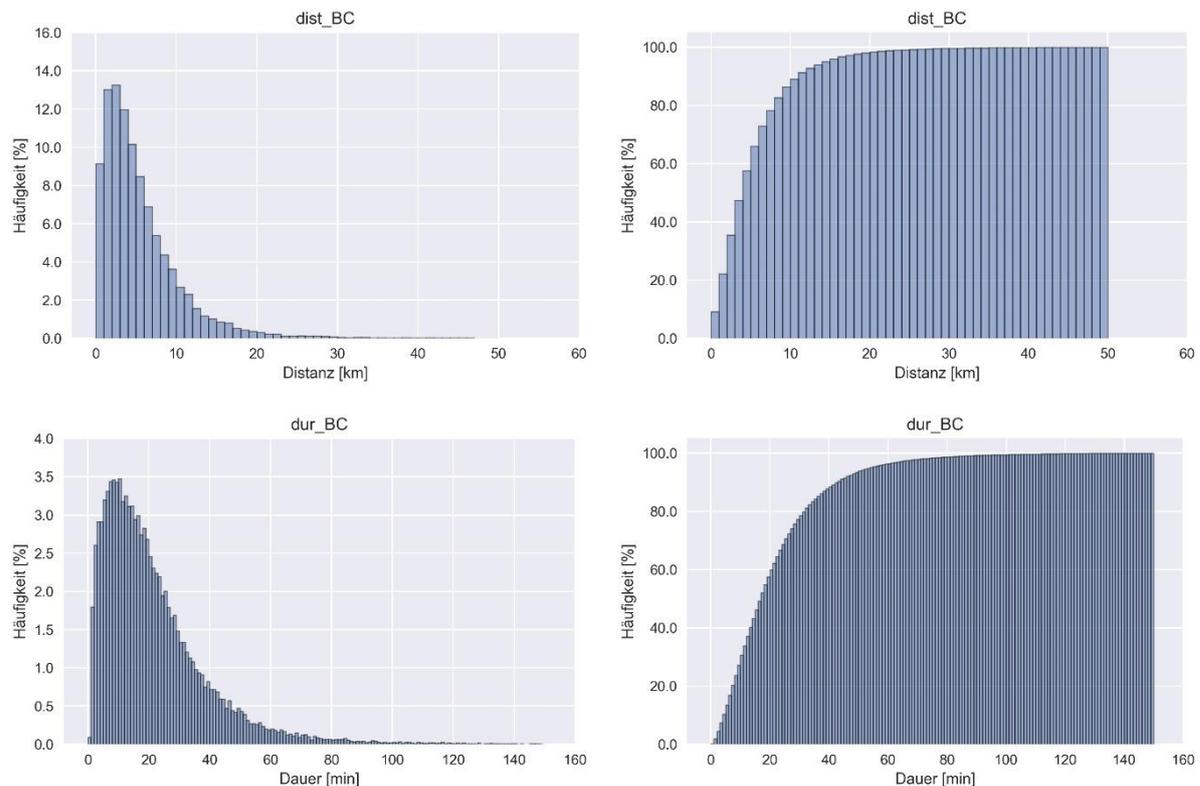
5.2 Filterstufe 3

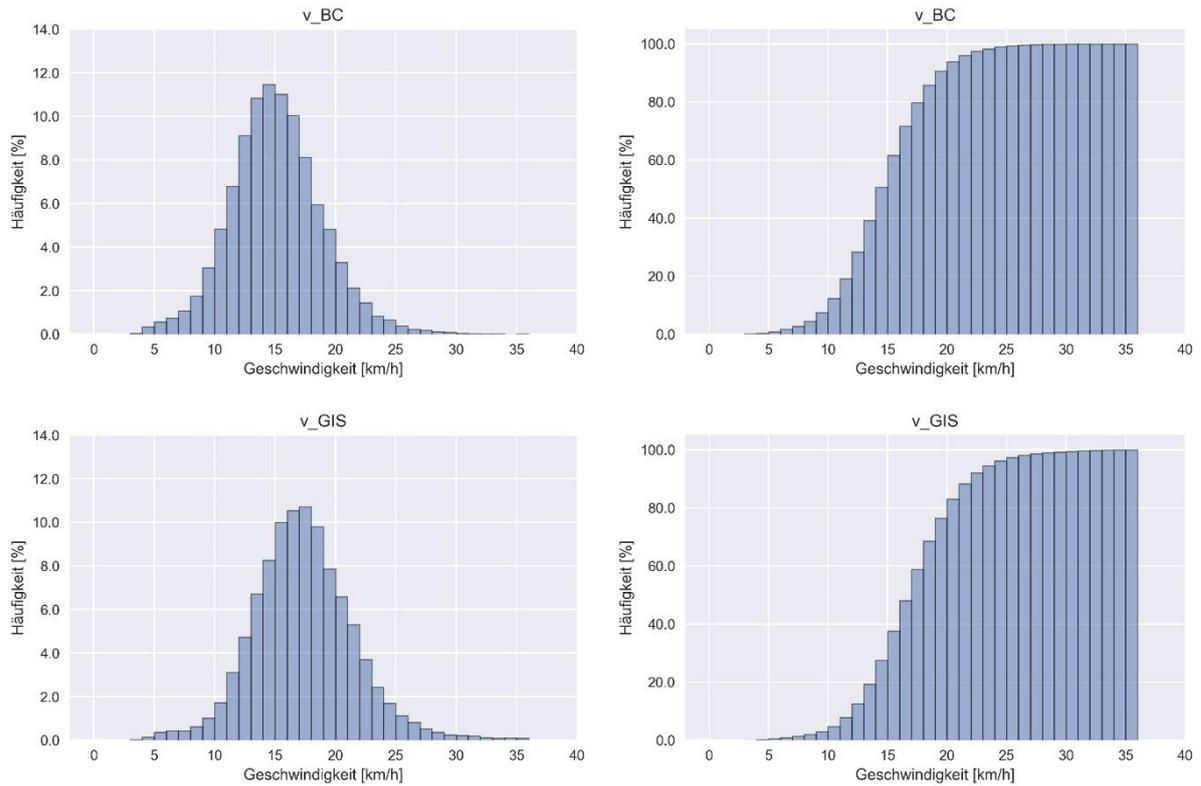
Die Datenbasis umfasst nach allen drei Bereinigungsverfahren 38.657 Datensätze, was 91,27 % der ursprünglichen Rohdaten entspricht. Die Statistik der Werte kann der folgenden Tabelle 7 und der folgenden Abbildung 14 mit den Häufigkeitsverteilungen und Summenkurven (1 Säule entspricht 1 km bzw. 1 min bzw. 1 km/h) entnommen werden.

Tabelle 7: Statistische Kennwerte der bereinigten Daten Filterstufe 3

	dist_BC [km]	dist_GIS200 [km]	dur_BC [min]	dur_GIS200 [min]	v_BC [km/h]	v_GIS [km/h]
Mittelwert	5,57	5,56	21,63	19,37	15,11	17,37
Standard- Abweichung	5,00	5,01	17,61	16,61	3,79	4,15
Minimum	0,20	0,20	0,53	0,39	3,63	3,63
25 %	2,22	2,21	9,37	7,91	12,66	14,70
50 %	4,24	4,22	17,28	15,08	14,94	17,18
75 %	7,38	7,37	28,53	25,77	17,38	19,80
Maximum	49,52	49,59	148,93	147,42	36,00	35,98

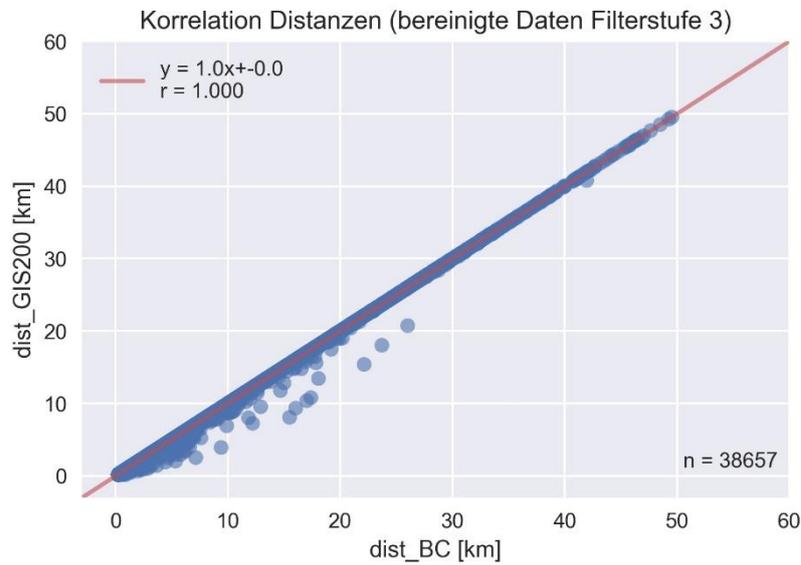
Abbildung 14: Häufigkeitsverteilung und Summenhäufigkeit der bereinigten Variablen in Filterstufe 3





Bei der Korrelation der Distanzwerte zeichnet sich ein klares Bild ab (siehe Abbildung 15)

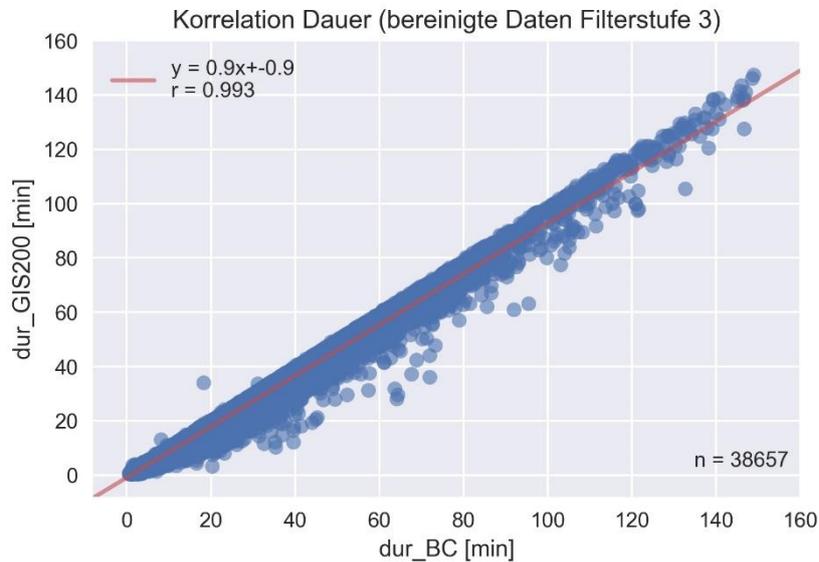
Abbildung 15: Korrelation der Distanzen (bereinigte Daten Filterstufe 3)



Zwischen den Werten besteht ein deutlicher Zusammenhang, der sich durch einen Korrelationskoeffizienten r von 1,0 bestätigen lässt. Es ist lediglich eine sehr geringe Streuung im unteren Distanzbereich erkennbar. Die Steigung der Geraden liegt, wie zu erwarten gewesen wäre, bei 1. Für die Berechnung der Distanzwerte sind daher beide Variablen gleichermaßen geeignet. Es sollten somit auch keine Ausreißer mehr

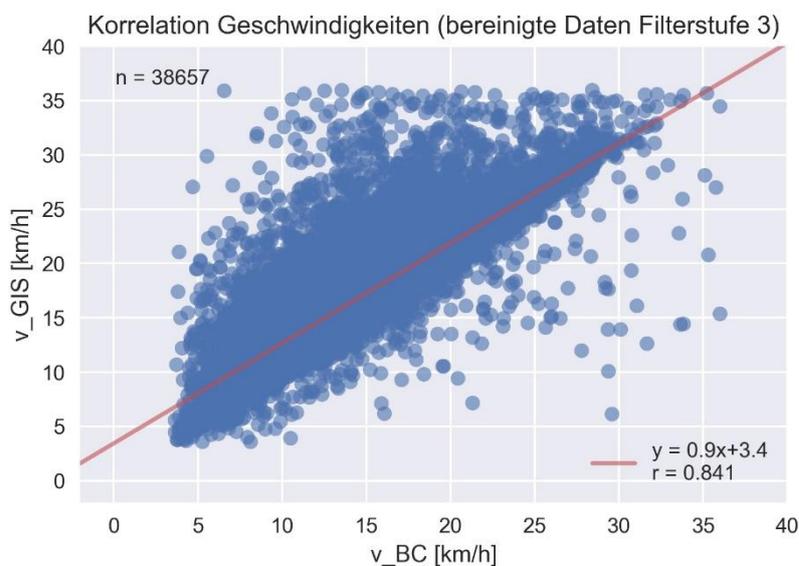
vorhanden sein. Die Gegenüberstellung der Werte der Dauer in Abbildung 16 zeigt ein ähnliches Ergebnis.

Abbildung 16: Korrelation der Dauer (bereinigte Daten Filterstufe 3)



Auch hier besteht ein sehr deutlicher Zusammenhang der beiden Variablen, beschrieben durch einen Korrelationskoeffizienten r von 0,993. Auch hier weist die Gerade einen fast perfekten Steigungsfaktor von 1 auf, wobei die GIS Werte etwas unter bzw. die BC-Werte etwas über der Erwartung liegt. Deutlich anders sieht die Situation bei der Gegenüberstellung der Geschwindigkeitswerte aus, wie folgende Abbildung 17 zeigt.

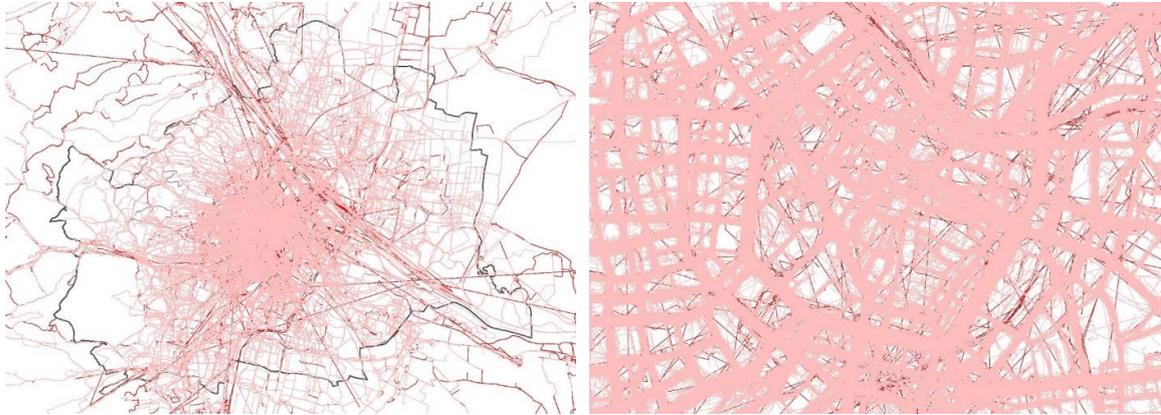
Abbildung 17: Korrelation der Geschwindigkeiten (bereinigte Daten Filterstufe 3)



Zwar besteht mit einem Korrelationskoeffizienten r von 0,841 immer noch ein starker Zusammenhang zwischen den beiden Variablen, es liegt aber auch eine deutliche Streuung der Werte vor. Zu erkennen ist die fast perfekte Geradensteigung, mit BC-Werten etwas unter bzw. GIS-Werten etwas über den Erwartungen, wobei die deutliche Verschiebung der Geraden entlang der Y-Achse (+ 3,4) anzumerken ist.

Die folgende Abbildung 18 stellt die Rohdaten und die bereinigten Daten der Tracks in Wien gegenüber. Die dunkelroten Tracks beschreiben dabei die Rohdaten, die hellroten Tracks die bereinigten Daten.

Abbildung 18: Gegenüberstellung der Rohdaten (dunkelrot) und bereinigten Daten (hellrot) nach drei Filterstufen²⁸³



Gut zu erkennen ist hier vor allem, dass mit den Filterstufen viele geradlinige Tracks, also Tracks mit GPS-Fehlern, entfernt wurden. Anhand der statistischen Beschreibung und der visuellen Betrachtung der Daten wurde die vorliegende Datenbasis als ausreichend bereinigt angesehen, wodurch diese nun weiter verarbeitet werden kann. Folgende Tabelle 8 zeigt zusammenfassend, wie sich die Filterstufen auf die Anzahl der Tracks (n_T) ausgewirkt haben.

Tabelle 8: Auswirkungen der Filterstufen auf die Anzahl der Tracks

	Anzahl Tracks (n_T)	Anteil an Rohdaten [%]
Rohdaten	42.354	100,0
Filterstufe 1	39.845	94,1
Filterstufe 2	39.774	93,9
Filterstufe 3	38.657	91,3

²⁸³ Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Stadt Wien – MA 41: Bezirksgrenzen Wien (OGD); Stadt Wien – MA 41: Landesgrenzen Wien (OGD)

6 Datenanalyse

Die 38.657 Tracks, die nach den drei Bereinigungsstufen übergeblieben sind, wirken im ersten Moment sehr umfangreich. Bricht man alle Tracks auf die Anzahl der Tage im Jahr 2015 herunter, ergibt dies jedoch nur eine durchschnittliche tägliche Wegeanzahl von 106 im ganzen Wiener Radverkehrsnetz. Um zu überprüfen, wie gut diese Daten den Radverkehr in Wien abbilden, werden diese in den folgenden Unterkapiteln hinsichtlich klassischer Mobilitätskennziffern und der räumlichen Verteilung analysiert und dabei mit ausgewählten Quellen (Erhebungen, Zählstellen) verglichen. Dadurch soll überprüft werden, wie repräsentativ die Daten sind und wie gut sich diese Daten generell für die Anwendung in der Verkehrsplanung eignen würden.

6.1 Mobilitätskennzahlen

Hierfür werden die Daten aus den verschiedenen Quellen hinsichtlich klassischer Mobilitätskennzahlen, wie Wegelänge, Wochenganglinie und Beginnzeiten, analysiert, um erste Aussagen betreffend die Unterschiede der Daten von Bike Citizens und anderen Quellen zu bestimmen. Die Möglichkeit zur Auswertung der Daten ist durch den Informationsgehalt der Bike Citizens-Daten limitiert. So ist es z.B. nicht möglich, den Wegezweck oder die Wegeanzahl zu bestimmen.

6.1.1 Wegelängenverteilung

Eine der klassischen Kennzahl im Verkehrswesen ist die Wegelänge, die stark vom benutzten Verkehrsmittel abhängt. Über alle Verkehrsmittel und alle Wochentage lag die durchschnittliche Wegelänge in Wien lt. ÖU 13/14 bei 11,7 km²⁸⁴. Für den Radverkehr ergab die Auswertung der ÖU 13/14 Daten eine durchschnittliche Wegelänge von 4,1 km. Berücksichtigt wurden dabei alle Binnen-, Quell- und Zielwege in Wien, die ausschließlich mit dem Fahrrad zurückgelegt wurden.²⁸⁵ Laut einer repräsentativen Haushaltsbefragung, die 2009 in Wien durchgeführt wurde, waren die Radwege durchschnittlich 4,5 km lang²⁸⁶, und damit geringfügig höher als bei der Erhebung 2013/2014. Bei den bereinigten BC-Daten lag die durchschnittliche Wegelänge bei 5,6 km. Wege mit größeren Entfernungen scheinen hier also deutlich überrepräsentiert zu sein. Würde man lediglich die Wege innerhalb von Wien berücksichtigen (Binnenwege), ergäbe dies eine durchschnittliche Wegelänge von 5,0 km (n=36.568). Die Verteilung der Wegelängen aller drei Quellen kann der nachfolgenden Abbildung 19 entnommen werden. Die Distanzklassen wurden entsprechend der Auswertung im Ergebnisbericht Radverkehrserhebung Wien 2010 (RveW) übernommen.²⁸⁷ Wie bereits vorher erwähnt, beinhalten die ÖU 13/14 Daten auch zwei einzelne Radwege mit über 50 km

²⁸⁴ Vgl. Tomschy, et al., 2016, Anhang C - Teil 1 - Seite 53

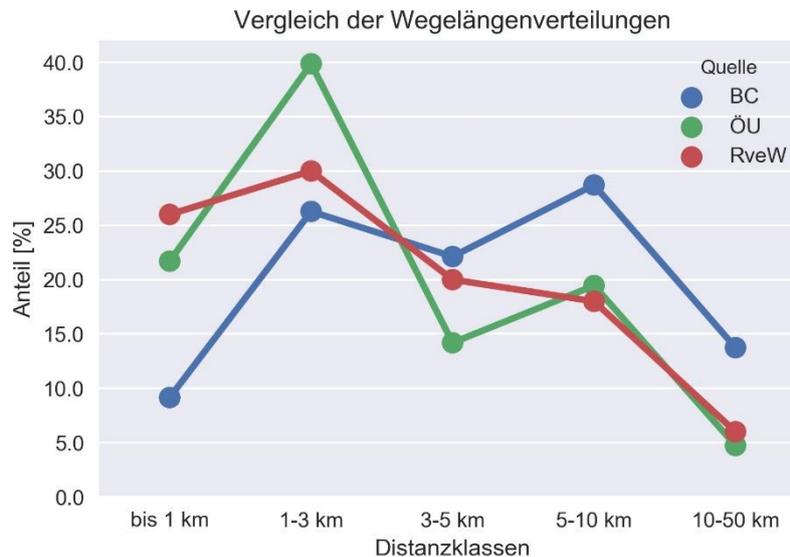
²⁸⁵ Eigene Berechnung auf Basis BMVIT: Anonymisierte Datensätze zu Österreich unterwegs 2013/2014

²⁸⁶ Vgl. SOCIALDATA, 2010, zitiert nach: Snizek + Partner Verkehrsplanung, 2011, S. 27

²⁸⁷ Vgl. ebd.

(hochgerechnet 112 Wege). Diese sind hier nicht abgebildet, machen jedoch unter 1 Promille aller Wege aus (nÖU-hochgerechnet = 163.010).²⁸⁸

Abbildung 19: Vergleich der Wegelängenverteilungen²⁸⁹



Die beiden Vergleichserhebungen weisen einen ähnlichen, mit zunehmender Entfernung eher abfallenden, Verlauf der Wegelängenverteilung auf. Die meisten Wege sind jeweils in der 1-3 km Klasse zu finden, wobei die ÖU-Daten hier mit fast 40 % einen deutlich höheren Anteil aufweisen. Bei den Bike Citizens Werten sticht der hohe Anteil der 5 bis 10 km Wege heraus. Die Verteilung der Wegelängen ist hier grundsätzlich gegenläufig zu jenen der Erhebungen. Auffällig ist auch der ähnliche Verlauf der Kurven von Bike Citizens und ÖU 13/14, wenn die Distanzklassen einzeln betrachtet werden. In den ersten beiden Klassen liegt die Kurve von Bike Citizens rund 10 bis 15 Prozentpunkt unter jener, in den anderen drei Klassen rund 10 Prozentpunkte über jener von Österreich unterwegs.

Wie ergibt sich also die Unterrepräsentanz von kurzen Wegen und die Überrepräsentanz von langen Wegen bei den BC-Daten? Eine mögliche Erklärung ist die Abhängigkeit der Routenplanung von der zurückzulegenden Distanz. Es ist anzunehmen, dass mit zunehmender Nähe von Quelle und Ziel einerseits der Bedarf für eine Routenplanung und andererseits der relative Aufwand für die Einrichtung der App und Berechnung der Route steigt, weshalb die Radroutenplanung tendenziell eher bei längeren Wegen genutzt wird.

6.1.2 Wege nach Wochentagstyp

Das Mobilitätsverhalten von Personen ist von verschiedenen Faktoren abhängig, u.a. auch vom Wochenverlauf. Im Verkehrswesen wird daher oft zwischen Werktagen, Samstagen sowie Sonn- und Feiertagen unterschieden. Einerseits werden unter der Woche mehr Wege als an Samstagen und Sonn- und Feiertagen zurückgelegt, andererseits

²⁸⁸ Eigene Berechnung auf Basis BMVIT: Anonymisierte Datensätze zu Österreich unterwegs 2013/2014

²⁸⁹ Eigene Berechnung und Darstellung; Datengrundlage: Bike Citizens: Erfasste Radwege in Wien 2015; BMVIT: Anonymisierte Datensätze zu Österreich unterwegs 2013/2014; SOCIALDATA, 2010, zitiert nach: Snizek + Partner Verkehrsplanung, 2011, S. 27

unterscheiden sich diese in den Wegezwecken: Dominieren unter der Woche vor allem Wege zur/von der Arbeit oder der Ausbildungsstätte, so sind es an Wochenenden eher Freizeitwege bzw. an Samstagen auch vermehrt Einkaufswege (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Anteile ausgewählter Wegewecke an den Gesamtwegen in Wien nach Tagtyp²⁹⁰

Zweck	Werktag [%]	Samstag [%]	Sonn- und Feiertage [%]
Arbeit, Schule/Ausbildung (inkl. dienstlich, geschäftlich)	39,2	8,2	5,0
Einkaufen	17,9	34,1	4,6
Freizeit	15,5	30,2	52,8

Da die Wegezwecke über Bike Citizens jedoch nicht erfasst werden können, soll dies indirekt mithilfe der Wochentagstypen analysiert werden (siehe Abbildung 20).

Abbildung 20: Verteilung der Wege nach Wochentagstyp²⁹¹



Interessanterweise weisen die Daten beider Quellen eine ähnliche Verteilung auf. Sowohl laut Bike Citizens als auch laut Österreich Unterwegs werden rund 75 % der Wege unter der Woche zurückgelegt. Lediglich die Anteile an Samstagen und Sonn- und Feiertagen mit 10 % bzw. 15 % sind „verdreht“. Die Bike Citizens-Daten sind, bezogen auf den Wochentagstyp, also sehr repräsentativ, womit angenommen werden kann, dass auch die Alltagswege (Arbeit, Ausbildung) und Freizeitwege ähnlich verteilt sind.

6.1.3 Beginnzeiten der Wege

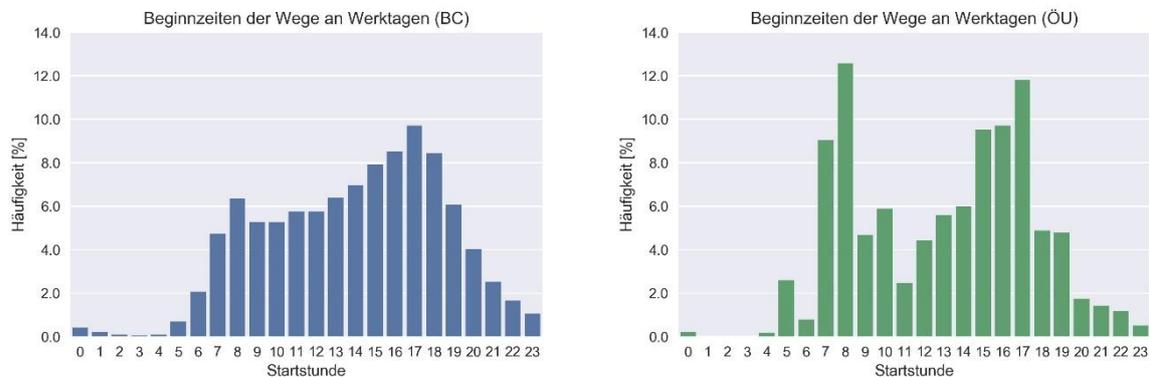
Neben dem Wochentag sind Wege auch von der Tageszeit abhängig. Tagesganglinien stellen die Häufigkeit der Wege im Tagesverlauf dar und klassische Tagesganglinien

²⁹⁰ Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung, Datengrundlage: Tomschy, et al., 2016, Anhang C - Teil 1 - Seite 10;35;40

²⁹¹ Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung, Datengrundlage: Bike Citizens: Erfasste Radwege in Wien 2015; BMVIT: Anonymisierte Datensätze zu Österreich unterwegs 2013/2014

zeichnen sich durch starke Früh- und Abendspitzen aus, die sich durch Arbeits- und Ausbildungswege ergeben. In folgender Abbildung 21 werden daher die Beginnzeiten werktäglicher Radwege von Bike Citizens und Österreich unterwegs gegenübergestellt.

Abbildung 21: Beginnzeiten der Wege an Werktagen (ÖU und BC getrennt)²⁹²



Bei den Österreich unterwegs Daten sind die erwähnten Spitzen deutlich erkennbar. Die meisten Wege sind in der Stunde von 08:00 bis 08:59 erfasst worden. Knapp dahinter liegt die Stunde von 17:00 bis 17:59. Ungewöhnlich und nicht direkt erklärbar ist die kleine Spitze von 5:00 bis 5:59 Uhr. Die Bike Citizens-Daten weisen eine deutliche Abendspitze auf, die jener der ÖU-Daten ähnelt, auch wenn diese nicht so stark ausgeprägt ist. Eine richtige Morgenspitze ist jedoch nicht zu erkennen. Mit Ausnahme der 9. Stunde (08:00 bis 08:59) zeichnet sich die Tagesganglinie der BC-Daten durch eine stetige Zunahme bis zur 18. Stunde (17:00 bis 17:59) aus, die dann wieder kontinuierlich abnimmt. Zum besseren Vergleich sind in Abbildung 22 die Daten direkt gegenübergestellt.

Abbildung 22: Beginnzeiten der Wege an Werktagen²⁹³



²⁹² Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung; Datengrundlage: Bike Citizens: Erfasste Radwege in Wien 2015; BMVIT: Anonymisierte Datensätze zu Österreich unterwegs 2013/2014

²⁹³ Quelle: Eigene Berechnung & Darstellung; Datengrundlage: Bike Citizens: Erfasste Radwege in Wien 2015; BMVIT: Anonymisierte Datensätze zu Österreich unterwegs 2013/2014

Gut zu erkennen ist, dass die Kurven nicht völlig unterschiedlich verlaufen und sogar ähnliche Tendenzen aufweisen. Vor allem in den Morgenstunden, aber auch abends und zur Mittagszeit, liegen jedoch deutliche Unterschiede vor.

Wie lassen sich also die vergleichsweise wenigen BC-Wege in den Morgenstunden erklären? Laut Österreich unterwegs sind rund 60 % aller begonnen werktäglichen Radwege in Wien zwischen 07:00 und 08:59 Arbeitswege²⁹⁴ und es ist annehmbar, dass bei den BC-Wege eine ähnliche Verteilung vorliegt. Morgendliche Wege in die Arbeit unterliegen einem gewissen Zeitdruck und sind daher durch Stress, aber ebenso Müdigkeit gekennzeichnet. Es wird daher eher auf schon bekannte Routen zurückgegriffen, anstatt sich neue Routen berechnen und anzeigen zu lassen. Am Rückweg von der Arbeit scheinen die RadfahrerInnen mehr Zeit zur Verfügung und auch mehr Interesse daran zu haben, die Routenplanung zu verwenden. Dazu kommt, dass unter der Woche abends/spätabends auch mehr Freizeitwege zurückgelegt werden, die generell weniger zeitempfindlich sind (rund 30 % zwischen 18:00 und 19:59 und rund 66 % zwischen 20:00 und 21:59). Die Mittagszeit (11:00-12:59) ist laut ÖU vor allem durch Einkaufswege (rund 34 %) gekennzeichnet²⁹⁵. Wie die abendlichen Wege, sind auch diese begrenzt unabhängig von der Zeit, womit sich die Routenplanung auch hier anbietet.

6.2 Räumliche Verteilung

Mit den üblichen Methoden kann der Verkehr nur punktuell gemessen (Zählstellen) oder mit großem Aufwand erhoben werden (Befragungen). Modellrechnungen bilden zwar die Belastung im gesamten Netz ab, sind aber ebenso mit großem Aufwand verbunden und stellen dabei nur ein Abbild der Wirklichkeit dar. Üblicherweise werden auch überhaupt nur Modelle für MIV und ÖV erstellt. Im Falle von Rad-Modellen ist oft noch mit Unsicherheiten und Ungenauigkeiten zu kämpfen. Mit der Erfassung von GPS-Bewegungsdaten können die realen Bewegungen analysiert und fehlende Verbindungen lokalisiert werden, um gezielt bestehende Radanlagen auszubauen oder neue Radanlagen zu schaffen. Daher wird einerseits die Verkehrsnachfrage zwischen den Wiener Gemeindebezirken sowie dem Umland bestimmt. Andererseits werden die Verkehrsstärken an den Zählstellen ermittelt und den erhobenen Werten gegenübergestellt, um die generelle Verteilung der Wege im Verkehrsnetz zu untersuchen.

