



Graz University of Technology

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Repräsentativität von Fahrrad GPS-Tracks zur Beurteilung des Fahrradverkehrsaufkommens

MASTERARBEIT

vorgelegt von

Lukas Fussi, BSc.

bei

Univ. Prof. Dr. Ing. Martin Fellendorf

Technische Universität Graz

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Mitbetreuender Assistent:

Dipl.-Ing. BSc Hebenstreit Cornelia

Technische Universität Graz

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Graz, am 03. März 2020

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

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen / Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtliche und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, _____

Lukas Fussi, BSc.

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, _____

Lukas Fussi, BSc.

Aufgabenstellung für die Masterarbeit

von Lukas Fussi

Graz, 24.05.2018

Repräsentativität von Fahrrad GPS-Tracks zur Beurteilung des Fahrradverkehrsaufkommens

Problemstellung

Verkehrszählungen für den Fahrradverkehr sind, etwa bei Querschnittszählungen, hinsichtlich ihrer Aussagekräftigkeit auf den gemessenen Querschnitt oder Knoten limitiert. Bei einer Zählung lässt sich die Anzahl an Radfahrern messen, welche den Messpunkt passieren. Es ist allerdings durchaus schwierig zu interpretieren, welche Route der Radfahrer zuvor genommen hat, und welche er nach Verlassen des Querschnittes folgen wird. Da sich bei einer Querschnittszählung, im Vergleich zum straßengebundenen Fahrzeug (PKW, LKW u. dgl.), der Fahrradfahrer zum Beispiel nicht an die gegebene Infrastruktur halten muss, besteht die Gefahr, dass es zu fehlerhaften Daten kommt. Zusätzlich dazu lässt sich für das Rad auch keine Stromerhebung durchführen.

GPS fundierte Daten (Tracks) könnten diesem Problem entgegen, da sich mittels geeigneter Software schon mit geringem Aufwand zusammenhängende Querschnitte untersuchen lassen. Jedoch stellt sich die Frage, ab welcher Datendichte sich eine ausreichend genaue Aussage erstellen lässt, bzw. ab wann man Prognosen für eine Verkehrsentwicklung abschätzen kann.

Da GPS-Tracking Apps nur von einer Teilmenge der Radfahrer genutzt werden, ist die Vergleichbarkeit zu hinterfragen. Diese Gruppe lässt sich weiter unterteilen in Alltagsmobilität, Sportfahrten und Kurierfahrten. Somit ist es sinnvoll, zuvor die Datensätze auf dies hin zu filtern und zu gruppieren, sowie auch hinsichtlich auf sogenannte „Superuser“ zu achten, welche das Tracking außergewöhnlich oft für dieselben Routen nutzen.

Aufgabenstellung

In der Masterarbeit soll untersucht werden, ab wann GPS gesammelte Daten durch den Radverkehr für die Stadtplanung aussagekräftig sind und ob sich diese für Prognosen hochskalieren lassen würden. Zusätzlich werden aktuelle Erhebungsmethoden mit dieser Variante verglichen. Ziel soll es sein, einerseits die Möglichkeiten und Grenzen von GPS-Tracks zu eruieren, sowie die Vergleichbarkeit zur herkömmlichen Methode zu untersuchen.

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

1. Querschnittsdaten von Dauerzählstellen in Graz mit GPS Tracks an diesen Stellen statistisch vergleichen.
2. Überprüfung der Repräsentativität: Durchführen von Messungen für eine Geschwindigkeitsverteilung (im Vergleich zu den GPS-Tracks)
3. Vergleichbarkeit von Querschnittsdaten und GPS-Tracks: Interpretation von Zählergebnissen; Stichprobengröße; repräsentative Hochrechnungsfaktor
4. Aussage zum Fahrtzweck: Gruppierung in Alltagsmobilität, Sport- und Kurierfahrten

Diese Arbeit erfolgt in enger Abstimmung mit Bike Citizens Mobile Solutions GmbH (Graz) und der Stadt Graz.

Bei der Datenaufbereitung und Datenanalyse der zur Verwendung gestellten Mobilitätsdaten sind Datenschutzrichtlinien einzuhalten. Der Diplomand verpflichtet sich, bereitgestellte Daten und Softwareprogramme ausschließlich zur Anfertigung der Masterarbeit zu nutzen.

Die Arbeit ist zweifach mit allen Anlagen in DIN A4 gebunden einzureichen. Ein Datenträger mit dem Masterarbeitstext, Präsentationen sowie allen Analysedaten und Auswerteskripten ist beizulegen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf

Tel. 0316 873 6220

martin.fellendorf@tugraz.at

Betreuer

Dipl.-Ing. Cornelia Hebenstreit

Tel. 0316 873 6723

cornelia.hebenstreit@tugraz.at

Mitbetreuender Assistent

Kurzfassung

Repräsentativität von Fahrrad GPS-Tracks zur Beurteilung des Fahrradverkehrsaufkommens

88 Seiten, 56 Abbildungen, 24 Tabellen

Die Digitalisierung ebnet neue Wege zur alternativen Datenerhebung im Bereich der Mobilität. Die übliche Herangehensweise um repräsentative Daten im Fahrradverkehr zu erheben ist es, schriftliche Erhebungen oder Zählungen durchzuführen. Dies ist sehr kostenintensiv und zeitaufwendig. In Österreich gibt es mit „Österreich Unterwegs“ eine qualitativ hochwertige, bundesweite Datengrundlage zum Mobilitätsverhalten. Im Zuge dieser Arbeit wird ein anderer Ansatz untersucht. Neue Datenquellen wie jene die Bike Citizens liefert soll auf ihre Repräsentativität untersucht werden. Durch benutzergenerierte GPS-Tracks soll auf das Gesamtverkehrsaufkommen geschlossen werden können. Ein Vergleich zwischen Bike Citizens' Daten und herkömmlich gesammelten Daten wird angestellt. Für diese Arbeit wurde ein Datensatz von der Stadt Graz, welche durch Dauermessstationen gesammelt wurden, bereitgestellt. Bei diesem handelt es sich um Querschnittszählungen, welche nur in absoluten Tageswerten und ohne Geschwindigkeitsparameter, vorliegen. Diese Daten werden mittels eigens durchgeführter Messungen durch Seitenmessradar an drei verschiedenen Messpunkten in der Grazer Innenstadt ergänzt. Die Kombination dieser beiden Datensätze legt die Grundlage für die Auswertung für die Bike Citizens Daten. Diese werden über das Bike Citizens Analytics Tool bereitgestellt, welches mit einem Datensatz aus Tracks im Zeitraum zwischen 2015-2017 gesammelt wurden. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten wurden die Messungen aus dem Seitenradar mit Handzählungen validiert. Daraus wurden Filterkriterien erstellt, um den Datensatz zu verifizieren. Geeignet erscheint das Filter nach dem Parameter „Geschwindigkeit“. Dies war nötig um den Einfluss des Fußgängerverkehrs bei der Messung zu bereinigen. Ergebnisse zeigen, dass die gewählte Methodik nicht frei von Ungenauigkeiten ist. Da weder Rohdaten seitens Dauermessstation (Sierzega) und Bike Citizens zur Verfügung gestellt wurden, ist die Validierung sehr unscharf. Die Streuung zwischen Handzählung und der Seitenradarmessung belief sich im Bereich von rund 4-10%.

Die Auswertung zeigt, dass das Geschwindigkeitsprofil von Bike Citizen dem des Seitenradars entspricht. Wochenganglinien zeigen zwar eine typische Abnahme am Wochenende, jedoch weist eine Varianzanalyse auf einen hohen Fehler hin. Für die Errechnung eines Hochrechnungsfaktors um die Gesamtverkehrsstärke abzubilden und für die Erstellung einer Stundengangline ist dieser Datensatz unglücklicherweise nicht ausreichend.

Abstract

Representativeness of bicycle GPS tracks to assess bicycle traffic

88 pages, 56 figures, 24 tables

Digitalization is paving its way for alternative data collection in the field of mobility. The usual way of collecting representative data in bicycle traffic is to conduct written surveys or to do countings. However, this is very expensive and time consuming. In Austria we have a high-quality, nationwide data basis on mobility behavior called "Österreich Unterwegs". In the course of this work a different approach to the one used by "Österreich Unterwegs" is examined. New data sources such as those that are supplied by *Bike Citizens* should be examined for their representativeness. User-generated GPS tracks should be used to relate to the total traffic volume. A comparison between Bike Citizens data and conventionally collected data will be made in this paper. For this paper the city Graz has given me data records, which were made through permanent measurement stations in the city. These are cross-section counts that are only available in absolute daily values and without speed parameters. This data is supplemented by means of measurements carried out by using a side measuring radar and three different measuring points in the centre of Graz. The combination of these two data sets forms the basis for the evaluation of the Bike Citizens data. These data sets are provided by the bike citizens analytics tool, which were collected from tracks between 2015-2017. To ensure comparability, the measurements from the side radar were validated with hand counts. Filter criteria were created from this to verify the data set. The filter appears to be suitable according to the "Speed" parameter. This was needed to control the pedestrian traffic at the measurement station to clean up the result. Results show that the chosen methodology is not free of inaccuracies. Since neither raw data from the permanent measurement station (Sierzega) nor data from bike citizens were provided, the validation is very vague. The spread between hand counting and the side radar measurement was in the range of around 4-10%.

The evaluation shows that the speed profile of bike citizen and that of the side radars are similar. Weekly trend lines show a typical decrease at the weekend, but an analysis of variance indicates a high error. The calculation of an extrapolation factor in order to show the total traffic volume and the creation of an hourly hydrograph is unfortunately not possible with this data set.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	v
Abkürzungen	vi
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung.....	2
1.2 Forschungsziele	3
1.3 Aufbau der Arbeit	4
2 Grundlagen	5
2.1 Das Fahrrad in der Verkehrsplanung.....	5
2.2 Verkehrserhebungsmethoden allgemein.....	6
2.2.1 Allgemeine Verfahren zur Entscheidungsfindung (Vgl. Köhler U. , 2014):.....	7
2.3 Verkehrserhebung „State of the Art“	8
2.4 „Neue“ Datenquellen in der Erhebung.....	14
2.4.1 Das Internet der Dinge	15
2.4.2 Der User	16
2.4.3 Cooperative Vehicle Highway System (CVHS) (Ehrlich, Millar, & Ueda, 2016)	18
2.4.4 Floating Car Data (FCD)	18
2.4.5 Floating Bicycle Data (FBD)	23
2.4.6 Floating Phone Data (FPD)	24
2.4.7 Messgeräte für die Radverkehrszählung.....	27
3 Methodik und Messkonzept	30
3.1 Methodik der Arbeit	30
3.1.1 Stadt Graz.....	31
3.2 Messkonzept	36
3.2.1 Imovino	36
3.2.2 Seitenradar (Vgl. Avramovic, Brkic, Fenzl, & Frisee, 2009, S. 7).....	38
3.2.3 Messpunkte.....	40
3.3 Messdurchführung	44
3.4 Ablauf der Erhebung.....	44
4 Auswertung	47
4.1 Überprüfung der eigenen Messwerte	47
4.1.1 Handzählung.....	49

4.2 Vergleich verschiedener Datenquellen	54
4.2.1 Wochenganglinie.....	57
4.2.2 Geschwindigkeitsprofil.....	62
4.2.3 Stundenganglinie.....	64
4.2.4 Hochrechnungsfaktor.....	67
5 Zusammenfassung und Ausblick.....	71
5.1 Zusammenfassung.....	71
5.2 Entwicklung des BC-Datensatzes.....	72
5.3 Fazit und Ausblick.....	72
6 Literaturverzeichnis	74
7 Anhang	77
7.1 Messprotokoll Handzählung.....	77
7.2 Auswertung Handzählung Körösisstraße	80
7.3 Messdurchgänge (Folgemessungen) Körösisstraße.....	84
7.4 Hochrechnungsfaktor	86

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Ablaufgrafik – Aufbau der Arbeit	4
Abbildung 2 Anteile der Verkehrsmittel an den Wegen (Modal-Split) – Österreich Unterwegs 2013/14. (Vgl. Bundesministerium für Verkehr, 2017, S. 10)	5
Abbildung 3 Visualisierung des Innovationspfades (mobilitaetderzukunft, 2018)	11
Abbildung 4 Ablaufgrafik – Smart Survey (Technology, 2019).....	11
Abbildung 5 Bsp. einer FCD Auswertung (Autobahn) (Treiber, Kesting, & Thiemann, 2013, S. 9)	19
Abbildung 6 FCO welcher einen Stau auf der Gegenfahrbahn erkennt.....	21
Abbildung 7 Drei-Phasen-Verkehrstheorie nach Kerner (a) Messdaten der Geschwindigkeiten (Zeit und Raum) (b) Darstellung in der Zeit und Raumbene	22
Abbildung 8 Methodik der Arbeit	30
Abbildung 9 Dauermessstation (Sierziega)	31
Abbildung 10 Temperaturverläufe im Vergleich: links W10/11, rechts W11/12 (Wetteronline, 2018).....	32
Abbildung 11 Summenhäufigkeit der Weglängen der Fahrradwege im Vergleich zwischen „Österreich Unterwegs“ und Bike Citizens. (Vgl. Bundesministerium für Verkehr, 2017, S. 40)	34
Abbildung 12 oben: Wegelängen Graz aus ÖU (n=944); unten: Wegelängen Graz aus BC (n=19580)	35
Abbildung 13 Aufbau Imovino-Sensorik (Imovino, 2018)	37
Abbildung 14 Bestandteile des Seitenradars (Vergleichsmessung Seitenradar – Videodetektion, Projektarbeit Verkehr, 2009).....	38
Abbildung 15 Montage des Seitenmessradars (Vergleichsmessung Seitenradar – Videodetektion, Projektarbeit Verkehr, 2009).....	39
Abbildung 16 Ausrichtung des Seitenradars (Vergleichsmessung Seitenradar – Videodetektion, Projektarbeit Verkehr, 2009).....	40
Abbildung 17 Haupttrouten Graz (Portal Stadt Graz)	41
Abbildung 18 Position der Messpunkte (Openstreetmap, 2019)	41
Abbildung 19 Messpunkt Marburger Kai (Openstreetmap, 2019)	41
Abbildung 20 Marburger Kai Messpunkt Überblick.....	42
Abbildung 21 Messpunkt Körösistraße (Openstreetmap, 2019)	42
Abbildung 22 Körösistraße Messpunkt Überblick.....	43
Abbildung 23 Messpunkt Oper Innenstadtring (Openstreetmap, 2019)	43
Abbildung 24 Oper Innenstadtring Messpunkt Überblick.....	44
Abbildung 25 Adaption der Forschungsfrage.....	45
Abbildung 26 Länge der detektierten Objekte (n=48543)	48
Abbildung 27 Rohdaten Körösistraße aus Messung mittels Seitenradar (n=1521)	49
Abbildung 28 Visualisierung verschiedener Filterungen im Vergleich zwischen Seitenmessradar und Handmessung (Messperiode 2). 18.01.19 (links), 25.01.19 (rechts).....	51
Abbildung 29 Visualisierung der Streuung: Handzählung zu Messdaten aus dem Seitenradar.	53
Abbildung 30 Überblick über die vorhandene Datengrundlage	54
Abbildung 31 Streuung zwischen Seitenradar und Dauermessstation.....	55
Abbildung 32 Wetterdatem im Zeitraum der durchgeführten Messungen. Achse links: Temperatur und Niederschlag, Achse rechts: Sonnenscheindauer	56
Abbildung 33 Wochenganglinie BC (n=5363) und Seitenradar (n=28843) – Marburger Kai	58
Abbildung 34 Wochenganglinie BC (n=1464) und Seitenradar (n=9443) – Opernring	59

Abbildung 35 Wochenganglinie BC (n=3095) und Seitenradar (n=12790) – Körösisstraße	60
Abbildung 36 Radfahrer je Wochentag (+) vergleich Seitenradar (n=7198) zu Dauermessstation (n=7101) – Körösisstraße	61
Abbildung 37 Radfahrer je Wochentag (-) vergleich Seitenradar (n=5591) zu Dauermessstation (n=6444) – Körösisstraße	62
Abbildung 38 Normalverteilung Seitenradar (n=28843) – Marburger Kai.....	62
Abbildung 39 Normalverteilung Seitenradar – Oper Innenstadtring (n=9636)	63
Abbildung 40 Normalverteilung Seitenradar – Körösisstraße (n=34765).....	64
Abbildung 41 Körösisstraße: Stundenganglinie (+) Seitenradar (n=6449) und Bike Citizens (n=1737)..	65
Abbildung 42 Körösisstraße: Stundenganglinie (-) Seitenradar (n=5671) und Bike Citizens (n=1352) ..	65
Abbildung 43 Marburger Kai: Stundenganglinie (+) Seitenradar (n=14981) und Bike Citizens (n=2905)	66
Abbildung 44 Marburger Kai: Stundenganglinie (-) Seitenradar (n=13862) und Bike Citizens (n=2542)	66
Abbildung 45 Oper Innenstadtring: Stundenganglinie (+) Seitenradar (n=5837) und Bike Citizens (n=499)	67
Abbildung 46 Oper Innenstadtring: Stundenganglinie (-) Seitenradar (n=6670) und Bike Citizens (n=765)	67
Abbildung 47 Körösisstraße: Aufgezeichnete Objekte im Verhältnis zwischen Seitenradar und Bike Citizens Daten, geteilt nach Wochentagen. (+): SR (n=6449) und BC (n=1743); (-): SR (n=5671) und BC (n=1352)	68
Abbildung 48 Marburger Kai: Aufgezeichnete Objekte im Verhältnis zwischen Seitenradar und Bike Citizens Daten, geteilt nach Wochentagen. (+): SR (n=14981) und BC (n=2905); (-): SR (n=13862) und BC (n=2542)	69
Abbildung 49 Oper Innenstadtring: Aufgezeichnete Objekte im Verhältnis zwischen Seitenradar und Bike Citizens Daten, geteilt nach Wochentagen. (+): SR (n=4301) und BC (n=499); (-): SR (n=5335) und BC (n=765)	70
Abbildung 50 Visualisierung verschiedener Filterungen im Vergleich zwischen Seitenmessradar und Handmessung (Messperiode 2). 18.01.19 (links), 25.01.19 (rechts).....	80
Abbildung 51 Visualisierung verschiedener Filterungen im Vergleich zwischen Seitenmessradar und Handmessung (Messperiode 2). 11.02.19 (links), 15.02.19 (rechts).....	81
Abbildung 52 Visualisierung verschiedener Filterungen im Vergleich zwischen Seitenmessradar und Handmessung (Messperiode 3). 28.02.19 (links), 01.03.19 (rechts).....	83
Abbildung 53 BC-Analytics Stundenwerte – Marburger Kai	87
Abbildung 54 Seitenradar Stundenwerte – Marburger Kai.....	87
Abbildung 55 BC-Analytics Stundenwerte – Oper Innenstadtring	88
Abbildung 56 Seitenradar Stundenwerte – Oper Innenstadtring	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Parameter aus GPS Tracks	26
Tabelle 2 Übersicht über Detektoren (Kobbelor, 2007, S. 15)	27
Tabelle 3 Umfrageergebnisse Kurierfahrer (Oktober 2018)	33
Tabelle 4 Eckdaten und erhobene Messwerte der Erhebung.....	45
Tabelle 5 Eckdaten und erhobene Messwerte der Folgemessung bei Messpunkt Körösisstraße	46
Tabelle 6 Handzählung – 2. Messperiode	50
Tabelle 7 Auswertung Handzählung (Messperiode 2) hinsichtlich Abweichung zu Seitenradar bei unterschiedlicher Filterung.	52
Tabelle 8 Zusammenfassung - Abweichung Handzählung/Seitenradargerät (siehe Anhang 7.2)	52
Tabelle 9 Auswertung der Daten aus dem Seitenradar Messperiode 2. – Körösisstraße (n=21119).....	55
Tabelle 10 Anteil Daten BC (n=5363) zu Seitenradar (n=28843) je Wochentag – Marburger Kai	58
Tabelle 11 Anteil Daten BC (n=1464) zu Seitenradar (n=9443) je Wochentag – Oper Innenstadtring.	59
Tabelle 12 Anteil Seitenradar (n=12790) zu Dauermessstation (n=13544) je Wochentag - Körösisstraße	61
Tabelle 13 Anteil Daten BC (n=12790) zu Seitenradar (n=12790) je Wochentag - Körösisstraße.....	61
Tabelle 14 Handzählung – 1. Messperiode	77
Tabelle 15 Handzählung – 2. Messperiode	78
Tabelle 16 Handzählung – 3. Messperiode	79
Tabelle 17 Auswertung Handzählung (Messperiode 2) hinsichtlich Abweichung zu Seitenradar bei unterschiedlicher Filterung.	80
Tabelle 18 Auswertung Handzählung (Messperiode 2) hinsichtlich Abweichung zu Seitenradar bei unterschiedlicher Filterung.	82
Tabelle 19 Auswertung Handzählung (Messperiode 3) hinsichtlich Abweichung zu Seitenradar bei unterschiedlicher Filterung.	83
Tabelle 20 Auswertung der Daten aus dem Seitenradar Messperiode 2.	84
Tabelle 21 Auswertung der Daten aus dem Seitenradar Messperiode 3.	85
Tabelle 22 Auswertung der Daten aus dem Seitenradar Messperiode 4.	85
Tabelle 23 BC-Analytics Stundenwerte – Körösisstraße	86
Tabelle 24 Seitenradar Stundenwerte – Körösisstraße	86

Abkürzungen

ANPR	Automated Number Plate Reader
APP	Application software
BC	Bike Citizens
CVHS	Cooperative Vehicle Highway System
DAB	Digital Audiobroadcast
DAB	Digital Audiobroadcast
DSRC	Dedicated Short Range Communication
DTTLU	Distance Threshold Triggered Location Update
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
FBD	Floating Bicycle Data
FCD	Floating Car Data
FCO	Floating Car Observer
FPD	Floating Phone Data
GMS	Global System for Mobile Communications
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GPX	GPS Exchange Format
ID	Identifier
ILTU	ID Triggered Location Update
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
KFZ	Kraftfahrzeug
LA	Location Area
LKW	Lastkraftwagen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
ÖPNV	öffentliche Personennahverkehr
OSShD	Organisation für die Zusammenarbeit der Eisenbahnen
ÖU	Österreich Unterwegs
PKW	Personenkraftwagen
RDS-TMC	Radio Data System – Traffic Message Channel
RDS-TMC	Radio Data System – Traffic Message Channel
STTLU	Speed Threshold Triggered Location Update
VLSA	Verkehrslichtsignalanlage
XFCD	Extended Floating Car Data

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit bei Begriffen auf die Anführung von maskulinen und femininen Formen verzichtet. Die maskuline Schreibweise, auch jene des Plurals, bezieht stets Frauen und Männer mit ein.

1 Einleitung

Das Konzept der Verkehrszählung wurde 1970 das erste Mal in Europa durchgeführt. Sechs europäische Staaten, sogenannte OSShD¹-Mitglieder, untersuchten die Durchlassfähigkeit auf Straßen für den internationalen Verkehr (Fleischer, Vasarhelyi, & Biro, 1974). Seitdem konnte man besonders viele Veränderungen in diesem Gebiet beobachten. Die grundlegende Datenbeschaffung allerdings funktioniert heute noch wie vor knapp 50 Jahren: Mittels umfassender Zählungen und Befragungen werden Rückschlüsse auf Verkehrsverhalten gezogen, sowie Quell/Ziel Beziehungen aufgestellt. Durch neue Technologien und größere Rechnerkapazitäten, stellt sich die Frage wie diese Vorgangsweise durch effizientere Verfahren ergänzt werden könnte. Der Gedanke hinter Simulationen und Computermodellen ist der, dass man aus einer großen Anzahl von Daten auf ein Nutzerverhalten im Straßenverkehr (hier Radverkehr) rückschließen möchte.

Seit jeher lässt sich beobachten, dass das Kraftfahrzeug auf Kosten der Radfahrer in der Verkehrsplanung bevorzugt wird. Durch die jahrzehntelange Förderung des motorisierten Verkehrs, auch durch die Verkehrsplanung, wurde das Rad immer weiter verdrängt.

Hermann Knoflach, Professor Emeritus am Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der TU Wien, spricht in einem Interview der Zeitung „Die Zeit“ über diese Problematik:

„Die Kernthesen des Verkehrswesens sind meines Erachtens völlig falsch! Die Idee des Mobilitätswachstums beruht auf einer unvollständigen Betrachtung des Systems. Man nahm an, dass mit zunehmender Motorisierung die Mobilität steigt. Mittlerweile weiß man aber, dass nur die Anzahl der Autofahrten steigt, die Summe der getätigten Wege aber gleich bleibt, weil die Fahrten mit öffentlichen Verkehrsmitteln und die Fußwege gleichzeitig abnehmen. Die zweite falsche Annahme ist jene der Zeitersparnis durch Geschwindigkeitserhöhung. Diese These bildet die Grundlage vieler Wirtschaftlichkeitsberechnungen in der Verkehrsplanung. Tatsächlich gibt es keine Zeiteinsparung durch höhere Geschwindigkeiten. Es steigen nur die Entfernungen bei gleicher Wegzeit.“ (Hablesreiter, 2007, S. 4)

In weiterer Folge wird sogar von einer „Diktatur der Autofahrer“ gesprochen. Da nun in Zeiten von fortschreitendem Klimabewusstsein der ökologische Aspekt des Fahrrads in den letzten Jahren einen Aufschwung erfahren hat, wird der Radverkehr zunehmend als ein zu förderndes Verkehrsmittel behandelt und akzeptiert.