6.2.1 Radverkehrsströme

Die grobe Verteilung der zurückgelegten Radwege in Wiener Stadtgebiet kann über die Verkehrsströme zwischen den Gemeindebezirken erfasst werden. Um zu bestimmen, in welchen Bezirken die Tracks beginnen oder enden, wurde eine SQL-Query definiert (siehe Anhang 2). Dabei wurden mithilfe einer PostgreSQL Datenbank und der Erweiterung PostGIS, Abfragen durchgeführt. Auf eine Abfrage innerhalb von ArcGIS wurde, bedingt durch bereits genannte Probleme mit der Datengröße, verzichtet. Die SQL-Abfrage

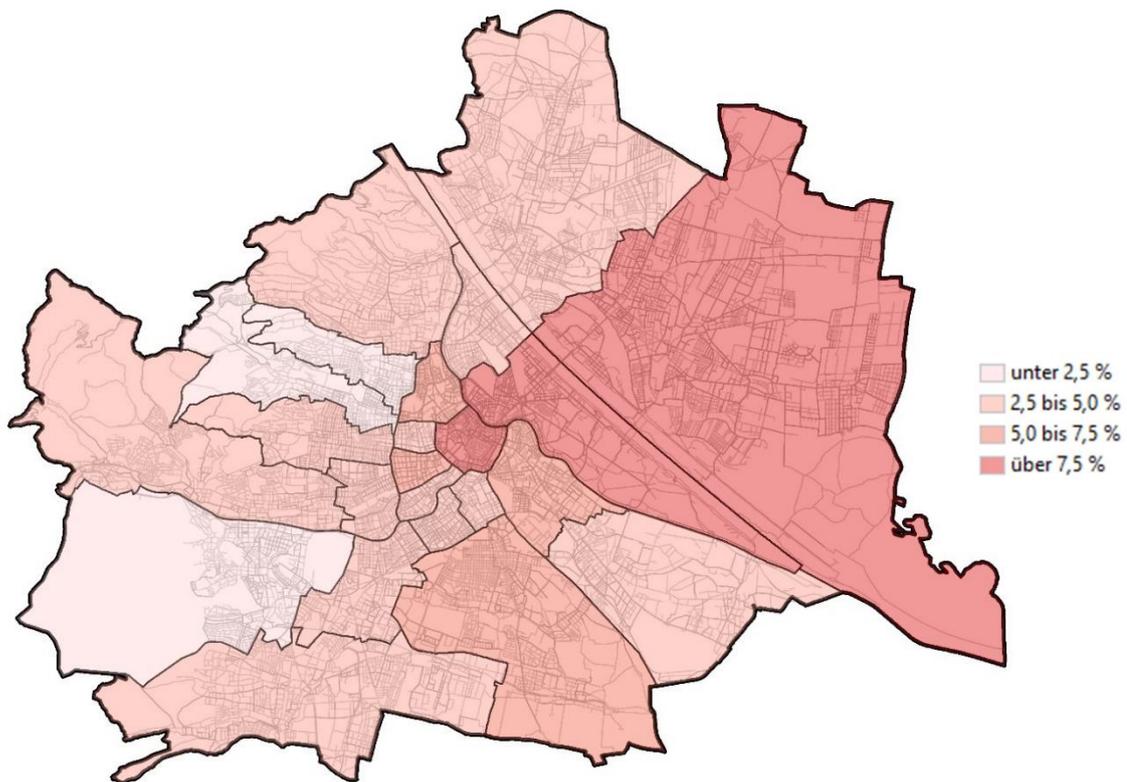
²⁹⁴ Eigene Berechnungen auf Basis BMVIT: Anonymisierte Datensätze zu Österreich unterwegs 2013/2014

²⁹⁵ Eigene Berechnungen auf Basis BMVIT: Anonymisierte Datensätze zu Österreich unterwegs 2013/2014

bestimmt die Anfangs- und Endpunkte jeden Tracks und verschneidet diese mit der geometrischen Form der Wiener Gemeindebezirke, womit als Ergebnis der Start- bzw. Zielbezirk jedes Tracks ausgegeben wird.

Abbildung 23 zeigt den Anteil der beginnenden bzw. endenden Wege je Bezirk (jeweils inkl. Binnenwege), in Bezug auf alle erfassten und bereinigten Wege.

Abbildung 23: Verteilung der Wege in Wien (Quell- bzw. Zielverkehre)²⁹⁶



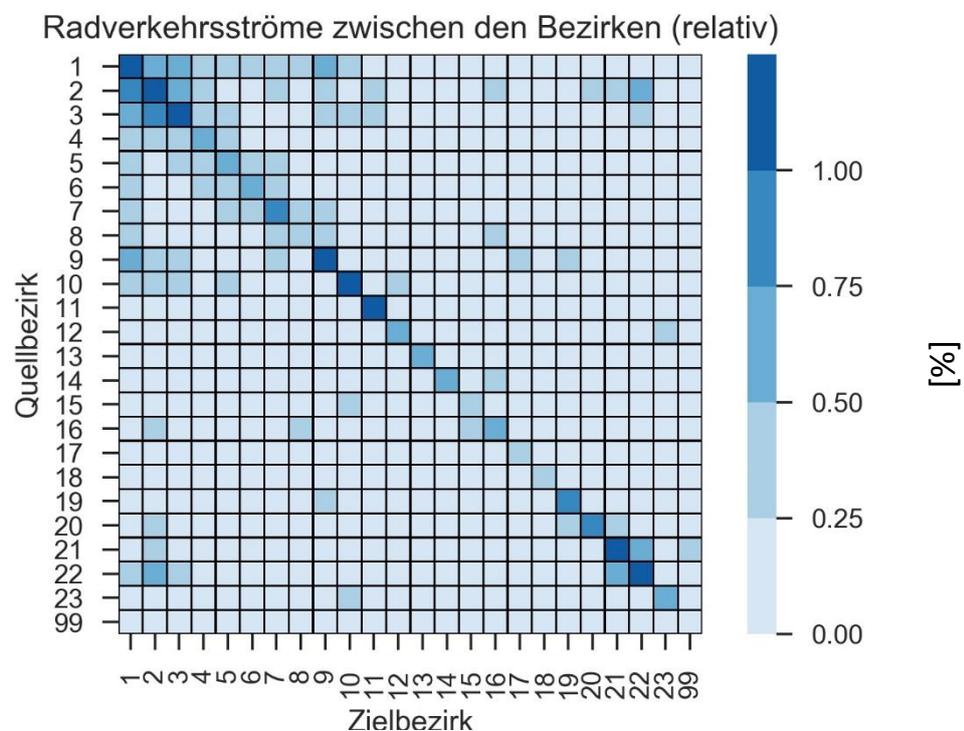
Die meisten Personen fahren innerhalb und in den/vom 1., 2., und 22. Bezirk, die wenigsten hingegen innerhalb und in den/vom 13., 17., und 18. Bezirk. Dies lässt sich unter anderem durch die Tatsache erklären, dass der 22. Bezirk die zweitmeisten EinwohnerInnen und die fünftmeisten Beschäftigten aufweist und sich weiters durch viele Freiflächen (Grünflächen/Donau) auszeichnet, was auf viele Freizeitwege schließen lassen würde. Des Weiteren liegt der Radverkehrsanteil von Donaustadt (7 bis 10 %) über dem Wien-weiten Schnitt von 7 % (siehe Kapitel 2.2). Der 2. Bezirk, der mit Donaukanal und Prater viel Potenzial für Freizeitwege bietet und daneben die meisten EinwohnerInnen der Innenstadtbezirke (und viertmeisten von Wien) sowie die viertmeisten Beschäftigten von ganz Wien zählt, hat jedoch einen leicht unterdurchschnittlichen Radverkehrsanteil (4 bis 7 %). Die Innere Stadt (1. Bezirk) hingegen ist weniger Wohnbezirk, als vielmehr Arbeitsbezirk mit den wenigsten EinwohnerInnen und meisten Beschäftigten aller Bezirke, in welchem außerdem noch

²⁹⁶ Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung: Kartengrundlage: Stadt Wien – MA 21: Straßengraph Wien (OGD); Stadt Wien – MA 41: Bezirksgrenzen Wien (OGD); Stadt Wien – MA 41: Landesgrenzen Wien (OGD); Stadt Wien – MA 46: Radfahranlagen Wien (OGD)

viele POIs (Geschäfte, Sehenswürdigkeiten etc.) zu finden sind. Der Radverkehrsanteil liegt hier bei lediglich bis zu 4 %, was im ersten Bezirk jedoch nur begrenzt Aussagekraft hat, da sich der Anteil nur auf die EinwohnerInnen bezieht. Die Bezirke 13., 17., und 18. weisen hingegen die wenigsten EinwohnerInnen und Beschäftigten aller Außenbezirke auf. Im 17. und 18. Bezirk sind sogar die wenigsten Beschäftigten aller Bezirke zu finden. Die Anteile der mit dem Rad zurückgelegten Wege liegt im 13. und 17. Bezirk bei 4 bis 7 % und im 18 bei lediglich 0 bis 4 %.²⁹⁷

Eine genauere Analyse der Verkehrsströme soll mithilfe der folgenden Abbildung 24 ermöglicht werden, welche den Anteil der Radverkehrsströme zwischen den und innerhalb der einzelnen Bezirke an den 38.657 Tracks darstellt.

Abbildung 24: Heatmap zu den Anteilen der Radverkehrsströme zwischen den Bezirken am gesamten Radverkehrsaufkommen (BC)



Die höchsten Anteile sind innerhalb der einzelnen Bezirke zu finden, wobei die meisten Binnenwege innerhalb der Bezirke 1, 2, 3, 9, 10, 11, 21 und 22 zurückgelegt werden. Die Bezirke 8, 15, 17 und 18 zählen hingegen nur wenige Binnenwege. Weiters fällt auf, dass die Innenstadtbezirke generell am stärksten verflochten sind. Zu erwähnen sind hierbei vor allem folgende Relationen:

- 1. und 2. Bezirk (n = 286 bzw. 341)
- 1. und 3. Bezirk (n = 277 bzw. 283)
- 1. und 9. Bezirk (n = 212 bzw. 227)
- 2. und 3. Bezirk (n = 272 bzw. 312)

²⁹⁷ Vgl. Statistik Austria, Abgestimmte Erwerbsstatistik 2015, Arbeitsstättenzählung 2015, mit Stichtag 31.10.2015; Omnitrend GmbH, 2014, zitiert nach: Omnitrend GmbH, 2015, S. 28

Aber auch abseits von den Innenbezirken treten deutliche Verflechtungen auf. Besonders zwischen dem 2. und dem 22. Bezirk sowie zwischen dem 21. und dem 22. Bezirk können starke Verkehrsströme festgestellt werden. Zu erkennen ist in dieser Abbildung auch der Anteil der Wege zwischen den Wiener Bezirken und dem Umland (=99), wobei hier nur eine geringe Verflechtung vorliegt. Die Wege vom Umland ins Umland stellen somit den Transitverkehr dar ($n_{99,99} = 47$). Die entsprechenden Absolutwerte können Anhang 3 entnommen werden.

6.2.2 Dauerzählstellen

Um die Aussagekraft der BC-Daten weiter zu untersuchen, werden im nächsten Schritt die Verkehrsstärken an den Zählstellen verglichen. Wien verfügt aktuell (Stand Jänner 2018) über 12 bzw. 13 (Opernring Innen & Außen) Dauerzählstellen für den Radverkehr²⁹⁸. Die räumliche Lage der Zählstellen ist dabei in Abbildung 25 ersichtlich. Die ersten Zählstellen wurden im Juni 2002 in Betrieb genommen, wobei hier Örtlichkeiten ausgewählt wurden, die am Hauptradverkehrsnetz liegen und sich durch eine Überschneidung der Verkehrszwecke Beruf, Ausbildung und Freizeit auszeichnen. Im Juli 2003 wurden weitere vier Zählstellen in Betrieb genommen.²⁹⁹ 2013 kamen jene am Praterstern und in der Operngasse dazu, welche sogar Echtzeitinformationen anbieten³⁰⁰. Die letzte Zählstelle wurde 2017 in der Pfeilgasse eröffnet³⁰¹. Bis 2011 wurden alle Zählstellen auf die neue Technik mit Induktionsschleifen umgestellt, wobei jene am Neubaugürtel 2009 als Erste damit ausgestattet wurde. Die Übermittlung der Daten erfolgt automatisch über GSM.³⁰² Seit 2011 ist nast consulting ZT GmbH für die Erhebungen zuständig und publiziert die Ergebnisse, wie Monatsauswertungen, Zählstellenvergleiche, Jahresauswertungen etc. auf der eigenen Homepage³⁰³. Daten von Zählungen vor 2011 sind direkt auf der Homepage der Stadt Wien zu finden³⁰⁴.

²⁹⁸ Vgl. nast consulting ZT GmbH, o.J., online

²⁹⁹ Vgl. Stadt Wien - MA 46, o.J.e, online

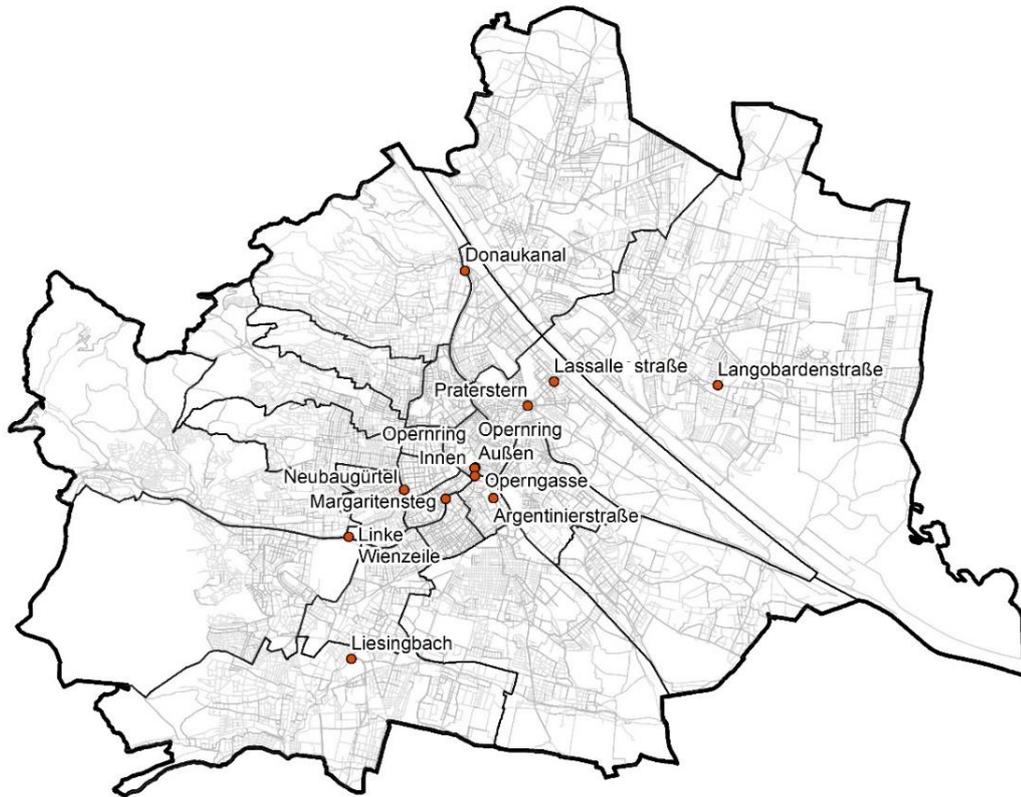
³⁰⁰ Vgl. Mobilitätsagentur Wien GmbH, 2014, online

³⁰¹ Vgl. Mickel-Göttfert, 2018, online

³⁰² Vgl. Stadt Wien - MA 46, o.J.e, online; nast consulting ZT GmbH, o.J., online

³⁰³ Siehe <http://www.nast.at/verkehrsdaten>

³⁰⁴ Vgl. Stadt Wien - MA 46, o.J.f, online

Abbildung 25: Lage der Rad-Dauerzählstellen in Wien³⁰⁵

Zusätzlich zur automatisierten Erfassung der Radverkehrsstärken, werden vereinzelt auch händische Verkehrszählungen im Auftrag der Stadt Wien (MA46) durchgeführt³⁰⁶. Für die vorliegende Arbeit sind diese Zählungen jedoch nicht relevant, da diese nur eine Momentaufnahme darstellen und somit keine monatliche/jährliche Betrachtung bzw. Vergleiche der Radverkehrsstärke (DTVw) ermöglichen. Für die Auswertung werden daher einerseits die erhobenen Daten an den Messtellen über die Homepage von nast consulting ZT herangezogen³⁰⁷. Andererseits werden in ArcGIS alle Tracks selektiert, welche die jeweilige Zählstelle passieren. Um etwaige GPS-Fehler zu berücksichtigen, werden alle Tracks innerhalb einer definierten Querschnittsbreite um die Zählstelle berücksichtigt. Die Breite wurde, nach visueller Analyse der Daten, auf 12,5 Meter beidseitig der Zählstelle (insgesamt 25 Meter) festgelegt. Bei den Zählstellen Argentinierstraße, Lassallestraße und Opernring fiel die Entscheidung auf die doppelte Breite (= 50 Meter). Letzt genannte Zählstelle besteht eigentlich aus zwei Anlagen und wurde für die weiteren Berechnungen zusammengefasst. Der Abstand der beiden Anlagen liegt bei ca. 25 Meter, womit hier ein Querschnitt von insgesamt 75 Meter gewählt wurde. Die folgende Abbildung 26 zeigt beispielhaft die beschriebenen Vorgänge für die Zählstellen Lassallestraße, Opernring, Argentinierstraße und Operngasse. Die

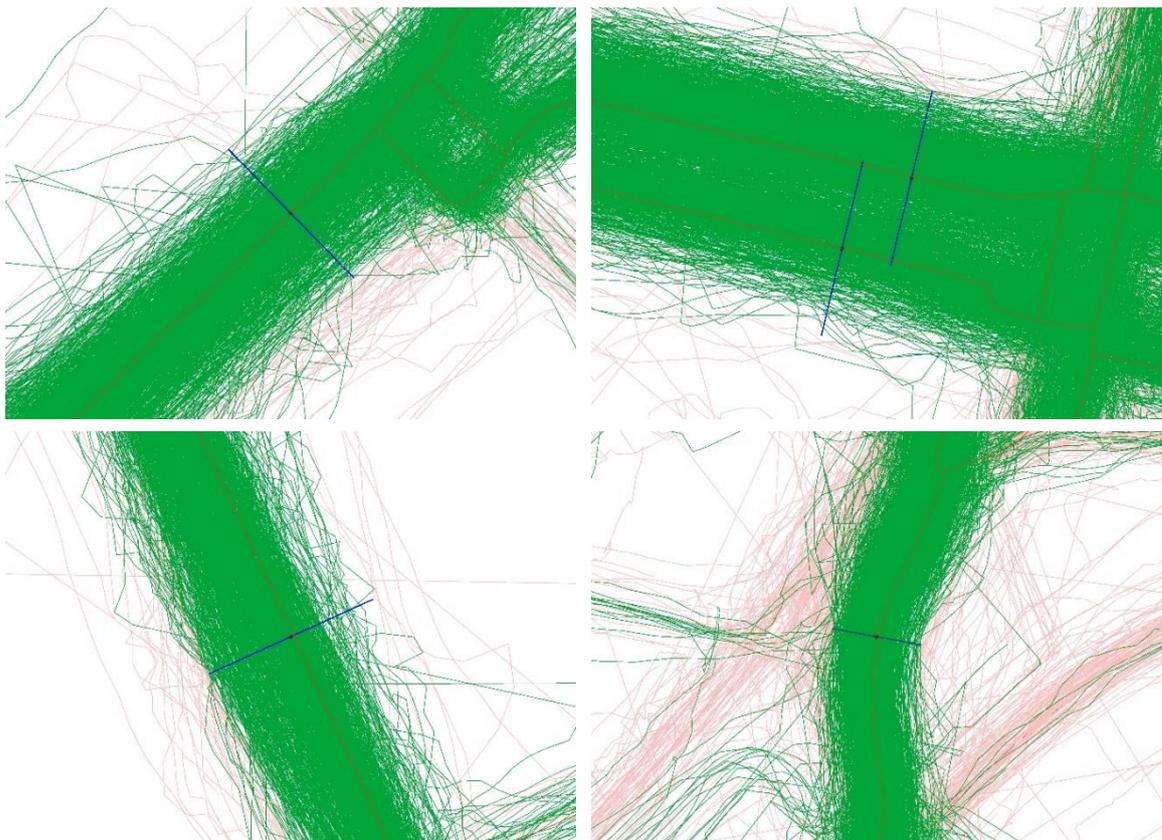
³⁰⁵ Quelle: Eigene Darstellung: Kartengrundlage: Stadt Wien – MA 21: Straßengraph Wien (OGD); Stadt Wien – MA 41: Bezirksgrenzen Wien (OGD); Stadt Wien – MA 41: Landesgrenzen Wien (OGD); Stadt Wien – MA 46: Radfahranlagen Wien (OGD); Stadt Wien – MA46: Verkehrszählstellen Standorte Wien (OGD)

³⁰⁶ Vgl. Stadt Wien - MA 46, o.J.g, online

³⁰⁷ Aufgrund von Ausfällen an den Zählstellen Lassallestraße (19.7. bis 3.12) und Opernring (18.9 bis 5.10) sind hier nur berechnete Ersatzdaten verfügbar.

dunkelrote Linie stellt dabei die Radverkehrsanlage dar, der rote Punkt die Zählstelle und die blaue Linie den gewählten Querschnitt (25 bzw. 50 Meter). Die Gesamtheit aller Wege nach den Filterstufen (38.657) ist hellrot dargestellt und alle Tracks, welche den Querschnitt schneiden, sind grün eingefärbt. Es ist deutlich zu sehen, dass die Wahl zwei verschiedener Breiten nötig war, um individuell möglichst alle Tracks zu berücksichtigen. Im letzten Fall ist gut zu erkennen, dass es auch nicht zielführend gewesen wäre, die 50 Meter generell an allen Zählstellen zu verwenden, da sonst vielleicht fälschlicherweise Tracks mitberücksichtigt werden, die eigentlich gar nicht die Zählstelle passiert haben.

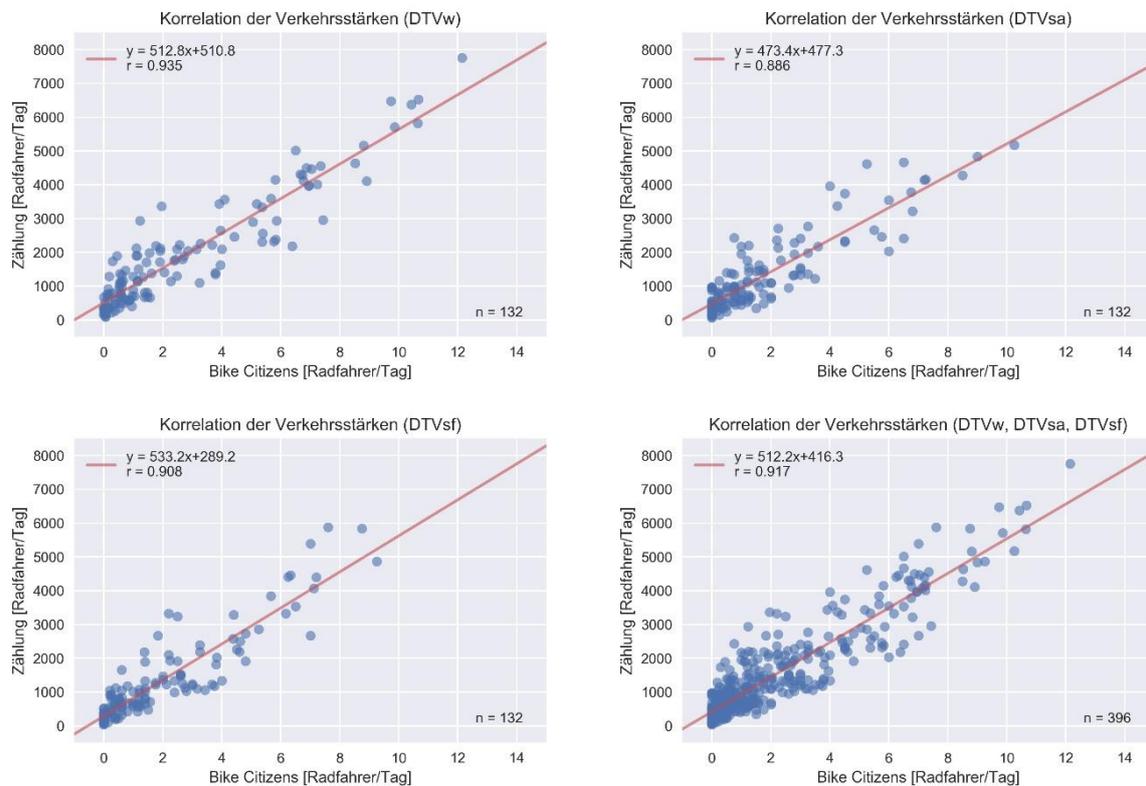
Abbildung 26: Ausgewählte GPS-Tracks (grün) an den Zählstellen Lassallestraße, Opernring, Argentinierstraße und Operngasse³⁰⁸



Die genannte Verkehrsstärke ist als monatliche DTV (durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke) zu verstehen. Diese ergibt sich aus der Division der selektierten Tracks je Zählstelle und Monat durch die Anzahl der Tage je Monat. Für die Berechnung werden die selektierten Tracks je Zählstelle nach Monaten aufgeschlüsselt und durch die Anzahl der Tage je Monat geteilt. Um die Wochenganglinien entsprechend zu berücksichtigen, erfolgt die Berechnung auch getrennt nach Tag-Typen (Werktag, Samstag sowie Sonntag und Feiertag). Die folgende Abbildung 27 ermöglicht erste Vergleiche zwischen den Zählwerten und den BC-Werten, indem überblicksmäßig die Werte für alle Zählstellen und Monate, getrennt nach Tag-Typ, gegenübergestellt werden.

³⁰⁸ Quelle: Eigene Darstellung; Kartengrundlage: Stadt Wien – MA 46: Radfahranlagen Wien (OGD); Stadt Wien – MA46: Verkehrszählstellen Standorte Wien (OGD)

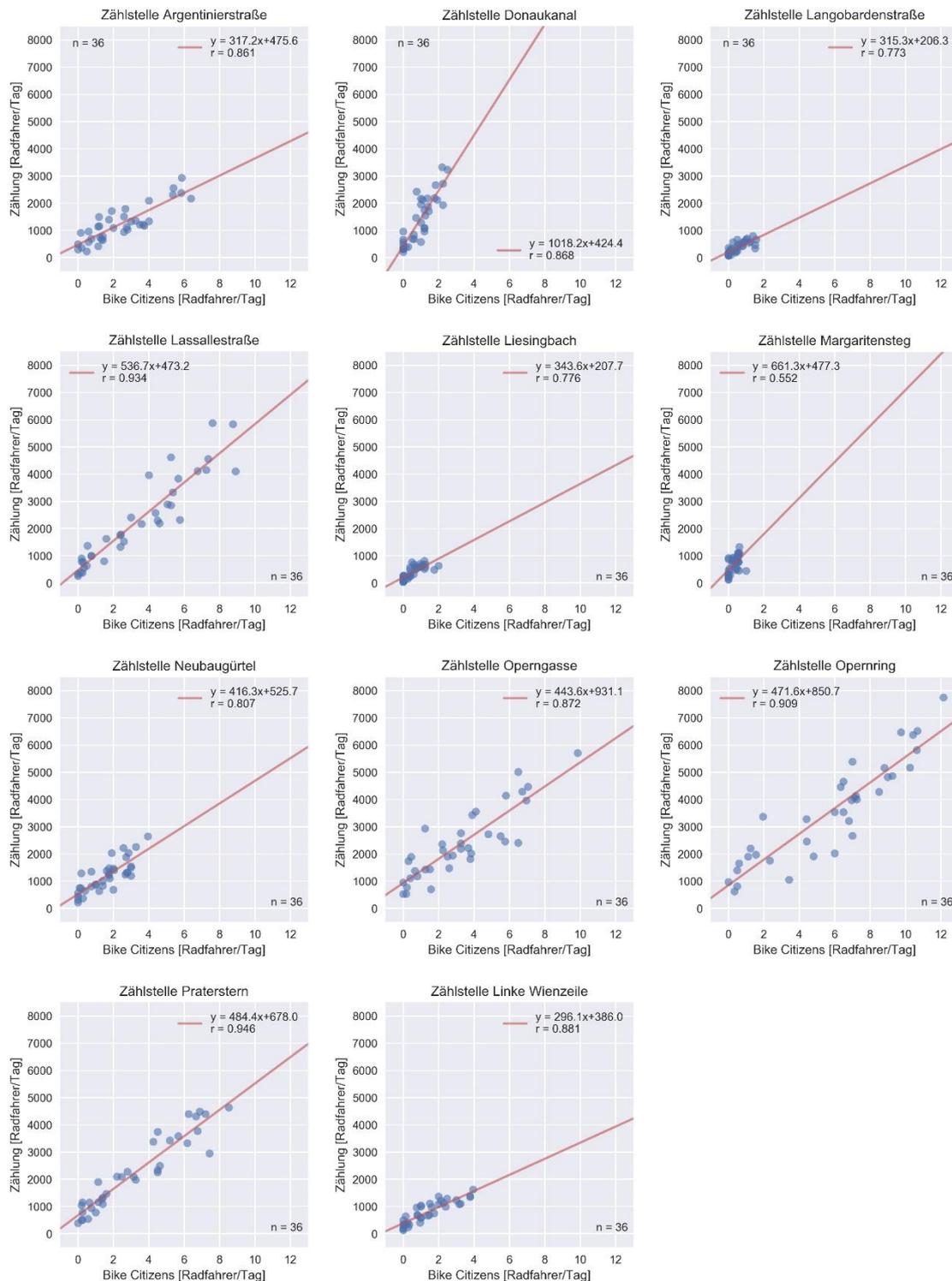
Abbildung 27: Korrelation der Verkehrsstärken je Zählstelle und Monat laut Bike Citizens und Zähldaten, getrennt nach Tag-Typ³⁰⁹



Für alle Tag-Typen ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen den beiden Samples zu erkennen, was durch die sehr hohen Korrelationskoeffizienten (0,886 bis 0,935) bestätigt wird. Der größte Zusammenhang besteht dabei an Werktagen, gefolgt von Sonn- und Feiertagen und Samstagen. Die Abbildung rechts unten, welche die Werte aller Tag-Typen umfasst, zeigt gut die dichte Punktwolke um die Regressionsgerade, ohne nennenswerte Ausreißer. Was auffällt sind jedoch die recht niedrigen DTV-Werte der BC-Daten, welche im Vergleich zu den Zählstellenwerten im Promillebereich liegen. Generell sind die Daten damit sehr repräsentativ, wobei hier noch keine genaueren Aussagen über die räumliche Verteilung gemacht werden können. Mithilfe der folgenden Abbildung 28, bei welcher die DTV-Werte (DTVw, DTVsa und DTVsf) für jede Zählstelle gegenübergestellt werden, soll daher eine detailliertere Analyse ermöglicht werden.

³⁰⁹ n = Zählstellen (11) * Monate (12) = 132 bzw. n = Zählstellen (11) * Monate (12) * Tagtypen (3) = 396

Abbildung 28: Korrelation der Verkehrsstärken laut Bike Citizens und Zähldaten, getrennt nach Zählstellen (DTVw, DTVsa, DTVs)310



Anhand dieser Abbildung kann man gut erkennen, dass sich die Zählstellen sowohl in der Verkehrsstärke als auch im „Verhältnis“ zwischen den Werten der beiden Quellen unterscheiden. So zeichnen sich die Zählstellen Langobardenstraße, Liesingbach und Margaritensteg durch eine eher geringe Verkehrsstärke aus. Die Zählstellen Lassallestraße, Opernring, Operngasse und Praterstern weisen im Vergleich dazu sehr

³¹⁰ n = Monate (12) * Tagtypen (3) = 36

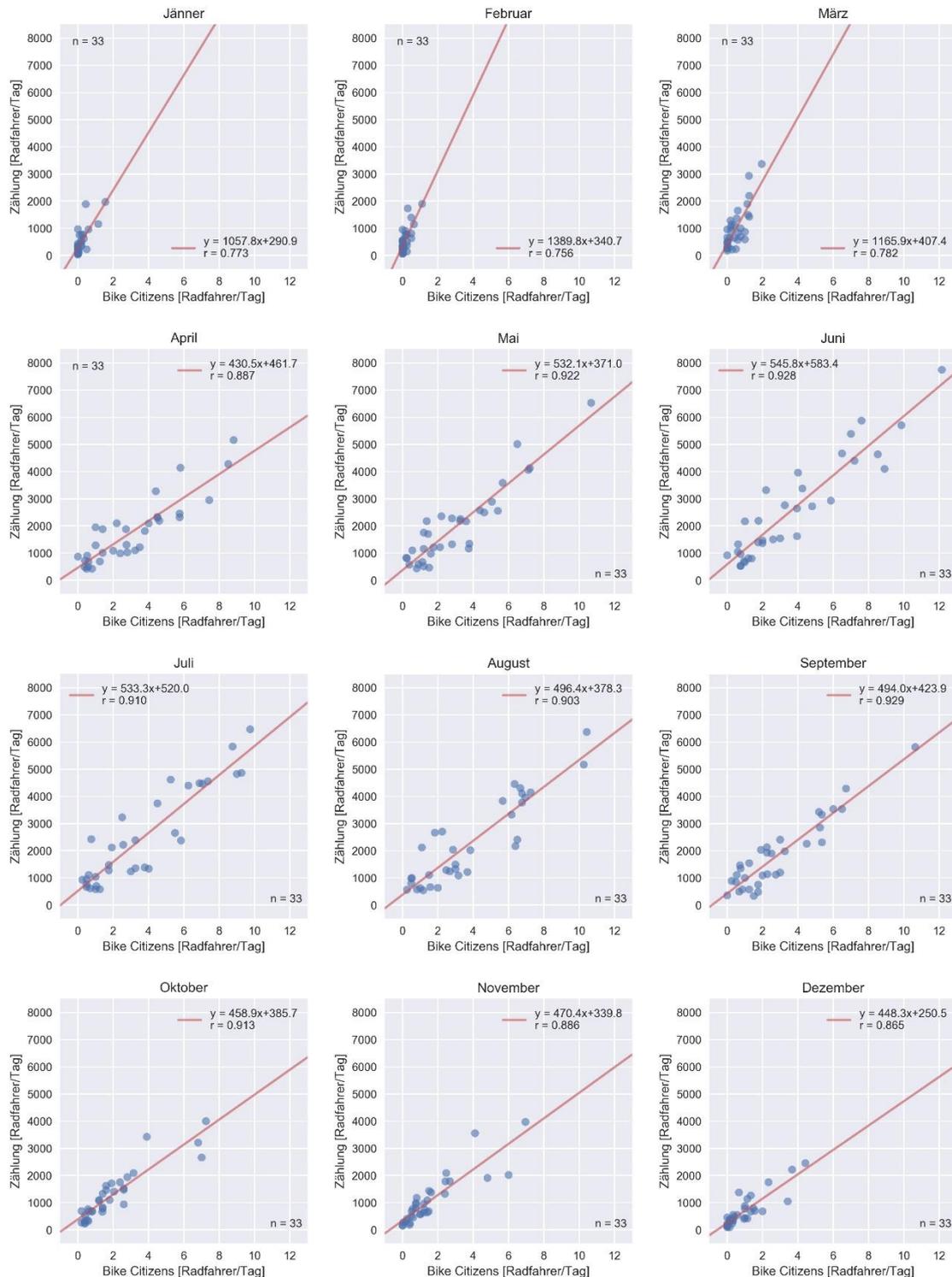
hohe Verkehrsstärken auf. Die Korrelation ist generell sehr deutlich, wobei die Zählstelle Margaritensteg den schlechtesten Koeffizienten aufweist (0,552), der sich wahrscheinlich durch die geringe Frequenz ergibt (siehe auch Tabelle 10).