Aus politischer Sicht ist dies ein brandaktuelles Thema. Ein attraktiver Radverkehr benötigt ideale Infrastruktur. Gerne beruft man sich hier auf Zahlen, welche aus wenigen Dauerzählstellen (Dauermessstationen) gesammelt wurden oder aus aufwendigen Erhebungen stammen. Jedoch stellt sich die Frage: Ist diese Vorgehensweise noch Stand der Technik? Mit der raschen digitalen Entwicklung der letzten Jahre, in welcher das Smartphone zum täglichen Begleiter wurde, entwickelte sich jede Person selbst zum wandelnden „Datensammler“. Meist ohne es sich selbst bewusst zu sein sammeln wir tagtäglich Informationen durch allerhand in unseren Smartphones verbauter Sensoren und werden somit zur wandelnden Informationsquelle. Beispielsweise kann mittels einer Smartphone Applikation (App), wie jene die von Bike Citizens (BC) angeboten wird, Daten für das Unternehmen von Benutzern gesammelt werden. So haben bereits viele weitere Klein- und Großunternehmen das Potential der Daten erkannt. Heutzutage produziert nicht nur das Werkzeug „Smartphone“ immer

¹ Organisation für die Zusammenarbeit der Eisenbahnen

größere Datenmengen, sondern auch allerhand andere im Haushalt vorhandene Geräte. Im Jahr 2015 wurden von Unternehmen etwa rund 30% der gesamt erzeugten Datenmenge gespeichert. Dieser Wert soll bis 2025 auf 60% steigen. Bei einem Speichervolumen von 33 Zettabytes² (2018), welches bis 2025 exponentiell auf rund 175 Zettabytes steigen soll, ist dies eine schier unvorstellbare Menge. Das Eintauchen in das digitale Zeitalter stellt uns diesbezüglich vor große Herausforderungen, andererseits bieten sich zahlreiche Chancen für die Forschung an (Reinsel, Gantz, & Rydning, 2018).

Verkehrszählungen sind ein wichtiger Grundstein in der Verkehrsplanung für die Dimensionierung von Verkehrsanlagen und Straßen. Für den Bereich der Verkehrsplanung werden, beispielsweise für Maßnahmenevaluierungen, möglichst validierte Daten benötigt. Innerhalb von Österreich ist die vorhandene Datenmenge sehr gering. Meist werden Rad-Verkehrszählungen von Land, Stadt oder Tourismus in Auftrag gegeben. Somit liegt der Fokus für den Bereich Fahrrad auf Qualität statt Quantität und die Interoperabilität der Daten wird dadurch gehemmt. Der Informationsgehalt solcher Daten und die Kalibrierung des Messgerätes ist Teil dieser Arbeit. Konkret wird untersucht, welche Messgeräte für die Detektierung des Radverkehrs in Frage kommen und wie die daraus resultierenden Daten mit ähnlichen, bereits vorhandenen Daten verglichen werden können. Das Objekt „Fahrrad“ muss als solches richtig identifiziert und interpretiert werden.

1.1 Problemstellung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob und wie Daten von Bike Citizens für die Verkehrsplanung im Radverkehr eingesetzt werden können und ob diese den Verkehr repräsentativ widerspiegeln können. Für die Auswertung wird eine fundamentale Datengrundlage benötigt. Daten aus den Dauermessstationen der Stadt Graz und validierte Radarmesswerte dienen als Referenzwerte für die Auswertung mit den BC-Daten.

Bei der manuellen Zählung von Radfahrern ergibt sich zwar eine hohe Genauigkeit, ist aber anfällig für Unachtsamkeit seitens des Zählers. Bei länger andauernden Zählintervallen mit hohem Verkehrsaufkommen muss sich der Zähler durchgehend konzentrieren. Zusätzlich ist der personelle Einsatz meist eine Kostenfrage, zwar stehen verschiedenste Sensoren für die automatische Erfassung zur Verfügung, viele sind jedoch nicht für die Zählung des Radverkehrs entwickelt worden.

Stationäre Sensoren können den Verkehrsablauf nur punktuell beschreiben, denn ein Radfahrer ist nicht unweigerlich an den Straßenverlauf gebunden. Im Gegensatz dazu muss ein Kraftfahrzeug den vorgegebenen Straßenverlauf aufgrund der Größe, Form und gesetzlichen Vorgaben folgen. Ein Rad lässt sich problemlos gegen die Straßenverkehrsordnung, auf einem Gehweg oder über eine Grünfläche lenken. Dieses kann somit eigene Routen verwenden. Diese Tatsache führt zu einer erschwerten Erfassung und Messung von Radverkehr.

Während einer Messung/Zählung muss mit verschiedensten Störfaktoren umgegangen werden. Neben der Problematik der genauen Erfassung von einzelnen Radfahrern (Nebeneinanderfahren, Abschattung oder überlappendes Fahren) erschweren auch Überholmanöver die Erfassung, da im Gegensatz zum KFZ, kein Fahrstreifenwechsel hierfür nötig ist. Oftmals kann ein Radweg in beide Fahrtrichtungen befahren werden. Somit muss sichergestellt sein, dass ein Messgerät die Fahrtrichtung des gemessenen Objektes unterscheiden kann (falls dies gewünscht sein sollte). Nur bei expliziter Beschilderung oder Markierungen, wie es etwa innerhalb eines Radfahrstreifens der Fall ist, kann von der Einhaltung der Fahrtrichtung ausgegangen werden. Bei gemischtem Verkehr muss eine

² 1 ZB = 10¹² GB = 10²¹ Bytes

Messung zusätzlich gefiltert werden um den Einfluss durch den motorisierten Verkehr oder der Fußgänger zu entfernen. Dabei führt die Beschaffenheit des Fahrrads, wie etwa die kleine detektierbare Oberfläche, zu erschwerter Erfassung (z.B. Radarpistole).

Genannte Faktoren erschweren die Detektierung des Radverkehrs. Im Grunde ist etwa eine Kennzeichenerfassung für Quelle-Ziel-Aussagen mittels ANPR-Gerät (Automated Number Plate Reader) für den Radverkehr ohne zusätzliche Hilfsmittel nicht möglich, da diese über kein Kennzeichen verfügen. Für den Radverkehr, welcher durch punktuelle Messungen aufgezeichnet wurde, müssen teils aufwendige Modellierungen für eine flächendeckende Interpretation durchgeführt werden. Zusätzlich lassen sich aus eben genannten Unterschieden nicht dieselben Möglichkeiten zur Messung im Vergleich mit dem KFZ anwenden.

Eine Möglichkeit den Radverkehr zu erfassen ist es, von Fahrern produzierte GPS-Tracks zu untersuchen. Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Datendichte, welche zugrunde liegen muss um aussagekräftige Schlüsse ziehen zu können. Da die GPS-Tracks von Nutzern einer Handy App generiert werden, besteht hier ein limitierender Faktor. Die Frage, die sich stellt, ist, ob und wie sich vorhandene Datenmengen skalieren lassen, ohne dass sie ihre Repräsentativität einbüßen, damit man sie in der Verkehrsplanung einsetzen kann.

Zusätzlich muss die Userbase von BC, welche die Daten liefern, den durchschnittlichen Radverkehr (Routen, Verkehrsstärken, Demografie etc.) widerspiegeln. Dazu müssen Eigenschaften - wie etwa tatsächliche Geschwindigkeitsprofile - über einen Zeitraum hinweg untersucht werden und mit App-generierten Fahrrad-GPS-Tracks gegenübergestellt werden. Etwaiges Abweichen könnte Indiz für eine überproportional ausgeprägte Nutzergruppe sein, wie etwa Kurier- oder Sportfahrer, welche schneller unterwegs sind als der durchschnittliche Radfahrer. Hinsichtlich diesem Punkt würde sich in weiterer Folge die Frage stellen, falls und in welchen Aspekten sich solch eine Nutzergruppen innerhalb der Daten auswirken würde.

1.2 Forschungsziele

Folgende Punkte wurden eingangs definiert, mit denen sich in dieser Arbeit auseinandergesetzt werden soll:

- Querschnittsdaten von Dauerzählstellen in Graz mit GPS Tracks an diesen Stellen statistisch vergleichen.
- Überprüfung der Repräsentativität: Durchführen von Messungen für eine Geschwindigkeitsverteilung (im Vergleich zu den GPS-Tracks)
- Vergleichbarkeit von Querschnittsdaten und GPS-Tracks: Interpretation von Zählergebnissen; Stichprobengröße; repräsentativer Hochrechnungsfaktor
- Aussage zum Fahrtzweck: Unterscheidung in Alltagsmobilität, Sport- und Kurierfahrten

Daraus wurden folgende Forschungsfragen und Ziele formuliert:

1. Sind die von Bike Citizens zur Verfügung gestellten Daten für die Verkehrsplanung repräsentativ und wie kann überprüft werden, ob sie dies sind?

2. Um verkehrsplanerische Aussagen zu treffen ist eine aussagekräftige Datenmenge nötig. Kann Bike Citizens ausreichend Daten zur Verfügung stellen? Falls nicht, können diese hochgerechnet werden?
3. Es werden Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt um die von der Stadt Graz zur Verfügung gestellten Daten zu ergänzen. Spiegelt sich dieses Geschwindigkeitsprofil in den Bike Citizens Daten wider?

1.3 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit teilt sich grob in drei Kapitel auf. Zu Beginn wurde eine Literaturrecherche durchgeführt um sich einen grundlegenden Einblick in die Thematik Radverkehr und GPS-Tracks zu verschaffen. Schwerpunkt liegt auf den Nutzen für die Verkehrsplanung. Zusätzlich liegt das Smartphone für den verkehrsplanerischen Nutzen im Fokus. Weiters wird untersucht, welche Messgeräte für die Erfassung von Radverkehr geeignet sind und innerhalb dieser Arbeit zur Verwendung kommen könnten. Der zweite Abschnitt behandelt die Methodik für die Generierung einer Datengrundlage. Dazu wurde ein Messkonzept erarbeitet und Messungen mittels Seitenradar durchgeführt. Das letzte Kapitel beschäftigt sich abschließend mit der Auswertung und Interpretation der gesammelten Daten in Kombination mit denen, die zur Verfügung gestellt wurden. Zu diesen zählen Daten aus dem Bike Citizens Analytics Tool und Messwerte aus den Dauermessstationen.

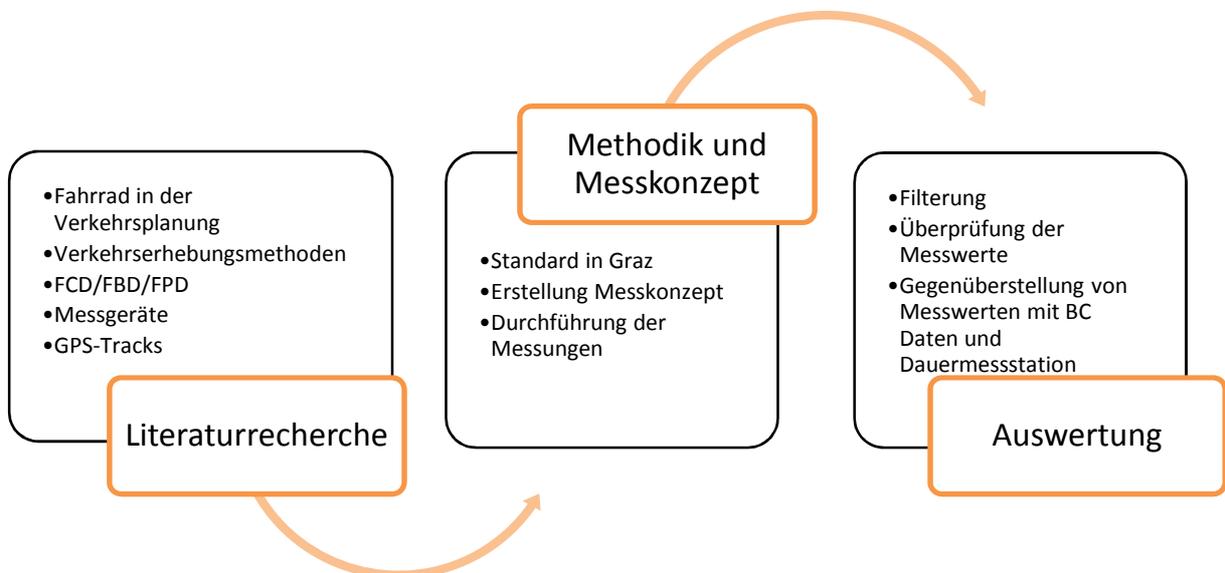


Abbildung 1 Ablaufgrafik – Aufbau der Arbeit

2 Grundlagen

Das Kapitel Grundlagen vermittelt einen Überblick über die Thematik „Fahrrad in der Verkehrsplanung“ und erläutert mit welchen Werkzeugen in der Verkehrsplanung gearbeitet wird, dank dieser heutige Verkehrserfassungen erst möglich gemacht wurden. Weiters werden relevante österreichische Forschungsprojekte im Bereich der Mobilitätsdatenerhebung vorgestellt. Als Überleitung in den nächsten Abschnitt „Methodik und Messkonzept“ wird auf neue Datenquellen für die Verkehrsplanung eingegangen und welche Messwerkzeuge zur Verfügung stehen.

2.1 Das Fahrrad in der Verkehrsplanung

Das Fahrrad, welches den Durchbruch im Jahre 1888 durch die Erfindung des Luftreifens schaffte, ging Ende des 19. Jahrhundert in Massenproduktion. Der einstige Luxusartikel, welcher zuvor nur wohlhabenden Menschen zu Verfügung stand, leistete seinen Beitrag zum Entstehen des modernen Individualverkehrs. Durch den Wirtschaftsaufschwung in den 50er Jahren wurde das Rad zunehmend durch das Kraftfahrzeug abgelöst. Die Gesellschaft degradierte das Fahrrad zum Freizeit- und Sportgerät. Erst Ende der 60er Jahre gelang dem Fahrrad das Comeback in den Großstädten. Anfangs noch auf den Straßen geduldet, wurden die Fahrräder durch den starken Flächenverbrauch des motorisierten Individualverkehrs (MIV), gegen Ende des 19. Jahrhunderts häufig auf Gehwege verdrängt. Die ersten Radwege etablierten sich. Aber trotz der zahlreichen Vorteile gegenüber dem KFZ, besonders in Großstädten, wurde das Rad seitens der Politik Jahrzehnte lang benachteiligt. Durch die ökologische Bewegung in den 70er Jahren rückte das Fahrrad wieder in das Rampenlicht (ADF, 2019). Der Modal Split (siehe Abbildung 2) liegt in Österreich heutzutage jedoch immer noch durchschnittlich im einstelligen Prozentbereich.

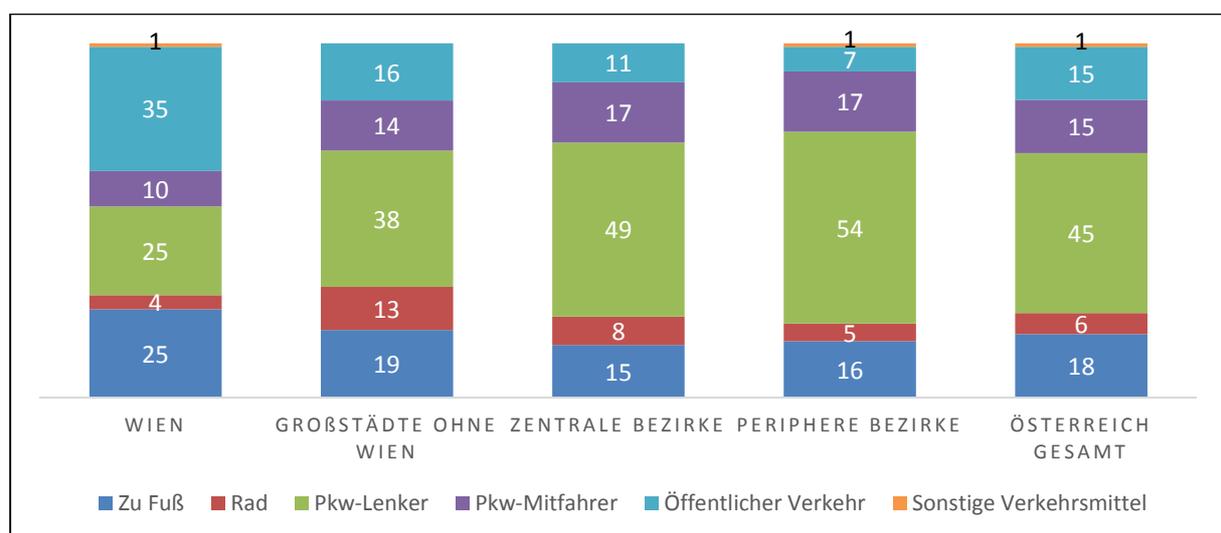


Abbildung 2 Anteile der Verkehrsmittel an den Wegen (Modal-Split) – Österreich Unterwegs 2013/14. (Vgl. Bundesministerium für Verkehr, 2017, S. 10)

Der Modal-Split (Verkehrsmittel-Anteil) ist ein Begriff aus der Verkehrsstatistik und beschreibt die Verteilung des Transportaufkommens auf unterschiedliche Verkehrsmittel. Um diesen zu erstellen wurden vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) 17070 Haushalte

und 38.220 Personen zu ihrem Mobilitätsverhalten befragt. Insgesamt wurden zwischen Oktober 2013 und Oktober 2014 196.604 Wege mit Wegetagebüchern dokumentiert, welche einer anschließenden händischen Datenbereinigung und Analyse unterzogen wurden.

In der Steiermark wurden 42.607 Wege aufgezeichnet und verwertet. Bei einer durchschnittlichen Wegedauer von 26,8 min und einer Wegelänge von 15,2 km fällt der Anteil der Radfahrer auf lediglich 6,2 % aus. Bei Großstädte (ohne Wien) liegt der Anteil an Fahrradfahrer bei 13,0 %. (Bundesministerium für Verkehr, 2017)

2.2 Verkehrserhebungsmethoden allgemein

In der Verkehrsplanung spricht man bei Verkehr immer von einer Ortsveränderung (Personen oder Güter) mittels verschiedener Verkehrsmittel. Verkehr soll soziale oder wirtschaftliche Bedürfnisse wie Arbeit, Wohnen oder Einkauf befriedigen. Der Radverkehr bedient hier zum größten Teil den Personenverkehr, jedoch sind auch immer öfters Botendienste und Lieferservice mit dem Rad oder gar mittels Lastenrad auf österreichischen Straßen unterwegs. Nach Köhler hängt Personenverkehr von folgenden Einflussgrößen ab (Köhler U. , 2014):

- Raum- und Stadtstruktur
- Die Anzahl der in einem Einzugsgebiet lebenden Menschen
- Altersstruktur, Lebensstil und Aktivitäten der Personen
- Soziale Struktur des Raumes (Ausbildungs- und Arbeitsplätze, Besorgungs- und Freizeitgelegenheiten)
- Qualität der Verkehrssysteme

Die Mobilität im Personenverkehr kann grundlegend in die personenbezogenen Größen Mobilitätsrate (Wege/Person und Tag), Verkehrsleistung (km/ Person und Tag) und Unterwegszeit (min/ Person und Tag) unterschieden werden. Die Wahl des Verkehrsmittels hängt stark von der Raumstruktur und dem Verkehrsangebot ab. Durch gezielte Förderungen, z.B. in der Infrastruktur, lassen sich gezielt Anreize in der Bevölkerung setzen. Als Beispiel dienen der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) und der Radverkehr. Im Vergleich Stadt/Land lassen sich in der Stadt höhere Anteile im Bereich ÖPNV und Rad durch geeignete Maßnahmen erreichen. Am Land ist der Anteil aufgrund der Zersiedelung und der damit eingehenden hohen Kosten für ÖPNV geringer. Zuzüglich bietet die Zentralisierung innerhalb der Stadt eine kürzere Wegekette (Besorgungen, Arbeit u. dgl.), was sich i.d.R. positiv auf den Radverkehr auswirkt.

Die Anziehung eines Raumes wird durch den Flächenwidmungsplan gesteuert, welcher durch bereits vorhandene Raumstruktur und Topografie beeinflusst wird. Durch den Zuwachs der Bevölkerung im 19. Jahrhundert und der im Zusammenhang stehenden KFZ-Verkehrsleistung, wurden städtebauliche Grundsätze entwickelt, um steigenden Schadstoff- und Lärmimmission entgegenzuwirken. Neben der effizienteren Abwicklung des Verkehrs (Verkehrsmanagement), strebt man die Stärkung des Rad- und Fußgängerverkehrs und eine Stärkung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖVPN) an (Vgl. Köhler U. , 2014).

Die Planung und Entwicklung von Verkehrskonzepten kann sich je nach Komplexität, über einen langen Zeitraum hinweg erstrecken. Deshalb müssen sich diese den Rahmenbedingungen der Zukunft anpassen. Bei kurzfristiger Planung spricht man von einem Zeitraum im Bereich von 5 Jahren, bei langfristiger Planung sogar von 20 Jahren. Dabei müssen Einflüsse wie der Zuwachs der Bevölkerung und dessen demographische Zusammensetzung prognostiziert werden. Um für den Planungszeitraum verkehrsrelevante Schlüsse ziehen zu können, muss etwa auf Prognosen der statistischen Ämter (Statistik Austria, Eurostat) zurückgegriffen werden. Je größer der Planungshorizont, desto stärker schwankt die Genauigkeit der Prognose. Oft kommt es daher zu sogenannten Szenarien Prognosen, welche den Unter-/Oberbereich eines Szenarios untersuchen. Für diese werden keine Wahrscheinlichkeiten angegeben, sie müssen aber realistisch und widerspruchsfrei sein (Gorißen & Schmitz, 1992). Mit der Wahl der geeigneten verkehrlichen Maßnahme, kann Einfluss auf die Entwicklung genommen werden. Um diese in die gewünschte Richtung zu lenken stehen folgende Handlungsweisen zur Verfügung (Köhler U. , 2014):

Maßnahmen:

- innerhalb Verkehrsorganisation, -infrastruktur oder -technik
- der Ordnungspolitik, zur Vernetzung der Verkehrssysteme, zur Beeinflussung der Nutzerkosten oder zur Verhaltensbeeinflussung
- informatorischer oder betrieblicher Natur

Der durch die Verkürzung der Reisezeit entstandene Verkehr, welcher aufgrund des optimierten Verkehrssystems entsteht, nennt sich induzierter Verkehr. Das eingesparte Reisezeitbudget für eine Ortsveränderung wird darauf hin (zum Teil) für eine zusätzliche Fahrt verwendet. Weiters spricht man bei der Verlagerung vom einen auf ein anderes Verkehrssystem (Bsp. vom KFZ auf Rad) von einer intermodalen Verlagerung (Köhler, Zöllner, Wermuth, & Emig, 2001).

2.2.1 Allgemeine Verfahren zur Entscheidungsfindung (Vgl. Köhler U. , 2014):

Das Ziel der Verkehrsplanung ist es, für ein verkehrsspezifisches Problem, einen fachlich untersuchten Lösungsvorschlag zu finden. Dieser kann im Umfang einer einzigen Maßnahme, oder als Maßnahmenbündel realisiert werden (Handlungsoptionen). Entscheidungen werden grundsätzlich durch die Politik gelenkt, müssen aber von Fachleuten vorbereitet werden. Der Ablauf des Entscheidungsprozesses wird durch Maßnahmenwirkungen (erwünscht, unvermeidlich und unerwünscht) gelenkt. Diese Wirkungen werden beeinflusst durch Referenz-, Richt-, Prüf- und Grenzwerte. Der Prozess gliedert sich wie folgt:

1. Abwägungsprozess: Maßnahmen(-bündel) werden auf die vor- und nachteilige Auswirkung auf betroffenen Personen geprüft.
2. Beurteilungsprozess: Vor und nachteilige Auswirkungen werden gegenübergestellt und abgewogen.
3. Auswahlprozess: Für die Auswahl werden die vorangegangenen Prozesse hinsichtlich zwei Kriterien untersucht. Für das Kaldor-Kriterium (auch Wohlstandskriterium) müssen alle

Vorteile zusammen die Nachteile überwiegen. Das Paretokriterium legt fest, dass mindestens ein Beteiligter profitieren muss, dadurch aber kein weiterer schlechter gestellt werden darf.

Im Verkehrswesen kommen Verfahren zur Entscheidungsfindung zum Tragen, für welche stets ein Wirkungszeitraum definiert werden muss (Wirkungshorizont). Diese sind:

Nichtformales Verfahren: Wird angewendet, falls keine ausreichende Wirkungsermittlung durchgeführt werden konnte und weist keinen vorgegebenen Ablauf auf. Dieses Verfahren kommt bei einer großen Anzahl an Maßnahmen zum Einsatz, welche nicht auf quantitativen, sondern verbal-argumentativen Beurteilung basieren.

Teilformales Verfahren: Setzen eine (quantitative) Wirkungsermittlung voraus (FGSV (Hrsg.), 2010). Erwünschte und unerwünschte Auswirkungen werden mittels Plus-, Minuszeichen (etwa in Diagrammen) dargestellt. Dieses Verfahren wird oft als Argumentationshilfe, weniger als Entscheidungshilfe, herangezogen. Bsp.:

Die Maßnahme „Geschwindigkeitsbegrenzung auf 30 km/h“ führt zu einem Ausstoß von Schadstoffen (Wirkungsprofil). Dieses im Vergleich mit dem Anspruchsprofil (verringerte Schadstoffbelastung), liefert das Qualitätsprofil dieser Maßnahme (Bsp. CO Grenzwert überschritten).

Formalisiertes Verfahren: Dieses Verfahren weist durch seinen formalen Aufbau eine hohe Nachvollziehbarkeit auf (FGSV (Hrsg.), 2010). Es eignet sich für die Gegenüberstellung von volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen. Bei einem Kosten-Nutzen-Verhältnis (KNV) von > 1 ist der volkswirtschaftliche Nutzen größer als die Kosten der betrachteten Maßnahme. Durch Umrechnung der Wirkungen in monetäre Größen und innerhalb Jahresraten lässt sich das KNV als Entscheidungskriterium gebrauchen. Bei monetären Größen spricht man auf Kostenseite beispielsweise von Investitions-, Betriebs- oder Unterhaltungskosten; auf der Nutzenseite etwa von Reisezeit-, Betriebskosten- oder Unfallkostendifferenz.