Tabelle 10: Übersichtstabelle der Korrelationskoeffizienten aus der Gegenüberstellung der Verkehrsstärken laut BC und den Zähldaten je Zählstelle

Daten	Korrelationskoeffizient	Geradengleichung
Alle Zählstellen/Alle Monate	0,917	$512,2x+416,3$
Argentinerstraße	0,861	$317,2x+475,6$
Donaukanal	0,868	$1018,2x+424,4$
Langobardenstraße	0,773	$315,3x+206,3$
Lassallestraße	0,934	$536,7x+473,2$
Liesingbach	0,776	$343,6x+207,7$
Margaritensteg	0,552	$661,3x+477,3$
Neubaugürtel	0,807	$416,3x+525,7$
Operngasse	0,872	$443,6x+931,1$
Opernring	0,909	$471,6x+850,7$
Praterstern	0,946	$484,4x+678,0$
Linke Wienzeile	0,881	$296,1x+386,0$

Durch die Steigung der Geraden ist auch das Verhältnis von Zählwerten und BC-Daten erkennbar. Die Zählstellen Lassallestraße, Praterstern und Opernring weisen eine ähnliche Steigung wie die Gesamtheit aller Zählstellen auf ($536,7x+473,2$ bzw. $484,4x+678,0$ bzw. $471,6x+850,7$ zu $512,2x+416,3$), wohingegen bei den Zählstellen Linke Wienzeile, Langobardenstraße, Argentinierstraße und Liesingbach laut Geradensteigung verhältnismäßig viele Wege über BC aufgezeichnet wurden ($296,1x+386,0$ bis $343,6x+207,7$). Die Zählstelle Donaukanal ist bei den BC-Daten hingegen eher unterrepräsentiert ($1018,2x+424,4$). Durch diese Analyse wird deutlich, dass die räumliche Verteilung der über BC aufgezeichneten Wege nicht ganz repräsentativ ist. Da sich die berechneten DTV-Werte auf einzelne Monate beziehen, können in einem weiteren Schritt die zeitliche Komponente untersucht und Aussagen betreffend die Veränderung im Jahresverlauf abgeleitet werden. Abbildung 29 ist daher die getrennte Betrachtung nach den einzelnen Monaten zu entnehmen.

Abbildung 29: Korrelation der Verkehrsstärken laut Bike Citizens und Zähldaten, getrennt nach Monat (DTVw, DTVsa, DTVsf)³¹¹



Gut zu sehen sind die unterschiedlich hohen Verkehrsstärken im Jahresverlauf, welche deutlich den Jahreszeiten bzw. der Temperaturjahreskurve folgen: Zu Beginn des Jahres sind noch wenige RadfahrerInnen erfasst worden. Mit zunehmenden Temperaturanstieg steigt aber die Zahl der RadfahrerInnen und in den Sommermonaten Juni-August wird der Höhepunkt erreicht, ehe es im Herbst und Winter wieder zu einem Einbruch der

³¹¹ n = Zählstellen (11) * Tagtypen (3) = 33

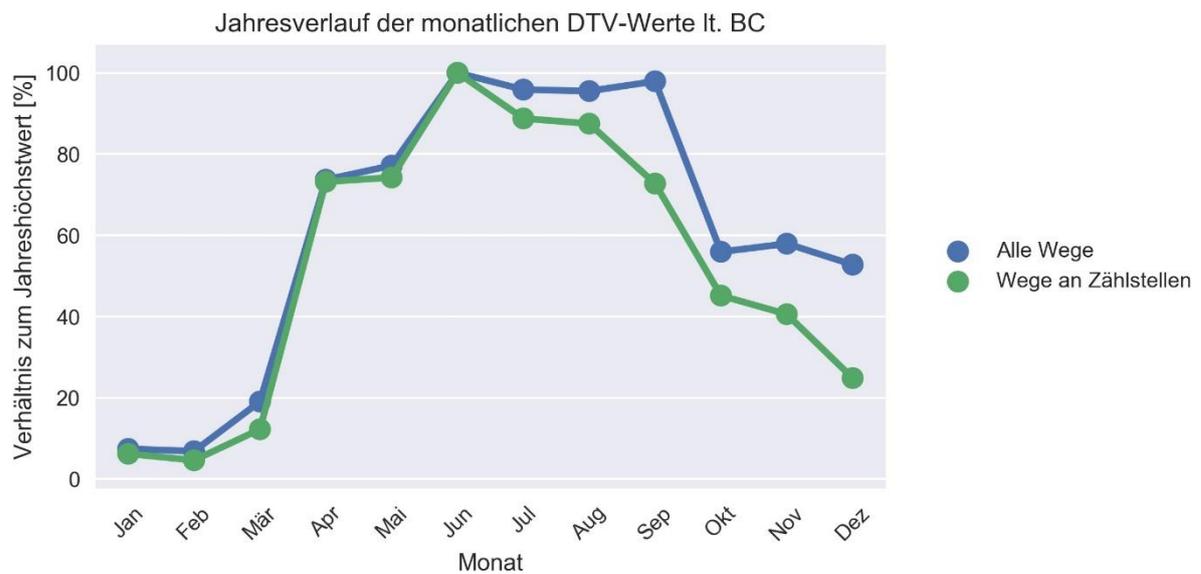
Temperaturen und auch der erfassten RadfahrerInnen kommt. Die Korrelationen sind sehr deutlich und liegen zwischen 0,756 im Februar und 0,929 im September, wobei in den ersten drei Monaten die geringste Korrelation mit maximal 0,782 festgestellt werden kann (siehe auch Tabelle 11).

Tabelle 11: Übersichtstabelle der Korrelationskoeffizienten aus der/für die Gegenüberstellung der Verkehrsstärken laut BC und den Zähldaten je Monat

Daten	Korrelationskoeffizient	Geradengleichung
Alle Zählstellen/Alle Monate	0,917	$512,2x+416,3$
Jänner	0,773	$1057,8x+290,9$
Februar	0,756	$1389,8x+340,7$
März	0,782	$1165,9x+407,4$
April	0,887	$430,5x+461,7$
Mai	0,922	$532,1x+371,0$
Juni	0,928	$545,8x+583,4$
Juli	0,910	$533,3x+520,0$
August	0,903	$496,4x+378,3$
September	0,929	$494,0x+423,9$
Oktober	0,913	$458,9x+385,7$
November	0,886	$470,4x+339,8$
Dezember	0,865	$448,3x+250,5$

Auch bei Betrachtung der Steigung der Regressionsgeraden fällt auf, dass die BC-Daten in den ersten drei Monaten stark unterrepräsentiert sind ($1057,8x+290,9$ bis $1389,8x+340,7$). Mit zunehmenden Jahresverlauf nehmen die über BC erfassten Wege zu, wobei der April überraschenderweise die flachste Regressionsgerade (und damit die höchste Durchdringungsrate an BC-Wegen) aufweist ($430,5x+461,7$). Die letzten fünf Monate und besonders die Monate Oktober bis Dezember, zeigen eine geringe, aber feststellbare Überrepräsentanz der BC-Wege ($448,3x+250,5$ bis $470,4x+339,8$). Es stellt sich daher die Frage, ob sich dieser Verlauf nur auf die Zählstellen-passierenden Tracks bezieht oder ob diese Entwicklung im ganzen Datenset zu finden ist. Hierzu werden die Jahresganglinien der DTV-Werte aller (bereinigten) Wege und der Wege an den Zählstellen gegenübergestellt (siehe Abbildung 30). Die DTV-Werte beziehen sich hier auf alle Tage, es wird also nicht nach Werktag, Wochenende oder Feiertag unterschieden. Um die Kurvenverläufe sinnvoll vergleichen zu können, sind die DTV-Werte als Verhältnis zum jeweiligen Jahreshöchstwert dargestellt.

Abbildung 30: Vergleich der Jahresverläufe aller zurückgelegten Wege und der Wege an den Zählstellen (BC)

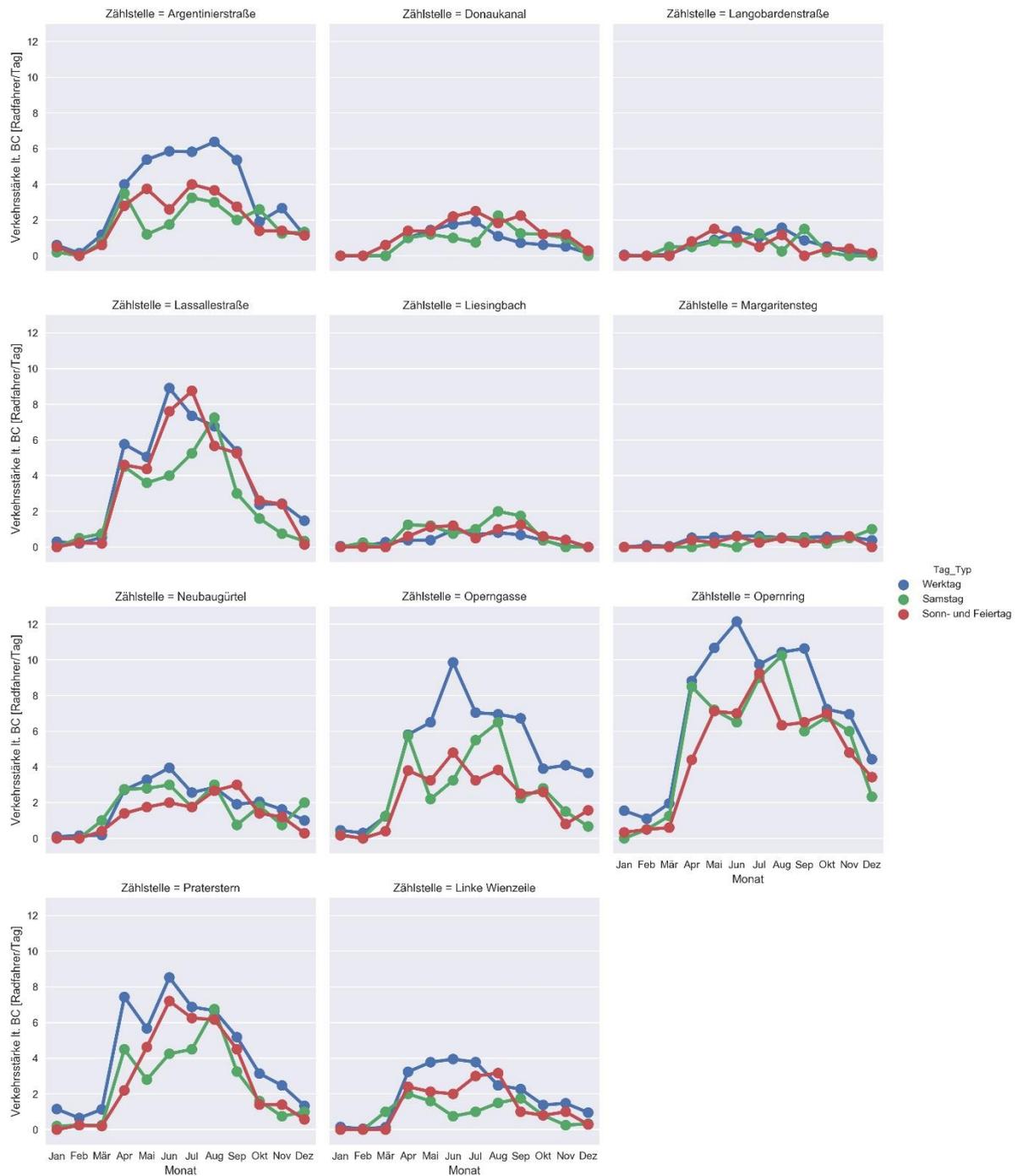


Die beiden Jahresverläufe zeichnen sich durch einen ähnlichen Verlauf aus und speziell in der ersten Jahreshälfte sind die beiden Kurven nahezu ident. In der zweiten Hälfte ist jedoch eine leichte Abweichung erkennbar, die zeigt, dass die Zählstellen-passierenden Wege im Vergleich zu den Gesamtwegen leicht unterrepräsentiert sind. Die DTV-Werte am Anfang und am Ende des Jahres sind deutlich geringer als in der Jahresmitte. Diese jahreszeitlichen Schwankungen ergeben sich generell dadurch, dass das Fahrrad als Verkehrsmittel direkt der Witterung ausgesetzt ist, was sich auch auf dessen Nutzung auswirkt. Auffallend ist jedoch, dass sich die Verkehrsstärken am Anfang und am Ende des Jahres deutlich voneinander unterscheiden, was jedoch nicht auf die Witterung oder andere natürliche Faktoren zurückgehen dürfte. Wie lässt sich der ungewöhnliche Verlauf dieser Jahresganglinie also erklären? Die Bike Citizens-App für Wien war ursprünglich kostenpflichtig. Durch eine Kooperation mit der Stadt Wien (Mobilitätsagentur) war es jedoch möglich, diese ab 25. März 2015 kostenlos anzubieten.³¹² So konnten, auch durch eine zusätzliche starke Bewerbung der App seitens der Stadt Wien, viele neue User gewonnen werden, was sich auch in dieser Abbildung widerspiegelt, wo im April ein deutlicher Anstieg der Verkehrsmengen zu verzeichnen ist. Dies erklärt auch die Abflachung der Steigung der Regressionsgeraden nach den ersten drei Monaten in Abbildung 29.

Um detailliertere Aussagen zum Jahresverlauf treffen zu können, werden die DTV-Werte im nächsten Schritt getrennt nach Zählstellen und Tag-Typ ausgewertet.

³¹² Vgl. Mobilitätsagentur Wien, o.J.b., online

Abbildung 31: Monatliche Verkehrsstärken laut Bike Citizens nach Zählstelle und Tag-Typ



Wie bereits in Abbildung 28 ersichtlich, gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Zählstellen betreffend die Höhe der Verkehrsstärke (maximal rd. 1 RadfahrerInnen/Tag bei Margaritensteg bis maximal rd. 12 RadfahrerInnen/Tag bei Opernring). Diese Unterschiede treten in ähnlicher Größenordnung aber auch bei den Zählwerten laut Zählstelle auf und sind daher nicht weiter ungewöhnlich. Wie groß die Abweichungen im Vergleich sind, soll in einem späteren Schritt analysiert werden (siehe Abbildung 32). Anzumerken ist jedenfalls, dass die DTV-Werte allgemein sehr niedrig sind, womit die Daten nur wenig repräsentativ sind und aussagekräftige Aussagen nur schwer möglich sind. So weist z.B. die Zählstelle Margaritensteg einen maximalen DTV von lediglich rd. 1

auf. Trotzdem sollen die Daten im Folgenden so umfangreich wie möglich ausgewertet werden.

Bei Betrachtung der Abbildung fallen auch die Verläufe der Jahresganglinien auf. Jene der DTVw-Werte und der DTVsf-Werte folgen mehr oder weniger erkennbar dem typischen Jahresverlauf mit dem kontinuierlichen Anstieg bis zum Höhepunkt in der Jahresmitte und dem kontinuierlichen Abstieg bis zum Jahresende. Die Verhältnisse zwischen den Verkehrsstärken an Werktagen und Sonn- und Feiertagen unterscheidet sich jedoch zwischen den Zählstellen. So liegen die DTVsf-Werten bei den Zählstellen Argentinierstraße, Operngasse und Opernring sehr deutlich unter den DTVw-Werten. Bei den anderen Zählstellen liegen diese jedoch knapp darunter bzw. gleich darauf oder sogar darüber (z.B. Donaukanal). Manche Zählstellen werden daher eher vom Freizeitradler, andere eher vom Berufsradler passiert. Die DTVsa-Ganglinien zeigen zum Teil sehr unregelmäßig Verläufe mit Einbrüchen. Hier muss berücksichtigt werden, dass die Samstags-Werte aufgrund der geringen Datenlage nur bedingt aussagekräftig sind. Auffällig ist auch, dass der ungewöhnliche Verlauf betreffend Jahresanfang/Jahresende (siehe Abbildung 30) je Zählstelle und Tag-Typ unterschiedlich ausgeprägt ist. So sind lediglich bei den Zählstellen Donaukanal, Langobardenstraße und Liesingbach überhaupt keine Unterschiede zwischen Jahresanfang und Jahresende feststellbar. Bei den anderen Zählstellen sind bei mindestens einem der drei Tages-Typen mehr oder weniger große Unterschiede erkennbar.

Um festzustellen, wie groß die „Durchdringungsrate“ der BC-Daten ist und wie sich diese räumlich und zeitlich unterscheidet, wird das Verhältnis aus den DTV-Werten laut Bike Citizens und den DTV-Werten laut Zählstellen, getrennt nach Zählstelle und Tag-Typ, berechnet, welches in Abbildung 32 dargestellt ist. Im Anhang 4 sind hierzu auch Tabellen mit den genauen Werten zu finden.

Abbildung 32: Verhältnis der monatlichen Verkehrsstärken laut Bike Citizens und Zählstellen, getrennt nach Zählstelle und Tag-Typ



Im Optimalfall verlaufen alle Kurven als waagrechte Gerade, womit die Durchdringungsrate über das ganze Jahr gleich hoch wäre. Damit die räumliche Verteilung der über BC erfassten Wege jener aller zurückgelegten Wege entspricht, müssten weiters gleich hohe Verhältnisse über alle Zählstellen vorliegen. Gleich hohe Verhältnisse der verschiedenen Tag-Typen wären zwar auch anzustreben, sind aber nicht unbedingt notwendig, da hier getrennte Analysen leicht durchgeführt werden können.

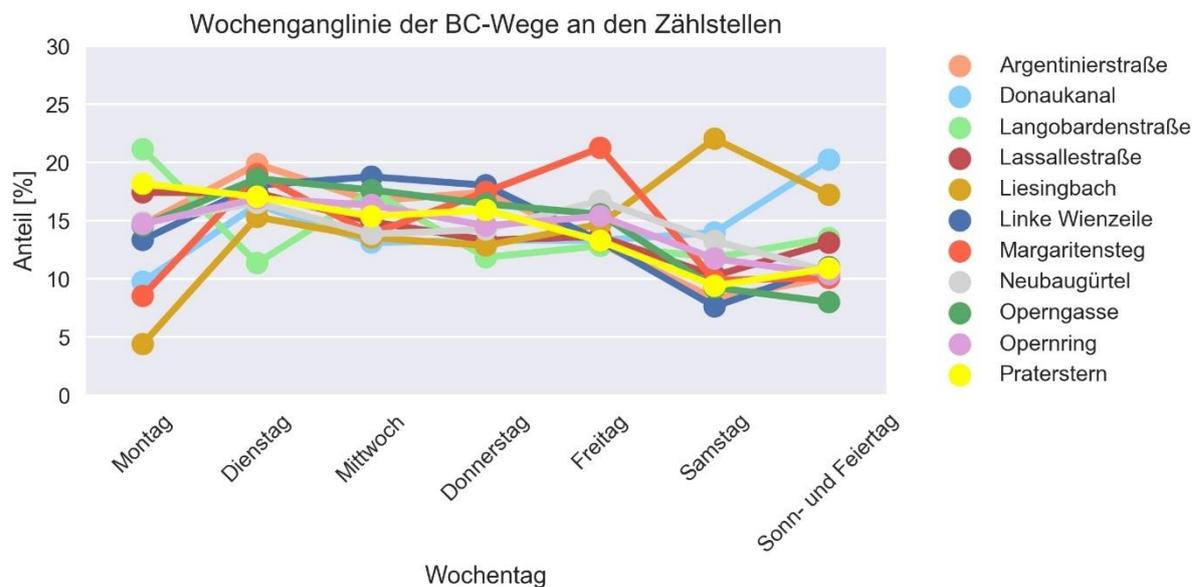
Auffällig ist das geringe Verhältnis in den ersten drei Monaten bei allen Zählstellen, welches, wie schon festgestellt wurde, daran liegt, dass die App bis Ende März kostenpflichtig war und mit der darauffolgenden kostenlosen Verfügbarkeit der App auch

mehr User generiert und schlaghaft mehr Wege aufgezeichnet wurden. Aber auch im restlichen Jahresverlauf besteht generell nur eine geringe Stetigkeit der Verhältnisse, wobei hier verschiedene Ausprägungen zu erkennen sind. So sind bei den Zählstellen Langobardenstraße (bis zu Faktor 10 bzw. Differenz von 4 ‰-Punkte) oder Liesingbach (bis zu Faktor 8 bzw. Differenz von 3,6 ‰-Punkte) sehr große Schwankungen feststellbar. Geringe Schwankungen gibt es hingegen beim DTVw der Zählstellen Lassallestraße (bis zu Faktor 1,8 und Differenz von 1,1 ‰-Punkte), Neubaugürtel (bis zu Faktor 1,6 und Differenz von 0,55 ‰-Punkte) oder Operngasse (bis Faktor 1,5 und Differenz von 0,6 ‰-Punkte). Besonders die DTVw-Werte der Zählstellen Margaritensteg (bis Faktor 1,7 und Differenz von 0,3 ‰-Punkte) und Opernring (bis Faktor 1,2 und Differenz von 0,3 ‰-Punkte) stechen heraus, da diese annähernd gleichmäßig verlaufen. Rein visuell fällt auch auf, dass die Verläufe der Tag-Typen der einzelnen Zählstellen im Großen und Ganzen eine ähnliche Größenordnung aufweisen. Das lässt darauf schließen, dass die Wochenganglinien der Wege laut Bike Citizens und jener laut Zählstellen ähnlich verlaufen. Wie der Wochenverlauf der Bike Citizens-Wege an den Zählstellen genau aussieht, soll im nächsten Kapitel untersucht werden.

6.2.2.1 Wochenganglinien

Wie bereits festgestellt wurde, werden an Werktagen vor allem Arbeits- bzw. Ausbildungswege und an Wochenenden und Feiertagen vornehmlich Freizeitwege zurückgelegt. Dabei wurde auch bereits untersucht, wie sich die Wege zwischen Werktag, Samstag sowie Sonn- und Feiertag aufteilen. Diese Analyse bezieht sich aber auf das gesamte Datenset, womit keine detaillierten bzw. räumlichen Aussagen möglich sind. Mithilfe der nächsten Abbildung 33 soll daher untersucht werden, ob diesbezüglich Unterschiede bei den Zählstellen festgestellt und dabei auch verschiedene Zählstellentypen identifiziert werden können. Hierzu werden die durchschnittlichen Wege an den einzelnen Wochentagen als Anteil an der Summe der durchschnittlichen Wege an allen Wochentagen an der Zählstelle berechnet und mit den anderen Zählstellen verglichen. Die Berechnung über die durchschnittlichen Wege je Tag (Normierung) war notwendig, um die verschiedene Anzahl der Tage zu berücksichtigen (Stichwort Feiertage).

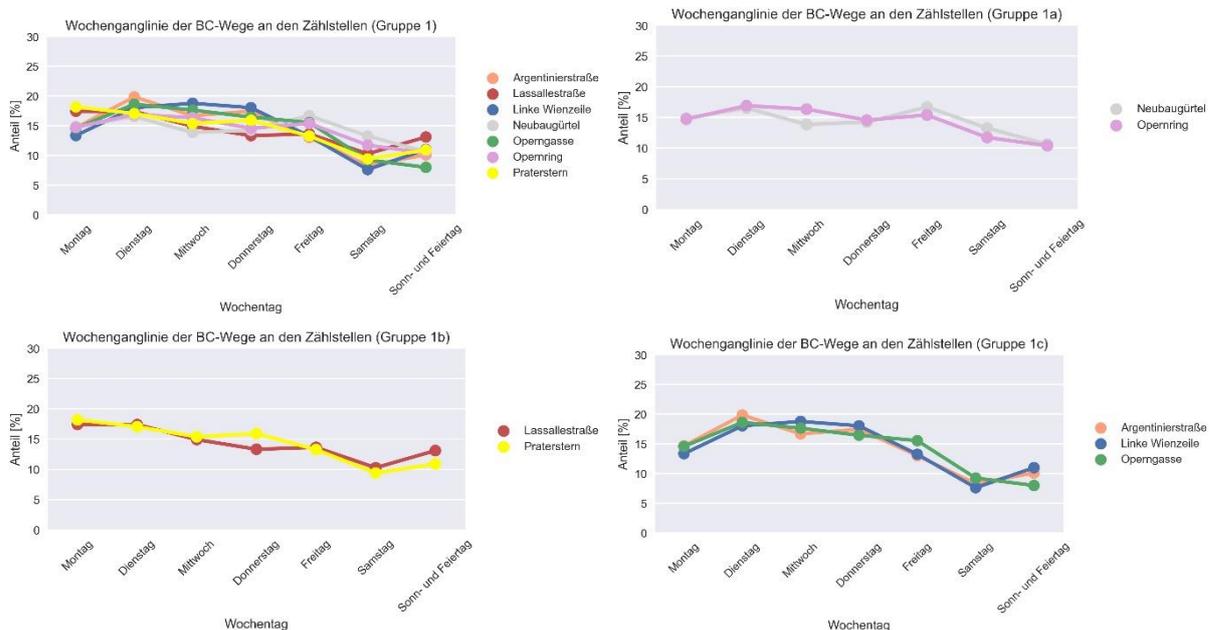
Abbildung 33: Normierte Wochenganglinie der Wege laut Bike Citizens an den Zählstellen



Vor allem zu Beginn und am Ende der Woche sind zwischen den Zählstellen deutliche Unterschiede von bis zu ca. 15 Prozentpunkten erkennbar. Auf den ersten Blick stehen besonders die Zählstellen Donaukanal, Liesingbach, Langobardenstraße und Margaritensteg heraus. Betrachtet man die Übersichtskarte der Zählstellen (Abbildung 25) fällt auf, dass die drei erst genannten am weitesten von Stadtzentrum entfernt liegen. Man kann also bereits annehmen, dass sich der Unterschied durch die Lage in der Gemeinde bzw. im Radnetz ergibt.

Um genauere Analysen durchzuführen, werden die Zählstellen visuell anhand ihrer Merkmalsausprägungen verglichen und manuell Gruppen gebildet. Die Zählstellen der ersten Gruppe weisen über die ganze Woche einen sehr ähnlichen Verlauf auf und können sogar noch weiter untergliedert werden, womit drei Teilgruppen unterschieden werden.

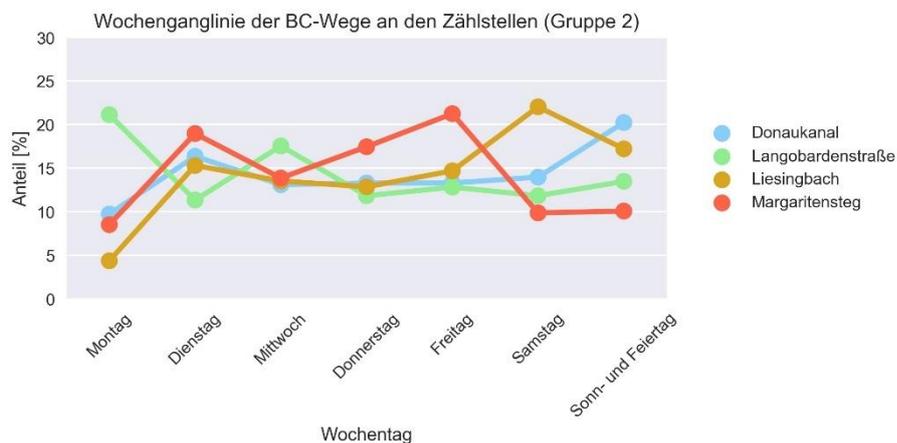
Abbildung 34: Wochenganglinie der Wege laut Bike Citizens an den Zählstellen der Gruppe 1



Gruppe 1a mit den Zählstellen Neubaugürtel und Opernring weist an den Werktagen (Mo-Fr) einen sehr konstanten Verlauf mit nur leichten Schwankungen und einer maximalen Abweichung von rund 3 Prozentpunkten auf. Von Freitag auf Samstag ist eine leichte Abnahme von rund 2,5 Prozentpunkten erkennbar. Ebenso von Samstag auf Sonn- und Feiertage. An den beiden Zählstellen im 2. Bezirk (Gruppe 1b) kann im Lauf der Woche eine konstante Abnahme der Wege festgestellt werden, ehe an Sonn- und Feiertagen wieder ein leichter Anstieg zu verzeichnen ist. Die Zählstellen der Gruppe 1c sind durch einen Anstieg bis zur Wochenmitte, einem folgenden Abstieg bis zum Samstag und einem weiteren leichten Anstieg an Sonn- und Feiertagen gekennzeichnet. An Samstagen sind dabei die allerwenigsten Wege zurückgelegt worden. Die Werte an Sonn- und Feiertagen liegen trotzdem unter dem Niveau am Wochenanfang. Es ist also erkennbar, dass die Zählstellen der Gruppe 1 vor allem für Alltagswege genutzt werden, die klassischerweise vorwiegend unter der Woche zurückgelegt werden.

In der Gruppe 2 werden hingegen alle Zählstellen berücksichtigt, die deutliche Abweichungen im Wochenverlauf zeigen.

Abbildung 35: Wochenganglinie der Wege laut Bike Citizens an den Zählstellen der Gruppe 2

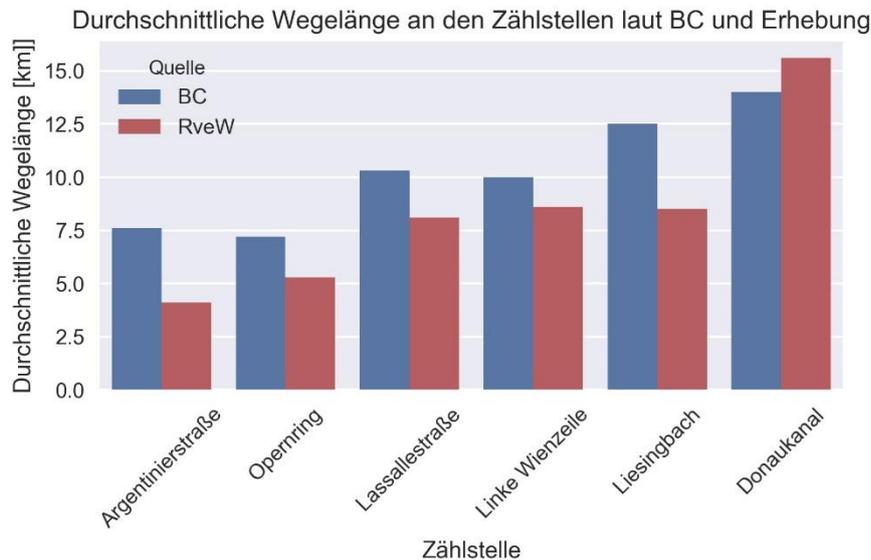


Den ähnlichsten Verlauf zeigen Donaukanal und Liesingbach, wo die Werte am Montag sehr niedrig sind, am Dienstag jedoch stark steigen, danach wieder leicht sinken und bis Freitag sehr konstant bleiben. Am Samstag steigt die Kurve der Zählstelle Liesingbach wieder sehr stark an und bleibt auch am Sonn- und Feiertag auf gleichem Niveau. An der Zählstelle Donaukanal steigen die Werte hingegen erst wieder mit Sonn- und Feiertagen, dafür aber sehr stark: Laut Ganglinie werden hier rund doppelt so viele Wege zurückgelegt, wie an einem Mittwoch, Donnerstag oder Freitag. Die Zählstellen Langobardengasse und Margaritensteg weisen sehr ungewöhnliche Verläufe auf, die von unregelmäßigen Schwankungen gekennzeichnet sind. Zumindest die Zählstellen Donaukanal und Liesingbach liegen abseits der Innenstadt und anhand der Werte kann davon ausgegangen werden, dass diese vorwiegend vom Freizeitverkehr geprägt sind.