2.3 Verkehrserhebung „State of the Art“

Im Grunde hängt die Erhebungsart vom gewünschten Erfassungszweck ab (Verkehrsmenge, Verkehrsverflechtung, Verhaltensweisen und Wegmuster). Für neue Mobilitätskonzepte werden aussagekräftige Informationen über das Mobilitätsverhalten von Personen benötigt. Dafür wird stets an neuen und innovativen Erhebungswerkzeugen geforscht, um effektiver und kostengünstiger zu forschen, sowie um den aktuellen Anforderungen gerecht zu werden (Datenschutzverordnung). Dazu gab es einige Förderungsprogramme, welche Forschung und Entwicklung im Bereich Mobilitäts- und Verkehrstechnologien unterstützten. Dazu zählten etwa (BMVIT, <https://mobilitaetderzukunft.at>, 2018):

- IV2Splus – intelligente Verkehrssysteme und Service plus
 - Mit **Ways2go**, Innovation und Technologie für den Wandel der Mobilitätsbedürfnisse - Schwerpunkt Personenverkehr; Entwicklung und Erprobung von zukunftsfähigen Mobilitätslösungen

- MdZ - Mobilität der Zukunft (aktuell - 2020)
 - Weiterführung des **IV2Splus**-Programmes - vier komplementäre Themenfelder; hier relevantes Feld der Bereich Personenmobilität; gesellschaftliche Anwendungen bzw. Anwendungsmöglichkeiten von Technologien und Innovationen

Nach dem Handbuch für Mobilitätshebungen – KOMOD (siehe Abbildung 3) gliedern sich die Nutzer von Mobilitätshebungen in drei Gruppen (Vgl. Sammer, et al., 2011, S. 9):

- **Öffentliche Institution und politische Entscheidungsträger:** Hierzu zählen Bundes-Landesverwaltung, Gemeindeverbände und Interessensvertretungen (z.B. ÖAMTC, WKÖ, AK, ARBÖ und dgl.);
- **Verkehrs- und Angebotsplaner:** Das sind Ingenieurbüros und Verkehrs- und Raumplaner, sowie ausgelagerte Infrastrukturgesellschaften, Verkehrsdienstleistungsunternehmen und Verkehrsverbände;
- **Forschung und Lehre:** Neben Universitäten und Fachhochschulen, fallen auch außeruniversitäre Forschungseinrichtungen des Verkehrswesens sowie der Sozialwissenschaft, Markt/Meinungsforschung, Umweltwissenschaft oder Raumplanung in diese Kategorie.

Üblicherweise werden stationäre Verkehrsdaten auf Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen gemessen. Das heißt solche Daten sind meist nur für Autobahnen oder in dicht befahrenen Ballungszentren vorhanden und auch nur in der direkten Umgebung des Messquerschnittes von Belangen. Die Abschnitte zwischen den Messpunkten bleiben daher unerkannt. Diese stationären Messeinrichtungen zum Sammeln von Verkehrsdaten können Kameras auf hohen Gebäuden oder an Masten angebracht werden. Diese Art von stationärer Messung ist die einzige, die Fahrstreifenwechsel wahrnehmen kann, jedoch ist eine dementsprechende Hard- bzw. Softwareausstattung komplex und daher teuer in der Anschaffung und Betrieb. Auch wird für die Verarbeitung der riesigen Datenmengen ein zuverlässiger Algorithmus vorausgesetzt. Eine einzige Kamera kann oft mehrere hundert Meter an Straßen beobachten, was ein weiteres Problem mit sich bringt. Durch den Größenunterschied der Fahrzeuge kann es dazu kommen, dass ein kleiner PKW hinter einem großen LKW verschwindet und in der Zählung dadurch untergeht (Schattenbildung) (Avramovic, Brkic, Fenzl, & Frisee, 2009, S. 22, 23). Unter den gängigsten Methoden der Verkehrserhebung fallen (BMVIT, <https://mobilitaetderzukunft.at>, 2018):

Verkehrsverhaltensbezogene Erhebung

- **Beobachtung:** Beobachten des Verhaltens eines Verkehrsteilnehmers mittels Videoaufnahmen.
- **Befragung:** Verkehrsteilnehmer werden direkt und anonym im Verkehrsnetz, im Haushalt oder am Aktivitätsort über vergangene oder geplante Verkehrsaktivitäten befragt.

Verkehrstechnische Erhebung

- **Objektzählung:** Beschreibt die Anzahl von Personen und/oder Fahrzeugen innerhalb eines definierten Zeitraumes in einem definierten Beobachtungsraum. Eine eher ungenaue Methode, da in der Regel nicht unter den Objekten unterschieden wird.
- **Querschnittszählung:** Zählung von Personen und/oder Fahrzeugen, welche einen bestimmten Punkt einer Straße innerhalb eines definierten Zeitraumes passieren.
- **Kleinräumige Stromerhebung über Knotenpunkterhebung:** Komplexe Querschnittszählung einer Kreuzung, welche Fahrzeuge von kommender zu einfahrender Richtung, sowie querende Fußgänger erfasst. Bei Bedarf kann die Leistungsfähigkeit an Knotenpunkten mit Lichtzeichenanlage über die Staulänge ermittelt werden. Diese definiert sich über die Anzahl der Fahrzeuge, welche innerhalb einer Grünphase nicht abgefertigt werden konnten.
- **Großräumige Stromerhebung über Erhebungsgebiet:** Erhebung eines größeren Gebietes (Kordon). Hier werden Kennzeichen von Fahrzeugen notiert, welche in den Kordon einfahren, durchqueren oder wieder verlassen.

Diese Messungen beziehen sich nicht auf das individuelle Fahrerverhalten sondern auf einen gesamten Querschnitt. Dadurch werden Fahrstreifenwechsel (außer bei komplexen Kameramessungen) nicht erkannt und das Ergebnis ist nur zum Teil von Relevanz. Aus diesem Grund werden oftmals Staus zu spät erkannt, ungenau lokalisiert oder zeitlich unpräzise erfasst und können daher durch entsprechende Umleitungen des Verkehrsflusses nicht verhindert bzw. abgemildert werden. Auf Grund dieser Probleme von stationären Messmethoden kam die Idee einer dynamischen Methode auf, da in Bezug auf den Radverkehr stationäre Messungen wie beim KFZ Verkehr (Kennzeichenerkennung) nur eingeschränkt durchführbar sind. (Vgl. BMVIT, <https://mobilitaetderzukunft.at>, 2018)

Folgende Grafik schafft einen Überblick über geförderte Forschungsprogramme in den Bereichen Mobilitätsdatenerhebung, Mobilfunkdaten, Erfassungstechnologien und Personenstromerfassung und -analyse in Österreich. Nachfolgend werden diese kurz beschrieben.

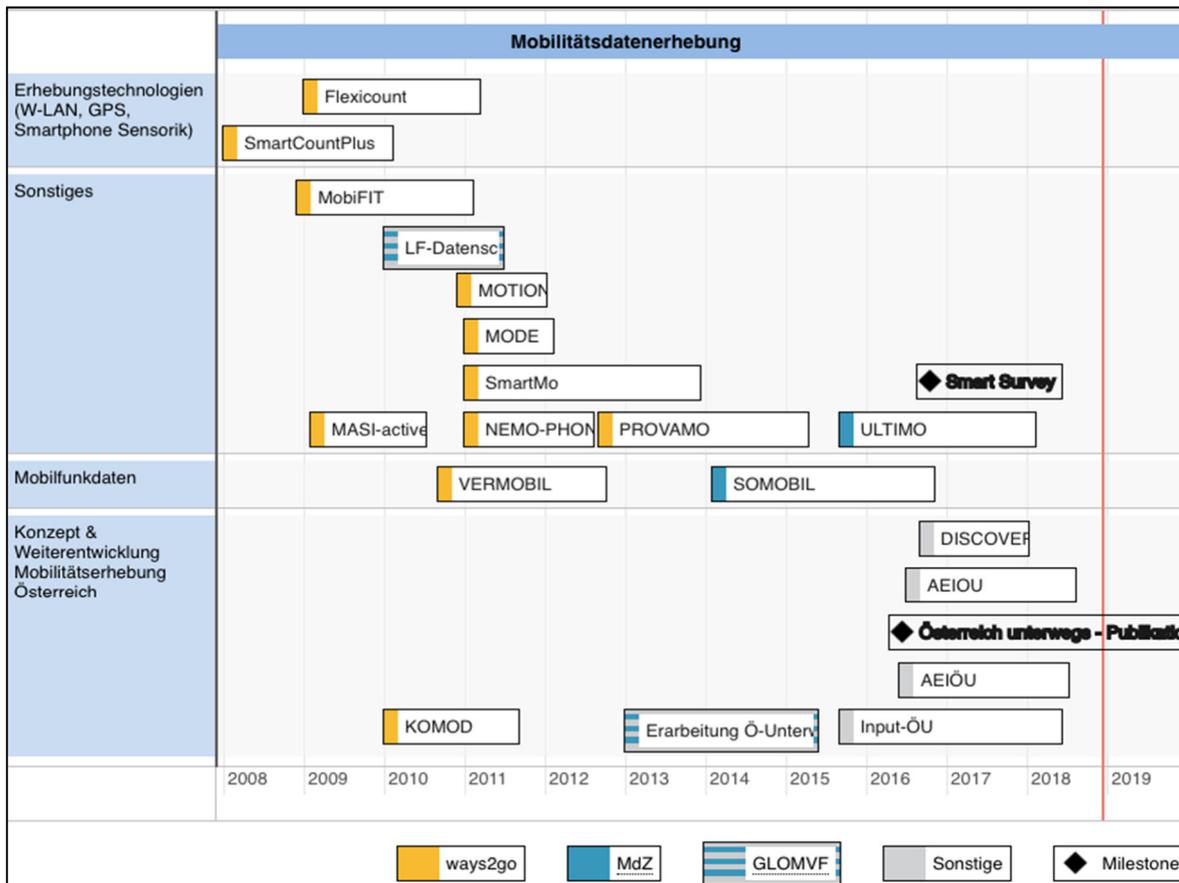


Abbildung 3 Visualisierung des Innovationspfades (mobilitaetderzukunft, 2018)

Smart Survey: Dabei handelt es sich um eine Webservice und Smartphone-App zur Erhebung von Mobilitätsdaten für die Verwendung im Bereich Forschung und Verkehrsplanung. Dabei können automatisch erfasste Wege (digitales Mobilitätstagebuch) noch mit Teilnehmerbefragung ergänzt werden. Diese Informationen werden auf einem Server für weitere Datenanalysen und -auswertung gespeichert. Gesammelte Daten finden sich dann in der Webinterface-Karte mit Echtzeit-Monitoring, als Export in Planungssoftware oder in Berichten mit Mobilitätskennzahlen, wieder.

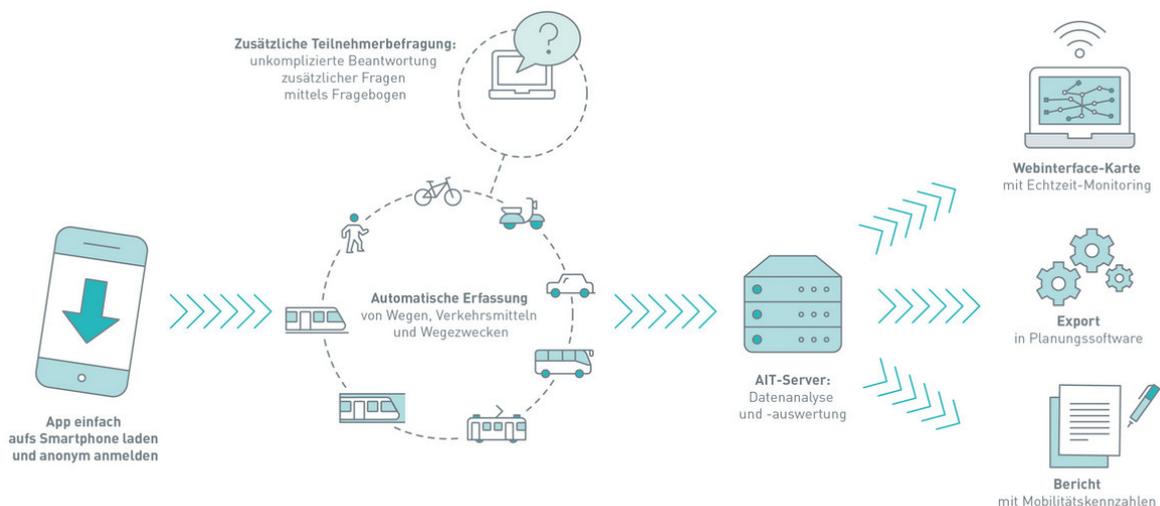


Abbildung 4 Ablaufgrafik – Smart Survey (Technology, 2019)

Zielgruppen sind, nach Angaben der Betreiber, Städte und Gemeinden. Die automatisierte Lieferung von multimodalen Mobilitätsdaten soll Bereiche der Verkehrsplanung und -politik unterstützen. Zusätzlich erhalten Benutzer eine Aufstellung ihrer CO² Bilanz mit Aufschlüsselung ihrer verwendeten Verkehrsmittel je zurückgelegten Distanzen.

Österreich unterwegs (ÖU) 2013/2014: Dies ist die erste österreichweite Mobilitätsbefragung seit dem Jahr 1995, bei welcher 66.936 Haushalte kontaktiert wurden. Der verwertbare Rücklauf betrug 26% (17.070 Haushalte). Dabei konnten 196.604 Wege von 38.220 Personen ausgewertet werden. Der Report lieferte diverse Modal Splits (Wegezweck, Alter und Geschlecht), Mobilitätskennziffern (Außerhaus-Anteil, Wege pro Person, zurückgelegte Tageskilometer und Unterwegszeit) sowie Verkehrsleistung in Personen-km. Hauptunterschied bei den Befragungen lag darin, dass 1995 diese nur an Werktagen im Herbst durchgeführt wurden. Daher wurde beim Vergleich auch nur dieser Zeitraum herangezogen. Eine Auswertung ergab einen Anstieg beim Anteil mobiler Personen, einen starken Rückgang des Anteils der Fußwege und einen starken Anstieg der Verkehrsleistung (Vgl. Tomschy, et al., 2016).

Kurzüberblick über weitere in Abbildung 3 erwähnte Forschungsprojekte (mobilitaetderzukunft, 2018):

FlexiCount ist eine flexibel einsetzbare Personenzählmatte, mit welcher Personenströme gemessen werden. Sie wird an relevanten Knotenpunkten verlegt und kann sofort autark über Wochen hinweg querende Personen zählen. In weiterer Folge können die Daten drahtlos auf einen Rechner übertragen und weiterverarbeitet werden.

SmartCountPlus fördert den nichtmotorisierten Individualverkehr (NMIV) durch Schaffung neuer technisch-methodischer Grundlagen und Entwicklung neuer Technologien im Bereich der statistischen Modellierung (Verkehrstelematik). Unter anderem wurde im Zuge dieses Projektes die Simulierung des Fußgängerverkehrs für Verkehrssimulation VISSIM entwickelt.

NEMO-Phone rekonstruiert, aus Smartphone generierte GPS- und Beschleunigungsdaten, automatisch vollständige Wegketten. Dabei ist es auch möglich, das gewählte Verkehrsmittel zu eruieren. Dabei kommt eine App als Erhebungstool zum Einsatz, welche die Erhebung von Mobilitätsdaten erleichtern soll.

SmartMo ist ein Mobilitätsbefragungstool. Wieder wird auf das Smartphone des Benutzers zurückgegriffen. Neben der automatischen Aufzeichnung des zurückgelegten Weges, lassen sich weitere Informationen durch „On-Trip-Dateneingaben“ mittels Fragebogen ergänzen.

Der **LF-Datenschutz** ist ein anwendungsorientierter Leitfaden und wendet sich an Benutzer, Betreiber und Hersteller von sogenannten innovativen Mobilitätsbefragungen. Wichtiger Hauptbestandteil ist die tiefe Auseinandersetzung im Bereich „datenschutz- und produkthaftungsrechtliche Rahmenbedingungen“ mit Fokus auf Europäischem Recht.

MASI_activ (mobile assisted self interviewing) konzentriert sich im speziellen auf das Verkehrsverhalten. Mittels Smartphone-gestützter Erhebung werden Aktivitätenplanungsprozesse

von Verkehrsteilnehmern untersucht. Aus diesem Prozess lassen sich Informationen über das Verhalten für ein nachhaltigeres Verkehrssystem verwenden.

MOTION-FF bietet eine automatische Verkehrsmittelidentifikation, ähnlich wie NEMO-Phone, über GPS und Beschleunigungssensoren. Für den NMIV kann weiters ein Bewegungsmuster erstellt werden. Das Hauptaugenmerk liegt hier auf die Unterscheidung von Wegetappen und Verkehrsmittelwahl.

MobiFIT bedeutet „Mobilitätserhebung basierend auf Intelligenten Technologien“ und setzt die Entwicklung der Mobilitätserhebung mittels GPS weiter fort (Verkehrsmittelwahl, Weglänge und Zweck des Weges, Verbesserung der Erhebungsgenauigkeit, etc.).

VERMOBIL entwickelte Methoden zur Erfassung von Verkehrsteilnehmern durch den Einsatz von Mobilfunkdaten, für eine Erfassung über großräumige Regionen hinweg. Im Kapitel 2.4.6 wird weiter auf diese Funktionsweise eingegangen.

Aus der **KOMOD**-Konzeptstudie entstand ein Handbuch für eine standardisierte Mobilitätserhebung in Österreich. Da die letzte Verhaltenserhebung, welche in Österreich durchgeführt wurde, aus dem Jahr 1995 stammt, liegen für das Arbeiten im „heutigen Standard“ somit stark veraltete Datengrundlagen vor. Durchgeführt als schriftlich-postalischer Erhebung sind diese in Zeiten von GPS und GMS (Global System for Mobile Communications) hinsichtlich der Genauigkeit (Entfernungen und Anzahl der Wege) sehr ungenau. Durch die Entwicklung einer Standardisierung und einer zukunftsorientierten Datengrundlage soll eine weitsichtige und umfangreichere Erhebung ermöglicht werden.

PROVAMO führt Ergebnisse aus vergangenen ways2go Projekten zusammen um eine automatisierte Mobilitätserhebung zu entwickeln. Probanden testeten zwei Varianten (Smartphone und passives Tracking-Gerät) zur Erhebung von Mobilitätsdaten, begleitend wurden zusätzlich Interviews zur Validierung erhoben.

SOMOBIL (Serviceverbesserung des Öffentlichen Verkehrs auf mobilitätsorientierter Basis) setzt auf Floating Phone Data (FPD) zur Verbesserung des Öffentlichen Verkehrs. (siehe Kapitel 2.4.6).

ULTIMO entwickelte Datenerhebungs- und Analyseverfahren zur Identifizierung von multimodalen Lebensstilen. Zum einen wird dies erreicht durch automatisches Auswerten von GPS-Daten, um auf Wegzwecke zurückzuschließen, zum anderen werden Wechselbeziehungen zwischen Verkehrsangebote analysiert.

Input-ÖU ergänzte die fehlenden Stichprobenerhebung aus Kurzstrecken mit Hilfe der GPS-Technologie und entwickelte ein geeignetes Gewichtungungsverfahren für die bereits abgeschlossene Erhebung „Österreich Unterwegs“.

AEIÖU (Ausschöpfung des Erklärungsgehalt In „Österreich Unterwegs“) verknüpft Konsumerhebungen mit Mobilitätserhebung um Analysen über die bekannten Kenngrößen, wie Modal-Split oder Wegeketten hinweg, zu ermöglichen.

AEIOU bedeutet Anwendungsmöglichkeiten, Erfahrungen, Mehrwertgenerierung und Indikatorenbildung auf Basis von „Oesterreich Unterwegs“ und verschafft einen Überblick zur Erhebung. Zusätzlich werden weitere potentielle Anwendungsmöglichkeiten untersucht.

Discover untersucht neue technologische Einsatz- und Verbesserungsmöglichkeiten für „Österreich Unterwegs“ durch beispielsweise den Einsatz von mobiltelefonbasierten Erhebung (PROVAMO). Ziel ist die Verbesserung von Verkehrsmodellierungen und Simulationen auf Datenbasis von ÖU.

Im Grunde zeigt sich eine Entwicklung in von Richtung zunehmendem Einsatz des Smartphones im Bereich der Verkehrsdatenerhebung. Durch diesen Einsatz sollen Kosten- und Zeitaufwand verringert werden und der Output vielseitiger einsetzbar werden.

2.4 „Neue“ Datenquellen in der Erhebung

Es gibt einige Vorgehensweisen um an Verkehrsdaten für den Radverkehr zu gelangen. Aktuell werden nur manuelle Zählungen oder Dauerzählstellen standardmäßig eingesetzt um Radverkehr kontinuierlich zu erfassen. In Graz wird mit festmontierten Dauerzählstellen der Radverkehr gezählt. Diese erlauben eine stetige Erhebung im städtischen Radnetz, aber lassen keine Rückschlüsse auf das Nebennetz zu. Im Gegensatz zu den Dauermessstationen verfolgt BC den Ansatz, benutzergenerierte GPS-Tracks, welche von Radfahren aufgezeichnet wurden, aufzuarbeiten, um diese daraufhin in Zusammenarbeit mit der Stadtplanung einzusetzen. Dadurch soll ein breiteres und dynamisches Abbild des Radverkehrs geschaffen werden, als jenes durch herkömmliche Querschnittszählungen.

GPS-Tracks

Ermöglicht wird dies durch die Entwicklung der Globalen Navigationssatelliten (GNSS). Das wohl bekannteste (neben Glonass, Galileo und Beidou) ist das bereits erwähnte Global Positioning System (GPS). Vom amerikanischen Verteidigungsministerium in den 70er Jahren für militärische Zwecke entwickelt, stand es in weiterer Folge auch für den zivilen Gebrauch zur Verfügung. Bis in das Jahr 2000 wurde das Signal aus Sicherheitsbedenken künstlich durch pseudozufälliges Rauschen manipuliert. Die Genauigkeit wurde auf etwa 100 m reduziert. Erst nach Einstellung dieser Manipulation waren Genauigkeiten bis 10 m möglich.

Um die Position des Empfängers zu bestimmen, müssen drei Raumkoordinaten bestimmt werden (X,Y,Z). Das gesendete Signal des Satelliten (eigene Position) breitet sich kugelförmig aus. Durch den Empfang dreier Signale lässt sich über die Laufzeit des Funksignales ein Schnittpunkt ermitteln. Theoretisch würde sich die Position bestimmen lassen. Voraussetzung dafür ist eine synchronisierte Uhr zwischen Sender und Empfänger. Da die genaue Uhrzeit des Signals zwar als Code übermittelt wird, jedoch als vierte unbekannte Variable zu sehen ist, wird hierfür ein vierter Satellit benötigt. Dieser ermittelt die Entfernung zwischen ihm und dem Empfänger. (magicmaps, 2019)

Diese Technologie kommt seit langem in Wissenschaften, wie etwa der Geodäsie, zum Einsatz. Aber auch in der Verkehrsplanung spielt sie eine große Rolle. Für die Navigation und Ortung ist das Map-Matching (Karteneinpassung) entscheidend. Hier werden die durch die Ortung ermittelten Koordinaten einer Position in einem Verkehrsnetz zugewiesen.

Geräte zur Aufnahme von GPS-Tracks speichern diese als **GPX-Datei** (GPS Exchange Format). Eine GPX-Datei basiert auf dem XML-Schema (Extensible Markup Language), welche vom World Wide Web Consortium 1998 unter stetiger Weiterentwicklung für XML-Dokumente definiert wurde. Das Schema dient vor allem dazu, Daten plattform- und implementationsunabhängig austauschen und lesen zu können. Der logische Aufbau eines XML-Dokumentes kann sowohl vom Computer, als auch dem

Menschen gelesen werden und ist hierarchisch aufgebaut. Eine GPX-Datei setzt sich beispielsweise, wie im Kontext dieser Arbeit, aus einem Track zusammen. Dieser Track besteht aus mindestens einem Segment (Track-Punkt). Eine Reihe von Track-Punkten beschreibt einen Pfad, da jeder Punkt Informationen über die geografische Länge, Breite und Höhe (aber nicht zwingend notwendig) besitzt. Neben der Position wird jeweils ein Zeitstempel gespeichert. Weiters sind zusätzliche Ebenen, wie Waypoint (einzelne vorab gespeicherte Punkte - Navigation) und Route (geplantes Routing; Folgen von Wegpunkten), möglich. (Ferri, 2016, S. 303).

GPS-Verkehrserhebung

Diese Technologie wird bereits seit den 90er Jahren als Ergänzungsmaßnahme für Erhebungen eingesetzt. Es wurde bereits früh das Potential erkannt, die gängigen Probleme der Datenungenauigkeit sowie die Nichtbeantwortung bei Erhebungen, mittels der GPS-Technologie zu verbessern. Durch das aufzeichnen von GPS-Tracks wird zwar eine zuverlässige Standortgenauigkeit erzielt, liefert aber ohne zusätzliche Dokumentation durch den Nutzer keine Information über das gewählte Verkehrsmittel oder Wegezweck. Aus diesem Grund mussten anfangs bei frühen Erhebungen, Befragte dergleiche Informationen in persönliche Datenassistenten (PDA) eingeben.

Frühe GPS-Geräte hatten lange mit Signalrauschen und Signalverlust zu kämpfen. So waren Signalprobleme durch sogenannte Warm- und Kaltstarts des Gerätes ein häufig auftretenden Problem. Dabei kommt es beim Starten des Gerätes zu Beginn des Tages (Kaltstart) oder beim Wechsel vom Schlaf- in den Arbeitsmodus (Warmstart) zu Signalproblemen. Zusätzlich treten in Städten, ausgelöst durch hohe Gebäude, Signalverluste auf. (Shen & Stopher, 2014)

Heutzutage ist die Anwendung eigener GPS-Geräte überholt, da im Grunde das Smartphone alle nötigen Voraussetzungen liefert oder sogar Verbessert. Da alte Geräte oftmals Probleme mit der Stromversorgung hatten, war es schwierig den Warmstart zu umgehen (Dauerbetrieb). Heutige Smartphones können nahezu überall geladen werden.

2.4.1 Das Internet der Dinge

Der heute gängige Begriff Internet of Things (IoT) wurde erstmals 1999 von Kevin Ashton (That 'Internet of Things' Thing, 2009) im Zusammenhang mit der radio-frequenz identification Technologie (RFID) verwendet, welche eine kontaktlose Kommunikation zwischen Transponder und Lese-/Schreibgerät ermöglicht. Sie basiert auf schwach elektromagnetische Wellen, welche auch einen passiven Transponder (keine eigene Energieversorgung) mit Strom versorgen können. Nach Ashton stellt IoT eine Verbindung zwischen Infrastruktur und Informationen her. Durch die fortgeschrittene Evolution des Internets und zunehmender Vernetzung, ist heutzutage scheinbar alles auf irgendeine Art und Weise mit Mensch und Tier verbunden. Früher, als das Internet hauptsächlich von einigen Anbietern mit Informationen gefüllt wurde, lag die Beteiligung des Nutzers hauptsächlich auf dem Konsumieren von Inhalten. Man spricht auch vom Web 1.0. Durch die Demokratisierung des Internets wurde der Grundstein des sogenannten Crowd Sourcing gelegt, ein Schritt hin zu Web 2.0. Der Nutzer wurde hiermit zum Akteur. Das beste Beispiel dafür sind online Enzyklopädien. Eine Web 1.0-Enzyklopädie musste durch einige wenige in mühsamer Arbeit zusammengetragen werden. Im Kontext Crowdsourcing arbeitet nun eine kollektive Intelligenz, eine frei kollaborative Userbase, welche Inhalte hinzufügt, verwaltet und kontrolliert (Vgl. Lackes & Siepermann, 2016).

Mit der Markteinführung des Smartphones, welches im Laufe der Zeit das herkömmliche Mobiltelefon immer mehr verdrängte, wurden Nutzer mit allerhand Mikrosensoren ausgestattet. Im Jahr 2018 besaßen in Österreich rund 75 % der über 15-jährigen ein Smartphone. Betrachtet man den Anteil bei den unter 30-jährigen, liegt dieser sogar bei 95 % (Statista, 2018).

Im engeren Sinne bietet BC eine Web 2.0-Applikation, in der vom Nutzer generierten Daten verwendet werden, anstatt sie selbst zu generieren.

Open Source

Bei Open Source spricht man von einem Paradigma, nachdem Wissen für jeden zugänglich und verfügbar ist. Dieser Begriff entwickelte sich knapp vor der Jahrtausendwende als Antwort auf den wachsenden Browser-Marktanteil des IT-Riesen Microsoft durch den Internet Explorer. Um am Markt überleben zu können entschied Hersteller Netscape Communications 1998, den Quelltext für den ohnehin nicht mehr rentablen Browser Netscape Navigator zu veröffentlichen. Der Start des ersten Open Source Projekts mit dem Namen Mozilla-Projekt war eingeläutet. Somit wurde aus scheinbar nicht mehr marktfähigem Wissen ein durch die „crowd“ unterstütztes Non-Profit-Unternehmen, welches dadurch überleben und sich weiterentwickeln konnte. So führten weiterfolgende Entwicklungen unter anderem zu Firefox und Thunderbird, welche noch heute weite Verbreitung finden.

2.4.2 Der User

Daten werden vom Nutzer kostenlos generiert und je höher die Durchdringungsrate (Userbase), desto höher die Datendichte, ohne dass zusätzlich weitere Kosten dadurch entstehen. Auf Grundlage der GPS basierten Tracks wurde seitens BC ein Analytics-Tool entwickelt. Dieses bietet einige Funktionen, welche hier noch genauer untersucht werden. Die Daten, mit denen dieses Tool gefüttert wird, unterliegen einigen Eigenheiten und Rahmenbedingungen.

Um die datenschutzrechtlichen Grundlagen zu erfüllen, werden vom Benutzer keine personenbezogenen Daten verlangt oder verwendet. Auch die Speicherung der Tracks wird über die Generierung einer Benutzernummer anonymisiert.

Bei der Stichprobenziehung muss lt. KOMOD auf folgendes geachtet werden (Vgl. Sammer, et al., 2011, S. 16):

- Festlegung des Stichprobenumfangs
- Auswahl des Stichprobenregisters
- Verteilung der Erhebungsstichtage
- Räumliche Verteilung der Stichprobe
- Anzahl der Stichtage je Probanden

Der Umfang der Stichprobe wird mit der Dauer der Verfügbarkeit einer Region größer und dadurch genauer. Aufgrund der Tatsache, dass die Daten über eine spezifische App aufgenommen werden, kann hier nicht von einer Zufallsstichprobe gesprochen werden. Weiters, wie eingangs schon erwähnt,

ist die Nutzung eines Smartphones vorausgesetzt. Daraus ergibt sich unglücklicherweise eine verzerrte sozio-demokratische Abbildung (Vgl. Pühringer, 2017).

Superuser

Im Kontext dieser Arbeit versteht sich der „Superuser“ als ein Benutzer, welcher besonders häufig GPS Tracks hochlädt. In Graz sind das lt. BC rund 100 Personen die wöchentlich mindestens einen Track von sich uploaden. Wie und wann mit einer Überrepräsentativität umgegangen werden muss, ist Teil dieser Arbeit. Da schwer nachzuvollziehen ist, wer wie viele Tracks von sich hochlädt, kann die Repräsentativität des gesamten Datensatzes verzerren. Mögliche Auswirkungen:

- **Höheres Geschwindigkeitsprofil:** Sollte sich herausstellen, dass Superuser überdurchschnittlich schnell mit dem Rad unterwegs sind (Sportfahrer), würde sich eine „zu schnelle“ Userbase bilden – Geschwindigkeitsprofil würde nicht den allgemeinen Radverkehr abbilden. Selbes gilt vice versa für zu langsame Fahrten. Verwenden nur ortsunkundige Personen diese APP, „verlangsamen“ sie die Durchschnittsgeschwindigkeit.
- **Überrepräsentierte Routenwahl:** Einzelne User, welche regelmäßig ihre Routen uploaden, verzerren möglicherweise die Abbildung des Gesamtradverkehrs. Wenn sich ein User jeden Morgen auf den Weg in die Arbeit tracked, erscheint diese Route für den Verwender des Datensatzes als eine stark befahrene Route.

Die mögliche Über- oder Unterrepräsentation kann sich auch als zusätzliche Informationsquelle herausstellen. Fährt ein Superuser einen Weg, welcher laut Routing-Algorithmus nicht als die schnellste vorgeschlagen wird, lässt sich auf eine Abneigung des Radfahrers gegenüber diese Strecke erkennen. Dabei kann es sich etwa um einen fehlenden Radweg oder eine Kreuzung mit langen Wartezeiten handeln.

Ein-Prozent-Regel (90-9-1 Rule)

Hierbei handelt es sich um eine abgewandelte Betrachtungsweise des Paretoprinzips. Unter dem Paretoprinzip (80-20-Regel) versteht man ein statistisches Phänomen, welches eine Ungleichverteilung beschreibt. Verallgemeinert wird oft davon gesprochen, mit 20 % Einsatz, 80 % Wirkung erzielt zu haben. Bei der Angabe 90-9-1 (in Prozent) spricht man von der Zusammensetzung der Beteiligung von Personen im Internet. Dabei produzieren nur 1 % der Nutzer Inhalte, 9 % kommentieren/interagieren mit diesem und der Großteil, somit 90 %, sind reine Konsumenten (Goodier, 2012). Hinsichtlich dieser Erkenntnis muss die Repräsentativität der Inhalte dieses 1 % Anteils gegeben sein, um weiterführende Schlüsse daraus ziehen zu können. Umgelegt auf den Radverkehr würde das bedeuten, dass bereits eine geringe Menge an repräsentativen Personen repräsentative Informationen für die Verkehrsplanung liefern kann.

Von der Professur Verkehrsökologie der TU Dresden wurde dieser Ansatz bereits untersucht. Das Problem dieser These ist das Erreichen der Datenmenge, welche im Gegensatz zu den tatsächlichen Radfahrern verschwindend gering ist. Die Dichte des von BC bereitgestellten Datensatzes mit Tracks,

gesammelt über einen Messzeitraum von 3 Jahren, erreicht die Menge an Fahrten welche an einer Dauermessstation an einem Tag gemessen wird. Die Datenmenge liegt bei Nebenstraßen weit darunter.

Nach Francke&Lißner (Big Data im Radverkehr. Ein anwendungsorientierter Leitfaden zur Nutzung von smartphone-energierten Radverkehrsdaten, 2017, S. 42-44) ist eine Hochrechnung mittels linearer Regression ungeeignet, da sich innerhalb der Formel $f(x) = ax + b$ die Konstante b befindet, aus welcher sich in Folge für die Nachtstunden eine Konstante Verkehrsstärke ergeben würde, auch wenn es dort gar keinen Verkehr gibt (Annahme). Eine bessere Annäherung liese sich mittels konstantem Faktor erzielen, mit welchen BC-Werte hochgerechnet werden könnten.

2.4.3 Cooperative Vehicle Highway System (CVHS) (Ehrlich, Millar, & Ueda, 2016)

Bereits etablierter ist die Verwendung von benutzergenerierten Daten im Bereich KFZ. Cooperative Vehicle Highway System ist ein Überbegriff für Floating Car Data (FCD) und umfasst die Kommunikation, bzw. den Datenaustausch zwischen Fahrzeugen oder zwischen Fahrzeug und Infrastruktur. Darunter fallen Informationen wie Verkehrssituation, Wetterverhältnisse, Hindernisse und Beschaffenheit der Straße. Weiters können sich diese Systeme mit ihrer unmittelbaren Umgebung austauschen. Es wird in drei Arten der Kommunikation unterschieden:

Fahrzeug zu Fahrzeug (V2V): Austausch von Informationen mittels ad-hoc Netzwerken oder einfacher command/respond Protokolle. Auch bei Fahrzeugen vor/hinter dem Benutzer, sowie mit dem Gegenverkehr möglich. Sinn sollte sein, den Lenker auf unvorhersehbare Ereignisse wie notbremsende Fahrzeuge, drohende Gefahr durch Spurwechsel oder Kollision mit Fremdverschulden (übersehen eines Stoppschildes), vorzubereiten und solche Situationen gefahrlos zu entschärfen.

Fahrzeug und Straße (V2I): Kommunikation durch Transmitter und Responder. Übertragen werden fahrzeugrelevante Daten, sowie Umgebungsdaten der Straße wie Höhenkontrolle, Ratschlag für das Anpassen der Geschwindigkeit sowie Warnung, wenn Geschwindigkeit zu hoch für kommende Kurve ist. Access-Points (Wlan) von Tankstellen können integriert werden. Erhöht Komfort und zu gleich die Produktivität des Reisenden durch die Möglichkeit des Bezahls einer elektronischen Maut, das Aufzeichnen eines Fahrtenbuches, Wireless Software-Updates, Echtzeitinformationen über den Verkehr.

Seit etwa Mitte der 1990er Jahre wird an diesem Verfahren geforscht und entwickelt. Die ersten Vorreiter dieses Datenverarbeitungssystems waren Mannesmann Autocom und TEGRARON. Sie entwickelten gemeinsam den GATS (Global Automotive Telematics Standard) der bis heute in diesem Gebiet Stand der Technik ist. Dieser Standard ist für die Datenverarbeitung zwischen Auto und zentraler Datenverarbeitungsstelle verantwortlich und stellt die Grundlage für Floating Car Data dar.

2.4.4 Floating Car Data (FCD)

Floating Car bedeutet direkt übersetzt „mitschwimmendes Fahrzeug“ und bezeichnet eine fahrzeuggenerierte, GPS- oder GMS-gestützte, dynamische Verkehrsdatenerfassung. Diese Datenerfassung soll dem Verkehrsfluss (traffic flow enhancment) verbessern und der erhöhten

Verkehrssicherheit (intersection collision avoidance) beitragen. Um den Verkehr effizienter zu gestalten, ist es notwendig dessen Beschaffenheit und Zusammensetzung zu kennen. Je besser die Informationsgrundlage der aktuellen Verkehrslage, desto bessere Prognosen können berechnet werden. Ein Ansatz, der bei FCD verfolgt wird, ist jener, dass das Auto als mobiler Sensor betrachtet wird. Der Verkehrsteilnehmer sammelt während der Fahrt, als auch im Stillstand, Informationen. Der Datensatz enthält somit neben grundlegenden Daten wie Zeitstempel und Position, auch Zustandsdaten wie etwa Verkehrslichtsignalanlage (VLSA)- oder Stauzeiten.

Funktionsprinzip von FCD:

Ein FCD-System wertet mit Hilfe von GPS- oder GSM-Daten den aktuellen Standort und zeitliche Abstände der Messungen die aktuelle Reisegeschwindigkeit. Diese Daten werden für jedes individuelle, dafür ausgerüstete Fahrzeug erzeugt. Das System kann verschiedene Fahreigenschaften wie Beschleunigung, Verzögerung oder Fahrstreifenwechsel wahrnehmen. Die aufgenommenen Daten können in einem zentralen Rechenzentrum in nahezu Echtzeit aufgezeichnet und verwertet werden. In Abbildung 5 ist eine verarbeitete Strecke auf einer britischen Autobahn zu erkennen.

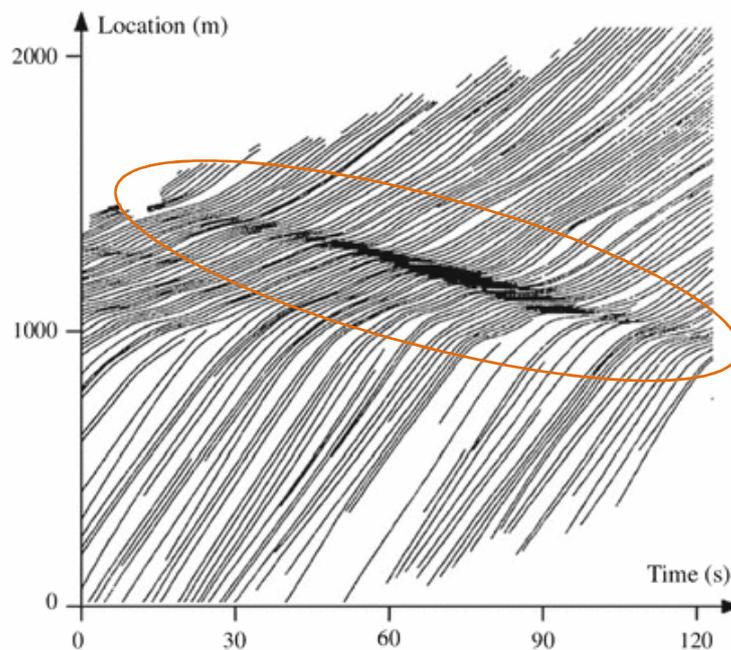


Abbildung 5 Bsp. einer FCD Auswertung (Autobahn) (Treiber, Kesting, & Thiemann, 2013, S. 9)

In diesem Zeit-Weg-Diagramm ist der Stop-and-Go-Betrieb auf einer britischen Autobahn im Jahre 1970 zu erkennen. Die standardisierte Darstellungsweise zeigt auf der horizontalen x-Achse die verstrichene Zeit von 0 bis 120 Sekunden und auf der vertikalen y-Achse die zurückgelegte Entfernung von 0 bis 2000 Meter. Das Diagramm bezieht sich nur auf eine Fahrspur. Aus diesem Grund sind keine Fahrstreifenwechsel zu erkennen. Im mittleren Teil (orange Markierung) kommt der Verkehr zum Erliegen. Dies ist an den horizontalen Linien zu erkennen (keine Wegveränderung, also keine Geschwindigkeit).

Außerdem ist der Vorteil des „Mitschwimmens“ im Verkehr deutlich erkennbar. Ein statisches Messsystem könnte den genauen Verlauf des Stop-and-Go-Betriebes nicht erkennen, da das statische System nur an einem fixen Punkt die Anzahl an Fahrzeugen aufgezeichnet werden. Das vermehrte

Erliegen des Verkehrsflusses beginnt in diesem Beispiel etwa bei 1500 m und 25 s nach Beginn der Aufzeichnung und endet nach etwa 90 s bei 1000 m. Dieses Erfassen ist durch das Floating-Car möglich. Zusätzlich erkennt man die typischerweise, sich rückwärts bewegende, Stauwelle.

Das in Abbildung 5 gezeigte Zeit-Weg-Diagramm liefert weitere Daten zur Auswertung. Diese wären:

- Die Geschwindigkeit eines oder mehrerer Fahrzeuge. Je steiler die Linie, desto höher die Geschwindigkeit.
- Den längenbezogenen Abstand eines Fahrzeuges zum vorausfahrenden Fahrzeug zu einem bestimmten Zeitpunkt t_x . Der Abstand Δl ist direkt ablesbar und bezieht sich immer auf den Ort der Messeinrichtung im Fahrzeug. Das heißt: der reale Abstand Δl_{real} ist gleich dem Abstand aus dem Diagramm Δl minus Abstand der Messeinrichtung bis zum Heck des voranfahrenden Fahrzeugs minus Abstand der Messeinrichtung zur Front des hinterherfahrenden Fahrzeuges.
$$\Delta l_{\text{real}} = \Delta l_{\text{Diagramm}} - \Delta l_{\text{GPS-Heck},1} - \Delta l_{\text{GPS-Front},2} \quad (1)$$
- Analog dazu den zeitlichen Abstand Δt .
- Den Verkehrsfluss definiert als Anzahl an Fahrzeuge, die einen bestimmten Punkt in einer vorgegebenen Zeit passieren (z.B. als KFZ/h). Damit ist die Anzahl an Fahrzeugen, die eine horizontale Linie im Diagramm durchqueren, gemeint.
- Die Verkehrsdichte als inverse des Verkehrsflusses im Zeit-Weg-Diagramm. Anzahl an Fahrzeugen die eine vertikale Linie im Diagramm durchqueren (z.B. KFZ/km).
- Anzahl an Fahrstreifenwechsel.

Extended Floating Car Data (XFCD)

Hierbei handelt es sich um eine erweiterte Variante von FCD, in der weitere Sensoreninformationen verarbeitet werden. Diese Technik beinhaltet neben der Fahrgeschwindigkeit auch äußere Einflüsse in der Messung. Zu diesen äußeren Einflüssen zählen witterungsbedingte Einflüsse:

Temperatur: Messeinrichtung dafür in nahezu jedem Fahrzeug vorhanden.

Regen: Durch das Einschalten des Scheibenwischers erkennt der Regensensor Wassertropfen auf der Windschutzscheibe.

Schlechte Straßenverhältnisse: Während Regen oder bei Schneefahrbahn. Messung durch Einsetzen des ABS (Antiblockier-System) oder der Traktionskontrolle (z.B. ESP, ASR, ASC).

Nebel: Durch das Einschalten der Nebelleuchte.

Stau: Einerseits durch die Geschwindigkeit (konventionelles FCD) andererseits durch Bremsung, Betätigung der Warnblinkanlage oder auch durch das Abblenden des Frontscheinwerfers.

Diese Daten können auf hochrangigen Straßen zur Vervollständigung oder zum Überprüfen der Richtigkeit von ortsfesten Messungen beitragen. Dies bezieht sich auf Aktualität, Staulokalisierung, Geschwindigkeit im Stau, und der exakten Stauein- bzw. -ausfahrten. Auf weniger befahrenen Straßen, an denen keine stationären Messungen stattfinden, können diese Messungen zur lokalen Störungserkennung beitragen.

Zuzüglich als FCD-Lieferant, kann ein Fahrzeug auch seine unmittelbare Umgebung beobachten und erfassen. Ein sogenannter Floating Car Observer (FCO) detektiert auf Zweirichtungsfahrbahnen mittels Laser-, Ultraschall-Messung oder mit Infrarotkamera automatisch den Gegenverkehr. Durch die Beobachtung beider Fahrtrichtungen lässt sich die Effektivität gegenüber FCD steigern. Ein Stau wird von der Gegenfahrbahn aufgezeichnet und muss nicht erst durchfahren werden (Kühnel, 2012, S. 165).

Die Beobachtung des Gegenverkehrs ist nichts Neues. Die Idee dahinter, Verkehrsgrößen dadurch zu ermitteln, geht bis in das Jahr 1954 zurück. Zu dieser Zeit sprach man noch von der Moving Observer Methode (MOM), dies hat allerdings nur mehr wenig mit der heutigen FCO Technik zu tun.

Dennoch war sie der Grundstein für heutige FCO Technologien. MOM wurde zur Gewinnung von Verkehrsgrößen für die Verkehrsplanung verwendet und konnte auf jeder Art von Zweirichtungsfahrbahn eingesetzt werden. Als Grundvoraussetzung galt jedoch freie Sicht auf den Gegenverkehr, da die Aufzeichnung des Gegenverkehrs durch drei Insassen des Beobachtungsfahrzeuges händisch protokolliert werden musste (Wardrop & Charlesworth, 1954), (Vgl. Bleher, 1987).

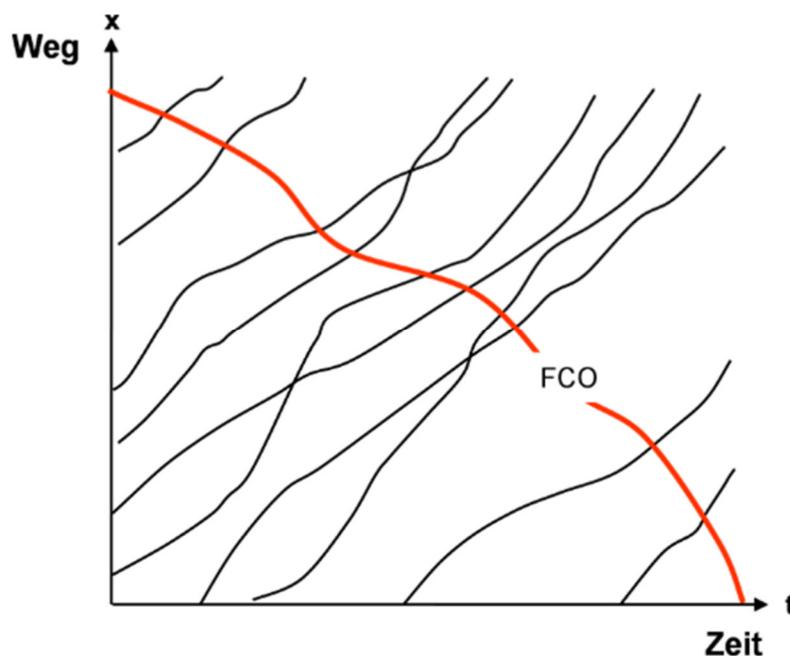


Abbildung 6 FCO welcher einen Stau auf der Gegenfahrbahn erkennt

Die Weiterentwicklung zum FCO wurde erstmals im Bereich des öffentlichen Personalverkehrs eingesetzt. Die fortschreitende technologische Entwicklung in Bereichen von GPS und Sensorik führte zu einfacheren Möglichkeiten, den Gegenverkehr zu detektieren und schaffte es, dass somit das dreiköpfige MOM-Personal nun überflüssig war (Kühnel, 2012, S. 68).

Nach Carsten Kühnel ist der Ablauf eines Datenerfassungs- und Datenverarbeitungsprozesses im Bereich Verkehr wie folgt: Der Detektor erfasst physikalische Größen und drückt diese als

Auswerteeinheit aus. Somit liefert er die Rohdaten. Nach dessen Formatierung erhält man Verkehrsdaten. Aus diesen lassen sich Verkehrskenngrößen ableiten. Durch Verarbeitung dieser kann Rückschluss auf den Verkehrszustand geschlossen werden. Schlussendlich kann die Verkehrsinformation gedeutet werden. Dieser Ablauf ist nur eine idealisierte Darstellung und kann in der Praxis durchaus abweichen. (Vgl. Kühnel, 2012, S. 8).

Kommunikationsmedium:

Grundlage dafür ist die Drei-Phasen-Verkehrstheorie nach Kerner (Vgl. Kerner, 2004, S. 3ff). Dabei handelt es sich um eine Verkehrstheorie, welche den Übergang von freiem Verkehr zum gestauten Verkehr auf Schnellstraßen zeitlich und räumlich beschreibt. Diese Phasen umfassen den freien Verkehr (F), Synchronisierten Verkehr (S) und den bewegenden breiten Stau (J).

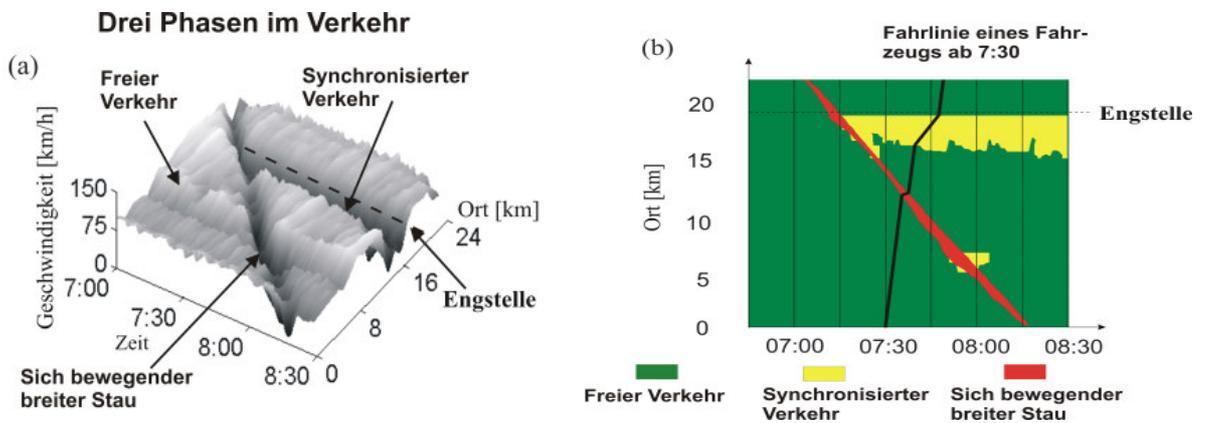


Abbildung 7 Drei-Phasen-Verkehrstheorie nach Kerner
(a) Messdaten der Geschwindigkeiten (Zeit und Raum)
(b) Darstellung in der Zeit und Raumbene

Bei Phase (J) bewegt sich der Stau stromaufwärts mit der stromabwärtigen mittleren Geschwindigkeit durch eine Engstelle (z.B. Baustelle, Zu- oder Abfahrt). Hierbei herrscht eine vergleichsweise hohe Verkehrsdichte, bei niedriger Geschwindigkeit. Innerhalb der Phase (S) werden aufgrund der dichten Anordnung kaum Überholmanöver durchgeführt und es kommt somit zur Gruppenbildung. Der Verkehr fließt sehr synchron. Fahrzeuge der Phase (F) sind in ihrer Bewegung nicht eingeschränkt, was Spurwechsel und Überholmanöver ermöglichen.

Je nach gewähltem Kommunikationsmedium, variieren die Kommunikationskosten. Diesbezüglich wird an der Reduktion der Datenpakete geforscht. Eine Datenübertragung vom Fahrzeug zur Zentrale und wieder zum Fahrzeug zurück setzt sich aus drei Teilen zusammen.