6.2.2.2 Wegelängen

Im Rahmen einer Radfahrerbefragung im Jahr 2006 und 2007 wurde auch die gefahrenen Routen erhoben, aus welchen in der Folge die konkreten Wegelängen berechnet wurden. Abbildung 36 stellt diese Werte den berechneten Werten laut Bike Citizens gegenüber.

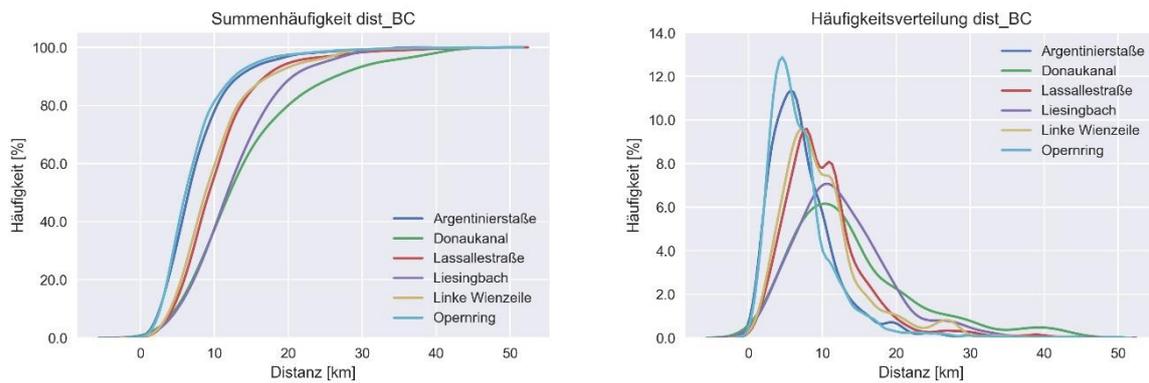
Abbildung 36: Durchschnittliche Wegelängen an den Zählstellen laut Radfahrerbefragung 2006/2007 und Bike Citizens³¹³



Die Zählstelle Donaukanal weist als einzige eine höhere durchschnittliche Wegelänge bei den Radfahrerbefragungen auf. Bei allen anderen Zählstellen liegt die durchschnittliche Wegelänge laut Bike Citizens über jener der Radfahrerbefragung. Am deutlichsten ist der Unterschied an der Zählstelle Argentinierstraße, wo die Differenz fast 100 % ausmacht. Woher diese starken Differenzen stammen, ist nicht direkt erklärbar. Da hier jedoch auch die Ergebnisse einer Befragung berücksichtigt werden, können Diskrepanzen aufgrund subjektiver Einschätzungen nicht ausgeschlossen werden. So werden die zurückgelegten Distanzen langer Wege offensichtlich eher überschätzt. Bei kurzem Weg wird die Entfernung hingegen eher unterschätzt. Eine mögliche Erklärung ist, dass die Zeit bei innerstädtischen (kurzen) Wegen, aufgrund der abwechslungsreichen Umgebung, subjektiv schneller vergeht und damit auch die Entfernung geringer geschätzt wird. Wege entlang des Donaukanals zeichnen sich eher durch Monotonie aus, womit die Dauer und folglich die Entfernung eher überschätzt wird. Die durchschnittliche Wegelänge lässt jedoch nur begrenzt Aussagen zu. Mithilfe der folgenden Abbildung 37 sollen die unterschiedlichen Wegelängenverteilungen an den Zählstellen laut Bike Citizens weiter analysiert werden.

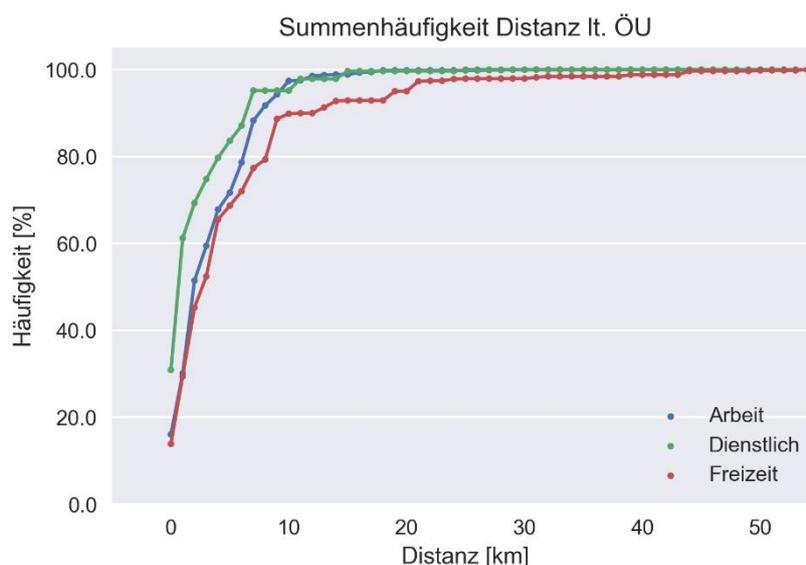
³¹³ Eigene Berechnung und Darstellung, Datengrundlage: Snizek + Partner Verkehrsplanung, 2011, S. 28

Abbildung 37: Wegelängenverteilung an ausgesuchten Zählstellen lt. Bike Citizens



Es ist gut zu sehen, dass sich die Zählstellen in den Wegelängen deutlich voneinander unterscheiden. Bei den Zählstellen Argentinierstraße und Opernring treten vergleichsweise viele kurze und nur wenige lange Wege auf. Die beiden ähnlich verlaufenden Kurven weisen daher eine starke Spitze im unteren Distanzbereich auf. Das 95 %-Quantil liegt hier bei 16,6 bzw. 15,9 km. Ganz anders die Zählstelle Donaukanal, die sich durch eine eher flache Kurve und ein 95 %-Quantil von 30,9 km auszeichnet. Dazwischen liegen die anderen Zählstellen mit einem 95 %-Quantil von 20,5 km (Lassallestraße), 21,9 km (Linke Wienzeile) und 24,6 km (Liesingbach). Im vorherigen Kapitel wurde bereits angenommen, dass sich die Zählstelle Donaukanal vor allem durch Freizeitwege auszeichnet, die üblicherweise auch längere Distanzen vorweisen. Über die Zählstellen Argentinierstraße und Opernring führen laut Annahme hingegen hauptsächlich Arbeitswege (inkl. dienstliche Wege), die durch eher kurze Distanzen geprägt sind (siehe Abbildung 38). Die Werte scheinen somit generell plausibel zu sein. Im Anhang 5 sind hierzu noch detaillierte Häufigkeitsverteilungen zu allen elf Zählstellen zu finden.

Abbildung 38: Wegelängenverteilung der Radwege in, von und nach Wien laut ÖU 13/14³¹⁴



³¹⁴ Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung, Datengrundlage: Anonymisierte Datensätze zu Österreich unterwegs 2013/2014

6.3 Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit ist eine Variable, welche bisher nur mithilfe von (mobilen) Radargeräten oder auch Videokameras gemessen werden konnte - und dabei auch nur punktuell. Die Kosten und die Schwierigkeiten bei der Erhebung von Daten zur Radgeschwindigkeit haben dazu geführt, dass diese Daten oft nicht als Primärdaten, sondern als Sekundärdaten oder als Input für andere wissenschaftliche Arbeiten oder Projekte erhoben wurden. Mit der Verbreitung von GPS im zivilen Bereich stehen neue Methoden für die Erfassung der wirklich gefahrenen Geschwindigkeiten zur Verfügung. Zahlreiche Studien beschäftigten sich auch bereits damit (siehe Kapitel 3.3.1). El-Geneidy et al. (2007) haben in ihrer Studie die Radgeschwindigkeit entlang eines Segments als Funktion von Anlageart, Länge des Segments, Länge des Gesamt-Tracks, Anzahl der VLSA-geregelten Kreuzungen, DTV, Tageszeit und persönliche Faktoren (Alter, Geschlecht, Erfahrung) definiert. Darauf aufbauend wurde ein Modell entwickelt, mit dem die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von Nutzertyp und Anlageart vorhergesagt werden soll.³¹⁵ Drei verschiedene Typen von Anlagen wurden dabei unterschieden³¹⁶:

- „Off-street“ (Baulich getrennte Anlagen) - Abgetrennter Bereich nur für Radverkehr bzw. zum Teil auch gemeinsam mit dem Fußverkehr, wo die Interaktion mit dem restlichen Verkehr kaum oder gar nicht vorhanden ist.
- Markierte Anlagen - RadfahrerInnen fahren hier am Rand der Straße und somit neben dem MIV. Entspricht einem abgetrennten Bereich auf der Straße.
- Nutzung der Straße (Mischverkehr) - Höchster Grad an Interaktion mit dem MIV.

Nach einer manuellen Bereinigung der Daten, die der Reduktion der Fehlerquote und der Sicherstellung der richtigen Zuordnung der Datenpunkte diente, entwickelten die Autoren ein OLS-Regressionsmodell mit der Geschwindigkeit als abhängigen Variable. Dabei wird erwartet, dass RadfahrerInnen auf einer baulich getrennten Anlage rund 1,14 km/h schneller sind. Zwischen den Radanlagen und dem Mischverkehr konnte keine statistische Differenz erkannt werden. Überraschenderweise haben DTV, Tageszeit und Anzahl der VLSA-geregelten Kreuzungen keinen klaren Einfluss auf die Geschwindigkeit (Stichwort Signifikanz). Eine Zunahme der VLSA-geregelten Kreuzungen führt zu einer Reduktion der Geschwindigkeit um 0,22 km/h, was jedoch nicht überraschend ist, da hier Zwangspausen an roten Ampeln einfließen. Die Durchschnittsgeschwindigkeit über alle Tracks lag bei 16,1 km/h (10,02 mph). Für die drei Anlagentypen ergaben sich folgende Werte: 16,25 km/h für die „off-street“-Anlagen (wobei ein Einfluss der Geschwindigkeitsbegrenzung vermutet wird), 15,75 km/h im Mischverkehr und 15,62 km/h auf aufgezeichneten Radanlagen. Es war jedoch nicht möglich zu bestimmen, ob sich die niedrigeren Geschwindigkeiten auf „on-street“-Anlagen, z.B. aufgrund von Staus oder dem Zustand der Oberfläche ergaben.³¹⁷

Bezogen darauf, soll in diesem Kapitel der Einfluss auf die Fahrgeschwindigkeit untersucht werden, wobei der Fokus hierbei vor allem auf die Anlageart gelegt wird. Die

³¹⁵ Vgl. El-Geneidy, Krizek, & Iacono, 2007, S. 4f

³¹⁶ Vgl. im Folgenden: El-Geneidy, Krizek, & Iacono, 2007, S. 4

³¹⁷ Vgl. El-Geneidy, Krizek, & Iacono, 2007, S. 8-12

Modellierung und Vorhersage der Geschwindigkeit auf den verschiedenen Anlagearten soll dabei helfen, genaue Erreichbarkeitsanalysen durch die Abschätzung von Fahrzeiten im Radverkehr zu ermöglichen. Im vollen Rahmen kann diese jedoch nur mithilfe eines Map-Matching-Algorithmus berücksichtigt werden, der jedoch nicht Teil dieser Arbeit ist. Alternativ wird die Geschwindigkeit daher an verschiedenen Abschnitten im Radverkehrsnetz analysiert. Die Auswahl der geeigneten Abschnitte erfolgte durch eine visuelle Prüfung der Daten in ArcGIS. Gesucht wurden möglichst störungsfreie Bereiche mit vielen vorbeifahrenden Tracks, wobei alle Anlagearten entsprechend berücksichtigt werden sollten. Der Fokus lag auf den innerstädtischen Bezirken 1 bis 9 (siehe Tabelle 12). Durch die Wahl von störungsfreien Abschnitten konnte der Einfluss der VLSA-regelungen Kreuzungen ausgeblendet werden und mit einer Normierung aller Abschnitte auf 100 m würde weiters die Variable „Länge des Segments“ überflüssig werden. Die Länge von 100 m entstand als Kompromiss zwischen einer Minimierung der Länge, um Störungen wie Kreuzungen auszublenden und einer Maximierung der Länge, um die Fehlerquote bei der Geschwindigkeitsberechnung über die Anzahl der GPS-Punkte zu reduzieren. Berücksichtigt wird außerdem die Höhendifferenz am Abschnitt, die bei der Durchschnittsgeschwindigkeit über den ganzen Weg vernachlässigbar wäre, auf den eher kurzen Abschnitten jedoch starke Auswirkungen auf die Geschwindigkeit haben kann.

Tabelle 12: Ausgewählte Abschnitte für die Geschwindigkeitsanalyse

ID	Querschnitt	Abschnitt	Richtung	Anlageart
1	Alser Straße	Wickenburggasse – Landesgerichtsstraße	O	Mehrzweckstreifen
			W	
2	Bäckerstraße	Lugeck – Dr.-Ignaz-Seipel-Platz	SO	Wohnstraße
			NW	
3	Blumauergasse	Große Mohrengasse - Zirkusgasse	O	Gegen die Einbahn
			W	Mischverkehr
4	Bognergasse	Am Hof – Tuchlauben	SO	Fußgängerzone
			NW	
5	Donaukanal	Siemens-Nixdorf-Steg – Roßauer Brücke	N	Gemischter GRW ²⁹⁶
			S	
6	Erdbergstraße	Thomas-Klestil-Platz – Würtzlerstraße	SO	Radfahrstreifen
			NW	
7	Franz-Josefs-Kai	Werdertorgasse – Gölsdorfstraße	SO	Gemischter GRW
			NW	
8	Gassergasse	Hollgasse – Geigergasse	NO	Wohnstraße
			SW	
9	Gumpendorfer Straße I	Bienengasse – Lehargasse	NO	Radroute
			SW	
10	Gumpendorfer Straße II	Otto-Bauer-Gasse – Hirschengasse	NO	Mischverkehr
			S	
11	Gumpendorfer Straße III	Kopernikusgasse - Corneliusgasse	NO	Busspur
			SW	Mischverkehr
12	Herrengasse	Michaelerplatz - Fahrengasse	N	Mischverkehr
			SO	Gegen die Einbahn
13	Hollandstraße	Hammer-Purgstall-Gasse – Kl. Sperlgasse	NO	Mehrzweckstreifen
			SW	

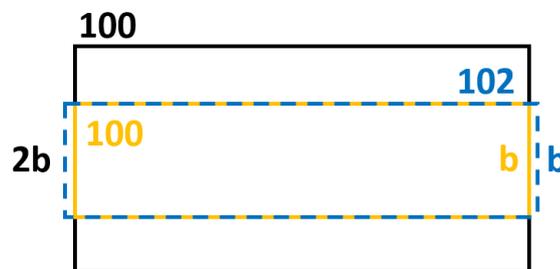
14	Josefsgasse	Hugo-Bettauer-Platz - Auerspergstraße	O	Wohnstraße
			W	
15	Liechtensteinstraße	Strudlhofgasse - Boltzmanngasse	SO	Mehrzweckstreifen
			NW	
16	Margaretenstraße	Waaggasse - Paulanergasse	NO	Getrennter GRW
			SW	
17	Mariahilfer Straße I	Kaiserstraße - Schottenfeldgasse	O	Begegnungszone
			W	
18	Mariahilfer Straße II	Andreassgasse - Neubaugasse	NO	Fußgängerzone
			SW	
19	Maria-Theresien-Straße	Deutschmeisterplatz - Franz-Josefs-Kai	NO	Mehrzweckstreifen
			SW	Baulicher RW
20	Mollardgasse	Marchettigasse - Turmburggasse	N	Mischverkehr
			S	Gegen die Einbahn
21	Neubaugasse	Neustiftgasse - Burggasse	N	-
			S	Busspur
22	Neulinggasse	Sebastianplatz - Ziehrerplatz	O	Radroute
			W	
23	Neustiftgasse	Zieglergasse - Myrthengasse	O	-
			W	Busspur
24	Pantzergasse	Guneschgasse - Sommergasse	N	Wohnstraße
			S	
25	Resselpark	Resselgasse - Karlsgasse	O	Gemischter GRW ³¹⁸
			W	
26	Rotensterngasse	Große Mohrengasse - Zirkusgasse	SO	Mischverkehr
			NW	Baulicher RW
27	Salzgries	Marienstiege - Fischerstiege	O	Mischverkehr
			W	-
28	Schlossgasse	Hofgasse - Castelligasse	SO	Wohnstraße
			NW	
29	Schmelzgasse	Große Mohrengasse - Taborstraße	SO	Mischverkehr
			NW	-
30	Schönbrunner Straße	Rüdigergasse - Pilgramgasse	NO	Radroute
			SW	-
31	Schottenfeldgasse	Mariahilfer Straße - Apollogasse	SO	Mischverkehr
			NW	Gegen die Einbahn
32	Strozsigasse	Josefstraße - Zeltgasse	N	-
			S	Radroute
33	Tiefer Graben	Freyung - Wipplingerstraße	NO	Mischverkehr
			SW	Gegen die Einbahn
34	Wipplingerstraße	Färbergasse - Jordangasse	SO	-
			NW	Mischverkehr
35	Zieglergasse	Mariahilfer Straße - Apollogasse	SO	Gegen die Einbahn
			NW	Mischverkehr

³¹⁸ Diese beiden Abschnitte sind eigentlich Straßenabschnitte mit allgemeinem Fahrverbot ausgenommen Fahrräder und Ladetätigkeit (Verkehrsberuhigte Bereiche lt. Wiener Systematik, siehe auch Kapitel 2.2). Um sich aber an die definierte Systematik der Anlagearten zu halten, werden diese in der weiteren Folge als Gemischte Geh- und Radwege behandelt, da hier, bezogen auf Verkehrsorganisation und örtliche Begebenheiten, die größte Ähnlichkeit besteht.

Für die Durchführung der Analysen waren einige Vorarbeiten notwendig, die hier im Detail beschrieben werden sollen. Für jeden Abschnitt wurde eine Querschnittsbreite gewählt, die möglichst alle Tracks berücksichtigt (siehe auch Kapitel 6.2.2).

Um die relevanten Teil-Tracks zu erhalten, mussten je Abschnitt zuerst alle Tracks anhand eines Rechtecks mit der Länge 100 m und einer Breite größer der Querschnittsbreite b (hier $2b \times 100\text{m}$) ausgeschnitten werden (siehe Abbildung 39). Dadurch konnten folgend mithilfe von „Select by location - completely within“, all jene Teil-Tracks ausgewählt werden, die vollkommen in einem Rechteck mit der einfachen Querschnittsbreite b und einem zusätzlichen Meter an beiden Längsseiten ($b \times 102\text{ m}$) lagen, womit alle relevanten Track-Teilstücke im relevanten Abschnitt erfasst und neu abgespeichert werden konnten. Nachdem die Länge der Tracks neu berechnet wurde, wurden alle Tracks in eine CSV-Datei kopiert.

Abbildung 39: Skizze zur Auswahl der Tracks und Trackpoints je Abschnitt



Die Berechnung der Geschwindigkeit erfolgt über die Länge der Track-Teilstücke und die Anzahl der Trackpoints entlang dieser. Aufgrund der großen Datenmengen war wiederum eine SQL-Query erforderlich. Dabei wurden alle Trackpoints ausgewählt, die innerhalb eines Rechtecks mit einfacher Querschnittsbreite und 100 m Länge ($b \times 100\text{m}$) liegen und über die Anzahl je Track aggregiert. Da manche Abschnitte zwei verschiedene Anlagearten aufweisen, war bei den Tracks auch eine Unterscheidung nach Fahrtrichtung notwendig. Diese erfolgte durch die Bestimmung der Koordinaten der beiden Endpunkte je Track und der Berechnung des Azimuts zwischen erstem und letztem Trackpoint in Grad (im Anhang 6 ist die SQL-Query für einen Beispiel-Abschnitt zu finden). Die Ergebnisse wurden wieder in eine CSV-Datei exportiert. Unter Zuhilfenahme des digitalen Geländemodells (DGM) der Stadt Wien, hier in Form eines 1 m x 1 m Rasters, konnten die zurückgelegten Höhenunterschiede der Tracks berechnet werden. Die Daten sind als einzelne Blattsnitte frei über den Geodatenviewer verfügbar³¹⁹. Um die Informationen über die Höhen entsprechend nutzen zu können, wurden die einzelnen Blattsnitte in ArcGIS erst an das verwendete Referenzsystem (ETRS89, 3035) angepasst („Project Raster“) und mithilfe von „Mosaic to new rast“ wurde aus den einzelnen Blattsnitten ein Gesamt-Raster erstellt, der folgend in ein Punkt-shapefile („Raster to Point“) umgewandelt wurde. Da nur die Punkte innerhalb der Abschnitte benötigt wurden, wurden alle anderen Punkte mithilfe von „Clip“ entfernt. Über das Buffer-Tool wurden Kreise mit einem Radius von 0,5 m um die Punkte erzeugt, die wiederum als Input fungierten, um mithilfe des „feature to polygon“-Tools flächendeckende Rechtecke bzw. Quasi-Rasterzellen mit 1 x 1 m zu erzeugen. Für jeden Abschnitt wurde danach eine SQL-Query (siehe Anhang 7) erstellt, welche die beiden Endpunkte (Trackpoint) je track

³¹⁹ Siehe <https://www.wien.gv.at/ma41datenviewer/public>

innerhalb des Rechtecks mit der einfachen Querschnittsbreite ($b \times 100 \text{ m}$) bestimmt und die Höheninformationen jener Rasterzelle zuweist, in welchem der Anfangs- bzw. Endpunkt liegt. Diese Ergebnisse wurden ebenfalls in einzelne CSV-Files exportiert. Die Weiterverarbeitung der drei CSV-Dateien mit den Tracks, den Trackpoints inkl. Fahrtrichtung sowie den Trackpoints inkl. Höhe erfolgte unter Verwendung von Python und entsprechender libraries, wie pandas oder numpy. Dabei wurden die drei CSV-Dateien jeden Abschnitts eingelesen und über die „track-id“ miteinander verbunden. Damit wurden auch alle irrelevanten Trackpoints, also Trackpoints von Track-Teilstücken, die nicht vollständig im Abschnitt liegen, aussortiert. Die Berechnung der Geschwindigkeit (v_{clip}) erfolgte über die Länge der Tracks, die durch die Anzahl der Trackpoints im Abschnitt geteilt werden. Um fehlerhafte Daten zu entfernen, kam auch hier wieder ein Filter zur Anwendung. Dabei wurden nur jene Tracks berücksichtigt, die eine Länge zwischen 100 und 120 m und eine Geschwindigkeit zwischen 9 und 36 km/h aufweisen. Die Unterscheidung nach Fahrtrichtung und die Zuordnung der Anlageart wurde wie folgt geregelt: Für jeden Track wurde das Azimut (=Bewegungsrichtung in Grad) auf die zweite Stelle vor dem Komma (Zehner-Stelle) gerundet. Anschließend wurde eine Liste all dieser Werte im Abschnitt, absteigend nach deren Anzahl, erstellt. Richtung 1 (R1) wurde der erste und damit häufigste Wert in der Liste zugewiesen. Richtung 2 (R2) erhielt den zweiten Wert in der Liste, wenn die Differenz zwischen R1 und R2 größer 120° war oder den dritten Wert in der Liste, wenn diese kleiner 120° war. Da im späteren Verlauf acht Himmelsrichtungen (N, NO, O, SO, S, SW, W, NW) unterschieden werden, entspricht der Sektor einer Fahrtrichtung einem Bereich von 45° ($360/8$). Die Werte von R1 und R2 stellen die Mitte eines Sektors dar und mussten daher jeweils um $22,5^\circ$ reduziert bzw. erweitert werden, um einen vollen Sektor zu erhalten. Wenn die (ungerundeten) Grad-Werte der Tracks innerhalb dieser 45° -Sektoren lagen, wurde diesen als Richtung der Wert „R1“ bzw. „R2“ zugewiesen. Tracks mit Werten außerhalb dieser Sektoren wurden nicht weiter berücksichtigt. Je Richtung wurde dann ein Durchschnittswert für das Azimut berechnet. Die Zuordnung einer Himmelsrichtung als Fahrtrichtung erfolgte über den Vergleich des Durchschnitt-Azimuths mit den definierten 45° -Sektoren der Himmelsrichtungen (z.B. Süden: 157,5 bis 202,5). Die Zuweisung der Anlageart je Richtung erfolgte über die Datenbasis der Radanlagen (OGD). Dadurch war es auch möglich, die Abschnitte nochmals genauer auf ihre Daten zu prüfen. Als angemessene Stichprobengröße je Abschnitt wurden mindestens 75 Tracks je Richtung bzw. 150 insgesamt definiert. Das Ergebnis all dieser Schritte war eine Tabelle mit den ausgewählten Tracks und deren Geschwindigkeit und zurückgelegte Höhendifferenz, unterschieden nach Abschnitt, Fahrtrichtung und Anlageart.

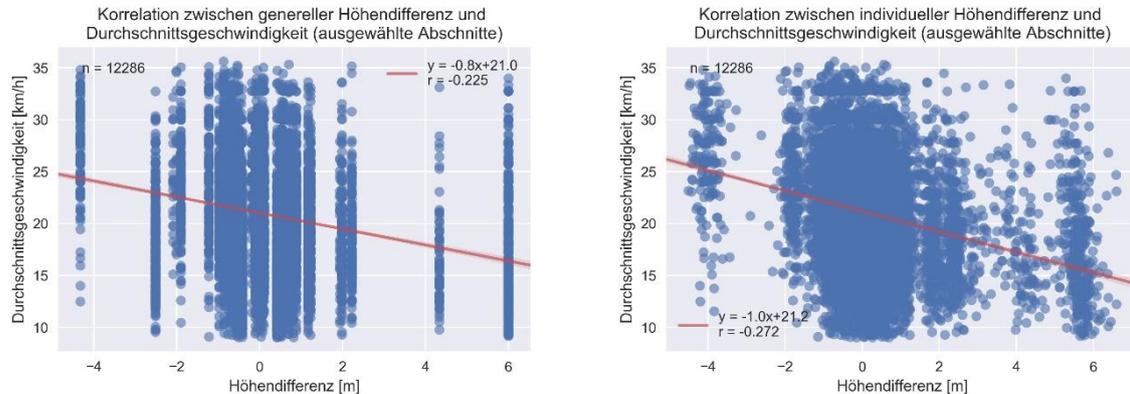
6.3.1 Geschwindigkeit nach Steigung

Auf Basis der Ergebnisse der Studie von El-Geneidy et al. (2007)³²⁰ wird angenommen, dass die Art der Radanlage einen Einfluss auf die gefahrene Geschwindigkeit hat. Mit der Anlageart ist jedoch auch immer direkt die dort vorliegende Geländeform verbunden. Im Vorfeld sollen daher die Auswirkungen von Steigungen bzw. Gefällen berücksichtigt werden. In Abbildung 40 sind Durchschnittsgeschwindigkeiten und Höhendifferenzen an

³²⁰ Vgl. El-Geneidy, Krizek, & Iacono, 2007

den ausgewählten Abschnitten gegenübergestellt. Zu unterscheiden ist dabei die generelle Höhendifferenz an den jeweiligen Achsen der Anlagen bzw. die individuelle Höhendifferenz, welche sich für jeden einzelnen Track über die SQL-Query ergeben hat.

Abbildung 40: Korrelation zwischen Höhendifferenz und Durchschnittsgeschwindigkeit (generelle vs. individuelle Höhendifferenz)

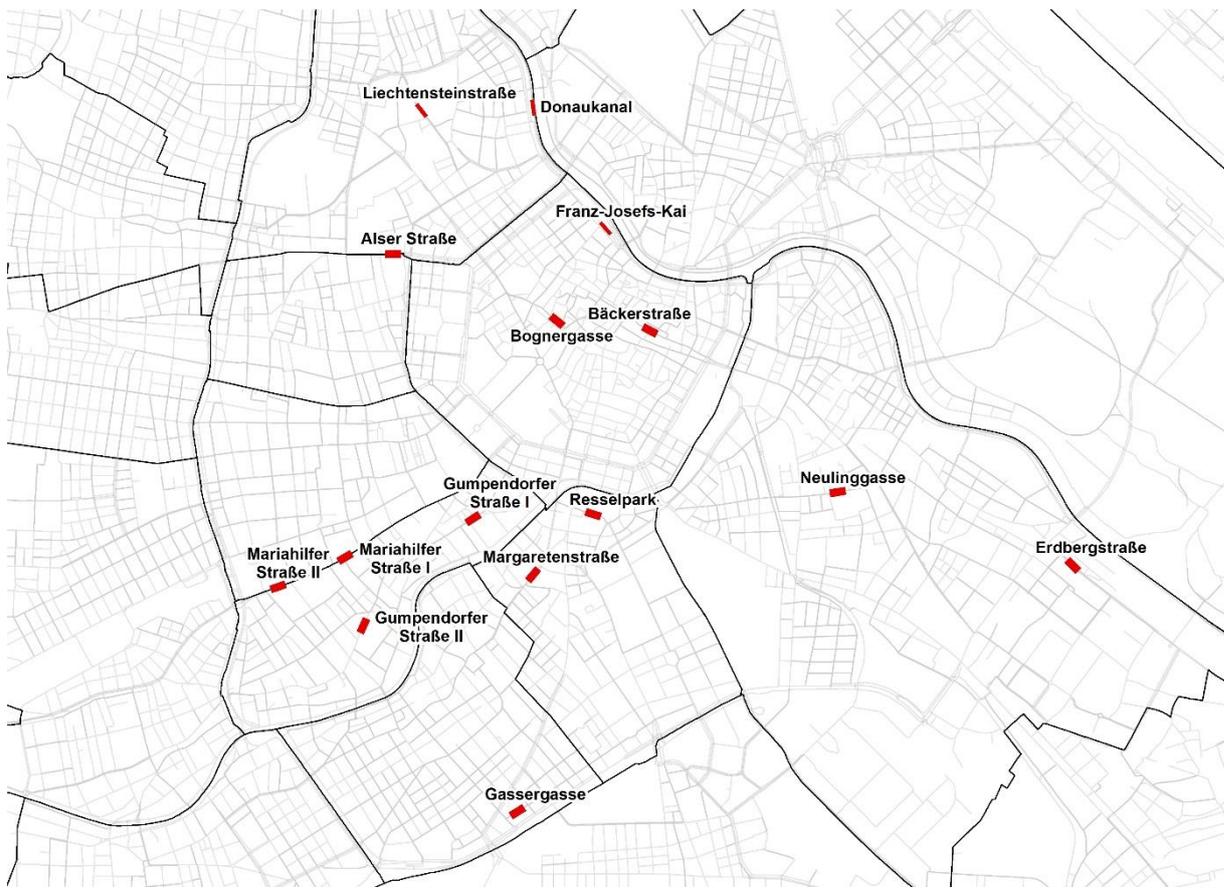


Mit jedem zusätzlichen Höhenmeter, der zu überwinden ist bzw. mit jedem weiteren Prozentpunkt in der Steigung (wegen der Abschnittslänge von 100 m) wird sich die Geschwindigkeit um 0,8 bzw. 1,0 km/h reduzieren. Die Korrelationen zeigen mit einem Koeffizienten von 0,225 bzw. 0,272 ein ähnliches Ergebnis. Bei den individuellen Höhenunterschieden sind jedoch einige Ausreißer erkennbar, die sich durch GPS-Fehler ergeben können. Überraschenderweise ist die Korrelation hier trotzdem etwas stärker.

Es wurde jedoch nur die Höhendifferenz zwischen den beiden Enden des Abschnitts betrachtet. Unberücksichtigt bleiben hingegen die Höhenunterschiede vor und nach dem Abschnitt. So wird es einen Unterschied machen, ob vor dem Abschnitt bereits eine lange Steigung zu überwinden ist oder mithilfe eines Gefälles Schwung mitgenommen werden konnte. Dabei müsste jedoch auch wieder die Anzahl bzw. die Dichte an Kreuzungen miteingerechnet werden, da der Schwung durch eine rote Ampel oder einen Fußgänger an einem Übergang wegefallen würde.

6.3.2 Geschwindigkeit nach Anlageart

Die geringe Korrelation zwischen Höhendifferenz und Geschwindigkeit lässt vermuten, dass eben auch noch andere Faktoren Einfluss auf die Geschwindigkeit nehmen. Unter Berücksichtigung der Steigung werden daher nun die Geschwindigkeiten auf verschiedenen Anlagearten untersucht. Hierzu werden die Geschwindigkeiten von Hin- und Rückrichtung auf jenen Abschnitten aus Tabelle 12 verglichen, die in beiden Fahrtrichtungen die gleiche Anlageart und ähnliche viele Tracks (maximales Verhältnis von 1:2) aufweisen, wodurch von den ursprünglichen 35 Abschnitten 15 Abschnitte für die detaillierte Geschwindigkeitsanalyse herangezogen werden konnten (siehe Abbildung 41).

Abbildung 41: Abschnitte für die detaillierte Geschwindigkeitsanalyse (Übersichtskarte)³²¹

Durch die getrennte Berechnung der Fahrtrichtung sollen sich die Effekte der Steigung auf die Geschwindigkeit am Gesamtabschnitt aufheben. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden dann die berechneten Durchschnittsgeschwindigkeiten der einzelnen Anlagearten bzw. der verschiedenen Organisationsformen analysiert und verglichen. Die Abbildungen Abbildung 42 bis Abbildung 56 stellen für jeden dieser Abschnitte eine Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeitswerte, getrennt nach Fahrtrichtung, dar (1 Säule entspricht 1 km/h). Die Diagramme beinhalten weiters eine Markierung der Mittelwerte je Richtung und Information über die Höhendifferenz am Abschnitt. Auf Basis der Differenzen der Durchschnittsgeschwindigkeiten soll direkt auf die Höhenunterschiede rückgeschlossen werden können, wobei hier der Einfluss der Anlageart bestimmt werden soll.

³²¹ Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Stadt Wien – MA 21: Straßengraph Wien (OGD); Stadt Wien – MA41: Bezirksgrenzen Wien (OGD); Stadt Wien – MA 46: Radfahranlagen Wien (OGD)

Abbildung 42: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Alser Straße

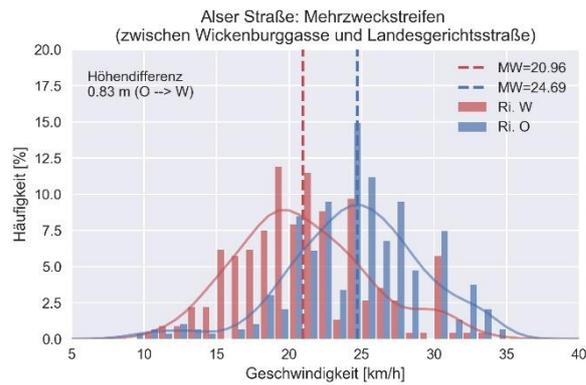


Abbildung 43: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Bäckerstraße

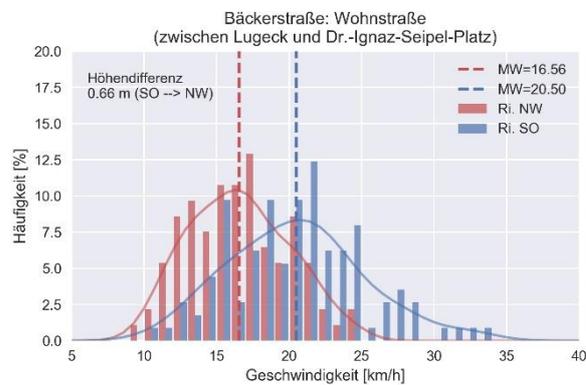


Abbildung 44: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Bognergasse

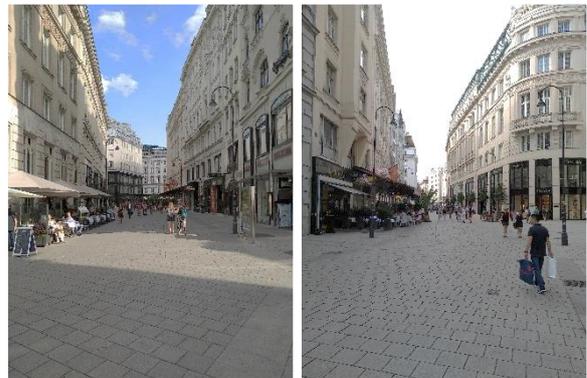
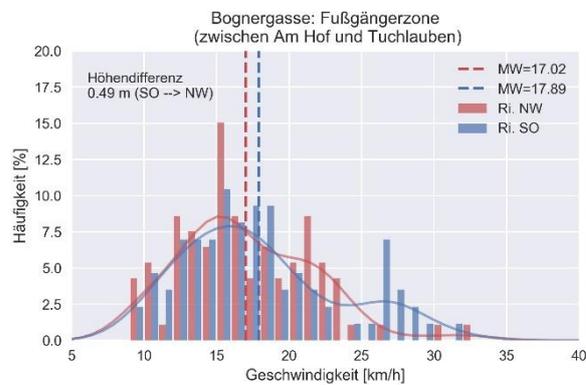


Abbildung 45: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Donaukanal

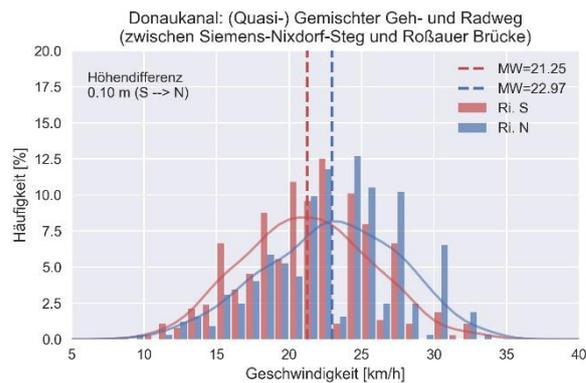


Abbildung 46: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Erdbergstraße

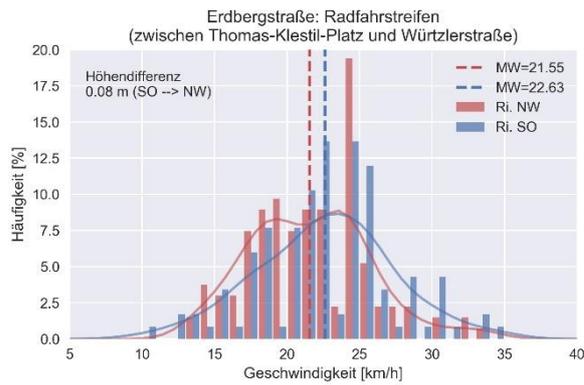


Abbildung 47: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Franz-Josefs-Kai

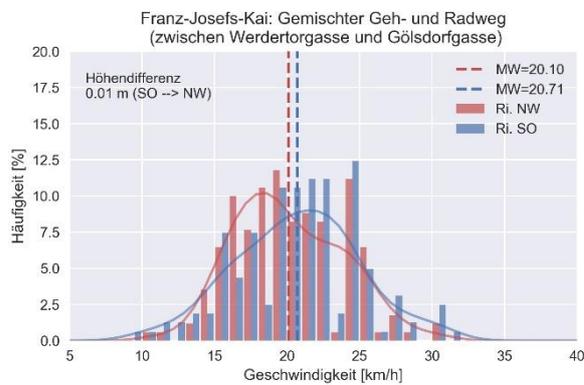


Abbildung 48: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Gassergasse

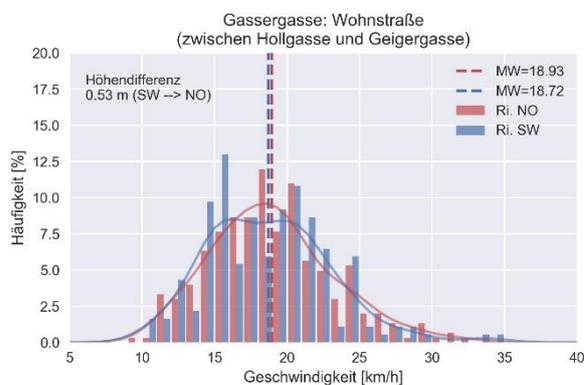


Abbildung 49: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Gumpendorfer Straße I

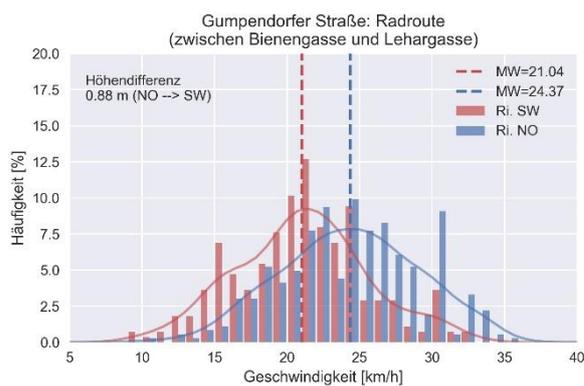


Abbildung 50: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Gumpendorferstraße II

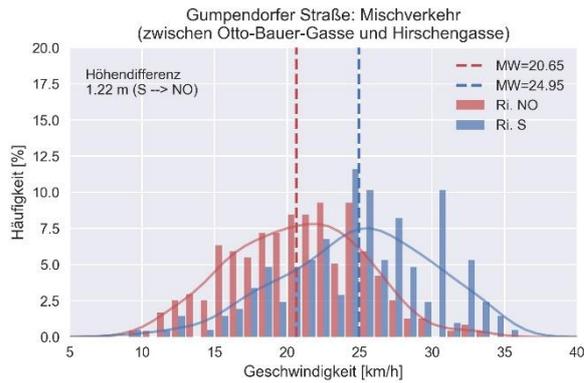


Abbildung 51: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Liechtensteinstraße

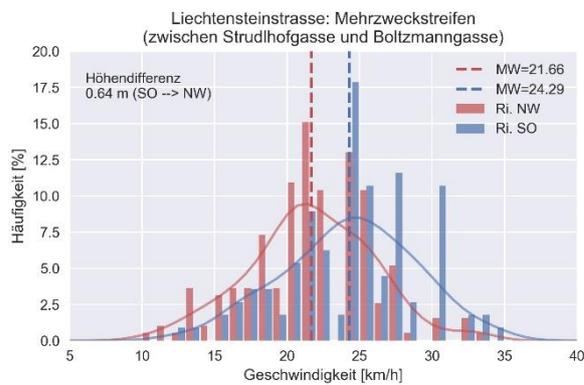


Abbildung 52: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Margaretenstraße

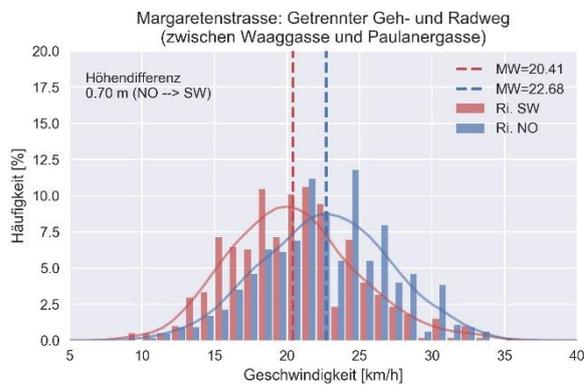


Abbildung 53: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Mariahilfer Straße I

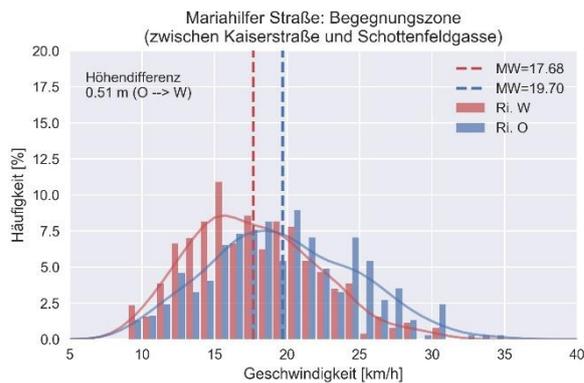


Abbildung 54: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Mariahilfer Straße II

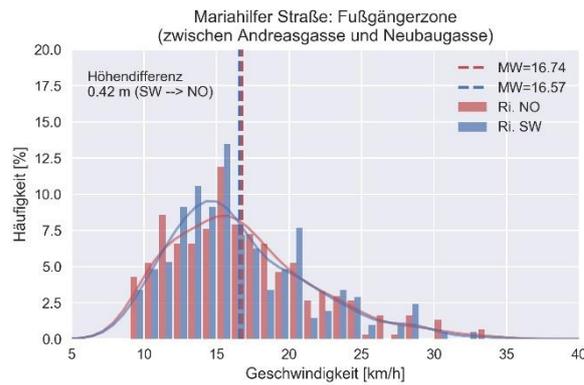


Abbildung 55: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Neulinggasse

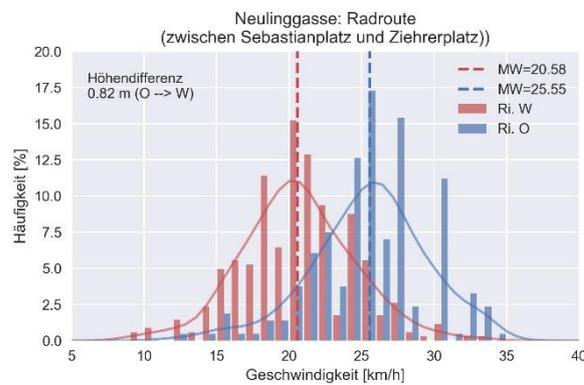
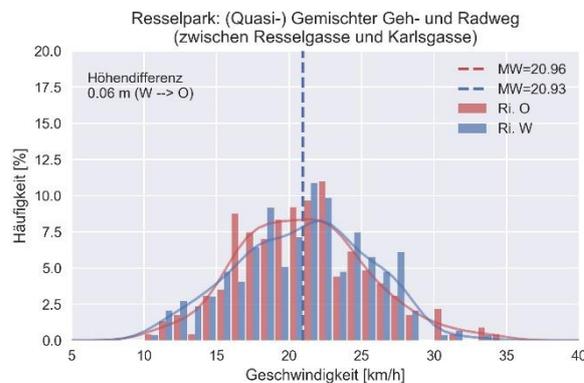
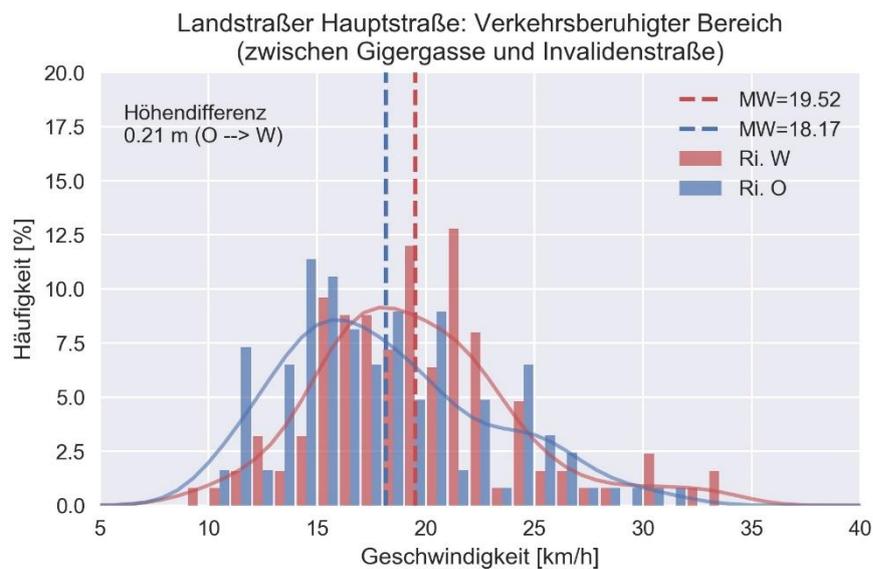


Abbildung 56: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Resselpark



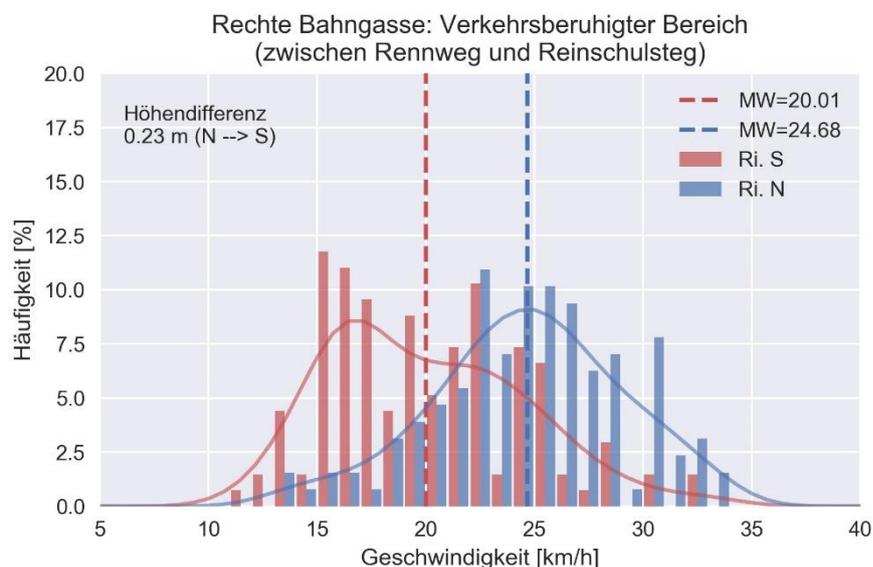
Wie erwartet, sind in allen Abschnitten die Geschwindigkeiten in den Fahrtrichtungen entlang des Gefälles (rot) geringer, gleichhoch oder zumindest nur geringfügig höher (Abschnitt Gassergasse bzw. Mariahilfer Straße II: ~0,2 km/h), womit etwaige grobe Störfaktoren ausgeschlossen werden können. Weiters kann festgestellt werden, dass die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den beiden Fahrtrichtungen umso größer sind, je größer die Höhendifferenzen an den Abschnitten sind. Anhand einiger Beispiele soll dargelegt werden, dass es auch Bereiche gibt, wo dies aus bestimmten Gründen nicht zutrifft und es daher wichtig ist, die Abschnitte sorgfältig zu wählen. Als erstes Beispiel dient hierzu der Abschnitt auf der Landstraßer Hauptstraße zwischen Gigergasse und Invalidenstraße (siehe Abbildung 57).

Abbildung 57: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Landstraßer Hauptstraße



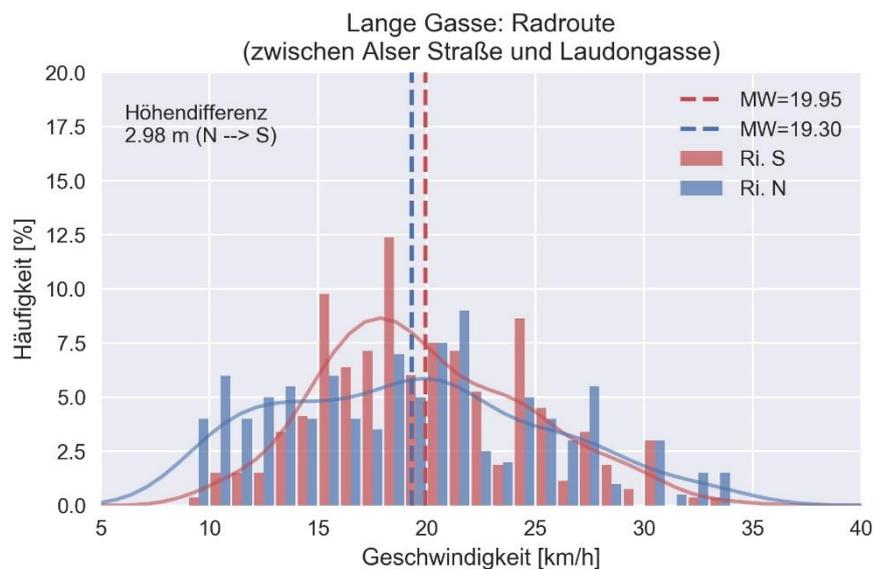
Auf diesem Abschnitt ist die Geschwindigkeit der Fahrten entlang der Steigung höher als entgegen der Steigung. Wie lässt sich das erklären? Der Steigungsverlauf am Abschnitt ist nicht konstant. In Fahrtrichtung Ost kommt es erst zu einer Steigung und dann zu einem Gefälle. Dieses Gefälle kann jedoch nicht genutzt werden, da am Ende des Abschnitts eine ampelgeregelte Kreuzung liegt (Landstraßer Hauptstraße # Invalidenstraße) und die RadfahrerInnen daher wieder langsamer werden müssen. Bei der Wahl der Abschnitte wäre also auch der Verlauf der Steigung zu berücksichtigen. Die Betrachtung von lediglich den Außenpunkten des Abschnitts kann hier ein falsches Bild liefern. Generell können auch Windrichtung und -stärke einen Einfluss auf die Geschwindigkeit haben. Die genauen Werte müssten jedoch eigens gemessen werden, wodurch bei den vorliegenden Beispielen auf eine Berücksichtigung verzichtet wird. Ein etwas anderes Bild zeigt der Abschnitt Rechte Bahngasse in der folgenden Abbildung 58.

Abbildung 58: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Rechte Bahngasse



Trotz einer sehr geringen Höhendifferenz von 0,23 m im gewählten Bereich, zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen Durchschnittsgeschwindigkeiten der beiden Fahrtrichtungen. Bei genauerer Betrachtung des Straßenzugs fällt auf, dass südlich des Abschnitts eine starke Höhendifferenz vorliegt, wodurch RadfahrerInnen Schwung nehmen können und stärkere Geschwindigkeiten erreichen, als bei der Steigung im untersuchten Abschnitt anzunehmen wäre. Zu berücksichtigen sind also auch die Geländeform vor und nach dem Abschnitt. Wie sich gewisse „externe“ Störfaktoren auf die Durchschnittsgeschwindigkeit auswirken können, soll nachfolgendes Beispiel verdeutlichen (siehe Abbildung 59).

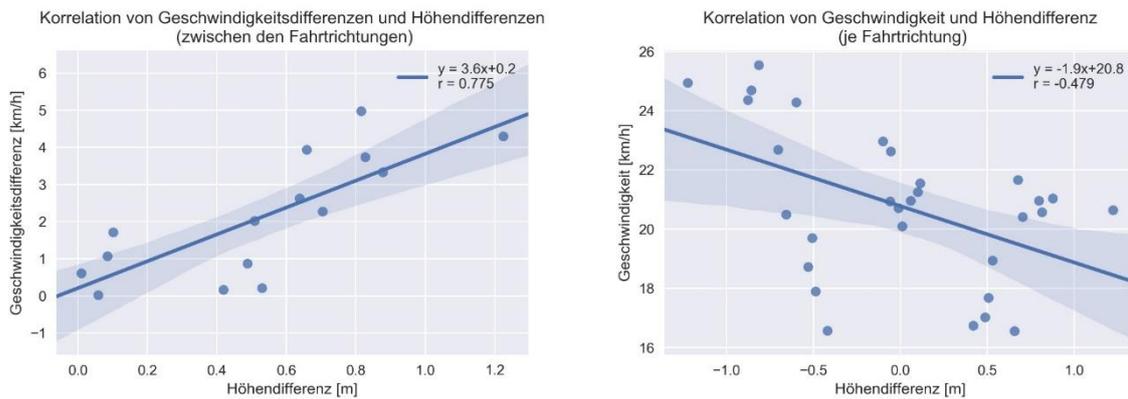
Abbildung 59: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Lange Gasse



Der Abschnitt Lange Gasse zwischen Alser Straße und Laudongasse ist als Radroute deklariert. Richtung Süden bzw. Laudongasse weist der Straßenabschnitt eine 3-prozentige Steigung auf. Trotz dieser Höhendifferenz ist entlang der Steigung eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit festzustellen, als entgegen der Steigung. Dieses Phänomen lässt sich jedoch dadurch erklären, dass innerhalb des Abschnitts die Straßenbahnhaltestelle „Lange Gasse“ liegt, die von den Linien 5 und 33 angefahren wird. Stehen Straßenbahngarnituren in der Haltestelle, müssen die RadfahrerInnen entsprechend langsamer fahren oder abbremsen. Verstärkend kommt hinzu, dass Schienen Unfallpotential bieten und sich RadfahrerInnen deshalb, vor allem beim Hinabfahren, eher vorsichtig verhalten (müssen), was sich auch auf die Durchschnittsgeschwindigkeit auswirkt.

Die Werte aus den Abbildungen Abbildung 42 bis Abbildung 56 werden nun in Abbildung 60 gegenübergestellt, um den Zusammenhang zwischen Höhe und Geschwindigkeit besser erkennen zu können.

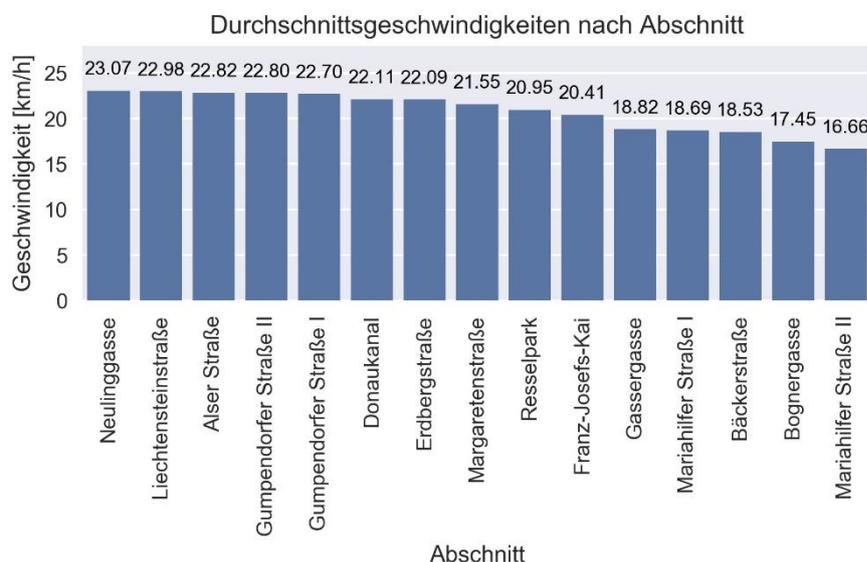
Abbildung 60: Korrelation zwischen Höhendifferenz und Geschwindigkeitsdifferenz bzw. Geschwindigkeit auf ausgewählten Abschnitten



In der linken Teilabbildung sind die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den Fahrrichtungen und die Höhendifferenzen zu erkennen. Mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,775 liegt ein deutlicher Zusammenhang zwischen den beiden Variablen vor. Laut Regressionsgerade bzw. -formel, steigt die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Fahrrichtungen mit jedem Meter Höhendifferenz zwischen den betrachteten Endpunkten um 3,6 km/h. Die rechte Teilabbildung stellt hingegen den Zusammenhang zwischen Höhendifferenz und gefahrener Durchschnittsgeschwindigkeit am Abschnitt dar. Der Korrelationskoeffizient weist einen etwas geringeren Wert von 0,479 auf. Zu erkennen ist weiters, dass der Zusammenhang zwischen den Variablen negativ ist. Anhand der Regressionsformel kann abgelesen werden, dass die Durchschnittsgeschwindigkeit, mit jedem zusätzlichen zu überwindenden Höhenmeter um 1,9 km/h sinkt. Auffallend ist die starke Streuung der Werte, von der erwartet wird, dass sie sich durch die Anlageart bzw. Organisationsform ergibt.

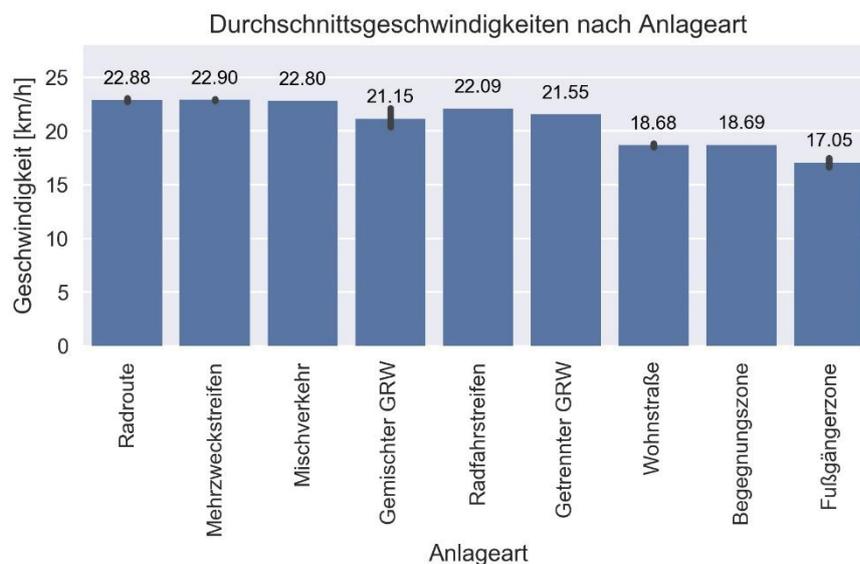
Um dies feststellen zu können, werden nun die Durchschnittsgeschwindigkeiten auf den jeweiligen Abschnitten bestimmt, welche sich einfach aus dem Mittelwert der beiden Richtungen berechnet (siehe Abbildung 61).

Abbildung 61: Durchschnittsgeschwindigkeit auf den ausgewählten Abschnitten



Die höchsten Geschwindigkeiten werden in der Neulinggasse mit durchschnittlich über 23 km/h erreicht. Dicht dahinter liegen die Abschnitte Liechtensteinstraße, Alsterstraße und Gumpendorfer Straße I + II, mit Werten knapp unter 23 km/h. Am langsamsten wird hingegen auf der Mariahilfer Straße im Bereich der Fußgängerzone mit durchschnittlich rund 16,7 km/h gefahren. Auch der Abschnitt Bognergasse weist ähnlich niedrige Werte von 17,45 km/h auf. Die höchsten Geschwindigkeiten werden demnach auf „On-street“-Anlagen, die geringsten in Fußgängerzonen erreicht. Auf die einzelnen Anlagearten bezogen, sieht das Ergebnis für die Geschwindigkeitswerte wie folgt aus (siehe Abbildung 62).

Abbildung 62: Durchschnittsgeschwindigkeit auf den ausgewählten Abschnitten nach Anlageart



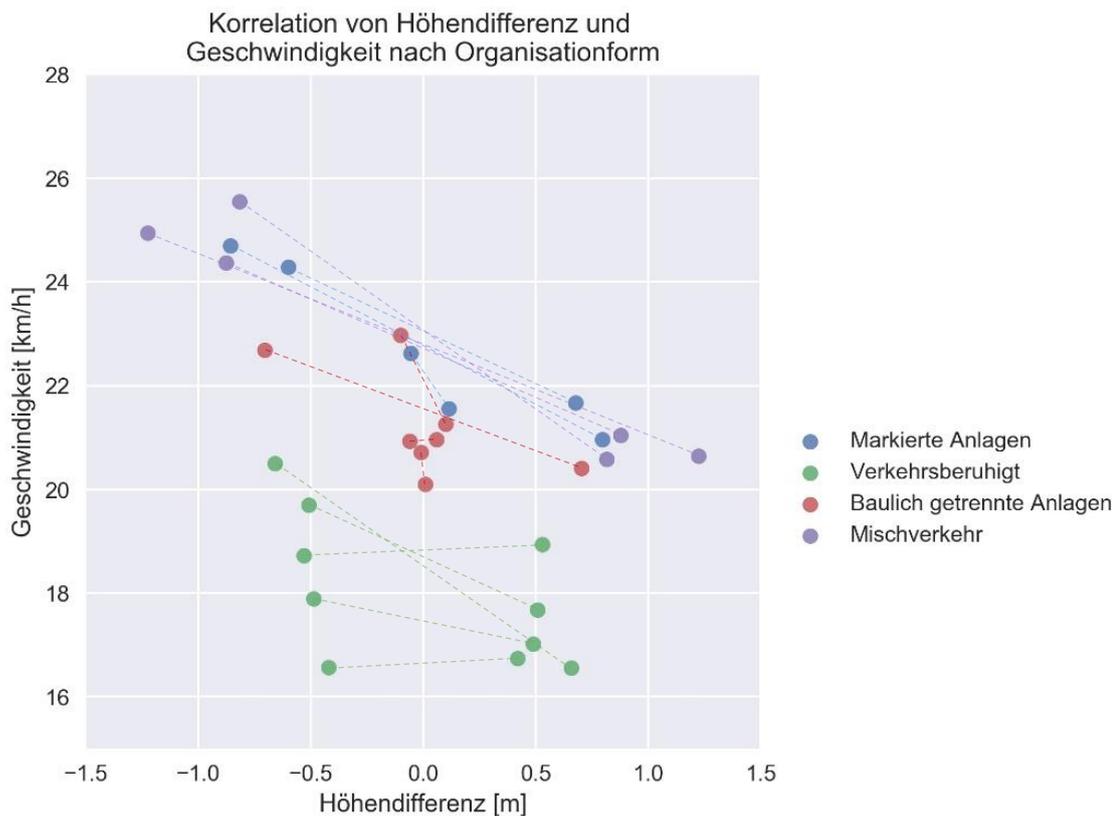
Es ist gut zu erkennen, dass die Durchschnittsgeschwindigkeiten auf Radrouten, Mehrzweckstreifen (beide 22,9 km/h) und im Mischverkehr (22,8 km/h) am höchsten sind. Im Gegensatz dazu werden in Fußgängerzonen die niedrigsten Durchschnittsgeschwindigkeiten mit rund 17 km/h erfasst. Die gemischten Geh- und Radwege weisen eine zu erkennende Spannweite auf, die sich durch den Abschnitt Donaukanal ergibt, der eine deutlich höhere Geschwindigkeit als Resselpark und Franz-Josefs-Kai aufweist. Die Aggregation der Werte der Anlagearten nach den Organisationsformen laut definierter Einteilung in Kapitel 2.1, ist in Abbildung 63 zu sehen.

Abbildung 63: Durchschnittsgeschwindigkeiten auf den ausgewählten Abschnitten nach Organisationsform



Im Mischverkehr und auf markierten Anlagen sind ähnlich hohe Durchschnittsgeschwindigkeiten von 22,9 bzw. 22,6 km/h zu verzeichnen. Etwas langsamer wird auf baulich getrennten Anlagen gefahren (21,3 km/h) und mit lediglich rund 18/h weisen verkehrsberuhigte Abschnitte die geringste Durchschnittsgeschwindigkeit auf. Diese unterschiedlichen Geschwindigkeiten sind auch noch einmal gut durch folgende Abbildung 64 ablesbar, wo Abbildung 60 (rechter Teil) um die Organisationsformen ergänzt wurde.