- **Data Reporting:** Hierbei handelt es sich um die Übertragung der Daten vom Fahrzeug zur Zentrale. Diese sind zeitrelevant, jedoch nicht zeitkritisch, da diese Daten keine Sicherheitsinformationen (Verkehrs- und Wetterinformationen) beinhalten und daher eine Latenz von mehreren Minuten akzeptabel ist. Durch senken der Übertragungsfrequenz kann hier mittels einer Onboard-Datenbank Datenvolumen eingespart werden. Hier werden neue

Informationen nur mittels Broadcast aktualisiert, wenn sich die Fahrzeugsituation von jener in der Datenbank unterscheidet.

Ein anderer Lösungsansatz wäre das Einführen einer Kommunikationsmanagementschleife, welche den Fahrzeugen zeitweise mitteilt die Datenübertragung einzustellen. Informationen von umliegenden FCD-Systemen werden gesammelt, bevor diese an die Zentrale weitergeleitet werden. Dies würde Datenvolumen und infolgedessen Kosten sparen, da wenige Autos genauso ausreichend Informationen über die dort vorherrschende Situation sammeln, wie viele. Updatesysteme wie ILTU (ID Triggered Location Update), DTTLU (Distance Threshold Triggered Location Update) und das STTLU (Speed Threshold Triggered Location Update), sollten eine Informationsübertragung erst starten, wenn ein neues Ereignis auftritt. Dabei könnte es sich z. B. um das Einbiegen in eine neue Straße handeln (Vgl. Bishop, 2005).

Zur Übertragung dieser Daten würden sich beispielsweise Funk (Taxi), bzw. im privaten Sektor einige Mobiltelefontechnologien wie GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), GSM und UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) anbieten. Eine weitere Möglichkeit wäre die Übertragung über DSRC (Dedicated Short Range Communication). Hier handelt es sich um einen Kommunikationsweiser zwischen zwei Fahrzeugen um eine Kollision zu vermeiden. Dieser ist auch durchaus in der Lage, Daten an eine Empfängerstation am Straßenrand zu senden. Heutzutage wird dieses System auch schon zur Mauterfassung eingesetzt.

- **Data Dissemination:** Ermöglicht es, die Informationen an die Benutzer zu verteilen und bietet einen standortabhängigen Dienst, welcher Verkehrsinformationen, personalisiertes Routing oder gezielte Werbung anbietet. Dies verursacht gegenüber dem Data Reporting ein höheres Nachrichtenvolumen bei derselben Sendemethode. Möglich wäre auch die Übertragung über verschiedene Broadcast Methoden wie RDS-TMC (Radio Data System – Traffic Message Channel) oder DAB (Digital Audiobroadcast) (Vgl. Blatnig & Schelander, 2019).
- **Data Cleansing:** Ein Instrument um irrelevante Informationen von relevanten zu trennen. Darunter fallen zum Beispiel Datensätze, welche Taxis generieren, während Personen ein- und aussteigen. Solche Stehzeiten werden auf ihre Plausibilität geprüft und gegebenenfalls herausgefiltert. Diese Datenpakete setzen sich aus Airbagstatus, Crashsensoren, Sensoren zur Bestimmung der Rauheit der Straße, Reifendruck, Tür- und Fensterstatus sowie dem Benzinlevel zusammen

2.4.5 Floating Bicycle Data (FBD)

Die Salzburg Research Forschungsgesellschaft mbH bietet in Rahmen einer Dienstleistung, eine abgewandelte Variante des FCD auch für das Fahrrad an. Diese Leistung bezieht sich auf die Beratung möglicher Ausstattung (Sensoren, Datenübertragung) und datenschutzkonforme Abwicklung der Messung. Weiters wird die Möglichkeit angeboten, gesammelte Daten zu bereinigen und auswerten zu lassen (Bikealyze, 2017).

Im Grunde stellen sie Fahrräder mit Technik aus, die heutzutage nahezu jeder bei sich trägt. Denn das Smartphone bietet mittels geeigneter Software, eine vollwertige FBD-Lösung. Apps, wie Bike Citizens,

greifen auf die automatisch gesammelten Daten des Smartphones zu und werten diese aus. Des Weiteren gibt es immer mehr Bike-Sharing Anbieter, welche ihre Räder mit GPS Sensoren ausstatten. Durch diese soll der Kunde das nächstgelegene Rad finden können. Durch das Wissen darüber, wo am häufigsten Fahrräder ausgeliehen und wo sie auch wieder abgestellt werden, lassen sich „Hotspots“ erkennen. Diese können zum Beispiel Freizeit- oder Einkaufszentren sein. Für den Anbieter entsteht hier ein Problem, da viele Konsumenten das Rad zwar hier abstellen, jedoch die Weiter-/Rückreise mit einem anderen Verkehrsmittel tätigen können. Die Wegekette eines Benutzers kann auch hiermit nicht ohne zusätzliche Methoden garantiert werden.

2.4.6 Floating Phone Data (FPD)

Im Gegensatz zu FCD versteht man unter diesem Begriff FPD im Kontext der Mobilität, Bewegungsdaten aus Mobiltelefonen (Mobilfunk-Verkehrserhebung). Da diese während einer Fahrt stets nächstgelegene Funkzellen ein- und auswählt, kann durch das anonymisierte Sammeln mittels Monitoringsysteme der Netzbetreiber, ein großräumiger Mobilitätsfluss beobachtet werden. Im Gegensatz zur GPS-Verkehrserhebung, für welche erst Nutzer angeworben werden müssen, wird bei der Erhebung mittels Mobilfunknetz auf mehrere Millionen Nutzer anonym zugegriffen. Nachteilig erweist sich die, im Gegensatz zu GPS, ungenauere Positionierung. Zu diesem Thema haben sich zwei Forschungsprojekte gebildet. VERMOBIL (ways2go) und SOMOBIL (MdZ) haben sich zum Ziel gesetzt, Erhebungen und Befragungen mittels Mobilfunk-Datenerfassung effizienter und kostengünstiger zu gestalten.

Funktionsprinzip von FPD:

Als Basis dienen Mobilfunktrajektorien, welche aus Mobilfunksignalisierungsdaten gewonnen werden. Grundlegende Voraussetzung ist, dass im Fahrzeug ein Mobiltelefon mitgeführt wird. Durch die Verwendung des Smartphones (SMS, Telefonat oder Internetnutzung) verbindet sich das Telefon mit nahegelegene Mobilfunkmasten um die Daten zu übertragen. Hierbei spricht man von einem aktiven Mobilfunk-Event. Ein passives Mobilfunk-Event wäre z.B. der Wechsel in eine andere LA (Location Area). Darunter versteht sich eine Gruppierung von Mobilfunkzellen. Die anonymisierte IMSI-Nummer (International Mobile Subscriber Identity), eine ID-Nummer welche alle 24 Stunden erneuert wird, dient zur Identifikation. Eine Verkehrsmittelerkennung wird durchgeführt um in weiterer Folge mittels Map-Matching-Algorithmus diese auf das Straßen- und Schienennetz zu projizieren. Dabei lässt sich aufgrund der berechneten Geschwindigkeit und Position, in Korrelation mit vorhandener Infrastruktur, der ÖV vom MIV unterscheiden. Nach Michael Cik wird dazu ein 4-stufiges Verfahren namens Feature Extraction Method angewendet. Diese Stufen prüfen die Daten auf folgende Eigenschaften (Vgl. Cik, 2017):

1. Distanz zur ÖV/IV-Strecke – hier wird der konkrete Abstand zur vorhandenen Infrastruktur ermittelt
2. Überlappung mit Fahrplan – Korrelation zwischen ÖV-Fahrplänen (Abfahrts- und Ankunftszeit am Bahnhof)
3. Möglicher stationärer Aufenthalt am Bahnhof – Wartezeiten als Indiz

4. Reisegeschwindigkeit des Verkehrsmittels – das Geschwindigkeitsprofil gibt darüber Auskunft, welches Verkehrsmittel genommen wurde

Bei höherer Zelldichte von Mobilfunkmasten können genaue Positionsdaten von Personen gemessen werden. Aufgrund der großen Reichweite von Mobilfunkmasten funktioniert dies am Land besser als in der Stadt. Da durch die automatisierte Auswertung von Telefondaten ein vollständiges Bewegungsprofil erstellt werden kann, wie zum Beispiel Pendlerbewegungen über lange Zeitperioden hinweg, ist die Anforderung an den Datenschutz enorm.

Das Smartphone als Datenerfassungsgerät

Wie einleitend erwähnt, eignet sich das Smartphone zur individuellen Sammlung von Daten jeglicher Art. Es lässt sich grob unterscheiden, wie diese generiert werden. Einerseits können Benutzer Informationen aktiv zur Verfügung stellen (z. B. Befragung), andererseits können sie auch eine passive Schnittstelle bereitstellen, durch welche sie Apps die Erlaubnis erteilen, selbstständig Daten (GPS-Tracks) zu sammeln oder auszulesen. Meist ergibt sich eine Gegenleistung für den Nutzer um diesen zum Teilen der Information zu bewegen. Der Nutzer der BC-App verwendet beispielsweise die Routingfunktion und „bezahlt“ im Gegenzug nach beendeter Fahrt mit dem Upload des aufgezeichneten GPS-Track.

Bereits 2009 wurde durch die Verkehrsplanungsbehörde in San Francisco eine App entwickelt, welche gratis zur Verfügung gestellt wurde um Tracks zu sammeln. Dabei konnten Nutzer bei Zielerreichung den Verkehrszweck angeben, bevor der Track an einen Server hochgeladen wurde. Durch diese Open-Source Anwendung wurde innerhalb 3 Monate rd. 3000 verwertbare Tracks aufgezeichnet. Jedoch handelte es sich hierbei um eine problematische Stichprobe (Verzerrung), da sie hauptsächlich von Radvereinen und jungen Männern gesammelt wurden. Spätere Projekte wie die Mon RésoVélo App (Montreal) bekamen die statistische Bias besser in den Griff, da sie den Nutzer zu Beginn auffordert ein Benutzerprofil anzulegen (Geschlecht, Alter und dgl.). Diese Zusatzinformationen helfen bei der statistischen Gewichtung. (Vgl. Flamm & Sàrl, 2016)

Das **Analytics Tool** von Bike Citizens wird mit Daten aus der kostenlosen Fahrrad-Routing-App „Bike Citizens“ gespeist. Dem Nutzer der APP stehen die Funktionen innerhalb einer Nutzungsdauer von 30-Tagen zur Verfügung. Innerhalb dieser Zeit wird der Nutzer animiert, eine gewisse Anzahl an Tracks (km) hochzuladen, um die Funktionen der „Wahl-Stadt“ (z.B. Graz) nach Ende der Frist weiter nutzen zu können. Andernfalls ist die Kartennutzung kostenpflichtig. Die App bietet zwei Kernfunktionen. Das Routing erlaubt dem Nutzer der App eine Routenabfrage nach zuvor gewählten persönlichen Parametern. Abgefragt werden das Radprofil (Citybike, Rennrad oder Mountainbike) und das persönliche Fahrverhalten (schnell, normal oder gemütlich). Diese Parameter fließen dann in das Routing ein, um den Nutzer an sein Ziel zu bringen. Als Zusatzfunktion stellt die App eine Trackingfunktion zur Verfügung. Dabei werden verschiedene Parameter (Höhenmeter, Geschwindigkeit, etc.) aufgezeichnet und gespeichert. Diese Funktion bedient den Sport- und Freizeitverkehr.

Das Analytics Tool verwendet dann die aufgezeichneten GPS-Trajektorien, welche zuvor zu Datensätze (.gpx Datei) verarbeitet wurden. Diese GPX-Datei enthält Tracks und Track-Points. Tracks bilden eine

vollständige Fahrt als Polylinie ab und beinhalten Informationen über Dauer und Länge der Fahrt, sowie Zeitstempel am Start und Ende der Aufzeichnung. Die sogenannten Track-Points werden periodisch jede Sekunde während der Aufzeichnung gespeichert. Eine Aneinanderreihung dieser Punkte bildet den eigentlichen Track. Jeder einzelne Punkt enthält Information über ID (Identifier), GPS Koordinaten Zeitstempel und einer fortlaufenden Nummer. (Vgl. Pühringer, 2017, S. 53f)

Fahrtzweck in GPS-Tracks

Eine Untersuchung von GPS Tracks auf bestimmte Parameter gibt Hinweise auf den Fahrtzweck. Alltagsmobilität und Sportfahrten könnten sich zum Beispiel in der Geschwindigkeit, Distanz oder zurückgelegten Höhenmeter unterscheiden, welche bei Downhill Touren, Freizeitfahrten oder Stadtfahrten signifikant anders ausfallen sollten. Weiters können Tracks kategorisiert werden. Dies ist auch wichtig, da es einen groben Unterschied zwischen Kurierfahrern, Lieferdiensten und Freizeitfahrten gibt. Cèsar Ferri verfolgt diesen Ansatz der Kategorisierung (Sport-, Freizeitmobilität) in einem Fachbeitrag. Er untersuchte 8500 GPS-Tracks aus verschiedenen Sportarten hinsichtlich folgender Kategorien (Vgl. Ferri, 2016):

Tabelle 1 Parameter aus GPS Tracks

Parameter	Funktionsbeschreibung
länge_2d	Länge (2-dimensional) der Route in Kilometern
länge_3d	Länge (3-dimensional) der Route in Kilometern
bewegungszeit	Zeit (Sekunden) des Tracks mit signifikanter Bewegung
stopzeit	Zeit (Sekunden) des Tracks ohne signifikante Bewegung
bewegte_distanz	Zurückgelegte Strecke (Meter) während der Bewegung
gestoppte_distanz	Zurückgelegte Strecke (Meter) während der Stoppzeiten
max_geschwindigkeit	Höchstgeschwindigkeit (m / s) des Tracks
durschn_geschwindigkeit	Durchschnittsgeschwindigkeit (m / s) des Tracks
bergauf_norm	Bergauf geteilt durch die Länge 2d in Metern / km
bergab_norm	Bergab geteilt durch die Länge 2d in Metern / km
max_höhe	Maximale Höhe in Metern der Strecke
min_höhe	Minimale Höhe in Metern der Strecke

Seine Arbeit beschäftigte sich mit insgesamt 10 verschiedenen Sportarten, welche sich mehr oder weniger voneinander unterscheiden. Die Herangehensweise teilt sich grob in eine hierarchische Klassifizierung. In dieser wurden Überklassen für Sportarten gebildet (Bsp. Überklasse: zu Fuß – Unterklasse: gehen/laufen). Anfangs gab es bei Tracks mit ähnlichem Sportgerät Schwierigkeiten diese genau zuzuordnen. Zum Beispiel differenziert sich die Aktivität Segeln in manchen Parametern stärker als etwa im Falle der Unterscheidung zwischen Radfahren und Mountainbiken der Fall ist. Da Segeln allein durch das Vorhandensein von Gewässer beschränkt ist, ermöglicht dies eine leichtere Klassifizierung. Ein Mountainbike kann sich auf derselben Strecke wie ein Citybike bewegen. Dennoch stellte sich heraus, dass es leichter war in den einzelnen Unterklassen Unterschiede zu erkennen (Mountainbike/Citybike), als die genaue Sportart aus den Daten ohne Hilfe (Eingabe) des Benutzers vorauszusagen (Überklasse = Fahrrad).

Ein zusätzlich interessanter Ansatzpunkt, welcher hier nicht berücksichtigt wurde, ist es GPS-Tracks mit Daten aus dem Beschleunigungssensor zu verbinden. Da ein GPS-Track, keine Information über Straßenbeschaffenheit hat, füllt der Beschleunigungssensor zum Beispiel auf unebener Strecke (Offroad) diese Lücke und führt zur eindeutigen Klassifizierung. Ferri empfiehlt daher die Integration von Oberflächeninformationen. Die Zuordnung eines Tracks könne, neben dem Matchen auf die Umgebung (Wald-, Stadtgebiet), auch über die Erschütterung, ausgelöst durch die Infrastruktur, erfolgen. Parameter wie Stoppzeit geben insbesondere im Stadtgebiet Aufschluss über den Fahrtzweck, da angenommen werden kann, dass Sport- und Freizeitfahrten weniger durch Lichtsignalanlagen beeinflusst werden, da diese durch geeignete Routenwahl vermieden werden. Auch die Werte bergauf_norm/bergab_norm, welche zurückgelegte Höhenmeter in Relation zur Distanz wiedergeben, können Rückschlüsse auf eine geroutete Downhillfahrt geben.

2.4.7 Messgeräte für die Radverkehrszählung

Grundlegend lassen sich Verkehrsdatenerfassungsgeräte in intrusive (berührend) und nonintrusive Sensoren (berührungsfrei) unterscheiden. Zu den gängigen Geräten im Verkehrswesen zählen hierbei (Klein, 2001, S. 239ff):

- Intrusiv – Montage direkt auf Fahrbahnoberfläche: Induktionsschleifen, Magnetometer, pneumatische Detektoren, WIM-Systeme (Erfassung der Fahrzeugachslasten), piezoelektrische Sensoren u. dgl.
- Nonintrusive – Montage meist über Kopf: Videodetektor, Radargerät, Infrarot-, Ultraschall-, Mikrowellensensor, laserbasierte Sensoren

Kobbeloer fasst verschiedene Detektorarten wie folgt in Tabelle 2 zusammen und definiert zugleich den verkehrstechnischen Anwendungsbereich:

Tabelle 2 Übersicht über Detektoren (Kobbelor, 2007, S. 15)

Detektorart	Zur Erfassung von					verkehrstechnische Anwendung					
	Kfz	Straßenbahn	Busse	Fußgänger	Radfahrer	Zeitpunkt	Anwesenheits-/ Verweildauer	Zählen	Richtung	Geschwindigkeit	Fzg-Klasse
Induktivschleifendetektor	+	●	+		+	+	+	+	+	+	+
Radardetektor	+	●	●		●	●		+	●	+	
Passiv-Infrarot-Detektor	+	●	●	●	●	+	●	+	●	●	●
Bakensystem	+	+	+			●	●	●	●	●	●
Lichtschanke	+	●	●	●	●	+	+	+	+	+	●

Pneumatischer Detektor (Druckschlauch)	+				●	+		+	+		
Anforderung (Drucktaster bzw. Berührungssensor)				+	+	+					
Fahrdrahtschalter		+				+		+			
Magnetdetektor (Gleichfeld)	●	●	●			●			●	●	
Magnetdetektor (Wechselfeld)	●	●	●			●	●	●	●	●	●
Bild-Detektor	+	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

+ ... übliche Anwendung ● ... bedingt eingesetzt bzw. einsetzbar

Nachfolgende Systeme eignen sich für den Bereich der Fahrradverkehrszählung (Aemisegger & Widmer, 2016):

Induktionsschleife: Im Grunde wird bei dieser Variante eine Drahtschlinge (Spule) in den Boden eingelassen, welche mittels eines Kondensators eine resonanzfähige, elektrische Schaltung bildet (Schwingkreis). Dieser Schwingkreis erzeugt ein Magnetfeld. Die Messung von Fahrrädern wird ermöglicht, da metallische Objekte die Induktivität der Spule erhöhen und somit von der Elektronik erfasst werden können. Da sie während der Messung keine Personen detektiert, ist die Induktionsschleife für die Messung des Radverkehrs im innerstädtischen Bereich sehr geeignet.

Pneumatischer Detektor (Druckschlauch): Den Hauptbestandteil bilden zwei Druckluftschläuche, welche die Fahrbahn parallel querend, auf der Oberfläche verlegt werden. Beim Überfahren der Schläuche registriert eine Membran den Luftdruckunterschied. Diese Methode kann mit geeigneter Software die Richtung des Fahrrades erkennen. Nur auf reinen Radfahrstreifen einsetzbar, da der Fußgängerverkehr die Messungen beeinflusst.

Pyroelektrischer Sensor: Der Sensor besteht aus einem pyroelektrischen Material und basiert auf dem gleichnamigen Effekt. Zu diesem Material zählen sich einige Kristallklassen, welche die Fähigkeit zur spontanen Polarisierung (einachsige Pyroelektrika) besitzen. Durch diese Eigenschaft kann eine pyroelektrische Elektrode, berührungslose Temperaturänderung über die eigene Längenänderung messen. Diese Art von Sensorik wird häufig als Bewegungsmelder verwendet oder um Wärmebilder aufzunehmen. Für den Einsatz an einer Zählstation, muss durch einen Algorithmus zwischen Fußgänger und Radfahrer unterschieden werden.

Video/Bild-Detektor: Diese Technik ist bevorzugt bei Fahrzeugen mit Nummernschildern in Verwendung. Da diese bei Rädern nicht vorhanden sind, werden ANPR-Messgeräte häufig im KFZ-Bereich eingesetzt. Im Radverkehr ist die Auswertung ohne Algorithmus, welcher ein Fahrrad selbständig erkennt, nur durch spätere Auswertung des Videomaterials durch den Menschen möglich.

Lichtschanke: Die Funktionsweise der Lichtschanke (Lasersensor) basiert auf einen Sender und Empfänger. Leuchtdioden senden Licht, meist im Infrarotbereich (880–940 nm), welches vom Sensor empfangen wird. Durchquert ein Objekt die Schranke, blockiert dieser das Lichtsignal. Es kann jeweils nur die Anzahl der Unterbrechungen gemessen werden.

Passiv-Infrarot-Detektor: Im Grunde handelt es sich hier um einen Bewegungsmelder. Genauer spricht man von einem pyroelektrischen Sensor (PIR-Sensor) und ist ein Halbleitersensor, welcher Temperaturänderungen detektiert. Durch die Ausstrahlung von Körperwärme (Wärmestrahlung) entsteht in den verbauten piezoelektrischen Halbleiterkristallen eine messbare elektrische Spannung.

Bakensystem: Ist ein System zur Übertragung von Daten zwischen Fahrzeug und Infrastruktur.

Drucktaster/ Berührungssensor: Muss von dem zu detektierenden Objekt manuell betätigt werden. Jeder Druck löst jeweils nur eine Zählung aus.

Magnetdetektor (Gleichfeld): Misst die Veränderung innerhalb eines magnetischen Gleichfelds, welche durch die Masse eines Objektes aus Metall hervorgerufen wird.

Magnetdetektor (Wechselfeld): Misst die Wechselwirkung innerhalb eines magnetischen Wechselfeldes, welche durch das selbst erzeugte Wechselfeld eines Objektes aus Metall hervorgerufen wird.

Im Zuge dieser Arbeit kam hauptsächlich ein **Radardetektor** (Seitenmessradar) zum Einsatz, da dieser nonintrusiv ist und aufgrund gegebener Messdurchführung seitens Sierziega (Dauermessstationen) am geeignetsten und vergleichbar war (siehe Kapitel 3.2.2). Um eine weitere Datenquelle für bessere Vergleichbarkeit zu erhalten, wurde des weiteren ein **Ultraschallsensor** getestet (siehe 3.2.1).

Nach Aemisegger und Widmer haben genannte Sensoren den Vorteil, dass sie seitens des Radfahrers keinen Sender (o.ä.) benötigen. Dennoch könne man Radfahrer mit Sender ausstatten und dadurch die Detektion auch mittels RFID, Bluetooth, Wi-Fi, Mobilfunk oder GPS durchführen. Solche Sender/Empfänger müssen erst am Rad angebracht oder mitgenommen werden, haben sie den Nachteil, nicht für Zählungen geeignet zu sein. Da es sich hierbei um eine unbekannte Stichprobe handelt, eignet sich diese Erfassung für Routing/Tracking und zur Informationsbeschaffung über Streckenabschnitte (z.B. Reisezeit und Geschwindigkeit). Die Stichprobengröße innerhalb der Erhebung, welche mit Sender ausgestattet ist, ist entscheidend für die Genauigkeit. (Vgl. Aemisegger & Widmer, 2016)

3 Methodik und Messkonzept

Dieses Kapitel setzt sich mit der Methodik der Arbeit und der kritischen Beleuchtung aktueller Informations- und Datenquellen in Graz auseinander, sowie mit verschiedenen Systemen zur Radverkehrsmessung. Der erste Abschnitt behandelt die Methodik der Arbeit, des Weiteren werden die Systeme, die in Graz zum Einsatz kommen, erläutert.

3.1 Methodik der Arbeit

Die Stadt Graz unterhält zurzeit fünf aktive Dauerzählstationen, welche an diesen fünf Stellen Monatsganglinien liefern. Somit ist an diesen Stellen bekannt, wie viele Radfahrer in beide Richtungen an einem beliebigen Tag der Woche einen Messpunkt queren. Zusätzlich werden täglich Niederschlagsmenge, Sonnenstunden und Temperatur dokumentiert.

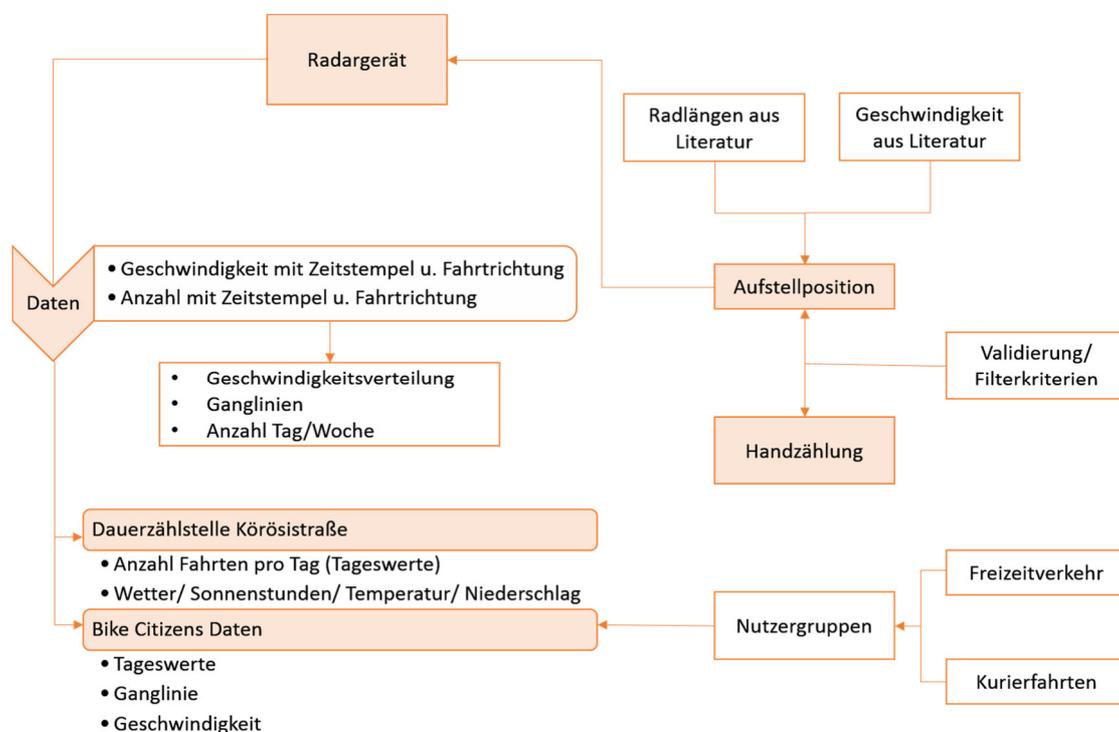


Abbildung 8 Methodik der Arbeit

Der erste Ansatz ist, den Datensatz der Dauerzählstation noch mit einer Geschwindigkeitsverteilung zu ergänzen. Diese und die Messungen des Seitenradars bilden somit die fundamentale Grundlage für diese Arbeit, welche den innerstädtischen Radverkehr abbildet. Da diese Daten mit herkömmlichen Messmethoden erstellt wurden, dienen sie somit als Vergleichswerte für die BC Daten. Hinsichtlich der Geschwindigkeitsverteilung lässt sich somit untersuchen, mit welchem Ausmaß Usergruppen das Geschwindigkeitsprofil beeinflussen. Die Überlegung hier ist, ob etwa Kurier- oder Sportfahrten, welche das Ergebnis verzerren könnten, herausgefiltert werden müssen. Es kann angenommen werden, dass aufgrund von abweichendem Fahrverhalten dieser Gruppen, etwa hinsichtlich Geschwindigkeit, die Datenmenge den durchschnittlichen Radfahrer nicht repräsentiert. Hierbei wird

sich klären, wie und ob diese Abweichung (wenn sie überhaupt vorhanden ist), Auswirkungen auf die Ergebnisse haben.