Abbildung 64: Korrelation von Höhendifferenz und Durchschnittsgeschwindigkeit nach der Organisationsform der Radanlage



Deutlich zu erkennen sind dabei die Geschwindigkeitsbereiche der Organisationsformen, die sich durch den Schnittpunkt der einzelnen Linien mit der 0,0 m Achse ergeben. Die Schnittpunkte entsprechen dabei den Werten aus Abbildung 61.

Die Geschwindigkeitsbereiche der markierten Anlagen und Mischverkehr überlappen sich und liegen bei 23 km/h, wobei die Geschwindigkeiten auf markierten Anlagen bereits bei 22 km/h beginnen. Hier liegt auch die Höchstgrenze der baulich getrennten Anlagen, deren Untergrenze sich bei 20,5 km/h befindet. Mit rund 16,5 bis 19 km/h liegt weit abgeschlagen der Bereich der Durchschnittsgeschwindigkeiten der verkehrsberuhigten Anlagen.

6.3.3 OLS: Geschwindigkeit nach Anlageart und Höhendifferenz

Mithilfe eines OLS-Regressionsmodells soll im Folgenden die Radfahrgeschwindigkeit vorhergesagt werden können, die damit als abhängige Variable fungiert. Als unabhängige Variable fließen zum einen die Steigung ein, wobei hier die generelle Steigung herangezogen wird, um die GPS-Fehler auszuschließen (siehe Abbildung 40), zum anderen die verschiedenen Anlagearten und Organisationsformen, die als Dummy-Variable vorliegen (Vorhandensein der Anlageart bzw. Organisationsform: Ja oder Nein bzw. 0 oder 1). Dadurch sollen die Durchschnittsgeschwindigkeiten auf anderen Abschnitten vorhergesagt werden können, wenn Anlageart und Höhendifferenz bekannt sind.

Um der *dummy-variable trap* zu entgehen, bleibt im Zuge der Modellberechnungen jeweils eine Anlageart oder Organisationsform unberücksichtigt, da diese bereits durch die anderen Dummy-Variablen erklärt wird. Der Einfluss dieser Anlageart ist jedoch in die Konstante eingerechnet. Die Anlagearten können positive oder negativ Koeffizienten aufweisen, was nur bedeutet, dass die Geschwindigkeit hier im Vergleich zur Bezugs-Anlageart höher oder niedriger ist. Der Koeffizient der jeweiligen Anlageart darf bei der Vorhersage nur einmalig berücksichtigt werden (Dummy-Variable). Der Koeffizient der Steigung kann im Gegensatz dazu aber auch mehrfach einfließen (je nach Höhendifferenz am untersuchten Abschnitt). Von Interesse ist daher im Folgenden vor allem der Einfluss der Steigung und das Verhältnis der Werte der Anlagearten bzw. Organisationsformen zueinander.

Tabelle 13 stellt die Ergebnisse für das Modell zur Vorhersage der Radfahrgeschwindigkeit auf Anlagearten dar, welches als Basis all jene Wege heranzieht, die innerhalb der ausgewählten 35 Abschnitten erfasst wurden.

Tabelle 13: OLS-Modell zur Vorhersage der Radfahrgeschwindigkeit (Anlageart) auf 35 Abschnitten

	Koeffizient	t	P> t
Konstante (inkl. Baulicher Radweg)	20,1094	65,178	0,000
Höhendifferenz	-0,7194	-23,752	0,000
Mischverkehr	1,5770	4,840	0,000
Radroute	2,5700	7,746	0,000
Radfahrstreifen	1,9727	4,616	0,000

Mehrzweckstreifen	2,4729	7,358	0,000
Radfahren gegen die Einbahn	0,6236	1,768	0,077
Radfahren auf Busspur	-0,0669	-0,193	0,847
Fußgängerzone	-3,1888	-8,950	0,000
Begegnungszone	-1,3054	-3,615	0,000
Wohnstraße	-0,4139	-1,234	0,217
Gemischter Geh- und Radweg	1,2256	3,707	0,000
Getrennter Geh- und Radweg	1,4660	4,368	0,000
Adjusted R ² = 0,135 N = 12.286			

Die Steigung scheint hier einen signifikanten und nicht überraschenden negativen Einfluss auf die Geschwindigkeit zu haben. Mit jedem Höhenmeter, der zurückgelegt wird, reduziert sich die Geschwindigkeit um 0,72 km/h. Die höchsten Geschwindigkeiten werden generell auf Radrouten (22,7 km/h) und Mehrzweckstreifen (22,6 km/h) vorhergesagt. Etwas geringer fallen die Geschwindigkeiten auf Radfahrstreifen aus (22,1 km/h). Dies stimmt auch gut mit den berechneten Werten in Abbildung 63 überein. Abweichungen sind jedoch beim Mischverkehr festzustellen, wo die Geschwindigkeit laut Vorhersage bei 21,7 km/h und laut Berechnung bei 22,8 km/h liegt. Die vorhergesagten Geschwindigkeiten auf Getrennten/Gemischten Geh- und Radwege liegen geringfügig unter jenen im Mischverkehr (21,6 bzw. 21,3 km/h). Mit 16,9 km/h sind die geringsten Geschwindigkeiten in Fußgängerzonen zu erwarten, was auch den errechneten Werten in Abbildung 63 entspricht. Höherer Geschwindigkeiten werden für Begegnungszonen und Wohnstraßen vorhergesagt (18,8 bzw. 19,7). Die Berechnung der Geschwindigkeiten ergab für beide Anlagearten 18,7 km/h. Baulicher Radweg, welcher hier in die Konstante eingerechnet ist, und Radfahren auf Busspuren konnten beide im letzten Kapitel 6.3.2, aufgrund fehlender geeigneter Abschnitte, nicht genauer untersucht werden. Über das OLS-Modell ergeben sich für beide Anlagearten ähnliche Einflüsse auf die Geschwindigkeit (20,1 bzw. 20,0 km/h). Für die Anlageart Radfahren gegen die Einbahn konnten auch keine detaillierten Analysen durchgeführt werden. Das OLS-Modell zeigt hier mit 20,7 km/h eine etwas höhere Geschwindigkeit, als bei den beiden eben genannten Anlagearten.

Mit Ausnahme von Radfahren auf Busspur und Wohnstraße sind alle Variablen auf dem Niveau von 0,10 signifikant. Die Bedeutung der Signifikanz ist in diesem Modell (und den folgenden Modellen) aber eigentlich zu vernachlässigen, da die Variablen der Anlagearten bzw. der Organisationsformen als Dummy-Variable fungieren und somit bei einer Vorhersage immer nur eine Variable neben der Höhendifferenz berücksichtigt wird. Die unterschiedlichen Signifikanzniveaus der Anlagerten bzw. Organisationsformen spielen daher (in diesen Modellen) keine große Rolle. Wie sich die Organisationsformen auf die Geschwindigkeit auswirken, zeigt sich in den Ergebnissen in Tabelle 14.

Tabelle 14: OLS-Modell zur Vorhersage der Radfahrgeschwindigkeit (Organisationsform) auf 35 Abschnitten

	Koeffizient	t	P> t
Konstante (inkl. Baulich getrennte Anlagen)	21,3376	247,295	0,000
Höhendifferenz	-0,8094	-27,037	0,000
Mischverkehr	0,7484	6,342	0,000
Markierte Anlagen	0,0798	0,651	0,515
Verkehrsberuhigt	-2,6134	-20,523	0,000
Adjusted R ² = 0,109 N = 12.286			

Für die Steigung liegt mit 0,81 km/h ein ähnlich hoher negativer Einfluss, wie im vorherigen Modell vor (siehe Tabelle 13). Die höchste Geschwindigkeit wird für den Mischverkehr vorhergesagt (22,1 km/h). Dieser Wert liegt damit zwischen jenen der beiden zugehörigen Anlagearten Mischverkehr und Radroute laut Abbildung 63 (21,7 bzw. 22,7 km/h). Die errechnete Geschwindigkeit (siehe Abbildung 64) ist jedoch um ca. 0,8 km/h höher (22,9 km/h). Baulich getrennten Anlagen und Markierten Anlagen wird ein ähnlicher hoher Einfluss auf die Geschwindigkeit zugeschrieben (21,3 bzw. 21,4 km/h). Die Geschwindigkeiten der beiden zugehörigen Anlagearten Gemischte bzw. Getrennte Geh- und Radwege liegen zwar in einem ähnlichen Wertebereich wie jene der Baulich getrennten Anlagen (21,2 und 21,5 km/h), für die Baulichen Radwege wurden jedoch lediglich Geschwindigkeiten von 20,1 km/h vorhergesagt. Die berechnete Geschwindigkeit der Baulich getrennten Anlagen entspricht mit 21,3 km/h wiederum der Vorhersage. Bei den entsprechenden Anlagearten der markierten Anlagen (Radfahrstreifen, Mehrzweckstreifen, Radfahren gegen die Einbahn und Radfahren auf Busspur) liegen die vorhergesagten Geschwindigkeiten in einem Bereich von 20,0 bis 22,6 km/h. Die Berechnung ergab hier eine Geschwindigkeit von 22,6 km/h, welche damit um mehr als 1 km/h über der Vorhersage liegt.

In Verkehrsberuhigten Bereichen werden die niedrigsten Geschwindigkeiten aller Organisationsformen erwartet (18,7 km/h). Mit 18,8 km/h ist für Begegnungszonen ein ähnlich hoher Wert vorhergesagt worden, in den beiden anderen zugehörigen Anlagearten Fußgängerzone und Wohnstraße sind jedoch Geschwindigkeiten von 16,9 km/h bzw. 19,7 km/h zu erwarten. Es ist anzunehmen, dass die Anlagearten der Organisationformen einen zu unterschiedlichen Einfluss auf die Geschwindigkeit haben, als dass diese sinnvoll durch eine Variable beschrieben werden könnten. Dies spiegelt sich auch im angepassten R² wieder, welches geringer als im vorherigen Modell ausfällt. Durch den Vergleich der Koeffizienten in Tabelle 13 wird das besonders für alle Anlagen der verkehrsberuhigten Bereiche (Fußgängerzone, Begegnungszone, Wohnstraße), die markierten Anlagen mit den Anlagearten Radfahren auf Busspur und Radfahren gegen die Einbahn sowie Baulich getrennte Anlagen mit der Anlageart Baulicher Radweg deutlich.

Als Vergleich sollen zwei weitere Modell dienen, wo lediglich die 15 Abschnitte aus Kapitel 6.3.2 berücksichtigt werden. Tabelle 15 stellt zuerst wieder die Ergebnisse des Modells zur Vorhersage der Geschwindigkeiten auf Anlagearten dar.

Tabelle 15: OLS-Modell zur Vorhersage der Radfahrgeschwindigkeit (Anlageart) auf 15 Abschnitten

	Koeffizient	t	P> t
Konstante (inkl. Begegnungszone)	18,6951	103,828	0,000
Höhendifferenz	-1,8652	-23,299	0,000
Mischverkehr	4,1098	14,711	0,000
Radroute	4,0690	18,313	0,000
Radfahrstreifen	3,4217	10,182	0,000
Mehrzweckstreifen	4,1936	17,586	0,000
Fußgängerzone	-1,7072	-6,868	0,000
Wohnstraße	0,2492	1,003	0,316
Gemischter Geh- und Radweg	2,6366	12,368	0,000
Getrennter Geh- und Radweg	2,8438	12,920	0,000
Adjusted R ² = 0.197 N = 7.530			

Der negative Einfluss der Höhendifferenz (- 1,9 km/h) ist in diesem Modell stärker, als in jenem mit 35 Abschnitten. Da hier die 15 Abschnitte aus der detaillierten Geschwindigkeitsanalyse eingeflossen sind, sind die vorhergesagten Geschwindigkeiten auf den unterschiedlichen Anlagearten sehr ähnlich den berechneten Werten in Abbildung 61 ($\Delta_{\max} \approx 0,3$ km/h). Das angepasste R² liegt mit einem Wert von rund 0,2 deutlich über jenen des 35-Abschnitt-Modells, und hat damit einen höheren Erklärungswert. Die Ergebnisse des Modells der Organisationsformen sind der folgenden Tabelle 16 zu entnehmen.

Tabelle 16: OLS-Modell zur Vorhersage der Radfahrgeschwindigkeit (Organisationsform) auf 15 Abschnitten

	Koeffizient	t	P> t
Konstante (inkl. Baulich getrennte Anlagen)	21,4242	251,329	0,000
Höhendifferenz	-1,8824	-23,439	0,000
Mischverkehr	1,3516	9,619	0,000
Markierte Anlagen	1,2845	7,933	0,000
Verkehrsberuhigt	-3,2301	-24,456	0,000
Adjusted R ² = 0,189 N = 7.530			

Die Steigung weist einen ähnlichen Einfluss wie im Modell der Anlagearten auf, aber wie auch schon dort, ist auch hier ein deutlich größerer Einfluss der Steigung (- 1,9 km/h), als beim 35-Abschnitte-Modell festzustellen. Grundlage für das OLS-Modell waren auch hier die gleichen 15 Abschnitte wie in Kapitel 6.3.2, wodurch die vorhergesagten Werte und die berechneten Werte (siehe Abbildung 63) nur minimal voneinander abweichen (max. 0,2 km/h). Das angepasste R² ist auch hier wieder niedriger als beim Modell der Anlagearten, was hier vor allem daran liegen könnte, dass die verkehrsberuhigten Anlagen nicht homogen sind (siehe Koeffizienten in Tabelle 15). Das größte

Bestimmtheitsmaß wird mit knapp 0,2 für die Anlagearten auf Basis der 15 Abschnitte erzielt (siehe Tabelle 15), womit dieses OLS-Modell für die Vorhersage von Geschwindigkeiten auf Radfahranlagen empfohlen wird.

7 Zusammenfassung

Die durchgeführten Analysen und Vergleiche erlauben es, vertiefende Blicke in die Daten zu werfen und das Potenzial von GPS als Methode zur Erfassung von Verkehrsdaten zu bestimmen.

Die Betrachtung der Rohdaten zeigte starke Ausreißer bei den definierten Variablen und machte klar, dass eine Aufbereitung der Daten unbedingt notwendig sein würde, um Auswirkungen auf die Auswertungsergebnisse zu vermeiden. Ziel war es dabei, möglichst alle fehlerhaften Daten zu löschen und dabei so viele „gute“ Datensätze wie möglich zu behalten. Da es hierzu keine allgemeingültigen Ansätze gibt, musste auf Basis von Studien und wissenschaftlichen Arbeiten ein eigener 3-stufiger Filter definiert werden. Mit über 42.000 Tracks wirkten die Daten zwar im ersten Moment sehr umfangreich, auf einen Tag runtergebrochen, lag die Anzahl der Tracks jedoch nur noch bei 106, was, bezogen auf den täglichen Radverkehr in Wien, eine sehr kleine Stichprobe darstellt.

Mithilfe klassischer Mobilitätskennzahlen konnte die generelle Repräsentativität der Daten untersucht werden. Diese beschränkten sich jedoch auf Wegelängen, Wochen- und Tagesganglinien, da weitere Informationen, wie Wegehäufigkeit oder Wegezweck aus Gründen der Anonymität bzw. fehlender Erfassung nicht analysiert werden konnten. Die Untersuchung der Wegelängen ergab, dass sich die Bike Citizens Daten, im Gegensatz zu den Daten aus der Mobilitäterehebung, über verhältnismäßig viele lange Wege auszeichnen, die sich möglicherweise dadurch ergeben, dass die Verwendung einer Routenplanung von der zurückzulegenden Distanz abhängt. Je näher das Ziel am Startpunkt liegt, desto geringer ist der Bedarf für die Planung einer Route und desto höher ist der relative Aufwand für die Montage des Smartphones und die Einrichtung der App. Dadurch ergibt sich automatisch ein kleiner Stichprobenfehler in den Daten.

Da wie erwähnt keine Aussagen zum Wegezweck getroffen werden können, musste dieser über Wochen- und Tagesganglinie approximiert werden. Die Möglichkeit hierzu ergab sich aus der Tatsache heraus, dass Arbeitswege klassischerweise vor allem werktags früh und abends vorkommen, Freizeitwege hingegen an Wochenenden und werktags spätabends. Bei der Wochenganglinie zeigten die Daten von Bike Citizens und Österreich unterwegs ein sehr ähnliches Bild. Die Tagesganglinien unterscheiden sich hingegen in geringem Maße. Zwar zeichnen sich die über GPS erfassten Wege, genauso wie die ÖU-Daten, durch eine klassische Abendspitze aus, wenngleich diese auch etwas weniger deutlich ausfällt. Eine Morgenspitze ist jedoch nicht zu erkennen. Dies könnte unter anderem daran liegen, dass morgendliche Wege vor allem dazu dienen, in die Arbeit oder Schule zu kommen und üblicherweise einem gewissen Zeitdruck unterliegen. Dadurch reduziert sich auch der Bedarf zur Erkundung neuer Routen mithilfe der App. Abendliche Wege und Freizeitwege sind hingegen zeitunempfindlicher und werden intensiver genutzt, um neue Routen auszuprobieren.

Da es sich bei den vorliegenden Daten um räumliche Daten handelt, war besonders die Analyse der Verteilung der Wege innerhalb des Untersuchungsgebiets von Interesse. Mithilfe einer Quell-Ziel-Matrix konnte festgestellt werden, dass die meisten Wege generell innerhalb der Bezirke zurückgelegt werden, vor allem in den zentralen und östlichen Bezirken von Wien (1.-3., 9.-11., 21. und 22.). Zu berücksichtigten sind dabei

natürlich die Kennwerte Einwohner, Beschäftigte und Modal Split in den verschiedenen Bezirken, die einen Einfluss auf die Anzahl der zurückgelegten Radwege nehmen. Weiters war eine deutliche Verflechtung zwischen den Innenbezirken zu erkennen, die zwischen den Bezirken 1 und 2, 2 und 3, 1 und 9 sowie 2 und 3 am stärksten war. Aber auch der 2. und 22. sowie der 21. und 22. Bezirk zeigten starke Verflechtungen.

Um die räumliche Verteilung auch auf Plausibilität prüfen zu können, wurden die Verkehrsstärken an den Dauerzählstellen herangezogen und mit den daran vorbeiführenden erfassten Radwegen verglichen. Bei den Vorbereitungen hierzu zeigten sich einige Herausforderungen, da die im Theorieteil beschriebenen GPS-Fehler bei der manuellen Definition der Bereiche um die Zählstellen zu berücksichtigen waren. Mithilfe von definierten Querschnittsbreiten sollten alle Wege miteinbezogen werden, die auch wirklich die Zählstelle passiert haben - nicht mehr und nicht weniger. Aufgrund der GPS-Fehler konnte hier jedoch keine klare Grenze gezogen werden und es könnte sein, dass die Anzahl der Wege nicht genau stimmt, was sich bei dieser kleinen Stichprobe deutlich auf die Ergebnisse auswirken kann. Eine höhere GPS-Genauigkeit würde zwar eine eindeutigere Zuordnung der Tracks zu den Anlagen bzw. Straßen ermöglichen, ist aber im innerstädtischen Bereich, aufgrund der Urban-Canyon-Problematik, nicht möglich. Die Analyse der Verkehrsstärken erfolgte getrennt nach Wochentagstyp, Zählstelle und Monat. Für alle drei Wochentagstypen konnte generell eine starke Korrelation zwischen BC-Daten und Zählstellen festgestellt werden. Anzumerken ist jedoch, dass die BC-Daten, bezogen auf die Verkehrsstärke, im Vergleich zu den Daten der Zählstellen, lediglich im Promillebereich liegen. Die BC-Daten stellen damit eine sehr kleine Stichprobe dar. Die getrennte Betrachtung nach Zählstellen zeigte jedoch sehr deutliche Unterschiede im Verhältnis zwischen ZSt und BC (Stichprobe) und in der Höhe der Korrelationskoeffizienten. Die Zählstelle Praterstern wies die deutlichste Korrelation (0,946) auf, Margaritensteg die geringste (0,552). Auch bei der monats-getrennten Analyse konnten deutliche Unterschiede festgestellt werden. Die Verkehrsstärken der BC-Daten folgen zwar generell dem natürlichen Jahresverlauf, mit geringen Werten im Winter und hohen Werten im Sommer. Von Jänner bis inkl. März liegen jedoch sehr niedrige Verkehrsstärken vor, die vergleichsweise geringe Korrelationen aufweisen und die sich nicht durch den saisonalen Verlauf erklären lassen. Vielmehr liegt dies darin begründet, dass die App erst ab 25. März kostenlos angeboten wurde, was Einfluss auf die User-Zahl und die Anzahl der erfassten Wege hatte. Bei neueren Daten sollten solche großen Abweichungen nicht mehr vorkommen. Dieses Beispiel zeigt aber gut, dass es wichtig ist, die Daten umfassend zu untersuchen, Ungereimtheiten in der Stichprobe zu identifizieren und die entsprechenden Einflussfaktoren zu bestimmen. Je Zählstellen konnten außerdem unterschiedliche Verhältnisse der Verläufe der Tag-Typ-Kurven festgestellt werden, was indirekt Aussagen darüber zulässt, wo vermehrt Freizeitwege, und wo Arbeitswege zurückgelegt werden. Die Verhältnisse zwischen der Anzahl der Daten von BC und Zählstellen sind sehr unterschiedlich (siehe Abbildung 32). Eine gleichbleibende Durchdringungsrate wäre durch eine waagrechte Gerade dargestellt. Zum Teil sind jedoch große Schwankungen der Kurve feststellbar, was auf eine veränderte Durchdringungsrate im Jahresverlauf hindeutet. Diese Schwankungen sind jedoch bei allen Tag-Typ-Kurven in ähnlichem Maße zu erkennen, was darauf schließen lässt, dass die App im Laufe der Woche ähnlich genutzt wird und nicht beispielsweise nur an Werktagen. Mithilfe von Wochenganglinien wurde versucht, verschiedene

Zählstellentypen zu identifizieren. So konnte unter anderem festgestellt werden, dass sich die Zählstellen Liesingbach und Donaukanal vor allem durch Freizeitverkehr auszeichnen, da an Wochenenden ein verstärktes Verkehrsaufkommen festgestellt werden konnte. Die durchschnittlichen Wegelängen, die ihm Rahmen einer Radfahrerbefragung an sechs Zählstellen erhoben wurde, zeigen in fünf Fällen höhere Werte, als bei den über Bike Citizens berechneten Wegelängen. Lediglich bei der Zählstelle Donaukanal war es umgekehrt. Dies könnte unter anderem daran liegen, dass kurze und innerstädtische Wege, auch aufgrund der wechselnden Umgebung, unterschätzt werden und Wege, wie am Donaukanal, die eher monoton verlaufen, überschätzt werden. Der Vergleich der Wegelängenverteilung an den Zählstellen mit den Wegelängenverteilungen der Wegezwecke im Radverkehr laut ÖU zeigte wieder, dass an Donaukanal und Liesingbach verstärkt Freizeitwege vorbeiführen.

Geschwindigkeitsmessungen konnten bisher lediglich mithilfe von Video, Radar oder anderen Systemen durchgeführt werden. Über die zur Verfügung gestellten Daten wurde daher das Potenzial von GPS hierfür untersucht, indem die Durchschnittsgeschwindigkeiten auf verschiedenen Anlagearten bestimmt wurde. Die Berücksichtigung aller Tracks war aufgrund eines fehlenden bzw. bewusst nicht verfolgten Map-Matching Ansatzes nicht möglich. Stattdessen wurde die Geschwindigkeit auf ausgewählten störungsfreien Abschnitten untersucht. Analysiert wurde dabei die Abhängigkeit von Anlagert sowie Steigung. Weitere Einflussfaktoren, wie Anzahl der VLSA-geregelten Kreuzungen konnten durch die Wahl störungsfreier Abschnitte vernachlässigt werden. Andere Variablen wie Alter, Geschlecht, Erfahrung konnten hingegen, aufgrund fehlender Informationen, nicht berücksichtigt werden. Auch die Höhenunterschiede unmittelbar vor und nach dem Abschnitt, können, wie anhand einiger Beispiele gezeigt, die Geschwindigkeit beeinflussen. Durch die sorgfältige Wahl der Abschnitte wurde versucht, diesen und weitere Effekte zu minimieren. Die Korrelation von Steigung und Geschwindigkeit ergab für alle 35 Abschnitte einen Wert von 0,225 bzw. 0,272, was vermuten lässt, dass es weitere Einflussfaktoren gibt. Anhand der Regressionsgerade kann abgelesen werden, dass die Geschwindigkeit mit jedem Steigungsmeter bzw. Prozent Steigung um 0,8 bzw. 1,0 km/h sinkt. Bei den 15 Abschnitten lag die Korrelation bei 0,479. Mit jedem Steigungsmeter sinkt die Geschwindigkeit hier um 1,9 km/h. Für die Berechnung der Durchschnittsgeschwindigkeiten auf den verschiedenen Anlagearten wurden die Geschwindigkeiten auf den 15 Abschnitten richtungsgetrennt untersucht und folgend gemittelt, um die Steigung mit zu berücksichtigen. Die höchste Durchschnittsgeschwindigkeit weisen Mehrzweckstreifen, Radrouten (beide 22,9 km/h) und Mischverkehr (22,8 km/h) auf. Am langsamsten wird hingegen in Fußgängerzonen mit durchschnittlich 17 km/h gefahren. Bezogen auf die Organisationsform ergibt dies, dass die höchsten Durchschnittsgeschwindigkeiten mit rund 22,9 bzw. 22,6 km/h im Mischverkehr bzw. auf markierten Anlagen erreicht werden. Auf baulich markierten Anlagen liegen diese bei 21,3 km/h, in verkehrsberuhigten Bereichen bei 18,0 km/h, wobei hier jeweils eine gewisse Bandbreite erkennbar ist, was darauf schließen lässt, dass die Organisationsformen nicht homogen sind. Mithilfe eines OLS-Modells konnte der Einfluss von Steigung und Anlageart bzw. Organisationsform auf die Durchschnittsgeschwindigkeit genauer untersucht werden, wobei jeweils die 35, als auch die 15 Abschnitte berücksichtigt wurden. Den besten Erklärungswert lieferte das OLS-

Modell auf Basis Anlagearten und 15 Abschnitten, mit einem angepassten R^2 von 0,197. Die OLS-Modelle mit den Organisationsformen wiesen jeweils einen geringeren Erklärungswert auf, was darauf schließen lässt, dass gewisse Anlagearten zu unterschiedlich sind, um zu einer Gruppe zusammengefasst zu werden, da dadurch kleine Eigenheiten der Anlagearten nicht mehr abgebildet werden können.

8 Fazit

Mit dieser Arbeit wurde das Ziel verfolgt, die Brauchbarkeit und das Potenzial von GPS für die Verwendung in der Verkehrsplanung zu untersuchen. Anhand von realen Daten, die über die Bike Citizens-App in Wien im Jahr 2015 erfasst wurden, wurden daher umfangreiche Analysen durchgeführt, um Aussagen ableiten zu können.

Bisher war nur wenig über das genaue Verhalten von RadfahrerInnen bekannt. Unternehmen haben jedoch begonnen, Daten zu den Bewegungen ihrer NutzerInnen zur Verfügung zu stellen. Mit dem Zugriff auf umfangreiche räumliche Informationen, ergäbe sich auch für Behörden und VerkehrsplanerInnen die Möglichkeit, Aussagen auf Mikro-Ebene zu treffen. Wie auch in den vorliegenden Daten zu sehen war, kann es jedoch, aufgrund der Funktionsweise von GPS, vor allem in städtischen Gebieten, zu starken Lageungenauigkeiten kommen. Somit ist auch keine metergenaue Erfassung möglich und Aussagen betreffend die Nutzung bestimmter Anlagearten können damit nur sehr schwer getroffen werden. Die Daten eignen sich daher eher für makroskopische Aussagen (obwohl auch hier mögliche Aussagen aufgrund der geringen Durchdringungsrate erschwert werden). Zwar gibt es bereits zahlreiche Ansätze, um die Trajektorien nachträglich dem Straßen-/Wegenetz zuzuordnen (Map-Matching), es wird jedoch eine entsprechende Expertise und Erfahrung benötigt. Ähnliches gilt für die Definition von entsprechenden Filtern, um fehlerhafte Daten zu entfernen. Die Analyse der Rohdaten hat deutlich gezeigt, wie sehr sich fehlerhafte Daten auf die Statistik auswirken können. Um überhaupt sinnvolle Aussagen gewinnen zu können, ist es daher essentiell, die Daten entsprechend aufzubereiten. Dabei besteht jedoch die große Herausforderung, möglichst nur jene Daten zu löschen, die auch wirklich fehlerhaft sind.

Mikroskopische Aussagen werden auch dadurch erschwert, dass von einigen Stichprobenfehlern (Bias) ausgegangen werden muss. So zeigten die Verkehrsstärken an den Dauerzählstellen laut Zählung und Bike Citizens zwar generell eine hohe Korrelation, bei Betrachtung der einzelnen Zählstellen, Monate und Tag-Typen konnten aber deutliche Unterschiede festgestellt werden. Abweichungen waren beispielsweise auch bei der Tagesganglinie zu erkennen, da die Bike Citizens-Daten hier keine klassische Frühspitze aufweisen. Das Bias kann sich dadurch ergeben, dass die App vermutlich auch nicht immer und von jedem genutzt wird. Einerseits lassen nur bestimmte Personengruppen ihre Bewegungen erfassen, andererseits sind wahrscheinlich selbst hier unterschiedliche Nutzungsintensitäten feststellbar. Manche Personen nutzen die App vielleicht für alle Wege, um die Fortschritte erkennen zu können, was vor allem im Freizeitbereich der Fall sein wird und andere Personen werden die App wahrscheinlich nur dann einsetzen, wenn sie neue Routen ausprobieren wollen. Die Daten stellen somit keine repräsentative Stichprobe der Bevölkerung dar.

Es war jedoch nicht möglich, die Gründe für die genauen Abweichungen festzustellen, da weitere Informationen wie Wegzwecke bzw. Personen-ID, die hier Aufschluss geben hätten können, nicht abgefragt bzw. im Zuge der Anonymisierung entfernt wurden. Aufgrund der Anonymisierung der Daten, die wichtig war, um die Privatsphäre der NutzerInnen zu schützen, war es daher auch nicht möglich, personenbezogene Kennzahlen auszuwerten (Wege/Person u. Tag, Entfernung/Person u. Tag, etc). Mithilfe dieser und weiterer Informationen, wie Alter und Geschlecht oder eben Wegezweck,

wären aber grundsätzlich noch aufschlussreichere und differenziertere Aussagen möglich. Es entsteht somit ein trade-off zwischen Informationsgehalt und Privatsphäre.

Die Bike Citizens-Daten sollten jedoch mit zunehmender Nutzung der App auch repräsentativer werden. Bei den untersuchten Daten lag die Durchdringungsrate an den Zählstellen bei lediglich rund 1 Promille, was bedeutet, dass auf 1.000 zurückgelegte Wege in der Realität, lediglich ein über die App erfasster Weg kommt.

Diese Methode bietet daher derzeit aber noch nicht das Potenzial, um die traditionellen Methoden gänzlich zu ersetzen. Informationen zu Wegehäufigkeit, Alter, Geschlecht oder Wegezweck, wie sie bei Befragungen erhoben werden, bleiben unbekannt, obwohl beispielsweise daran geforscht wird, Wegezwecke mithilfe von Zusatzinformationen zu bestimmen. Mithilfe der über GPS gewonnenen Daten können jedoch Informationen gewonnen und Aussagen abgeleitet werden, die über die klassischen Methoden nicht möglich sind. Dazu zählt unter anderem auch die durchgeführte Analyse der Geschwindigkeiten. Hier konnten bereits erste interessante Ergebnisse gezeigt werden, wobei weitere Einflüsse und Effekte, die Grundlage für weitere Analysen bieten können, fehlen. Zwar können genannte personenbezogene Faktoren nicht berücksichtigt werden, mithilfe eines Map-Matching Ansatzes wäre es aber möglich, das ganze Netz abzubilden und etwaige Stichprobenfehler, die durch die Wahl der stellvertretenden Abschnitte entstanden sind, zu minimieren. Die Einflüsse zusätzlicher potenzieller Faktoren auf die Durchschnittsgeschwindigkeit, wie Witterung (Temperatur, Windrichtung, Windgeschwindigkeit), Verkehrsstärke, Fußgängerdichte und Querungen (bei Fußgängerzonen) würden zwar weitere Aussagen zur Geschwindigkeit ermöglichen, da diese jedoch zeitgleich mit dem Zurücklegen des Weges erfasst werden müssten, stellt dies, speziell bei Berücksichtigung des Gesamtnetzes, einen schier unmöglichen Aufwand da.