3.1.1 Stadt Graz

Die vom Amt für Verkehrsplanung der Stadt Graz unterhaltenen Dauerzählstellen, zeichnen Radfahrer/24h in beide Fahrtrichtungen auf und wurden für diese Arbeit zur Verfügung gestellt. Zusätzlich werden täglich Parameter wie Niederschlagsmenge in mm, Temperatur in °C und Sonnenscheindauer in % aufgezeichnet. Diese Daten liegen nur als absoluter Zahlenwert pro Tag vor, das heißt es gibt keine Tagesganglinie. Sie dienen daher als Referenzwerte. Damit ist gemeint, dass sich bisherige Radfahrer-Prognosen auf diese Zahlen stützen. Diese werden auch für den Vergleich mit den Zahlen des BC Datensatzes herangezogen.

Es gilt zu erwähnen, dass diese Art der Messung in den Städten Graz, Salzburg und Wien durchgeführt wird. Da die Zählung des Fahrradaufkommens kein genormtes Verfahren ist, gibt es durchaus noch andere Möglichkeiten der Zählung (Videodetektoren, Induktionsmessung und dgl.). Wie eingangs erwähnt gibt es im Bereich KFZ, wie auch beim Radverkehr, die Möglichkeit Querschnittszählungen mittels Sensoren durchzuführen. Die Konstruktion, an welcher jener Sensor angebracht wird, ragt über den Radweg und misst über Kopf. Sie fügt sich in das Straßenbild ein und beeinträchtigt nicht die Sicherheit des Radfahrers (siehe Abbildung 9). Da der Betrieb solcher Anlagen mit Kosten verbunden ist, limitiert das Budget die Stückzahl. In Graz werden die Daten von einem externen Unternehmen (Sierziega) ausgewertet, welche diese aufarbeitet, aggregiert und an das Amt für Verkehrsplanung übergibt. Somit hat die Stadt nur Zugriff auf die bereits aggregierten Datensätze. In weiterer Folge werden diese dann intern, für die Öffentlichkeit aufbereitet und als Monatsganglinie auf der offiziellen Homepage veröffentlicht (Stadt-Graz, Graz, 2018). Für eine weiterfolgende wissenschaftliche Verwendung stehen aktuell keine Rohdaten zur Verfügung.

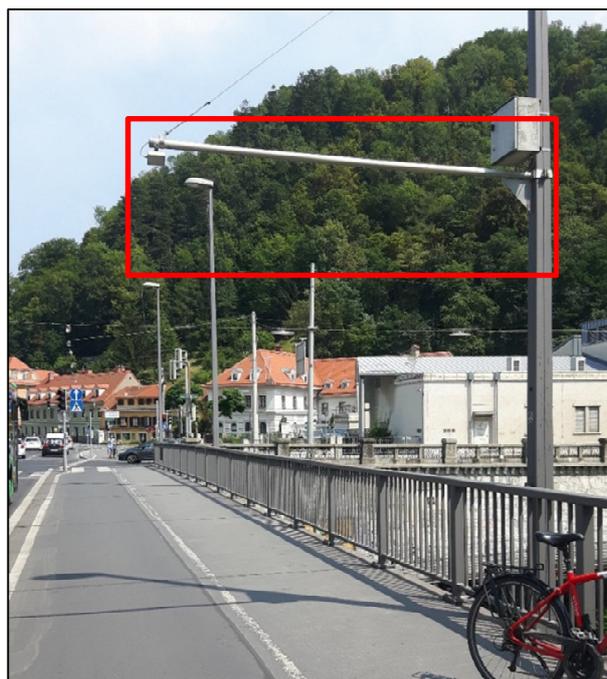


Abbildung 9 Dauerzählstation (Sierziega)

Durch die fixe Montage lassen sich über lange Zeit hinweg kontinuierlich Daten sammeln, auf welche sich Prognosen zur Verkehrsentwicklung stützen. Auswirkungen auf die Zählung, wie etwa durch Baustellen oder Umleitungen aus diversen Gründen, schlagen sich im Ergebnis nieder. Die Auswirkung hängt von der Dauer und dem Einflussbereich (Größe) der Baustelle ab. Bauprojekte, wie etwa die Umgestaltung des Augartens (Start Ende 2018) oder der bereits im Bau befindliche Speicherkanal (2017), führen dazu, dass die dort stationierte Messstation über einen gewissen Zeitraum hinweg verringertes, bis gar kein Aufkommen von Radverkehr verzeichnen. Eben genannte Bauvorhaben liegen nämlich jeweils auf den Grazer Radverkehrshaupttrouten. Solche Eingriffe können daher Lücken in der Aufzeichnung hinterlassen. Auch durch Umleitungen des Radverkehrs besteht das Risiko, an Standorten ungenaue Prognosen zu erhalten. Da der weitere Weg des umgeleiteten Verkehrs nicht verfolgt werden kann, lassen sich an solchen Standpunkten nur bedingt Auswertungen durchführen.

Anhand folgenden Beispiels, in dem Mobilitätsdaten zum Tragen kamen, wird die Rolle in der Verkehrsplanung veranschaulicht. In der Radfahrbroschüre der Stadt Graz aus dem Jahr 2012 wird folgende Aussage getätigt:

„Es zeigt sich, dass der Aufwärtstrend weiter anhält: Im Winter 2011/2012 wurde ein Viertel mehr Wege per Rad zurückgelegt als im Winter davor.“ (Stadt-Graz, Graz, 2012, S. 22)

Eine Studie der TU Dresden, welche Daten aus mehreren Dauerzählstationen verschiedenster Städte auswertete, kam zu dem Ergebnis, dass Radverkehr bevorzugt ab Temperaturen von 10-15 °C stattfindet und Niederschlag nur einen geringen Einfluss auf die Verkehrsstärke hat (Schiller, Zimmermann, & Bohle, 2011). Weiters ergab eine Regressionsanalyse aus den Grazer Daten, neben dem Einfluss von Sonnenscheindauer und Niederschlag, den Zusammenhang zwischen Temperatur und der Verkehrsstärke. Ein Temperaturanstieg um 1 °C erhöht die Radverkehrsstärke um ca. 250 Radfahrer/Tag. Zusätzlich verringert Schneefall die Verkehrsstärke um 1200 Fahrer (BMVIT, Radfahren im Winter - Strategien zur Förderung des Radverkehrs in der kalten Jahreszeit, 2015, S. 28). Ein Zusammenspiel dieser Faktoren lässt sich bei Betrachtung der Abbildung 10, genauer den Temperaturverlauf dieser zwei Winter, erkennen und ergibt den besagten Aufwärtstrend (Aussage der Radbroschüre). Der Winter 2010 gilt als einer der Kältesten seit 1996 und wie erwähnt wirken sich tiefe Temperaturen besonders stark auf den Radverkehr aus. Bei genauerer Betrachtung der zwei Abbildungen lässt sich erkennen, dass im Winter 2010 viel häufiger Temperaturen unter dem Nullpunkt herrschten.

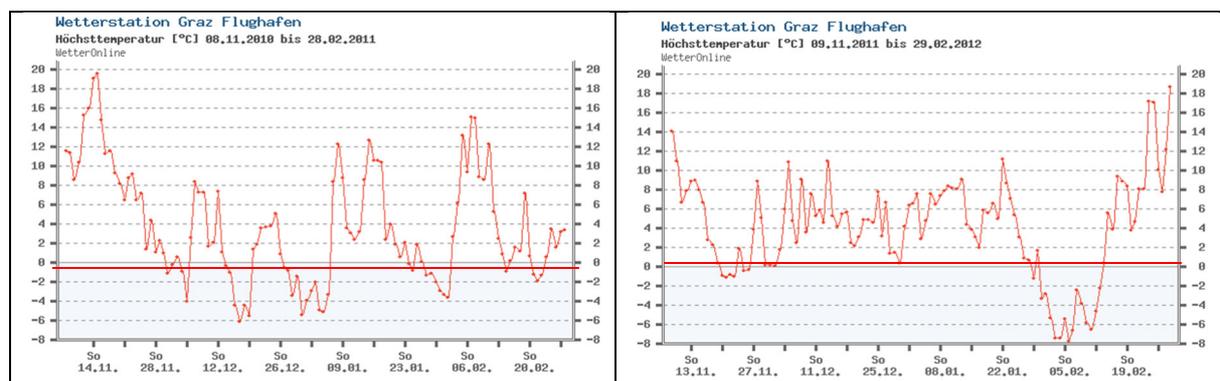


Abbildung 10 Temperaturverläufe im Vergleich: links W10/11, rechts W11/12 (Wetteronline, 2018)

Anhand dieses Beispiels wird veranschaulicht, wie Ergebnisse der Verkehrsforschung weitere Verwendung (z.B. Politik, Werbung, etc.) finden und welche Verantwortung in der korrekten Interpretation der Verkehrserhebungsergebnisse liegt. Valide und belastbare Daten legen die Grundlage für die Verkehrsplanung. Durch ungeeignete oder nicht kalibrierte Messgeräte können keine exakten Schlüsse gezogen werden.

Wegezweck

Der Wegezweck wird in folgende Kategorien unterschieden: zur Arbeit, dienstlich/geschäftlich, Schule/Ausbildung, bringen/holen/ Begleitung von Personen, Einkaufen, private Erledigung, sonstige Freizeit, privater Besuch. Dabei sind die Wege in die Arbeit, zur Ausbildung und der Freizeitverkehr anteilmäßig am Größten. Hierbei lassen sich die Kategorien auf zwei grundlegende Gruppen zusammenfassen. Zum einen ist das der Freizeitverkehr, bei dem der Weg das Ziel ist und den Werksverkehr, wo Weg zurückgelegt wird um einen Zweck zu erfüllen (z.B. Arbeiten).

Eine Kontaktaufnahme mit den in Graz tätigen Zustelldiensten soll einen Überblick über das Rad-Kurier Verkehrsaufkommen verschaffen. Mit dieser Befragung soll geklärt werden, wie viel Kurierfahrer tagtäglich in Graz unterwegs sind und ob diese die BC-App verwenden. Kurierfahrer, die beruflich unterwegs sind und gar häufig unter Zeitdruck den nächsten Zielort erreichen müssen, könnten eine Überrepräsentation hinsichtlich Geschwindigkeit führen. Gefragt wurde, wie viele Fahrten täglich durchgeführt werden, ob dabei Routing Apps in Anwendung kommen und wie hoch sie das Gesamtaufkommen in Graz einschätzen. Folgende Unternehmen wurden kontaktiert und gaben folgendes an:

Tabelle 3 Umfrageergebnisse Kurierfahrer (Oktober 2018)

Unternehmen	Tägliche Fahrten (Fahrten/d)	Verwendete Routing App	Einschätzung Gesamtaufkommen in Graz (Fahrten/d)
Pink Pedals	18-25	Falls Lokalisierung des Zieles nötig - Google Maps; falls Fahrer tracken dann mit Strava (soziales Netzwerk zum internetbasiertem Tracking sportlicher Aktivitäten)	Andere Anbieter je 50; entspricht Gesamtaufkommen rd. 220
Velofood	230	Keine	Mjam/Lieferservice je 230-300; andere Dienste gesamt 200; entspricht Gesamtaufkommen rd. 900
VELOBLITZ	100-200	Keine – Zentrale koordiniert Fahrten	Pink Pedals ähnliche Zahlen; zu anderen Anbietern keine Angaben
Lieferservice	200-400	Von Zentrale zur Verfügung gestellte App „Scoober“	K.A.
Mjam	K.A.	K.A.	K.A.

Nach Befragung der Grazer Lieferdienste stellt sich heraus, dass wenn eine Routing-App verwendet wird, diese vom Service selbst gestellt wird und keiner der vier befragten Unternehmen die BC App verwendet. Folglich wird davon ausgegangen, dass der BC Datensatz keine überproportionale Tendenz hinsichtlich „Geschwindigkeitsprofil Kurierfahrer“ aufweist, da keine Kurierdienste in Graz GPS-Tracks hier uploaden. Untersuchung des Werktages/Wochenendgefälles können Rückschlüsse auf weitere Verkehrszwecke, wie den Freizeitverkehr, geben.

Im Grunde wäre sogar eine mögliche Unterrepräsentation denkbar, da gerade an den Wochenenden die Essenslieferdienste einen hohen Anteil am Gesamtverkehrsaufkommen aufweisen (siehe Tabelle 3). Da am Wochenende der Großteil des Werksverkehrs nachlässt, erhöht sich der Anteil an Kurier- und Freizeitfahrten.

Der Freizeitverkehr kann über die zurückgelegte Weglänge definiert werden. Nach "Österreich Unterwegs – mit dem Fahrrad" (Bundesministerium für Verkehr, 2017, S. 22ff) sind 29 % aller Radfahrten Freizeitfahrten, mit einer durchschnittlichen Weglänge von 6,8 km. Im Vergleich:

- Arbeitsplatz-, Dienst- und Ausbildungswege (32 % aller Fahrten) mit einer Weglänge von durchschnittlich 3,0 km
- Einkauf, private Erledigungen und Besuche (39 % aller Fahrten) mit einer Weglänge von durchschnittlich 2,6 km

Die Auswertung eines von der TU Graz zur Verfügung gestellten BC-Datensatz, mit Trajektorien aus dem Jahr 2016 in Graz (n=19579), ergab eine durchschnittliche Weglänge von 4,108 km. Diese kommt einer durchschnittlichen Weglänge für alle Kategorien von 3,9 km sehr nahe. Bei der Auswertung machten Wege bis 2,6 km 44,45 % und Wege bis 3,0 km 50,58 % der Fahrten aus. Nachfolgende Grafik bildet den direkten Vergleich mit Werten aus ÖU ab.

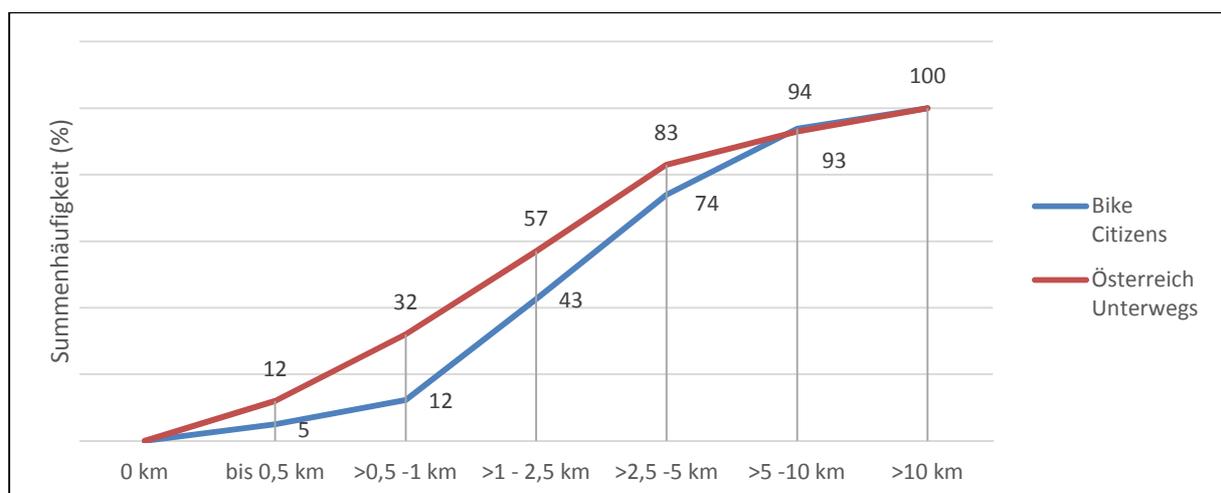


Abbildung 11 Summenhäufigkeit der Weglängen der Fahrradwege im Vergleich zwischen „Österreich Unterwegs“ und Bike Citizens. (Vgl. Bundesministerium für Verkehr, 2017, S. 40)

Abbildung 11 lässt erkennen, dass längere Strecken häufiger getrackt werden als kurze. Doch liegen im Bereich des Freizeitverkehrs (6,8 km) die Ergebnisse knapp aneinander. Ohne Befragung des Benutzers lässt sich kein genauere Zweck des Tracks mit kürzeren Wegstrecken interpretieren. Bei besonders langen Strecken kann davon ausgegangen werden, dass es sich um eine Freizeitfahrt handelt.

Der ÖU-Datensatz ist für jede Person frei zugänglich und kann per Mail angefordert werden. Für eine genauere Untersuchung des Radverkehrs in Graz kann dieser nach dem Gemeindecodex (Parameter `weg_startgemeinde = 601`) und dem Verkehrsmittel (`weg_vm_rad = 1`) gefiltert werden. Daraus ergeben sich 944 Dokumentierte Wege.

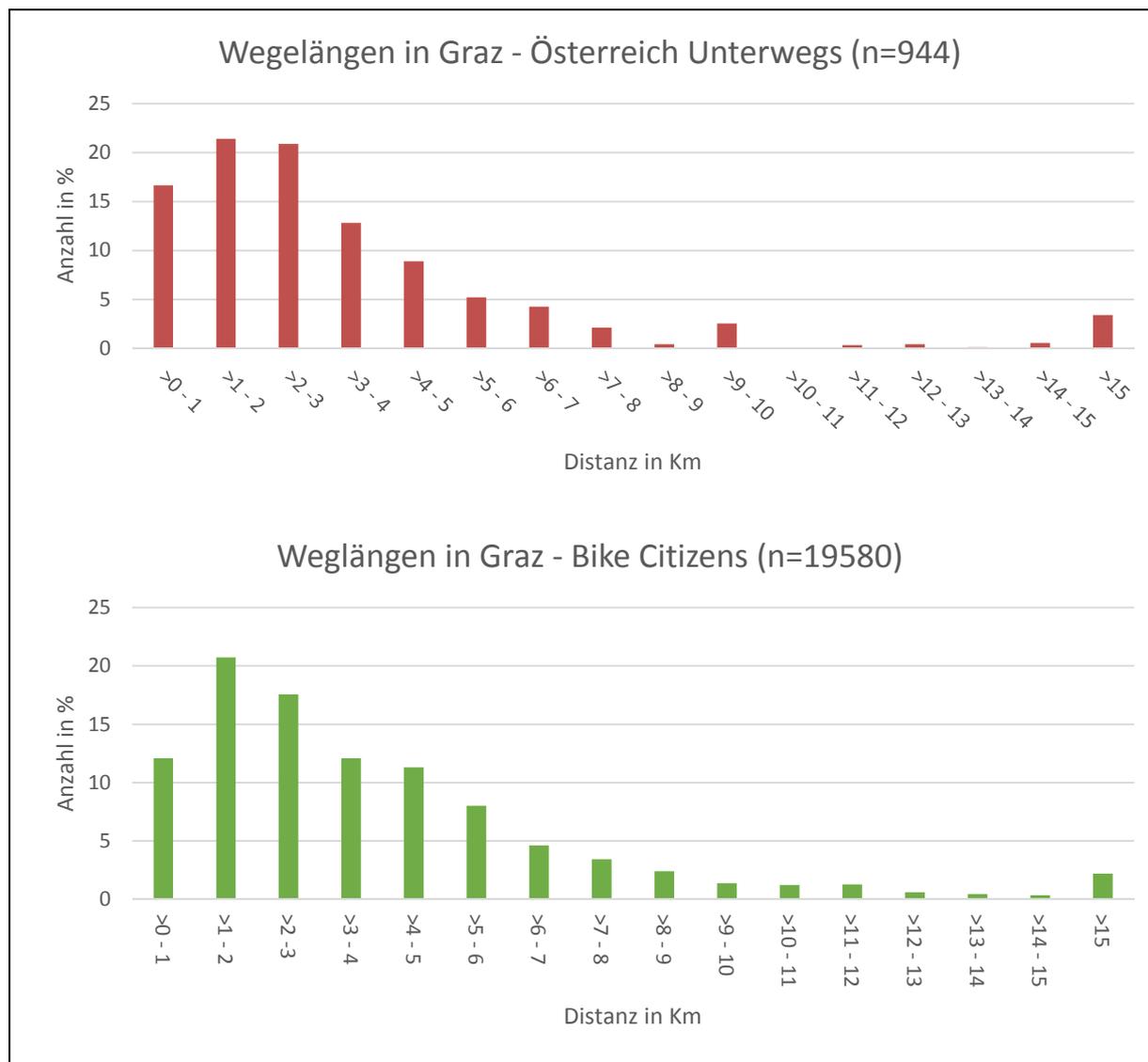


Abbildung 12 oben: Wegelängen Graz aus ÖU (n=944); unten: Wegelängen Graz aus BC (n=19580)

Im direkten Vergleich zwischen ÖU und BC Daten lässt sich die deutlich höhere Stichprobengröße bei den BC Daten erkennen. Das passive Uploaden eines Tracks ist für den Benutzer auch weitaus einfacher, als aktiv ein Wegetagebuch zu führen und liefert, prozentual gesehen, einen ähnlichen Verlauf. Die Differenz im Bereich >0-1 km scheint plausibel wenn man in Betracht zieht, dass es für BC-Nutzer weniger interessant sein wird, die App für kurze Strecken extra zu aktivieren. Andererseits

werden im Zuge der Bearbeitung der Wegetagebücher für ÖU sowieso aktiv auch kurze Wege ausgefüllt. Da aber keine demographischen Informationen über den Benutzer mit dem BC-Track verknüpft wird, kann im Grunde nicht von einem gleichmäßig verteilten Stichprobenumfang ausgegangen werden.

3.2 Messkonzept

Ein großer Teil dieser Arbeit setzt sich mit der Erfassung der Geschwindigkeit von Radfahrern auseinander. Da sich der Radverkehr in dieser Hinsicht kategorisieren lässt, soll beantwortet werden, ob der BC Datensatz durch seine User über-/unterrepräsentiert ist. Die Untersuchungen finden verteilt in der Grazer Innenstadt statt und sollen ein möglichst breites Spektrum der Userbase abdecken. Dabei wird auch darauf geachtet, dass bei den Tracks möglichst wenig Überschneidung vorliegt. Dies wird durch Betrachtung der Verkehrsspinne an den Messpunkten mittels BC Analytics ermöglicht. Weiters wird auf spezielle Gegebenheiten der Infrastruktur geachtet (Steigung, Kreuzungen u. dgl.). Innerhalb dieser Arbeiten kamen zwei verschiedene Messsysteme zum Einsatz. Ein Ultraschallsensor der Firma Imovino (Kapitel 3.2.1) und ein Seitenradar der Firma Sierzega (Kapitel 3.2.2).

3.2.1 Imovino

Über die TU Graz konnte Kontakt zum Institut für Mobilität und Verkehr (iMove) an der TU Kaiserslautern aufgenommen werden, aus welcher die Ausgründung Imovino entstand. Imovino ist ein Dienstleister, welcher sich an Gemeinden und Unternehmen wendet, die Interesse an Verkehrserhebungen haben. Durch die eigens entwickelten Sensoren, welche im Grunde aus einem Raspberry Pi (Einplatinencomputer) und der Ultraschallsensorik bestehen, können unter anderem Zeitlückenmessungen durchgeführt werden, aus denen die Geschwindigkeit der gemessenen Objekte berechnet werden kann. Betrieben werden diese mit einer handelsüblichen Zusatzbatterie, einer Powerbank, wie sie auch zum Laden von mobilen Geräten wie Smartphones oder Tabletcomputer zum Einsatz kommen. Durch die sparsame Konstruktion misst die Messeinheit autark, während sie die Daten auf einer SD-Karte, für die spätere Auswertung am Computer, speichert.

Die Messeinheit kann für eine bessere Einbindung in den Verkehrsraum in einem Leitpfosten-Dummy montiert werden. Da im Zuge dieser Arbeit nur Messungen innerhalb der Stadt durchgeführt werden, war dieser Dummy nicht einsetzbar und wurde daher in handgroße Kunststoffboxen wasserdicht eingearbeitet.



Abbildung 13 Aufbau Imovino-Sensorik (Imovino, 2018)

Im Vorfeld wurden markante Verkehrspunkte in der Innenstadt Graz ausgewählt, an denen die Messungen durchgeführt werden sollen. Zu den Auswahlkriterien zählten etwa die Nähe von vorhandenen Messstationen, eine möglichst geringe Schnittmenge mit den BC Daten und eine Montagemöglichkeit. Aufgrund Letzteren mussten die Stellen wohl überlegt werden, da die Messeinheiten längere Zeit unbeaufsichtigt im Betrieb sein sollten, ohne Diebstahl oder Beschädigung zu riskieren. Weiters mussten die Sensoren vor der Lieferung programmiert werden, da Abstand der Sensoren (Zeitlückenmessung) und Messdistanz (zwischen 0,1 und 2,5 m) für die spätere Auswertung wichtig sind. Zudem sollten sie möglichst nicht durch den Fußgängerverkehr beeinflusst werden.

Für jeden Messpunkt wird ein Mastergerät, sowie ein Slavegerät (welches nur Sensor und keine eigene Platine besitzt) benötigt. Um Kommunikation zwischen den Messeinheiten herzustellen, werden die Geräte mittels eines vierpoligen Kabels verbunden. Um den autarken Betrieb zu gewährleisten, wurde zu jeder Einheit eine Powerbank mit 6400 mAh beigelegt. Mit dieser konnte die Messung etwa einen ganzen Tag lang durchgeführt werden.

Die Geräte werden als Paar im Abstand von 4 Metern, auf Höhe Vorderradnarbe senkrecht zur Fahrbahn montiert. Die beiden Ultraschallsensoren derselben Einheit müssen somit senkrecht zueinander stehen. Die Messung beginnt theoretisch unmittelbar nach Herstellen der Stromversorgung. Der Raspberry Pi startet und initialisiert die SD Karte.

Mögliche Farbcodes können am Display angezeigt werden:

- Bereitschaft
- Ein Sensor hat ein Signal erhalten – Warten auf zweites Signal
- Zwei Signale erhalten – Messungen werden gespeichert

Das Slave-Gerät ist mit der Nr. 1, das Mastergerät mit Nr. 2 hinterlegt. Infolgedessen muss der Aufbau für die spätere Auswertung dokumentiert werden, da in beide Fahrtrichtungen gleichzeitig gemessen

wird. Eine erfolgreiche Detektion (beide Geräte haben ein Signal erhalten), wird auf der SD-Karte samt Geschwindigkeit mit einem Zeitstempel als Ergebnis gespeichert. Nach Beenden der Messung kann durch Aufschrauben des Mastergerätes die SD-Karte entnommen werden. Darauf befindet sich eine *.txt Datei, welche dann am Computer weiterverarbeitet werden kann.

Aufgrund der kurzen Akkulaufzeit und Vandalismus, welcher wohl auch der auffälligen Montage geschuldet war (kein Leitpfosten-Dummy in der Innenstadt erlaubt), wurden die Messungen nur kurzzeitig und unter Aufsicht durchgeführt. Leider konnten durch einen Fehler im Speichermedium keine Messwerte aufgenommen werden. Der Fehler wurde meinerseits nicht erkannt und wurde erst nach Rücksendung der Messgeräte vom Imovino-Team eruiert.

3.2.2 Seitenradar (Vgl. Avramovic, Brkic, Fenzl, & Frisee, 2009, S. 7)

Alternativ wurde rein auf das Seitenmessradar zurückgegriffen. Dieses wird vom Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz zur Verfügung gestellt. Das Messgerät ist ein Strahlungsfeld-Detektor und beruht auf dem Doppler-Prinzip. Der eingebaute Sender schickt hochfrequente elektromagnetische Wellen aus, welche vom eingebauten Empfänger nach Abprallen an einer Oberfläche wieder empfangen werden können.

Das Verkehrsstatistikgerät SR4 der Firma Sierzega ist fest in einem Schaltkasten verbunden und wird mit bis zu zwei 6 Volt Batterien betrieben, welche ebenso im Kasten verstaut werden und einen Betrieb über zwei Wochen ermöglichen. Durch zwei Mastbefestigungen (Rohrschellen 60 mm) kann dieser hüfthoch an Verkehrszeichen mit dem passenden Durchmesser angebracht werden. Da der Schaltkasten sich unauffällig in das Straßenbild einfügt und sich versperren lässt, konnte eine längere unbeaufsichtigte Messung durchgeführt werden. Mittels Bluetooth lässt sich ein Endgerät (Android Smartphone, Laptop, Tablet) vor Ort mit der Messeinheit verbinden. Damit können Einstellungen am Messgerät vorgenommen und gesammelte Daten abgerufen werden.



1. Schaltschrank inklusive Schlüssel
2. Zwei Mastbefestigungen
3. Radargerät inklusive Stromkabel
4. Zwischenplatte
5. Batterie

Abbildung 14 Bestandteile des Seitenradars (Vergleichsmessung Seitenradar – Videodetektion, Projektarbeit Verkehr, 2009)

Vorab muss eine geeignete Messstelle eruiert werden. Dazu sind folgende Punkte bezüglich des Messgerätes zu beachten:

- Wo befinden sich geeignete Messorte um die gewünschten Daten zu erhalten?
- Befindet sich eine geeignete Befestigungsmöglichkeit vor Ort? (Auf Durchmesser des U-Bügels achten)
- Wenn keine Befestigung vorhanden ist – kann ein Stativ oder Pflock zum Einsatz kommen?
- Besteht die Möglichkeit, dass das Messgerät durch parkende Fahrzeuge beeinträchtigt werden kann?
- Besteht durch das Messgerät eine Gefahr für andere Verkehrsteilnehmer?
- Ist das Gerät gegen Vandalismus geschützt?
- Sind die Behörden über die Messung informiert und wurde dies bewilligt?



Abbildung 15 Montage des Seitenmessradars (Vergleichsmessung Seitenradar – Videodetektion, Projektarbeit Verkehr, 2009)

Als großer Vorteil stellte sich die Unauffälligkeit des Gerätes heraus. Ein auffälliger Messaufbau kann, aus eigener Erfahrung, Vandalismus provozieren. Weiters wird bei sachgerechter Montage, der Verkehrsfluss und Verkehrssicherheit nicht beeinträchtigt. Dieser Punkt war Grundvoraussetzung, um eine Genehmigung für die Messdurchführung vom Grazer Verkehrsamt zu bekommen.

Das Seitenradar muss im Winkel von 30° zur Fahrbahn ausgerichtet sein (siehe Abbildung 16). Eingemessen wurde die Ausrichtung durch Abschreiten des Messbereiches. Dabei wurden vier Schritte in die Fahrbahnmitte und sieben Schritte entlang der Fahrbahn vorgenommen. Von dieser Position aus, wird das Messgerät auf diesen Punkt hin ausgerichtet (Vorderseite Kasten in Blickrichtung eingemessenem Hilfspunkt).

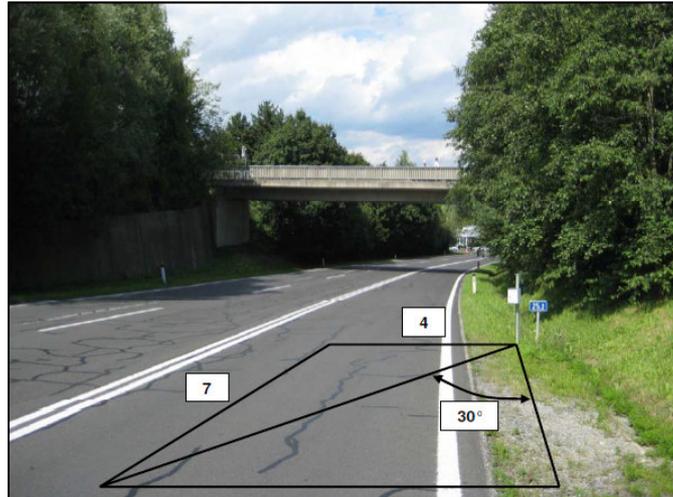


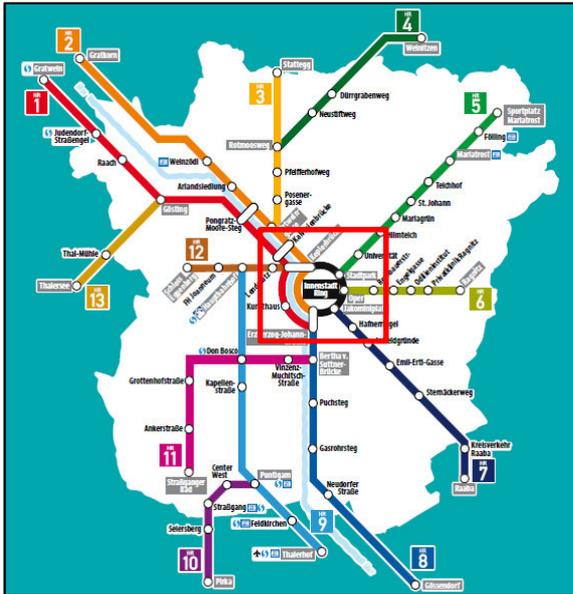
Abbildung 16 Ausrichtung des Seitenradars (Vergleichsmessung Seitenradar – Videodetektion, Projektarbeit Verkehr, 2009)

Die Montage soll im Abstand von 0,5 bis 2,0 m zur Fahrbahn in einer Höhe von 1,0 m vorgenommen werden. Durch das schützende Gehäuse kann es witterungsunabhängig betrieben werden. Regen oder Nebel beeinflussen nicht die Messung und die im versperrten Kasten befindlichen Komponenten (Akku, Messeinheit) sind geschützt.

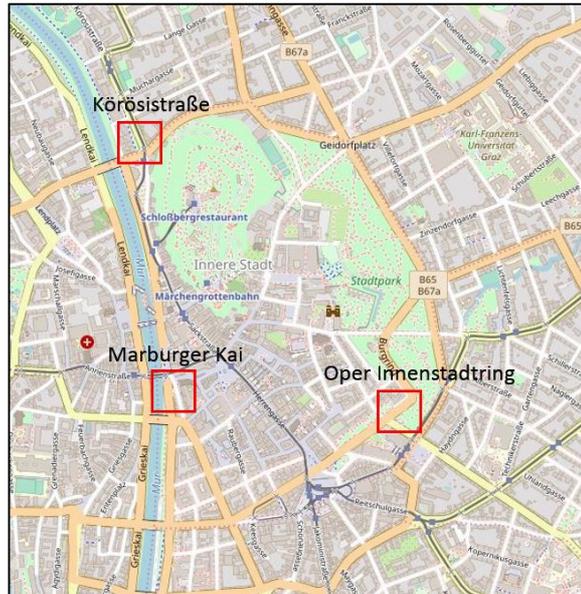
Laut Hersteller können Geschwindigkeiten innerhalb einer Toleranz von $\pm 3\%$ zwischen 8 bis 254 km/h gemessen werden. Da die Geschwindigkeit in ganzen Zahlen gespeichert wird (keine Nachkommastelle), beschränkt sich der Einfluss in den für diese Arbeit befindlichen Bereich. Denn es wird bekanntlich nur Radverkehr gemessen, welcher innerhalb des Toleranzbereiches nicht wesentlich verfälscht werden kann. (Bsp.: $20\text{km/h} * \pm 0,03\% = \pm 0,60\text{km/h}$)

3.2.3 Messpunkte

Nach den in Kapitel 3.2.2 beschriebenen Anforderungen und Kriterien wurden mehrere Messstellen innerhalb des Stadtzentrums ausgewählt. Diese wurden Großteiles seitens des Verkehrsamtes unter Einhaltung der Auflagen (Verkehrssicherheit u. dgl.) genehmigt. Zum einen dienen diese der Sicherheit der Verkehrsteilnehmer, zum anderen soll der Aufbau möglichst vor Vandalismus und Diebstahl geschützt sein. Zusätzlich müssen passende Mess- und Rahmenbedingungen gegeben sein. Alle Messstellen wurden innerhalb des Stadtgebietes gewählt, um eine möglichst hohe Dichte an Messungen zu erreichen. Weiters wurden Eingangs die Messstellen mit den vorhandenen BC-Daten abgeglichen. Der erste Messdurchgang wurde mittels Imovino Sensor an zwei Messstellen durchgeführt. Wie zuvor erwähnt, musste aufgrund von Vandalismus die erste Messung am selben Tag wieder beendet werden. Die dritte Messstelle konnte durch ein Bauvorhaben (Umgestaltung des Augartens) nicht genutzt werden. Von einem weiteren potentiellen Messpunkt wurde mir seitens Verkehrsamtes abgeraten. Dieser wäre direkt neben der Oper Graz situiert gewesen, doch wurde eingangs davon abgesehen, da auch dieser Punkt sehr exponiert gelegen wäre und von den Betreibern der Oper nicht gewünscht war. Somit wurde in Abstimmung mit dem Verkehrsamt an drei abgestimmte Positionen mittel Seitenmessradar gemessen. Zwei Messpunkte befinden sich an Hauptadtrouten (HR), die dritte am Innenstadtring (ISR) (siehe Abbildung 17 und Abbildung 18).



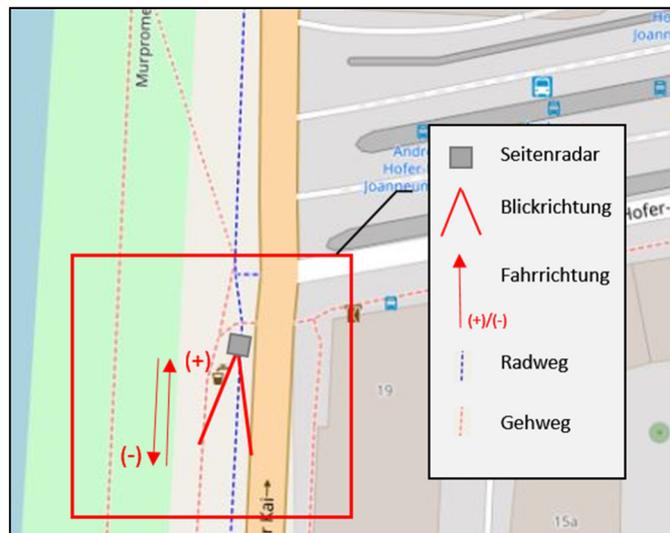
**Abbildung 17 Haupttrouen Graz
(Portal Stadt Graz)**



**Abbildung 18 Position der Messpunkte
(Openstreetmap, 2019)**

Marburger Kai

Die HR8 beginnt an der Erzherzog Johann Brücke, verläuft entlang der Murpromenade und endet in Gössendorf. Die Fahrbahn ist in gutem Zustand und der Fußgängerverkehr ist baulich vom Radverkehr getrennt. Der am Andreas-Hofer-Platz verlaufende Radweg bietet einen Fußgänger-Schutzweg in Richtung Innenstadt, bei dem die Fußgänger den Radweg queren müssen. Das dafür vorgesehene Straßenschild kann für die Montage verwendet werden. Kurz nach diesem Schutzweg befindet sich die Abbiegespur für Radfahrer. Durch diese Anordnung wird der Schutzweg auch von Radfahren verwendet, um auf den Andreas-Hofer-Platz einzubiegen. Somit ist mit einer Auswirkung auf die Messung zu rechnen, da für das Abbiegen die Reisegeschwindigkeit verringert werden muss. Durch den nahen Altstadt kern ergibt sich ein hohes Fußgängeraufkommen. Weiters müssen diese, um die Altstadt zu erreichen, den Radweg kreuzen um zu dem vorgesehenen Schutzweg zu gelangen. An der nördlich befindlichen Brücke ist ein Schutzweg mit VLSA situiert, welche sich in ausreichender Entfernung zum Seitenradar befindet. Dies ist wichtig um den Radfahrer in voller Reisegeschwindigkeit detektieren zu können.



**Abbildung 19 Messpunkt Marburger Kai
(Openstreetmap, 2019)**

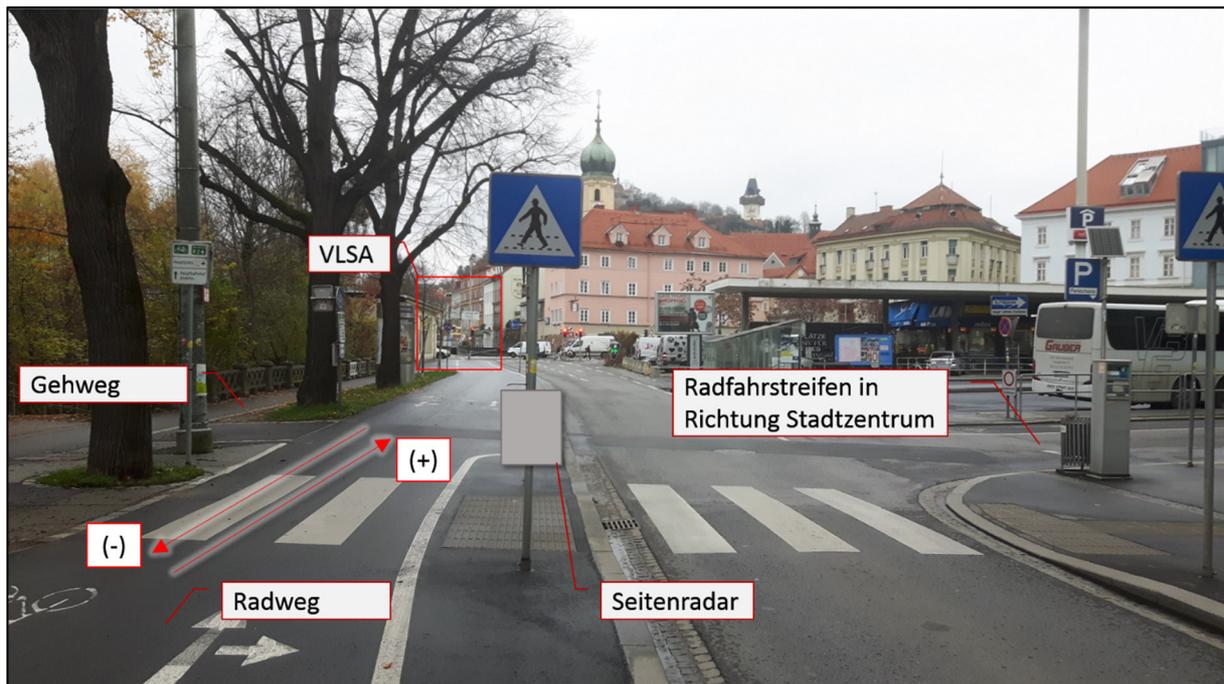


Abbildung 20 Marburger Kai Messpunkt Überblick

Körösstraße

Nahe der Keplerbrücke verläuft die HR2, welche an der Hauptbrücke beginnt, am Kunsthaus vorbeiführt und in Gratkorn endet. Hier wird nahe einer Dauermessstation gemessen, welche zum Zeitpunkt der eigenen Messungen, im Betrieb ist. Weiters bietet sich hier ein in der Nähe befindliches Straßenschild als Montagemöglichkeit an. Die Fahrbahnoberfläche ist zum Teil bereits sehr abgenutzt. Fuß- und Radverkehr ist getrennt, jedoch wirkt die Fahrbahn durch Grünanlagen (Bäume, Sträucher) beengter, besonders bei Stoßzeiten mit hohen Verkehrsaufkommen. Weiters wird die Trennung der Fahrbahn von Fußgängern und Radfahrern nicht immer eingehalten, da es auch keine Bauliche Abtrennung gibt und die Markierung stark verblasst ist. Der Radwegabschnitt verläuft parallel zur Körösstraße und befindet sich zwischen zwei kreuzenden Straßen. Südlich gelegen befindet sich eine stark befahrene Straße (Wickenburggasse) an deren Kreuzung sich ein Schutzweg für Fuß- und Radverkehr mit VLSA befindet. An der nördlichen Kreuzung (Wartingergasse) befindet sich ein einfacher Schutzweg ohne VLSA, da es sich hier um eine schwach befahrene Straße handelt, welche in die Schwimmschulkai-Straße mündet, bei welcher es sich um eine Sackgasse für KFZ handelt. Die Messstelle befindet sich daher zwischen den beiden Kreuzungen, um eine möglichst ungebremste Reisegeschwindigkeit messen zu können.

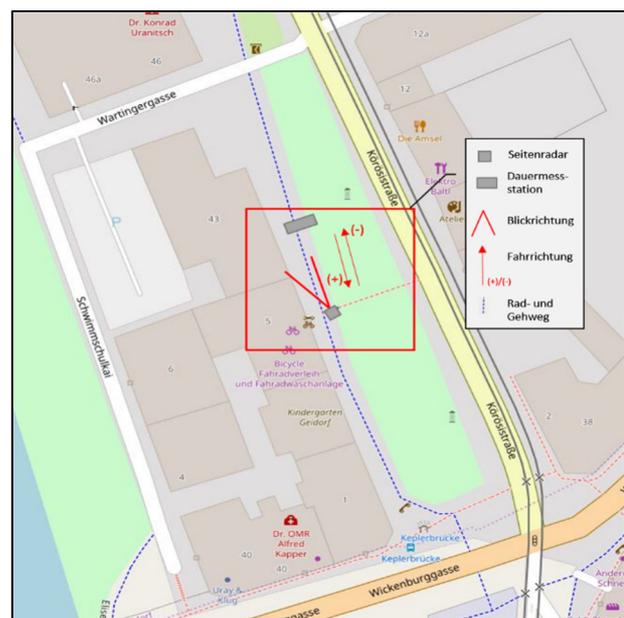


Abbildung 21 Messpunkt Körösstraße (Openstreetmap, 2019)

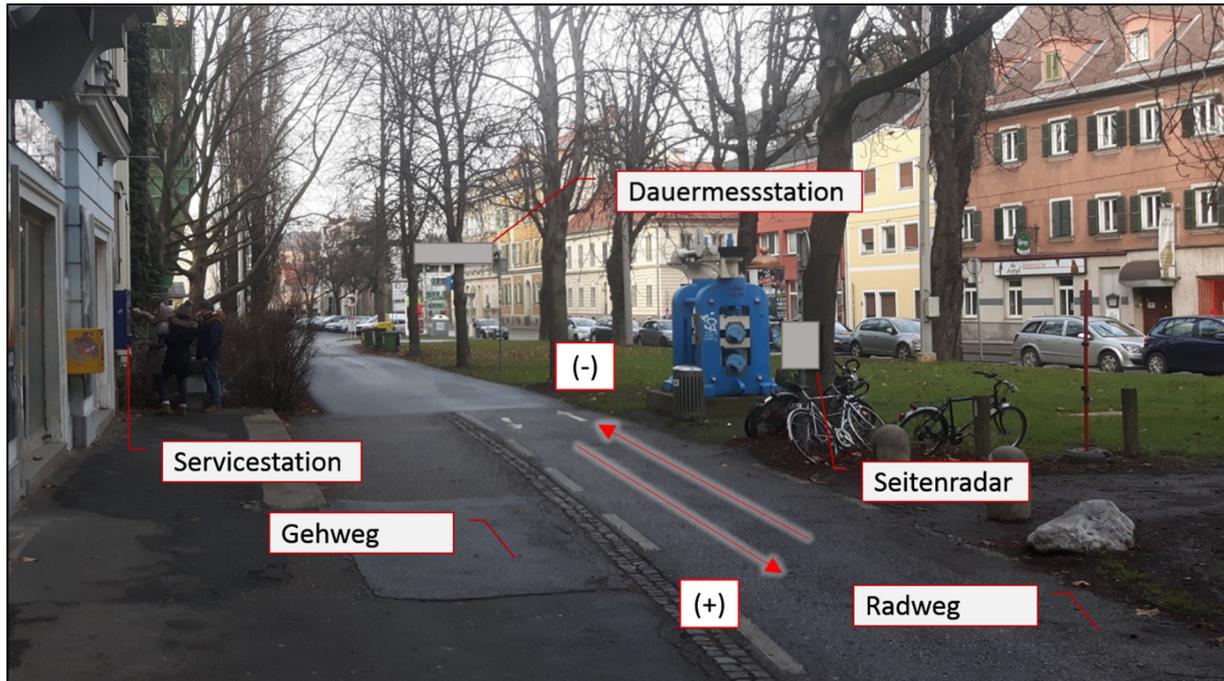


Abbildung 22 Körösistraße Messpunkt Überblick

Die in Abbildung 22 ersichtliche Sanierung der Asphaltoberfläche wurde erst nach der Messung durchgeführt.

Oper Innenstadtring

Dieser Radweg führt um den Schlossberg und umschließt die Altstadt. Die Fahrbahn ist in Fuß- und Radverkehr unterteilt und in gutem Zustand. Der nahe gelegene Park zieht Fußgängerverkehr an. Jedoch ist dieser Messpunkt aufgrund der Jahreszeit und Randlage günstig gewählt. Dadurch und durch der gut sichtbaren Fahrbahntrennung hat der Fußgängerverkehr in dieser Messung den geringsten Einfluss. Diese Stelle wurde gewählt, da dieser Abschnitt eine ausgeprägt Längsneigung hat, somit von Süden in Richtung Norden steigt. Hier ist davon auszugehen, dass Radfahrer in Richtung (+) deutlich schneller unterwegs sind, da sie Schwung bei der Bergabfahrt aufnehmen. In der anderen Fahrtrichtung befindet sich eine große Kreuzung an der Franz-Graf-Allee Straße, welche mit VLSA ausgestattet ist. Im Bereich zwischen Kreuzung und Messung ist noch eine geringe Steigung vorhanden. Es wird angenommen, dass sich der Unterschied in der Geschwindigkeit zwischen Bergabfahrt und Anfahrt in den Messdaten (Seitenradar, BC) bemerkbar macht.