Der Einsatz von nutzergenerierten Daten in der Verkehrsplanung sollte frühzeitig Gegenstand von Diskussionen sein. Durch die nahezu flächenhafte Verbreitung von Internet und Smartphones sowie der steigenden Verfügbarkeit von Apps, welche die Standortbestimmung nutzen, können hochqualitative Daten erfasst werden, und zwar in einem deutlich größeren Maßstab als bisher. Diesem potenziellen Nutzen stehen aber auch Risiken gegenüber, vor allem im Bereich des Datenschutzes und der Privatsphäre. Wenn die Bewegungsdaten richtig genutzt werden, können diese jedoch einen zusätzlichen Beitrag zur Radverkehrsplanung leisten. Die Verwendung von über GPS erfassten Daten wird die traditionellen Methoden nicht zur Gänze ersetzen können. Die ergänzende Nutzung kann aber die unterschiedlichen Nachteile und Schwächen der jeweiligen Methoden aufheben und dabei helfen, dass PlanerInnen ein umfangreiches Verständnis über das Verhalten der RadfahrerInnen erhalten, wodurch diese, zielgerichtetere Maßnahmen zur Förderung des Radverkehr umsetzen können.

9 Literaturverzeichnis

- Amt der steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 16 Verkehr und Landeshochbau. (Juni 2016). Radverkehrsstrategie Steiermark 2025. (Land Steiermark, Hrsg.) Graz.
- Barakatsoulas, S., Pfoser, D., Salas, R., & Wenk, C. (2005). *On Map-Matching Vehicle Tracking Data*. In *Proceedings of the 31st VLDB Conference*.
- Ben Ayed, A., Ben Halima, M., & Alimi, A. M. (2015). Big Data Analytics for Logistics and Transportation. *4th International Conference on Advanced Logistics and Transport (ICALT)*, (S. 311-316).
- Bernstein, D., & Kornhauser, A. (1996). *An Introduction to Map Matching for Personal Navigation Assistants*.
- BGBI. I Nr. 39/2013 . (25. 02 2013). *Bundesgesetz, mit dem die Straßenverkehrsordnung 1960 geändert wird (25. StVO-Novelle)*.
- Bierlaire, M., Chen, J., & Newman, J. (2012). *A probabilistic map matching method for smartphone GPS data*. *Transportation Research Part C 26 (2013)*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Transport and Mobility Laboratory. Elsevier.
- Bike Citizens Mobile Solutions GmbH. (11. November 2017). *Mit dem Rad schneller ans Ziel: Neues GPS-Datenanalyse-Tool für die Radverkehrsplanung*. Abgerufen am 11. April 2018 von <https://www.bikecitizens.net/de/neues-datenanalysetool-fuer-die-radverkehrsplanung/>
- Bike Citizens Mobile Solutions GmbH. (o.J.b). *Bike Citizens Fahrrad-App*. Abgerufen am 04. April 2018 von <https://www.bikecitizens.net/de/app/>
- Bike Citizens Mobile Solutions GmbH. (o.J.a). *Über uns*. Abgerufen am 11. April 2018 von <https://www.bikecitizens.net/de/ueberuns/>
- Broach, J., Gliebe, J., & Dill, J. (2010). *Bicycle route choice model developed using revealed preference GPS data*.
- Casello, J. M., Nour, A., Rewa, K. C., & Hill, J. (15. November 2010). *Analysis of Stated-Preference and GPS Data for Bicycle Travel Forecasting*.
- Cerwenka, P., Hauger, G., Hörl, B., & Klamer, M. (2004). *Einführung in die Verkehrssystemplanung*. Wien: Österreichischer Kunst- und Kulturverlag.
- Cintia, P., Pappalardo, L., & Pedreschi, D. (2013). "Engine Matters": A First Large Scale Data Driven Study on Cyclists' Performance. (S. 147-153). 2013 IEEE 13th International Conference on Data Mining Workshops: IEEE.
- Cox, M., & Ellsworth, D. (1997). *Application-Controlled Demand Paging for Out-of-Core Visualization*.
- Czerniak, R. J., Genrich, R. L., Lewis, B., McCrary, R. W., Murakami, E., Palmerlee, T. M., . . . Wyant, D. C. (2002). *Collecting, Processing and Integrating GPS Data into GIS. A Synthesis of Highway Practice. National Cooperative Highway Research Program NCHRP Synthesis 301*. Washington D.C.

- de Montjoye, Y.-A., Hidalgo, C. A., Verleysen, M., & Blondel, V. D. (2013). Unique in the Crowd: The privacy bounds of human mobility. *Scientific Reports* 3 : 1376.
- Deutsches Institut für Urbanistik. (28. August 2017). *Fahrradportal. Den Radverkehr realitätsnah abbilden. Digitale Tools für die Radverkehrsplanung*. Abgerufen am 05. August 2018 von <https://nationaler-radverkehrsplan.de/de/forschung/schwerpunktthemen/digitale-tools-fuer-die-radverkehrsplanung>
- Dill, J., & Gliebe, J. (2008). *Understanding and Measuring Bicycling Behavior: a Focus on Travel Time and Route Choice. Final report OTREC-RR-08-33 prepared for Oregon Transportation Research and Education Consortium (OTREC)*. Portland State University.
- El-Geneidy, A., Krizek, K. J., & Iacono, M. (2007). Predicting Bicycle Travel Speeds Along Different Facilities Using GPS Data: A Proof of Concept Model.
- ESA. (25. Juli 2018). *New satellite launch extends Galileo's global reach*. Abgerufen am 21. August 2018 von https://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/New_satellite_launch_extends_Galileo_s_global_reach
- ESA. (o.J.a.). *Galileo: Europas Uabhängigkeit nd Kooperation*. Abgerufen am 23. Juli 2018 von http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Galileo_Europas_Unabhaengigkeit_und_Kooperation
- ESA. (o.J.b.). *Galileo: Daten, Dienste und Systeme*. Abgerufen am 25. Juli 2018 von www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Galileo_Daten_Dienste_und_Systeme
- Europäische Kommission. (o.J.a.). *The history of Galileo*. Abgerufen am 25. Juli 2018 von https://ec.europa.eu/growth/sectors/space/galileo/history_en
- Europäische Kommission. (o.J.b.). *Galileo*. Abgerufen am 24. Juli 2018 von https://ec.europa.eu/growth/sectors/space/galileo/_de
- Europäische Kommisson. (o.J.c.). *Galileo system*. Abgerufen am 24. Juli 2018 von https://ec.europa.eu/growth/sectors/space/galileo/launches_de
- European Platform on Mobility Management (EPOMM). (o.J.). *TEMS - The EPOMM Modal Split Tool*. Abgerufen am 02. April 2018 von www.epomm.eu/tems
- Froehlich, J., & Krumm, J. (2008). Route Prediction from Trip Observation. *Society of Automotive Engineers (SAE) 2008*.
- FSV. (01. Februar 2014). RVS 03.02.13. *RVS 03.02.13 Straßenplanung - Nicht motorisierter Verkehr - Radverkehr*. Wien: Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr (FSV).
- FSV. (01. Juni 2015). RVS 02.01.12. *RVS 02.01.12 Strassenverkehrszählungen*. Wien: Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr (FSV).
- Harvey, F. J., & Krizek, K. (2017). *Commuter Bicyclist Behavior and Facility Disruption*. Transportation Research Board.
- Herry Consult GmbH. (2014). *Vergleich der Mobilitätserhebungen 2004 und 2012 und Überprüfung auf Plausibilität*. Endbericht, Im Auftrag der Salzburger Verkehrsverbund GmbH, Wien.
- Hood, J., Sall, E., & Charlton, B. (2011). *A GPS-based Bicycle Route Choice Model for San Francisco, California*.

- Hood, J., Sall, E., & Charlton, B. (2011). *A GPS-based bicycle route choice model for San Francisco, California. Transportation Letters: The International Journal of Transportation Research (2011)* 3. Ross Publishing.
- Hudson, J. G., Duthie, J. C., Rathod, Y. K., Larsen, K. A., & Meyer, J. L. (2012). Using Smartphones to Collect Bicycle Travel Data in Texas. Tamu.
- International Transport Forum. (2015). *Big Data and Transport: Understanding and assessing options.* Corporate Partnership Board Report.
- Kaliyaperumal, S. K., Kuppusamy, M., & Arumugam, S. (Oktober 2015). Labeling Methods of Identifying Outliers. *International Journal of Statistics and Systems (Volume 10)*, S. 231-238.
- Knoflacher, H. (1995). *Fußgeher- und Fahrradverkehr - Planungsprinzipien.* Böhlau Verlag Wien, Köln, Weimar.
- komobile Verkehrsplanung Gmunden. (2009). *Bike Count. Technologien und Wege zur Etablierung einer bundesweiten Datenbasis zum Radverkehrsaufkommen. Ergebnisse der Forschungsarbeit.*
- Laney, D. (2001). *3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity, and Variety.*
- Larsen, J., & El-Geneidy, A. (2011). *A travel behavior analysis of urban cycling facilities in Montréal Canada. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 16 (2).*
- Lawson, C., Chen, C., & Gong, H. (2010). *Advanced Applications of Person-based GPS in an Urban Environment.*
- Lindey, G., Hankey, S., Wang, X., Chen, J., & Gorjestani, A. (2013). *Feasibility of Using GPS to Track Bicycle Lane Positioning.* University of Minnesota.
- Location-Aware Information Systems Laboratory. (o.J.). *TRAC-IT.* Abgerufen am 11. August 2018 von <https://www.locationaware.usf.edu/ongoing-research/projects/trac-it/>
- Magistrat der Stadt Wien - Stadtplanung (Hrsg.). (1994). *Wien - verkehrt ?!* Wien.
- Magistrat der Stadt Wien, MA 18 (Hrsg.). (1994). *Verkehrskonzept Wien - Generelles Maßnahmenprogramm (in "Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung").* Wien.
- Marchal, F., Hackney, J., & Axhausen, K. W. (2004). *Efficient map-matching of large GPS data sets - Tests on a speed monitoring experiment in Zurich. Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung.* ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Zürich.
- Maus, J. (1. Mai 2014). *ODOT embarks on "big data" project with purchase of Strava dataset.* (BikePortland.org, Herausgeber) Abgerufen am 31. Juli 2018 von <https://bikeportland.org/2014/05/01/odot-embarks-on-big-data-project-with-purchase-of-strava-dataset-105375>
- Menghini, G., Carrasco, N., Schüssler, N., & Axhausen, K. W. (2009). *Route choice of cyclists: discrete choice modelling based on GPS-data, Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung, 544.* IVT, ETH Zurich, Zürich.
- Meschik, M. (2008). *Planungshandbuch Radverkehr.* Wien: Springer-Verlag.
- Meschik, M. (2016). Folien zur Vorlesung "Fuß- und Radverkehr" an der BOKU Wien. Wien.

- Meyer, J. L. (Mai 2013). *Big Bike Data: How GPS Route Data Collected from Smartphones Can Benefit Bicycle Planning*. Masterarbeit, The University of Texas at Austin.
- Mickel-Göttfert, V. (26. Juli 2018). *Radwege stark frequentiert*. Abgerufen am 15. August 2018 von <http://www.mickel.at/news-detail/radwege-stark-frequentiert/>
- Miwa, T., Kiuchi, D., Yamamoto, T., & Morikawa, T. (2012). *Development of map matching algorithm for low frequency probe data*. *Transportation Research Part C 22 (2012)*. Elsevier.
- Mobile Marketing Association Austria. (2016). *Mobile Communication Report 2016*. Abgerufen am 29. Juli 2018 von https://docs.wixstatic.com/ugd/b6ad24_447d800644d341b9a40e4c8b3d672bd6.pdf
- Mobile Marketing Association Austria. (2017). *Mobile Communications Report 2017*. Abgerufen am 29. Juli 2018 von https://docs.wixstatic.com/ugd/b6ad24_46dde90b29354aafbc9e54718a68b3fd.pdf
- Mobilitätsagentur Wien GmbH. (05. November 2014). *Zählstelle Operngasse: Eine Million Radfahrende im Jahr 2014*. Abgerufen am 02. April 2018 von <https://www.fahrradwien.at/2014/11/05/zaehlstelle-operngasse-eine-million-radfahrende-im-jahr-2014/>
- Mobilitätsagentur Wien GmbH. (2016). *Fahrrad Report Wien 2016*. Von https://www.fahrradwien.at/wp-content/uploads/sites/2/2016/10/FW_Radreport_2016_screen_final.pdf abgerufen
- Mobilitätsagentur Wien GmbH. (o.J.a). *Radzahlen 2016*. Abgerufen am 07. August 2018 von <https://www.fahrradwien.at/radfahren-in-zahlen/radzahlen-2016>
- Mobilitätsagentur Wien. (o.J.b.). *Fahrrad Wien App*. Abgerufen am 12. August 2018 von <https://www.mobilitaetsagentur.at/farrad-wien-app/>
- Modsching, M., Kramer, R., & ten Hagen, K. (2006). *Field trial on GPS Accuracy in a medium size city: The influence of built-up*. *Proceedings of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC'06)*. University of Applied Sciences Zittau/Görlitz.
- NASA. (07. August 2017a). *Global Positioning System*. Abgerufen am 25. Juli 2018 von <https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/policy/GPS.html>
- NASA. (07. August 2017b). *Global Positioning System History*. Abgerufen am 23. Juli 2018 von http://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/policy/GPS_history.html
- nast consulting ZT GmbH. (o.J.). *Verkehrsdaten*. Abgerufen am 02. April 2018 von www.nast.at/verkehrsdaten
- National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. (23. September 2016). Abgerufen am 25. Juli 2018 von <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/sa/>
- National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. (05. Dezember 2017). *GPS Accuracy*. Abgerufen am 23. Juli 2018 von <http://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy>
- Ochieng, W. Y., Quddus, M. A., & Noland, R. B. (2003). Map-matching in complex urban road networks. *Brazilian Journal of Cartography*, 55 (2), S. 1-14.

- Omnitrend GmbH. (2015). *Zu Fuß gehen in Wien*. Im Auftrag der Magistratsabteilung 18 - Stadtentwicklung und Stadtplanung.
- Österreichische Datenschutzbehörde. (o.J.a). *Recht auf Datenschutz in der EU*. Abgerufen am 31. Juli 2018 von <https://www.dsb.gv.at/recht-auf-datenschutz-in-der-eu>
- Österreichische Datenschutzbehörde. (o.J.b). *Datenschutzrecht in Österreich*. Abgerufen am 01. August 2018 von <https://www.dsb.gv.at/gesetz-in-osterreich>
- Peixoto, D. A. (2013). *Mining Trajectory Data*. Technical Report, The University of Queensland.
- Pratt, R. H., Evans IV, J. E., Levinson, H. S., Turner, S. M., & Nabors, D. (2012). *TCRP Report 95, Traveler Response to Transportation System Changes, Chapter 16, Pedestrian and Bicycle Facilities*. Washington D.C.: Transportation Research Board.
- Press, G. (09. Mai 2013). *A very short History of Big Data*. Abgerufen am 08. August 2018 von <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2013/05/09/a-very-short-history-of-big-data/#3608d41c65a1>
- QSC AG - digitales-wirtschaftswunder.de. (26. August 2016). *Die 9 V von Big Data*. Abgerufen am 28. Juli 2018 von <https://digitales-wirtschaftswunder.de/die-9-v-von-big-data>
- Quddus, M. A., Noland, R. B., & Ochieng, W. Y. (2006). A high accuracy fuzzy logic based map matching algorithm for road transport. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 10 (3), S. 103-115.
- Quddus, M. A., Ochieng, W. Y., & Noland, R. B. (2006). Integrity of map-matching algorithms. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14(4), S. 283-302.
- Quddus, M. A., Ochieng, W. Y., & Noland, R. B. (2007). Current Map Matching Algorithms for Transport Applications: State-of-the art and Future Resarch Directions. *Transportation Resarch Part C: Emerging Technologies*, 15 (5), S. 312-328.
- Quddus, M. A., Ochieng, W. Y., Zhao, L., & Noland, R. B. (2003). A general map matching algorithm for transport telematics applications. *GPS Solutions* 7(3), S. 157-167.
- Reddy, S., Shilton, K., Denisov, G., Cenizal, C., Estrin, D., & Srivastava, M. (2010). Biketastic: Sensing and Mapping for Better Biking. *CHI*, S. 1817-1820.
- Reinsel, D., Gantz, J., & Ryding, J. (2017). *Data Age 2025: The Evolution of Data to Life-Critical*. IDC White Paper. Abgerufen am 28. Juli 2018 von <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/Seagate-WP-DataAge2025-March-2017.pdf>
- Romanillos, G., Austwick, M. Z., Ettema, D., & de Kruijf, J. (2015). Big Data and Cycling. *Transport Reviews*(36).
- Rusitschka, S., & Curry, E. (2016). Big Data in the Energy and Transport Sectors. In J. M. Cavanillas, E. Curry, & W. Wahlster, *New Horizons of a Data-Driven Economy: A Roadmap for Usage and Exploitation of Big Data in Europe* (S. 225-244). Springer International Publishing.
- Ryus, P., Ferguson, E., Laustsen, K. M., Schneider, R. J., Proulx, F. R., Hull, T., & Miranda-Moreno, L. (2014). *Guidebook on Pedestrian and Bicycle Volume Data Collection*. National Cooperative Highway Research Programm NHCRP Report 797. Washington D.C.: Transportation Reserach Board.

- San Francisco County Transportation Authority. (o.J.). *CYCLETRACKS FOR IPHONE AND ANDROID*. Abgerufen am 11. August 2018 von <https://www.sfcta.org/modeling-and-travel-forecasting/cycletracks-iphone-android>
- Schnabel, W., & Lohse, D. (1997). *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung* (Bd. 2). Berlin: Verlag für Bauwesen GmbH.
- Schneider, B. (07. November 2017). *The Social Network That Helps Planners Understand Pedestrians and Cyclists*. (Citylab, Herausgeber) Abgerufen am 31. Juli 2018 von <https://www.citylab.com/transportation/2017/11/strava-metro-global-heatmap-urban-planning/545174>
- Schönauer, R., Richter, G., Markus, S., Rudloff, C., & Dragaschnigg, M. (01. August 2013). Red or Green: Estimating the Patterns of Traffic Signal through Cyclists' GPS Tracks for Real Time Navigation.
- Schüssler, N., & Axhausen, K. W. (2008). Identifying Trips And Activities And Their Characteristics From GPS Raw Data Without Further Information. *8th ISCTSC International Conference on Survey Methods in Transport, Annecy, France, May 25-31, 2008*.
- Schüssler, N., & Axhausen, K. W. (2009a). Processing GPS Raw Data Without Additional Information. *Transportation Research Record, 2105*, S. 28-36.
- Schüssler, N., & Axhausen, K. W. (2009b). *Map-matching of GPS traces on high-resolution navigation networks using the Multiple Hypothesis Technique (MHT)*, Working paper, 568. ETH Zürich, Institute for transport planning and system (IVT), Zürich.
- Segadilha, A. B., & da Penha Sanches, S. (2014). *Analysis of bicycle commuter routes using GPSs and GIS. Procedia - Social and Behavioral Sciences 162: XVIII Congresso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística (PANAM 2014)*. Elsevier.
- Shen, L., & Stopher, P. R. (2014). *Review of GPS travel Survey and GPS Data-Processing Methods, Transports Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*.
- Smith, A., & Fehr & Peers. (2015). *Crowdsourcing Pedestrian and Cyclist Activity Data*. Pedestrian and Bicycle Information Center.
- Snizek + Partner Verkehrsplanung. (2011). *Radverkehrserhebung Wien - Entwicklungen, Merkmale und Potenziale*. (Stadt Wien - MA 18, Hrsg.) Wien.
- SOCIALDATA. (o.J.). *Verkehrsmittelwahl*. Abgerufen am 02. April 2018 von www.socialdata.de/daten/modechoice.php
- Stadt Graz. (o.J.). *Mobilitätsverhalten*. Abgerufen am 02. August 2018 von <https://www.graz.at/cms/beitrag/10192604/8032890/Mobilitaetsverhalten.html>
- Stadt Wien - MA 46. (01. Januar 2018a). *Entwicklung des Radverkehrsnetzes in Wien (2000-2017)*. Abgerufen am 02. April 2018 von <https://www.wien.gv.at/verkehr/radfahren/pdf/fakten-1.pdf>
- Stadt Wien - MA 46. (30. Januar 2018b). *Aufteilung des Radverkehrsnetzes nach Anlageart (2017)*. Abgerufen am 02. April 2018 von <https://www.wien.gv.at/verkehr/radfahren/pdf/fakten-3.pdf>

- Stadt Wien - MA 46. (30. Januar 2018c). *Entwicklung Radfahren gegen die Einbahn in Wien (2000-2017)*. Abgerufen am 02. April 2018 von <https://www.wien.gv.at/verkehr/radfahren/pdf/fakten-4.pdf>
- Stadt Wien - MA 46. (o.J.a). *Bauprogramm Radverkehrsanlagen 2017*. Abgerufen am 23. September 2017 von <https://www.wien.gv.at/verkehr/radfahren/bauen/programm/index.html>
- Stadt Wien - MA 46. (o.J.b). *Hauptradverkehrsnetz Wien*. Abgerufen am 23. September 2017 von <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/verkehrsplanung/radwege/hauptnetz.html>
- Stadt Wien - MA 46. (o.J.c). *Historische Entwicklung des Wiener Radverkehrsnetzes*. Abgerufen am 23. September 2017 von <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/verkehrsplanung/radwege/historie.html>
- Stadt Wien - MA 46. (o.J.d). *Hauptradverkehrsnetz Wien*. Abgerufen am 26. September 2018 von <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/verkehrsplanung/radweg/hauptnetz.html>
- Stadt Wien - MA 46. (o.J.e). *Dauerzählstellen zur Radverkehrserhebung - Standorte und Messtechnik*. Abgerufen am 19. September 2017 von <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/verkehrsplanung/radwege/erhebungen/dauerzaehlung/zaehlstellen.html>
- Stadt Wien - MA 46. (o.J.f). *Deteilergebnisse automatischer Dauerzählungen - Radverkehrserhebungen 2002 bis 2010*. Abgerufen am 19. September 2017 von <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/verkehrsplanung/radwege/erhebungen/dauerzaehlung/index.html>
- Stadt Wien - MA 46. (o.J.g). *Radverkehrszählungen*. Abgerufen am 19. September 2017 von <https://www.wien.gv.at/verkehr/radfahren/zaehlstellen/index.html>
- Stadtentwicklung Wien, MA 18 (Hrsg.). (2015). *Fachkonzept Mobilität*. Wien.
- Statista GmbH. (o.J.). *Anteil der Smartphone-Besitzer sowie Nutzung von Mobile Commerce in Österreich von 2013 bis 2017*. Abgerufen am 29. Juli 2018 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/568185/umfrage/smartphone-besitz-und-smartphone-nutzung-in-oesterreich/>
- Stopher, P., Clifford, E., Zhang, J., & Fitzgerald, C. (2008). *Deducing Mode and Purpose from GPS Data. Working Paper ITLS-WP-08-06*. The University of Sydney, Institute of Transport and Logistics Studies.
- Stopher, P., Jiang, Q., & Fitzgerald, C. (2005). *Processing GPS Data from Travel Surveys. 28th Australasian Transport Research Forum*.
- Strava. (o.J.). *Strava Labs*. Abgerufen am 30. Juli 2018 von <https://labs.strava.com>
- StVO. 1960 i.d.g.F. (kein Datum). *Straßenverkehrsordnung 1960 - StVO. 1960 in der Fassung vom 01.04.2018*.
- Sultan, J., Ben-Haim, G., Hauer, J.-H., & Dalyot, S. (Dezember 2015). *Using Crowdsourced Volunteered Geographic Information for Analyzing Bicycle Road Networks. International Federation of Surveyors. Article of the month - December 2015*.

- Sutton, M. (08. Mai 2014). *Strava launches "Metro" data service for local authorities*. (bikebiz, Herausgeber) Abgerufen am 31. Juli 2018 von <https://www.bikebiz.com/landscape/strava-launches-metro-data-service-for-local-authorities>
- Tomschy, R., Herry, M., Sammer, G., Klementsitz, R., Riegler, S., Follmer, R., . . . Spiegel, T. (2016). *Österreich unterwegs 2013/2014. Ergebnisbericht zur österreichweiten Mobilitätserhebung "Österreich unterwegs 2013/2014"*. (BMVIT, Hrsg.) Wien.
- Umweltbundesamt. (01. April 2016). *Radverkehr*. Abgerufen am 03. 04 2018 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/radverkehr>
- Velaga, N. R., Quddus, M. A., & Bristow, A. L. (2009). *Developing an Enhanced Weight-Based Topological Map-Matching Algorithm for Intelligent Transport Systems*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17 (6). Elsevier.
- Verordnung (EU) 2016/67. (27. April 2016). *Verordnung (EU) 2016/67 des Europäischen Parlaments und des Rates zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung)*.
- White, C. E., Bernstein, D., & Kornhauser, A. L. (2000). *Some map matching algorithms for personal navigation assistants*. *Transportation Research Part C 8 (2000)*. Elsevier.
- Wiener Linien GmbH & Co KG. (2013). *Betriebsangaben 2012*. Abgerufen am 02. April 2018 von https://www.wienerlinien.at/media/files/2014/betriebsangaben_2012_95106.pdf
- Wiener Linien GmbH & Co KG. (2017). *Zahlen Daten Fakten 2016*. Abgerufen am 02. April 2018 von https://www.wienerlinien.at/media/files/2016/betriebsangaben_2015_178355.pdf
- Wolf, J., Bachman, W., Oliveira, M. S., Auld, J., Mohammadian, A., & Vovsha, P. (2014). *Applying GPS Data to Understand Travel Behavior - Volume I: Background, Methods, and Tests*. *National Cooperative Highway Research Program NCHRP Report 775*. Washington D.C.: Transportation Research Board.
- Wolf, J., Guensler, R., Washington, S., & Frank, L. (2000). *The Use of Electronic Travel Diaries and Vehicle Instrumentation Packages in the Year 2000 - Atlanta Regional Household Travel Survey, Test Results, Package Configurations, and Deployment Plans*. *Proceedings of the 9th International Association of Travel Behavior Research Conference*. Queensland, Australia.
- Xia, H., Qiao, Y., Jian, J., & Chang, Y. (2014). *Using Smart Phone Sensors to Detect Transportation Modes*. *Sensors 2014*, 14.
- Zhao, L., Ochieng, W. Y., Quddus, M. A., & Noland, R. B. (2003). *An extended Kalman filter algorithm for integrating GPS and low cost dead reckoning system data for vehicle performance and emissions monitoring*. *The Journal of Navigation*, 56(2). Imperial College London. The Royal Institute of Navigation.
- Zheng, Y., Chen, Y., Li, Q., Xie, X., & Ma, W.-Y. (2010). *Understanding Transportation Modes Based on GPS Data for Web Applications*. *ACM Transactions on The Web*, Vol. 4, No. 1, Article 1,.

Sekundärquellen

- Aleksa M. (2001). *Automatische Erhebungsverfahren für den Radverkehr in Krems an der Donau*. Diplomarbeit am Institut für Verkehrswesen der Universität für Bodenkultur, Wien; zitiert nach: Meschik, M. (2008). *Planungshandbuch Radverkehr*. Wien: Springer-Verlag.
- Battelle Memorial Institute. (1997). *Lexington Area Travel Data Collection*. Washington, D.C.: Federal Highway Administration; zitiert nach: Wolf, J., Bachman, W., Oliveira, M. S., Auld, J., Mohammadian, A., & Vovsha, P. (2014). *Applying GPS Data to Understand Travel Behavior - Volume I: Background, Methods, and Tests. National Cooperative Highway Research Program NCHRP Report 775*. Washington D.C.: Transportation Research Board.
- Blunck, Henrik & Kjærgaard, Mikkel & Skjødeberg Toftegaard, Thomas. (2011). *Sensing and Classifying Impairments of GPS Reception on Mobile Devices*; zitiert nach: Bierlaire, M., Chen, J., & Newman, J. (2012). *A probabilistic map matching method for smartphone GPS data. Transportation Research Part C 26 (2013)*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Transport and Mobility Laboratory.
- Charlton, B., Sall, E., Schwartz, M., and Hood, J. (2011). *Bicycle Route Choice Data Collection using GPS-Enabled Smartphones*. Presented at 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C. January 23-27, 2011; zitiert nach: Meyer, J. L. (Mai 2013). *Big Bike Data: How GPS Route Data Collected from Smartphones Can Benefit Bicycle Planning*. Masterarbeit, The University of Texas at Austin.
- Ehsani, R., Buchanon, S. & Salyani, M. (2009). *GPS Accuracy for Tree Scouting and other Horticultural Uses*. Technical Report, University of Florida; zitiert nach: Bierlaire, M., Chen, J., & Newman, J. (2012). *A probabilistic map matching method for smartphone GPS data. Transportation Research Part C 26 (2013)*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Transport and Mobility Laboratory.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1991a). *Empfehlungen für Verkehrserhebungen*. Köln; zitiert nach: Cerwenka, P., Hauger, G., Hörl, B., & Klamer, M. (2004). *Einführung in die Verkehrssystemplanung*. Wien: Österreichischer Kunst- und Kulturverlag.
- Gur, J., B. Shlomo, C. Solomon & L. Kheifits. (2009). *Intercity Person Trip Table for Nationwide Transportation Planning in Israel Obtained from Massive Cell Phone Data. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2121*. Washington, D.C.: Transportation Research Board of the National Academies, S. 145-151; zitiert nach Wolf, J., Bachman, W., Oliveira, M. S., Auld, J., Mohammadian, A., & Vovsha, P. (2014). *Applying GPS Data to Understand Travel Behavior - Volume I: Background, Methods, and Tests. National Cooperative Highway Research Program NCHRP Report 775*. Washington D.C.: Transportation Research Board.
- Khan, Sarosh I. & Winai Raksuntorn. (2001). *Characteristics of passing and meeting maneuvers on exclusive bicycle paths. Transportation Research Record. 1776, 2001: S. 220-228*; zitiert nach: El-Geneidy, A., Krizek, K. J., & Iacono, M. (2007). *Predicting Bicycle Travel Speeds Along Different Facilities Using GPS Data: A Proof of Concept Model*.

- Olbrich, G. et al. (1998). *Empfehlungen für den Bau und die Unterhaltung von straßenbegleitenden Radverkehrsanlagen in Sachsen-Anhalt*. Ministerium für Bau und Verkehr des Landes Sachsen-Anhalt, Magdeburg. <http://www.sachsenanhalt.de/index.php?id=758> (Zugriff 3/2016); zitiert nach: Amt der steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 16 Verkehr und Landeshochbau. (Juni 2016). *Radverkehrsstrategie Steiermark 2025*. (Land Steiermark, Hrsg.) Graz.
- Omnitrend GmbH. (2014). *Mobilitätsbefragung 2010-2014*. Im Auftrag der Wiener Linien, 2014 auch im Auftrag der Stadt Wien; zitiert nach: Omnitrend GmbH. (2015). *Zu Fuß gehen in Wien*. Im Auftrag der Magistratsabteilung 18 - Stadtentwicklung und Stadtplanung.
- Perdok, J., G. Draijer & N. Kalfs. (1998). *Possible Application of Global Positioning System (GPS) of Collecting Travel Data*. European Transport Conference; zitiert nach: European Transport Conference Lawson, C., Chen, C., & Gong, H. (2010). *Advanced Applications of Person-based GPS in an Urban Environment*.
- Schlossberg, M., & Brehm, C. (2009). Participatory Geographic Information Systems and Active Transportation: Collecting Data and Creating Change. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2105, S. 83-91L; zitiert nach: Smith, A., & Fehr & Peers. (2015). *Crowdsourcing Pedestrian and Cyclist Activity Data*. Pedestrian and Bicycle Information Center.
- Schneider, R., Patton, R., Toole, J., Raborn, C. (2005). *Pedestrian and Bicycle Data Collection in United States Communities: Quantifying Use, Surveying Users, and Documenting Facility Extent*. Pedestrian and Bicycle Information Center, Jänner 2005. http://katana.hsrrc.unc.edu/cms/downloads/PBIC_Data_Collection_Case_Studies2005.pdf; zitiert nach: Meyer, J. L. (Mai 2013). *Big Bike Data: How GPS Route Data Collected from Smartphones Can Benefit Bicycle Planning*. Masterarbeit, The University of Texas at Austin.
- Shoval, Noam; Isaacson, Michal. (2005). *The Application of Tracking Technologies to the Study of Pedestrian Spatial Behaviour*. *The Professional Geographer*; zitiert nach: Modsching, M., Kramer, R., & ten Hagen, K. (2006). *Field trial on GPS Accuracy in a medium size city: The influence of built-up*. *Proceedings of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC'06)*. University of Applied Sciences Zittau/Görlitz.
- SOCIALDATA. (2010a). *Radverkehrserhebung Wien*. Linz; zitiert nach: Snizek + Partner Verkehrsplanung. (2011). *Radverkehrserhebung Wien - Entwicklungen, Merkmale und Potenziale*. (Stadt Wien - MA 18, Hrsg.) Wien.
- Wolf, J. (2000). *Using GPS Data Loggers to Replace Travel Diaries in the Collection of Travel Data*. Atlanta: Georgia Institute of Technology, School of Civil and Environmental Engineering; zitiert nach: Wolf, J., Bachman, W., Oliveira, M. S., Auld, J., Mohammadian, A., & Vovsha, P. (2014). *Applying GPS Data to Understand Travel Behavior - Volume I: Background, Methods, and Tests*. *National Cooperative Highway Research Program NCHRP Report 775*. Washington D.C.: Transportation Research Board.

10 Datenquellen

Bike Citizens: *Erfasste Radwege in Wien 2015*, Format: gpx, bezogen am 13.10.2016

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT): *Anonymisierte Datensätze zu Österreich unterwegs 2013/2014*, Format: CSV, bezogen am 20.06.2017

nast consulting ZT GmbH: *Zählstellenübersicht Jänner bis Dezember 2015*, Format: xls, bezogen am 10.12.2016 von www.nast.at/verkehrsdaten

Stadt Wien, Magistrat Wien - Magistratsabteilung 21 - Stadtteilplanung und Flächennutzung: *Straßengraph Wien (STRASSENGRAPHOGD)*, Format: shp, bezogen am 22.06.2016 von <https://www.data.gv.at>

Stadt Wien, Magistrat Wien - Magistratsabteilung 41: *Bezirksgrenzen Wien (BEZIRKSGRENZEOGD)*, Format: shp, bezogen am 22.06.2016 von <https://www.data.gv.at>

Stadt Wien, Magistrat Wien - Magistratsabteilung 41: *Geländemodell (DGM)*, Format: tif, bezogen am 17.03.2018 von <https://www.wien.gv.at/ma41datenviewer/public>

Stadt Wien, Magistrat Wien - Magistratsabteilung 41: *Landesgrenze Wien (LANDESGRENZEOGD)*, Format: shp, bezogen am 05.07.2016 von <https://www.data.gv.at>

Stadt Wien, Magistrat Wien - Magistratsabteilung 46 - Verkehrsorganisation und technische Verkehrsangelegenheiten: *Radfahranlagen Wien (RADWEGEOGD)*, Format: shp, bezogen am 22.06.2016 von <https://www.data.gv.at>

Stadt Wien, Magistrat Wien - Magistratsabteilung 46 - Verkehrsorganisation und technische Verkehrsangelegenheiten: *Verkehrszählstellen Standorte Wien (DAUERZAEHLOGD)*, Format: shp, bezogen am 22.06.2016 von <https://www.data.gv.at>

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modal Split in Wien 1998-2017	24
Abbildung 2: Aufteilung des Radverkehrsnetzes nach Anlageart in Wien 2017	25
Abbildung 3: Aufteilung des Radverkehrsnetzes nach Anlagearten Wien 2016 Bezirke 1 bis 9 und 10 bis 23	26
Abbildung 4: Schematische Darstellung GPS-Genauigkeit.....	38
Abbildung 5: Schematische Darstellung „urban-canyon“	39
Abbildung 6: Weltweiter Datenbestand 2010 bis 2025	42
Abbildung 7: Rohdaten der Tracks	57
Abbildung 8: Ausgewählter Track mit stark unterschiedlichen Distanzwerten (türkis).....	58
Abbildung 9: Korrelation der Distanzen (Rohdaten).....	59
Abbildung 10: Korrelation der Dauer (Rohdaten).....	59
Abbildung 11: Korrelation der Distanzen (bereinigte Daten Filterstufe 1&2)	66
Abbildung 12: Korrelation der Dauer (bereinigte Daten Filterstufe 1&2)	67
Abbildung 13: Korrelation der Geschwindigkeiten (bereinigte Daten Filterstufe 1&2)	67
Abbildung 14: Häufigkeitsverteilung und Summenhäufigkeit der bereinigten Variablen in Filterstufe 3	68
Abbildung 15: Korrelation der Distanzen (bereinigte Daten Filterstufe 3)	69
Abbildung 16: Korrelation der Dauer (bereinigte Daten Filterstufe 3)	70
Abbildung 17: Korrelation der Geschwindigkeiten (bereinigte Daten Filterstufe 3)	70
Abbildung 18: Gegenüberstellung der Rohdaten (dunkelrot) und bereinigten Daten (hellrot) nach drei Filterstufen	71
Abbildung 19: Vergleich der Wegelängenverteilungen	73
Abbildung 20: Verteilung der Wege nach Wochentagstyp.....	74
Abbildung 21: Beginnzeiten der Wege an Werktagen (ÖU und BC getrennt)	75
Abbildung 22: Beginnzeiten der Wege an Werktagen	75
Abbildung 23: Verteilung der Wege in Wien (Quell- bzw. Zielverkehre)	77
Abbildung 24: Heatmap zu den Anteilen der Radverkehrsströme zwischen den Bezirken am gesamten Radverkehrsaufkommen (BC)	78
Abbildung 25: Lage der Rad-Dauerzählstellen in Wien.....	80
Abbildung 26: Ausgewählte GPS-Tracks (grün) an den Zählstellen Lassallestraße, Opernring, Argentinierstraße und Operngasse	81
Abbildung 27: Korrelation der Verkehrsstärken je Zählstelle und Monat laut Bike Citizens und Zähldaten, getrennt nach Tag-Typ	82
Abbildung 28: Korrelation der Verkehrsstärken laut Bike Citizens und Zähldaten, getrennt nach Zählstellen (DTVw, DTVsa, DTVsf)	83
Abbildung 29: Korrelation der Verkehrsstärken laut Bike Citizens und Zähldaten, getrennt nach Monat (DTVw, DTVsa, DTVsf).....	85
Abbildung 30: Vergleich der Jahresverläufe aller zurückgelegten Wege und der Wege an den Zählstellen (BC).....	87
Abbildung 31: Monatliche Verkehrsstärken laut Bike Citizens nach Zählstelle und Tag-Typ	88
Abbildung 32: Verhältnis der monatlichen Verkehrsstärken laut Bike Citizens und Zählstellen, getrennt nach Zählstelle und Tag-Typ.....	90
Abbildung 33: Normierte Wochenganglinie der Wege laut Bike Citizens an den Zählstellen	92
Abbildung 34: Wochenganglinie der Wege laut Bike Citizens an den Zählstellen der Gruppe 1	92
Abbildung 35: Wochenganglinie der Wege laut Bike Citizens an den Zählstellen der Gruppe 2	93

Abbildung 36: Durchschnittliche Wegelängen an den Zählstellen laut Radfahrerbefragung 2006/2007 und Bike Citizens	94
Abbildung 37: Wegelängenverteilung an ausgesuchten Zählstellen lt. Bike Citizens.....	95
Abbildung 38: Wegelängenverteilung der Radwege in, von und nach Wien laut ÖU 13/14.....	95
Abbildung 39: Skizze zur Auswahl der Tracks und Trackpoints je Abschnitt	99
Abbildung 40: Korrelation zwischen Höhendifferenz und Durchschnittsgeschwindigkeit (generelle vs. individuelle Höhendifferenz).....	101
Abbildung 41: Abschnitte für die detaillierte Geschwindigkeitsanalyse (Übersichtskarte).....	102
Abbildung 42: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Alser Straße	103
Abbildung 43: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Bäckerstraße	103
Abbildung 44: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Bognergasse	103
Abbildung 45: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Donaukanal	103
Abbildung 46: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Erdbergstraße	104
Abbildung 47: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Franz-Josefs-Kai.....	104
Abbildung 48: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Gassergasse	104
Abbildung 49: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Gumpendorfer Straße I	104
Abbildung 50: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Gumpendorferstraße II	105
Abbildung 51: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Liechtensteinstraße.....	105
Abbildung 52: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Margaretenstraße	105
Abbildung 53: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Mariahilfer Straße I	105
Abbildung 54: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Mariahilfer Straße II	106
Abbildung 55: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Neulinggasse	106
Abbildung 56: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Resselpark.....	106
Abbildung 57: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Landstraßer Hauptstraße.....	107
Abbildung 58: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Rechte Bahngasse.....	107
Abbildung 59: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten je Fahrtrichtung, Abschnitt Lange Gasse	108
Abbildung 60: Korrelation zwischen Höhendifferenz und Geschwindigkeitsdifferenz bzw. Geschwindigkeit auf ausgewählten Abschnitten	109
Abbildung 61: Durchschnittsgeschwindigkeit auf den ausgewählten Abschnitten	109
Abbildung 62: Durchschnittsgeschwindigkeit auf den ausgewählten Abschnitten nach Anlageart... ..	110
Abbildung 63: Durchschnittsgeschwindigkeiten auf den ausgewählten Abschnitten nach Organisationsform.....	111

Abbildung 64: Korrelation von Höhendifferenz und Durchschnittsgeschwindigkeit nach der Organisationsform der Radanlage 111

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzustrebendes Organisationsprinzip des Radverkehrs im Ortsgebiet	14
Tabelle 2: Projektierungsgeschwindigkeit für Netzelemente des Radverkehrs	22
Tabelle 3: Empfohlene maximale Steigungen in Abhängigkeit von der zu überwindenden Höhendifferenz	23
Tabelle 4: Statistische Kennwerte der Rohdaten	58
Tabelle 5: Grenzwerte 3. Filterstufe	64
Tabelle 6: Statistische Kennwerte der mit Filterstufe 1&2 bereinigten Daten	65
Tabelle 7: Statistische Kennwerte der bereinigten Daten Filterstufe 3	68
Tabelle 8: Auswirkungen der Filterstufen auf die Anzahl der Tracks	71
Tabelle 9: Anteile ausgewählter Wegewecke an den Gesamtwegen in Wien nach Tagtyp	74
Tabelle 10: Übersichtstabelle der Korrelationskoeffizienten aus der Gegenüberstellung der Verkehrsstärken laut BC und den Zähldaten je Zählstelle	84
Tabelle 11: Übersichtstabelle der Korrelationskoeffizienten aus der/für die Gegenüberstellung der Verkehrsstärken laut BC und den Zähldaten je Monat	86
Tabelle 12: Ausgewählte Abschnitte für die Geschwindigkeitsanalyse	97
Tabelle 13: OLS-Modell zur Vorhersage der Radfahrgeschwindigkeit (Anlageart) auf 35 Abschnitten	112
Tabelle 14: OLS-Modell zur Vorhersage der Radfahrgeschwindigkeit (Organisationsform) auf 35 Abschnitten	113
Tabelle 15: OLS-Modell zur Vorhersage der Radfahrgeschwindigkeit (Anlageart) auf 15 Abschnitten	115
Tabelle 16: OLS-Modell zur Vorhersage der Radfahrgeschwindigkeit (Organisationsform) auf 15 Abschnitten	115

ANHANG

Anhang 1

SQL-Query: Anzahl der Trackpoints je Track als Wegedauer in Sekunden

```
SELECT trackpoints.track_fid, count (trackpoints.track_se_1) -1  
FROM "wien_track_points_any_clean_etr89" AS trackpoints  
GROUP BY trackpoints.track_fid  
ORDER BY trackpoints.track_fid ASC;
```

Anhang 2

SQL-Query: Quell- und Zielbezirk je Track

```

SELECT trackpoints.track_fid AS ID, trackpoints.track_se_1 AS startpt, endpunkte.trackpt AS endpt,
bezirk.bez AS quellBez, endpunkte.zielbez AS zielBez

FROM "wien_track_points_any_clean_etr89" AS trackpoints
JOIN "bezirksgrenzeogdpolygon_umland_etr89" AS bezirk
ON ST_WITHIN(trackpoints.geom, bezirk.geom)

JOIN(
    SELECT trackpoints.track_fid AS ID, MIN(trackpoints.track_se_1) AS minpt
    FROM "wien_track_points_any_clean_etr89" AS trackpoints
    GROUP BY trackpoints.track_fid
    ORDER BY trackpoints.track_fid
) AS anfangspunkte
ON trackpoints.track_fid = anfangspunkte.ID AND trackpoints.track_se_1 = anfangspunkte.minpt

JOIN(
    SELECT trackpoints.track_fid AS ID, trackpoints.track_se_1 AS trackpt, bezirk.bez AS zielbez
    FROM "wien_track_points_any_clean_etr89" AS trackpoints
    JOIN "bezirksgrenzeogdpolygon_umland_etr89" AS bezirk
    ON ST_WITHIN(trackpoints.geom, bezirk.geom)
    JOIN(
        SELECT trackpoints.track_fid AS ID, MAX(trackpoints.track_se_1) maxpt
        FROM "wien_track_points_any_clean_etr89" AS trackpoints
        GROUP BY trackpoints.track_fid
        ORDER BY trackpoints.track_fid
    ) AS endpt
    ON trackpoints.track_fid = endpt.ID AND trackpoints.track_se_1 = endpt.maxpt
) AS endpunkte
ON trackpoints.track_fid = endpunkte.ID

GROUP BY trackpoints.track_fid, endpunkte.ID, trackpoints.track_se_1, endpunkte.trackpt,
bezirk.bez, endpunkte.zielbez

ORDER BY trackpoints.track_fid

```

Anhang 3

O-D-Matrix der zurückgelegten Radwege in (und um) Wien laut Bike Citizens

		nach Bezirk																							Quelle	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	99	
von Bezirk	1	1047	286	277	162	100	121	176	122	212	102	38	43	21	44	84	82	63	72	58	81	40	95	21	19	3366
	2	341	860	272	99	55	59	113	45	154	82	103	65	29	30	63	105	60	57	77	158	99	275	19	39	3259
	3	283	312	762	147	111	78	93	29	123	125	98	60	19	26	60	60	31	34	39	54	28	143	53	38	2806
	4	146	99	160	209	111	84	73	23	50	90	26	31	28	22	28	28	15	19	17	13	9	41	19	29	1370
	5	108	64	108	137	215	113	101	38	30	91	15	73	33	20	45	48	14	9	10	17	22	51	31	14	1407
	6	133	44	70	98	134	266	155	80	47	44	18	47	24	23	50	37	24	31	11	20	10	46	19	19	1450
	7	186	92	94	93	98	150	386	116	103	39	23	47	23	73	71	89	56	36	39	26	22	33	13	17	1925
	8	115	44	24	23	41	53	156	175	98	36	5	18	3	18	32	115	29	25	44	15	14	20	7	15	1125
	9	227	163	113	51	36	55	144	89	502	50	13	28	16	38	42	89	97	63	126	96	75	83	14	23	2233
	10	111	97	129	92	104	53	43	36	57	588	52	110	33	40	91	34	12	17	36	20	13	44	92	76	1980
	11	44	85	93	20	18	16	10	6	15	53	397	57	3	6	12	49	8	18	6	8	17	57	42	48	1088
	12	53	50	72	52	62	40	36	28	18	96	63	212	63	39	63	43	11	14	35	8	15	58	104	43	1278
	13	22	21	17	48	28	22	26	3	19	21	3	57	208	82	41	26	28	13	7	5	8	15	62	34	816
	14	38	17	23	19	12	24	78	15	59	33	6	36	74	236	72	99	21	28	30	15	15	20	27	62	1059
	15	76	70	48	40	40	52	69	31	57	99	12	66	48	72	184	89	45	41	27	44	19	19	19	12	1279
	16	81	117	55	25	53	36	76	113	65	30	31	42	41	74	114	234	89	49	49	47	23	46	29	19	1538
	17	62	47	32	19	11	20	45	28	96	24	9	9	24	30	52	81	137	58	40	29	17	23	4	10	907
	18	72	38	59	39	14	21	35	22	81	21	9	21	22	25	34	74	49	149	69	35	42	24	6	7	968
	19	70	82	43	24	6	12	41	44	125	40	8	24	10	23	18	37	37	79	373	73	45	60	4	33	1311
	20	66	160	63	16	13	18	28	19	91	16	7	18	3	13	27	54	35	25	97	304	105	84	3	32	1297
	21	44	103	35	15	12	8	18	8	61	12	10	13	6	16	16	21	17	36	50	86	597	239	3	106	1532
	22	97	216	117	49	35	39	27	18	80	39	52	54	12	12	19	45	21	21	55	81	239	1461	6	95	2890
	23	27	16	28	18	20	22	14	7	11	101	40	87	41	29	17	34	4	9	5	7	10	13	260	93	913
99	31	27	32	17	9	24	11	9	27	67	53	47	26	48	16	10	11	9	44	26	88	91	90	47	860	
Ziel	3480	3110	2726	1512	1338	1386	1954	1104	2181	1899	1091	1265	810	1039	1251	1583	914	912	1344	1268	1572	3041	947	930	38657	

Anhang 4

Tabelle mit dem Verhältnis der Verkehrsstärken laut Bike Citizens und den Zähldaten je Zählstelle nach Monat und Tag-Typ

<i>Argentinierstraße [‰]</i>			
Monat	Werktag	Samstag	Sonn- und Feiertag
Jänner	0,620	0,535	2,183
Februar	0,163	0,000	0,000
März	0,786	1,706	1,033
April	1,912	2,876	2,708
Mai	2,108	1,036	3,191
Juni	1,996	1,252	1,723
Juli	2,447	2,391	2,987
August	2,930	2,246	2,991
September	2,316	1,821	2,449
Oktober	1,109	2,746	1,786
November	1,488	1,678	2,151
Dezember	1,002	1,978	2,715

<i>Donaukanal [‰]</i>			
Monat	Werktag	Samstag	Sonn- und Feiertag
Jänner	0,000	0,000	0,000
Februar	0,000	0,000	0,000
März	0,000	0,000	0,709
April	0,774	0,513	0,741
Mai	0,848	0,684	0,631
Juni	0,803	0,460	0,662
Juli	0,900	0,309	0,773
August	0,516	0,829	0,686
September	0,496	0,807	1,665
Oktober	0,901	1,086	1,114
November	0,765	1,727	1,241
Dezember	0,375	0,000	0,711

<i>Langobardenstraße [‰]</i>			
Monat	Werktag	Samstag	Sonn- und Feiertag
Jänner	0,291	0,000	0,000
Februar	0,000	0,000	0,000
März	0,305	2,041	0,000
April	1,147	1,174	1,869
Mai	1,481	1,822	3,185
Juni	1,707	1,426	1,495
Juli	1,478	2,122	0,746
August	2,356	0,440	2,114
September	1,497	4,412	0,000
Oktober	1,467	0,741	1,717
November	0,574	0,000	2,051
Dezember	0,226	0,000	1,348

<i>Lassallestraße [‰]</i>			
Monat	Werktag	Samstag	Sonn- und Feiertag
Jänner	0,386	0,000	0,000
Februar	0,256	0,782	0,663
März	0,398	0,751	0,220
April	2,477	1,958	2,099
Mai	1,743	1,656	1,693
Juni	2,169	1,009	1,294
Juli	1,611	1,137	1,498
August	1,643	1,744	1,476
September	1,609	1,244	1,838
Oktober	1,355	0,983	1,704
November	1,359	0,758	1,800
Dezember	1,822	0,601	0,363

<i>Liesingbach [‰]</i>			
Monat	Werktag	Samstag	Sonn- und Feiertag
Jänner	0,510	0,000	0,000
Februar	0,505	1,689	0,000
März	1,218	0,000	0,000
April	0,781	1,796	0,878
Mai	0,668	2,294	1,672
Juni	1,355	1,394	1,472
Juli	1,135	1,704	0,654
August	1,403	3,140	1,590
September	1,369	3,616	2,151
Oktober	1,432	1,176	1,824
November	0,171	0,000	1,575
Dezember	0,000	0,000	0,000

<i>Margaritensteg [‰]</i>			
Monat	Werktag	Samstag	Sonn- und Feiertag
Jänner	0,000	0,000	0,000
Februar	0,340	0,000	0,000
März	0,086	0,000	0,000
April	0,570	0,000	0,550
Mai	0,502	0,238	0,306
Juni	0,465	0,000	0,572
Juli	0,549	0,522	0,268
August	0,519	0,506	0,617
September	0,491	0,583	0,279
Oktober	0,747	0,287	0,739
November	0,733	0,992	1,299
Dezember	0,799	2,247	0,000

<i>Neubaugürtel [‰]</i>			
Monat	Werktag	Samstag	Sonn- und Feiertag
Jänner	0,132	0,000	0,000
Februar	0,202	0,000	0,000
März	0,141	1,148	0,614
April	1,440	2,093	1,378
Mai	1,447	2,112	1,439
Juni	1,490	1,938	1,361
Juli	1,156	1,180	1,370
August	1,399	2,004	2,140
September	0,936	0,556	2,500
Oktober	1,455	1,636	1,685
November	1,172	0,929	1,884
Dezember	1,134	2,920	0,764

<i>Operngasse [‰]</i>			
Monat	Werktag	Samstag	Sonn- und Feiertag
Jänner	0,238	0,259	0,309
Februar	0,173	0,000	0,000
März	0,417	0,875	0,358
April	1,401	2,341	2,095
Mai	1,295	0,930	1,482
Juni	1,726	1,175	1,760
Juli	1,576	2,068	1,360
August	1,752	2,694	1,895
September	1,567	1,057	1,309
Oktober	1,137	1,438	1,762
November	1,150	1,044	0,678
Dezember	1,650	0,483	2,223

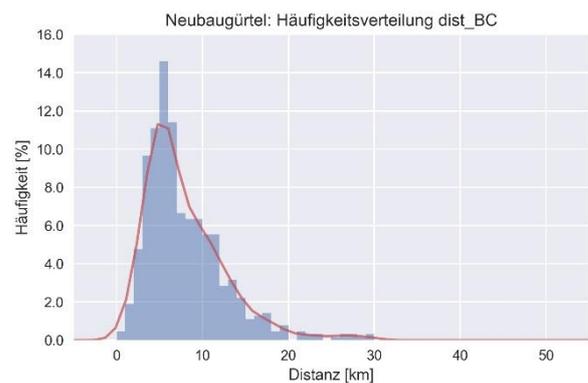
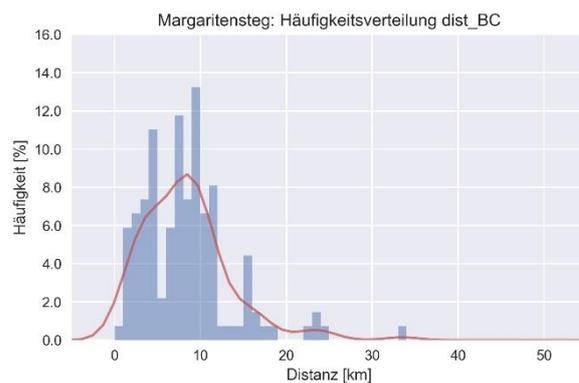
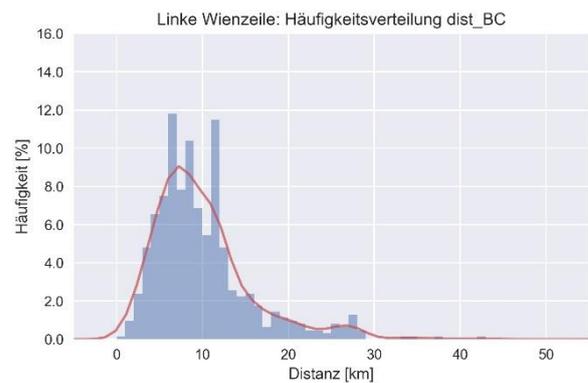
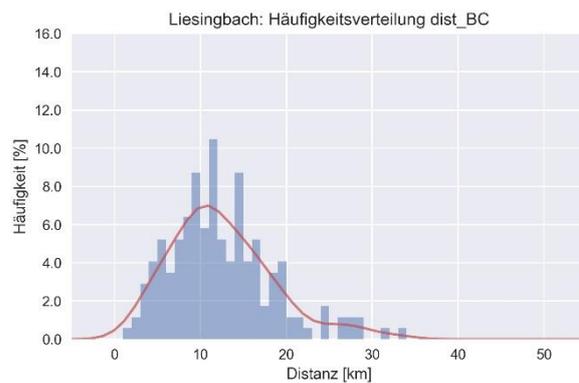
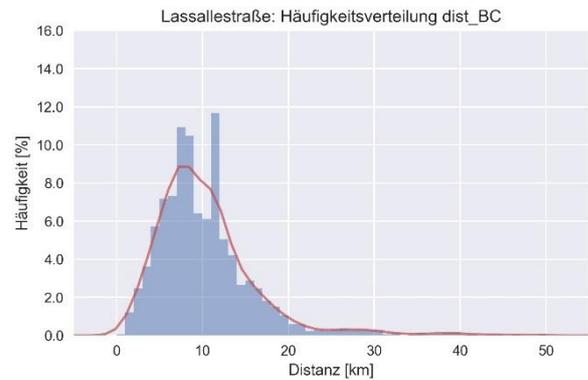
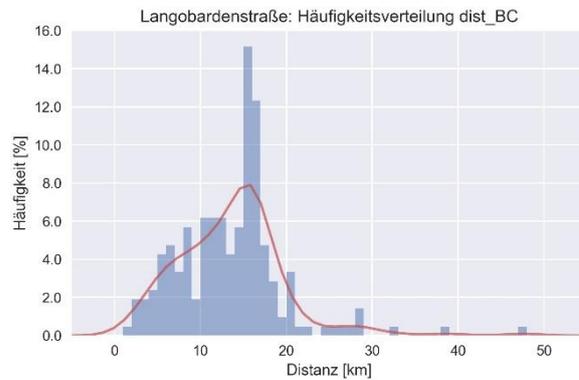
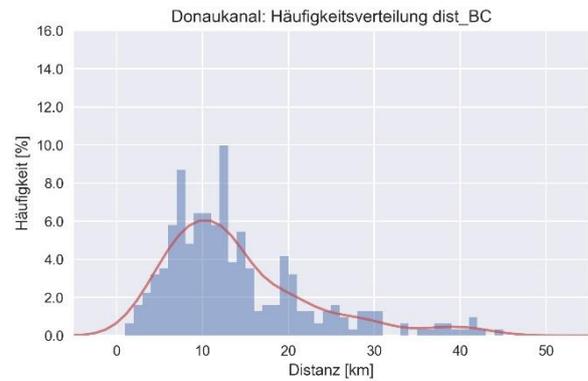
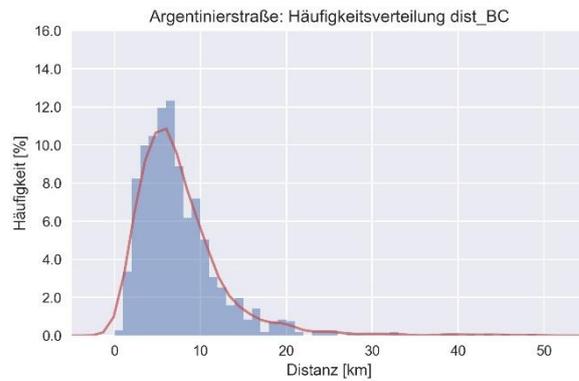
<i>Opernring [‰]</i>			
Monat	Werktag	Samstag	Sonn- und Feiertag
Jänner	0,783	0,000	0,528
Februar	0,577	0,357	0,615
März	0,580	0,568	0,361
April	1,705	1,986	1,340
Mai	1,634	1,740	1,752
Juni	1,566	1,393	1,299
Juli	1,505	1,863	1,901
August	1,636	1,980	1,420
September	1,828	1,695	1,838
Oktober	1,805	2,117	2,621
November	1,749	2,957	2,508
Dezember	1,802	1,325	3,250

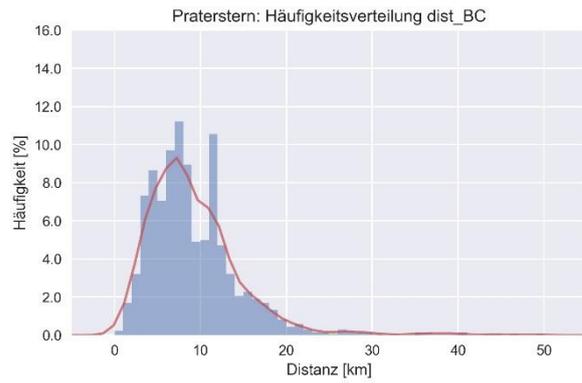
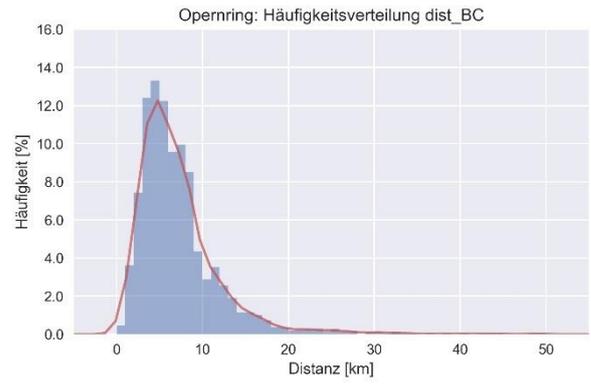
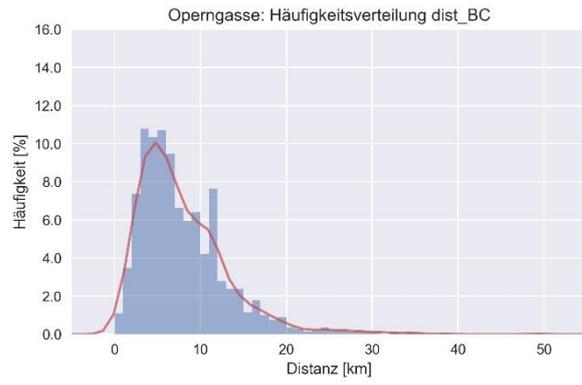
<i>Praterstern [‰]</i>			
Monat	Werktag	Samstag	Sonn- und Feiertag
Jänner	0,992	0,392	0,000
Februar	0,562	0,316	0,495
März	0,596	0,216	0,191
April	2,515	1,923	1,048
Mai	1,578	1,229	1,853
Juni	1,839	1,258	1,636
Juli	1,529	1,202	1,419
August	1,547	1,787	1,852
September	1,510	1,635	1,992
Oktober	1,504	1,091	1,051
November	1,184	0,791	1,275
Dezember	1,051	1,280	1,041

<i>Linke Wienzeile [‰]</i>			
Monat	Werktag	Samstag	Sonn- und Feiertag
Jänner	0,432	0,000	0,000
Februar	0,141	0,000	0,000
März	0,209	1,669	0,000
April	2,938	1,833	2,414
Mai	2,794	1,624	1,735
Juni	2,431	0,781	1,459
Juli	2,712	0,960	2,425
August	1,911	1,344	2,887
September	1,995	2,306	0,994
Oktober	2,061	1,141	1,176
November	2,158	0,611	1,733
Dezember	2,340	0,980	1,186

Anhang 5

Häufigkeitsverteilung und Kerndichteschätzer (Gaußkern) der Wegelängen an den Zählstellen laut Bike Citizens (dist_BC) (1 Säule entspricht 1 km)





Anhang 6

SQL-Query: Fahrtrichtung (heading) je Track in ausgewählten Abschnitten (Beispiel Bäckerstraße)

```
SELECT aussenpunkte.ID, aussenpunkte.anzahl, aussenpunkte.minpt, aussenpunkte.maxpt,
degrees(ST_Azimuth(ST_Point(ST_X(startp.geom), ST_Y(startp.geom)),
ST_POINT(ST_X(endp.geom), ST_Y(endp.geom))))
FROM(
    SELECT trackpoints.track_fid AS ID, COUNT(trackpoints.track_se_1) AS anzahl,
    MIN(trackpoints.track_se_1) AS minpt, MAX(trackpoints.track_se_1) AS maxpt
    FROM "wien_track_points_any_clean_etr89" AS trackpoints
    JOIN "wien_bufferra_baeckerstrasse25x100m" AS buffer
    ON ST_WITHIN(trackpoints.geom, buffer.geom)
    GROUP BY trackpoints.track_fid
    ) AS aussenpunkte
JOIN "wien_track_points_any_clean_etr89" AS startp
ON startp.track_fid = aussenpunkte.ID AND startp.track_se_1 = aussenpunkte.minpt
JOIN "wien_track_points_any_clean_etr89" AS endp
ON endp.track_fid = aussenpunkte.ID AND endp.track_se_1 = aussenpunkte.maxpt
ORDER BY aussenpunkte.ID;
```

Anhang 7

SQL-Query: Höhe von Start- und Endpunkt je Track in ausgewählten Abschnitten (Beispiel Bäckerstraße)

```
SELECT aussenpunkte.ID, aussenpunkte.anzahl, aussenpunkte.minpt, aussenpunkte.maxpt,
altitudeA.grid_code, altitudeE.grid_code
FROM(
    SELECT trackpoints.track_fid AS ID, COUNT(trackpoints.track_se_1) AS anzahl,
    MIN(trackpoints.track_se_1) AS minpt, MAX(trackpoints.track_se_1) AS maxpt
    FROM "wien_track_points_any_clean_etr89" AS trackpoints
    JOIN "wien_bufferra_baeckerstrasse25x100m" AS buffer
    ON ST_WITHIN(trackpoints.geom, buffer.geom)
    GROUP BY trackpoints.track_fid
    ) AS aussenpunkte
JOIN "wien_track_points_any_clean_etr89" AS startp
ON startp.track_fid = aussenpunkte.ID AND startp.track_se_1 = aussenpunkte.minpt
JOIN "wien_track_points_any_clean_etr89" AS endp
ON endp.track_fid = aussenpunkte.ID AND endp.track_se_1 = aussenpunkte.maxpt
JOIN "innenstadt_dgm_clip_abschnitte_bufferra_etr89" AS altitudeA
ON ST_WITHIN(startp.geom, altitudeA.geom)
JOIN "innenstadt_dgm_clip_abschnitte_bufferra_etr89" AS altitudeE
ON ST_WITHIN(endp.geom, altitudeE.geom)
ORDER BY aussenpunkte.ID, altitudeA.grid_code, altitudeE.grid_code;
```