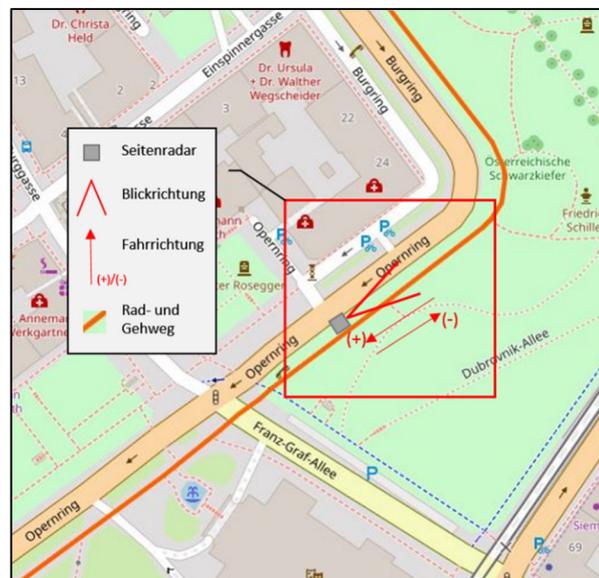


Abbildung 23 Messpunkt Oper Innenstadtring (Openstreetmap, 2019)

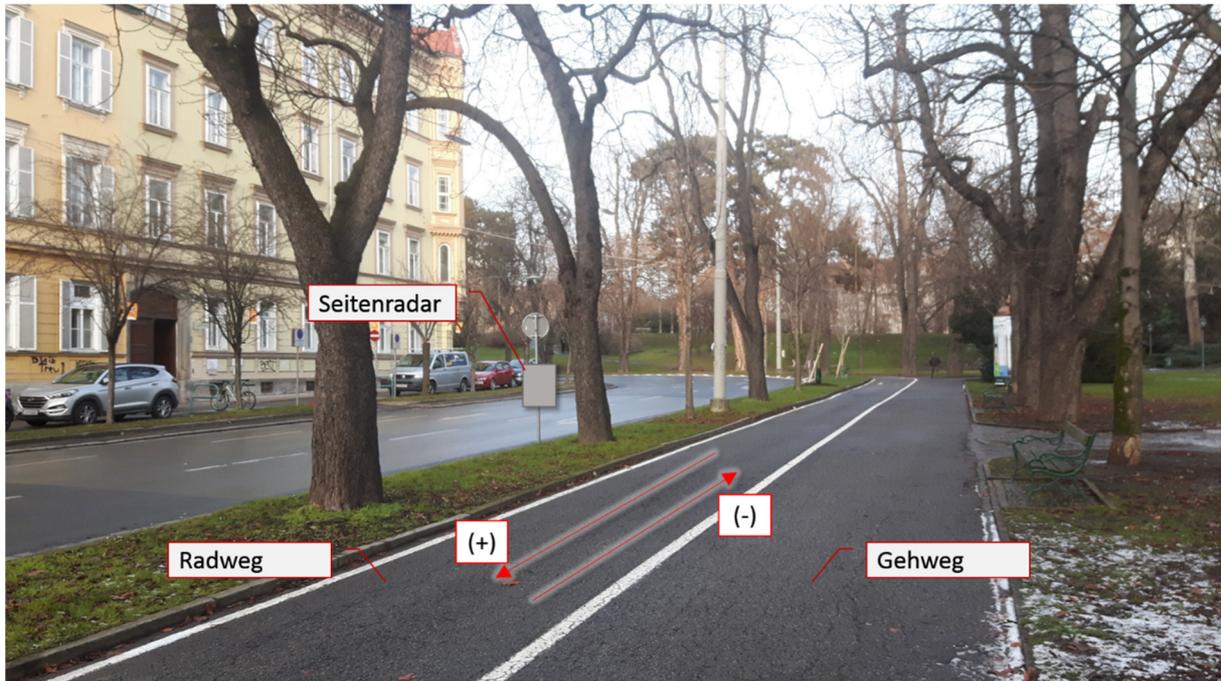


Abbildung 24 Oper Innenstadttring Messpunkt Überblick

3.3 Messdurchführung

Für die erste Messreihe wurde das Seitenmessgerät so konfiguriert, dass es erst Objekte ab einer Geschwindigkeit von 8 km/h aufzeichnet. Der Grundgedanke lag darin, den Fußgängerverkehr somit erst gar nicht aufzeichnen zu können. Mit dieser Einstellung wurde an den drei Messpunkten jeweils ein Messdurchgang durchgeführt. In späterer Folge wurden weitere Messdurchgänge bei Körösisstraße mit dem geringstmöglichen Schwellenwert von ≥ 5 km/h wiederholt und erst im Nachhinein gefiltert, um an möglichst „rohe Daten“ zu kommen.

3.4 Ablauf der Erhebung

Die Erhebung fand im Zeitraum zwischen 10.10.2018 bis 01.03.2018 statt. Dabei wurde nicht durchgehend, sondern in Intervallen aufgezeichnet – da zum einen die Akkus des Messgeräts geladen werden musste oder das Seitenmessradar auf einen anderen Messpunkt umgestellt wurde.

Die erste Messung wurde bei der Messstelle „Marburger Kai“ durchgeführt. Dabei zeichnete das Seitenmessradar ununterbrochen eine Woche störungsfrei auf. Innerhalb dieser Zeitspanne wurden insgesamt 29.174 Objekte registriert, welche sich im Bereich des Radweges bewegten (Fußgänger/Läufer, Radfahrer, Straßendienst, etc.).

Tabelle 4 Eckdaten und erhobene Messwerte der Erhebung

Messpunkt Marburger Kai	Datum	Uhrzeit
Beginn der Aufzeichnung	10.10.2018	08:48:01
Ende der Aufzeichnung	17.10.2018	09:10:12
Messungen (n)	29.174	
Messpunkt Körösisstraße		
Beginn der Aufzeichnung	18.10.2018	10:08:15
Ende der Aufzeichnung	22.10.2018	07:23:24
Messungen (n)	6.863	
Messpunkt Oper ISR		
Beginn der Aufzeichnung	08.11.2018	10:23:47
Ende der Aufzeichnung	15.11.2018	10:38:49
Messungen (n)	12.507	

Die zweite Messung wurde bei „Körösisstraße“ durchgeführt. Innerhalb dieser Zeitspanne wurden insgesamt 6863 Objekte registriert. Die dritte Messung wurde bei „Oper Innenstadtring“ durchgeführt. Wieder zeichnete das Seitenmessradar ununterbrochen eine Woche störungsfrei auf. Innerhalb dieser Zeitspanne wurden insgesamt 12.507 Objekte registriert. Nach ersten Auswertungen wurde entschieden, sich weiter mit den Messungen und deren Auswertung auseinanderzusetzen und sich weniger auf die BC-Daten zu konzentrieren. Somit wird die erste Forschungsfrage adaptiert:

Sind die von Bike Citizens zur Verfügung gestellten Daten für die Verkehrsplanung re-präsentativ und wie kann überprüft werden, ob sie dies sind?



Inwieweit stimmen die Messdaten aus dem Seitenradar mit jenen aus der Dauermessstation überein?

Abbildung 25 Adaption der Forschungsfrage

Dahingehend wurde das Messkonzept etwas ausgeweitet. Aufgrund der Nähe zwischen Messpunkt Körösisstraße und einer Dauermessstation, sollte nun der Schwerpunkt darin liegen, die eigenen Messungen mit denen der Dauermessstation zu vergleichen. Drei zusätzliche Messungen, mit geringstmöglichen Geschwindigkeits-Schwellwert, wurden im Anschluss der letzten durchgeführt. Zusätzlich sollen Handzählungen diese Messdurchgänge begleiten, um in späterer Folge die Filterkriterien für Fußgängerverkehr (u. dgl.) so setzen zu können, damit sich der Datensatz in den Handmessungen widerspiegelt. Im Zuge der Messung wurden auch Wetterdaten protokolliert (siehe Anhang Kapitel 7.3).

Tabelle 5 Eckdaten und erhobene Messwerte der Folgemessung bei Messpunkt Körösisstraße

Körösisstraße – 2. Messdurgang	Datum	Uhrzeit
Beginn der Aufzeichnung	17.01.2019	16:58:32
Ende der Aufzeichnung	28.01.2019	16:17:44
Messungen (n)	21119	
Körösisstraße – 3. Messdurgang		
Beginn der Aufzeichnung	05.02.2019	10:34:00
Ende der Aufzeichnung	18.02.2019	06:50:47
Messungen (n)	19567	
Körösisstraße – 4. Messdurgang		
Beginn der Aufzeichnung	21.02.2019	10:25:20
Ende der Aufzeichnung	01.03.2019	13:30:58
Messungen (n)	17859	

Im Zuge dieser Arbeit wurde somit die Geschwindigkeit von $n=107089$ Objekten gemessen. Der Schwerpunkt des folgenden Kapitels liegt nun darin, Filterkriterien zu finden um den Radverkehr vom Fußgängerverkehr zu trennen. In Folge dessen wird untersucht, inwieweit sich die Messungen, von denen der Dauermessstation und BC unterscheiden.

4 Auswertung

Dieses Kapitel setzt sich mit der Auswertung der gesammelten Messdaten des Seitenradars, der vorhandenen Daten aus den Dauermessstationen und dem BC Analytics Tool auseinander. Um überhaupt Aussagen über die Repräsentativität treffen zu können, muss zuerst der Anteil der gemessenen Fußgänger verringert und auf einen möglichst reinen Radanteil heruntergebrochen werden. Denn da für diese Arbeit der Geschwindigkeitsaspekt interessant ist, würden diese das Ergebnis verzerren. Des Weiteren konnte die Messung mittels Seitenradar nahe einer Dauermessstation durchgeführt werden. Aufgrund der fehlenden Datengrundlage seitens BC, verschob sich der Schwerpunkt weg von den BC-Daten, hin zu den eigenen Messungen. Da keine Rohdaten zur Verfügung gestellt wurden, blieb hinsichtlich BC nur das Analytics Tool als Informationsquelle übrig. Demzufolge wurde an der Messstelle Körösisstraße die Messung mehrmals wiederholt (drei Folgemessungen). Diese Messungen werden, nach Kalibrierung mittels geeigneten Filterkriterien, mit den Daten der Dauermessstation abgeglichen. Die Informationen, welche das Analytics Tool hergab, werden mit den Ergebnissen des Seitenradars verglichen.

4.1 Überprüfung der eigenen Messwerte

Um die Richtigkeit der eigenen Messdaten aus dem Seitenradar überprüfen zu können, wurden zwei verschiedene Ansätze untersucht. Jedes gemessene Objekt wird unter anderem mit dem Parameter Länge und Geschwindigkeit detektiert und gespeichert. Die Überlegung hier ist zu untersuchen, welcher dieser beiden Parameter am besten für eine Filterung geeignet ist, da sich Fußgänger und Radfahrer naturgemäß in diesen beiden Parametern unterscheiden.

Parameter Länge:

Für die Verifikation der eigenen Messwerte werden die gemessenen Daten hinsichtlich dem Parameter Länge überprüft. Wie im Kapitel 3.2.2 erwähnt, ist der Ausrichtwinkel von 30° entscheidend für eine genaue Längenmessung. Durch den knappen Abstand zwischen Messgerät und Fahrbahn, kann es zu Fehlmessungen kommen. Zusätzlich hat das Radargerät Schwierigkeiten mit der Schattenbildung und Kolonnenfahrten. Dies führt dazu, dass Objekte länger/kürzer oder erst gar nicht detektiert werden. Die Mindestlänge für die Erfassung von Objekten beträgt bei diesem Messgerät 1,0 m. Da Fahrräder nicht kürzer sind wirkt sich dies ohnehin positiv auf die Messung aus, da es den Einfluss von Fußgängern verringert. Für diese Untersuchung ergab sich der Medianwert ($n=48215$) der drei Messungen zwischen 1,2-1,3 m Länge, welcher für Fahrräder plausibel ist (siehe Abbildung 26). Der untere Messwert wird in der Körösisstraße erreicht. Dies ist wohl der Tatsache geschuldet, dass hier der meiste Fußgängerverkehr innerhalb der Messungen aufgenommen wird und diese zum Teil mit in die Auswertung einfließen. Jene zwei anderen Messpunkte, welche bessere Trennung von Fuß- und Radverkehr aufwiesen, liegen näher am Median.

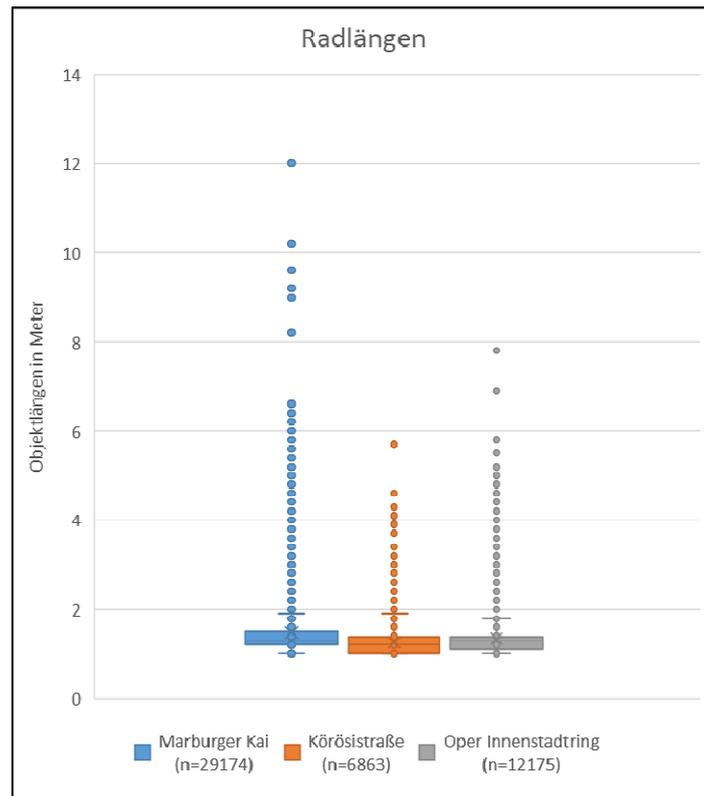


Abbildung 26 Länge der detektierten Objekte (n=48543)

Grundsätzlich lässt sich erkennen, dass das Seitenradar Schwierigkeiten hat, die Länge von Objekten stets fehlerfrei zu detektieren. Kolonnenfahrten und Fahrten nebeneinander führen zur Detektion eines längeren Objektes, da das Seitenradar mehrere Objekte als ein Ganzes erkennt.

Parameter Geschwindigkeit:

Laut einer Bewegungsanalyse (DEKRA, 1976, S. 12) über Fußgänger, liegt das Geschwindigkeitsprofil für den Bereich langsam gegangen bis schnell gegangen zwischen 3,9-6,6 km/h. Die Messschwelle für das Auslösen einer Messung wurde auf 1 km/h gesetzt, um auch jedes Objekt zu detektieren. Die eigentliche Durchschnittsgeschwindigkeit der verschiedenen Fahrradtypen liegt um einiges höher. Beim herkömmlichen Fahrrad spricht man von 18,5 km/h, Elektrofahrrad mit 19,7 km/h und bei einem Rennrad von 24,2 km/h (Jellinek, 2013). Die grafische Auswertung der Messungen zeigt einen enormen Anstieg der Messwerte im Bereich bis 6 km/h. Dabei wird angenommen, dass in diesem Bereich einige „Schnell-Geher“ oder Jogger gemessen werden.

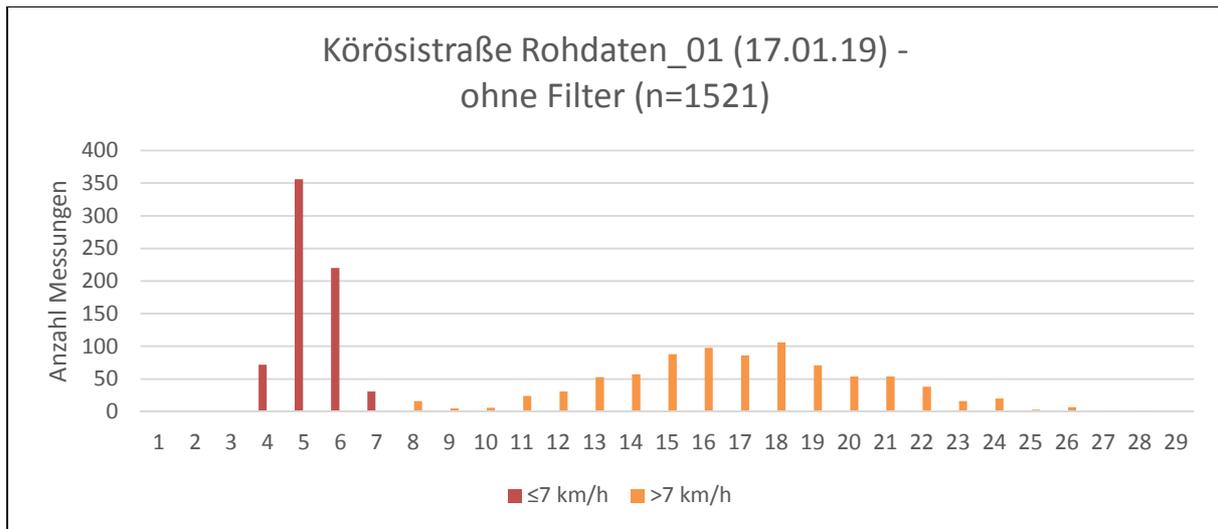


Abbildung 27 Rohdaten Körösisstraße aus Messung mittels Seitenradar (n=1521)

In Abbildung 27 wird lt. erwähnter Bewegungsanalyse davon ausgegangen, dass trotz einer Mindestobjektbreite $\geq 1,00$ m viele Fußgänger detektiert wurden.

Fazit:

Das Seitenmessradar wurde für die Messung von KFZ konzipiert. Aufgrund dessen und durch erwähnte zusätzliche Faktoren (z. B. Mindestlänge $\geq 1,00$ m), stellt sich der Parameter „Länge“ als ungeeignet heraus. Die grafische Auswertung lässt darauf schließen, dass der Parameter Geschwindigkeit plausible Werte liefert. In dem Bereich in welchem sich langsame Radfahrer und schnelle Fußgänger/Läufer überschneiden, liefert es keine Möglichkeit zu unterscheiden. Um dieses Vorgehen nun zu überprüfen, wird der gefilterte Datensatz anhand von Handzählungen überprüft.

4.1.1 Handzählung

Für die Durchführung der Handzählungen musste zuvor ein Protokoll zur Dokumentation erstellt werden. Dieses wird für die spätere Auswertung herangezogen. Jeder Messdurchgang wird fortlaufend nummeriert und beschriftet. Wichtig ist die Uhrzeit des Seitenmessradars mit der eigenen Uhrzeit abzugleichen. In der Spalte „Zählung“ werden in 10-Minuten Intervallen die gezählten Radfahrer je Fahrtrichtung (+,-) kumulierend notiert. Zuzüglich ist eine Kommentarspalte vorhanden, um mögliche „Ausreißer“ zu dokumentieren. Dies kann bei der Auswertung helfen, Abweichungen zu interpretieren. Um genügend Vergleichswerte zu bekommen, wird die Dauer je Durchgang (Messperiode Seitenmessradar) auf zwei Handmessungen á 60 min festgelegt.

Die ersten Handmessungen (siehe Tabelle 6) wurde am 18.01.2019 zwischen 16:00-17:00 Uhr und am 25.01.2019 zwischen 13:00-14:00 durchgeführt. Trotz des Schneeregens wurde an beiden Tagen etwa die gleiche Menge an Radfahrern gezählt. Neben dem Langsamfahrer, welcher bei der Geschwindigkeitsfilterung wohl als Fußgänger rausgefiltert wird, wurde die Rad-Servicebox einige Male angefahren. Weiterte Protokolle der restlichen Handzählungen sind im Anhang unter Kapitel 7.1 zu finden.

Tabelle 6 Handzählung – 2. Messperiode

1. Handmessung Körösistraße – Messprotokoll					
Datum:	18.01.2019				
Uhrzeit:	16:00 - 17:00				
Wetter:	Schneeregen	Zählung		Kommentar	
Temp.:	1 °C	(+)	(-)	(+)	(-)
	16:00				
Zeitraum (min)	00 - 10	7	5		1x Zufahrt Pumpe/Shop
	10 - 20	18	17		
	20 - 30	33	24		
	30 - 40	41	30		
	40 - 50	49	38		2x Zufahrt Pumpe/Shop
	50 - 00	58	51		
	17:00				
2. Handmessung Körösistraße - Messprotokoll					
Datum:	25.01.2019				
Uhrzeit:	13:00 - 14:00				
Wetter:	sonnig	Zählung		Kommentar	
Temp.:	-4 °C	(+)	(-)	(+)	(-)
	13:00				
Zeitraum (min)	00 - 10	5	6	2x Zufahrt Pumpe/Shop	
	10 - 20	11	16		
	20 - 30	19	22		
	30 - 40	29	32		
	40 - 50	40	48		1x langsam
	50 - 00	46	55		
	14:00				

Am Messpunkt Körösistraße wurden insgesamt drei Messperioden (Folgezählungen) durchgeführt. Während jedem Durchgang wurden jeweils zwei Handzählungen á 60 min durchgeführt. Am Ende des Messdurchlaufs wurden die gesammelten Daten aus dem Seitenradar (selber Zeitraum) mit den Handzählungen verglichen. Aufgrund der eingeschränkten Montagemöglichkeit wurde das Messgerät neben einem Fachgeschäft für Fahrräder und einer Fahrradservice Box montiert. Diese hatten Einfluss auf die Zählung, da hier regelmäßig Personen mit ihren Fahrrädern anhielten. Dieser Vorgang wurde stets protokolliert und in der späteren Auswertung für die Filterung berücksichtigt. Trotz dieser Störfaktoren konnte eine gute Annäherung für die Fahrtrichtung (+) im Vergleich zu den Seitenradarwerten erzielt werden³ (siehe Abbildung 27 und Tabelle 5).

³ Konvention: (+) Fahrtrichtung stadteinwärts; (-) Fahrtrichtung stadtauswärts

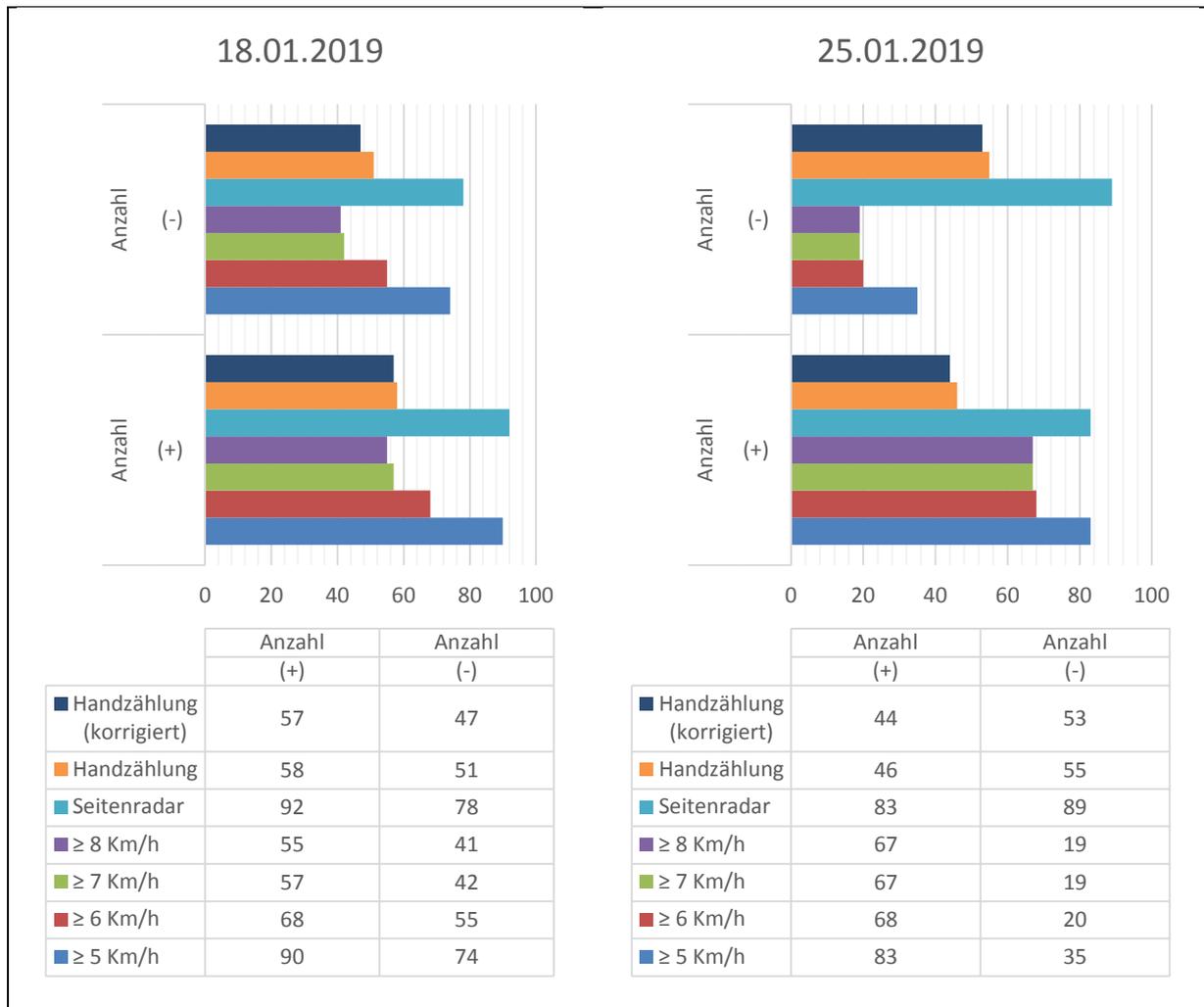


Abbildung 28 Visualisierung verschiedener Filterungen im Vergleich zwischen Seitenmessradar und Handmessung (Messperiode 2). 18.01.19 (links), 25.01.19 (rechts)

Die grafische Auswertung in Abbildung 28 (Messperiode 2) veranschaulicht die Abstufung in den gefilterten Geschwindigkeiten. Der Wert „Seitenradar“ ist der ungefilterte Messwert des Seitenradars. Die Werte nähern sich bei Filterung ≥ 6 km/h und ≥ 7 km/h meist (aber nicht immer) denen der Handmessung an (siehe Anhang 7.2). Bei anderen Messperioden trifft bei Fahrrichtung stadtauswärts (-) teilweise keine Annäherung ein. Durchwegs ist jedoch zu erkennen, dass gefiltert werden muss. Im Zuge der Auswertung wäre eine Videoaufnahme von Vorteil gewesen, um z.B. eine Erklärung zu finden, wieso teilweise die Messungen so weit von den Handzählungen abweichen.

Tabelle 7 Auswertung Handzählung (Messperiode 2) hinsichtlich Abweichung zu Seitenradar bei unterschiedlicher Filterung.

01	Handzählung Auswertung		(+)	(-)
	Seitenradar		92	78
	Handmessung (inkl. Abzug Kommentare)		58	48
	Filterung ≥ 6 km/h		68	55
		Differenz	10	7
		Fehler in %	17,24	14,58
	Filterung ≥ 7 km/h		57	42
		Differenz	1	6
		Fehler in %	1,75	12,50
02	Handzählung Auswertung		(+)	(-)
	Seitenradar		83	89
	Handmessung (inkl. Abzug Kommentare)		44	53
	Filterung ≥ 6 km/h		58	53
		Differenz	14	0
		Fehler in %	-31,82	0,00
	Filterung ≥ 7 km/h		44	51
		Differenz	0	2
		Fehler in %	0	3,77

Anhand dieser zeigte sich, dass die Filterung von Messwerten ≥ 7 km/h eine gute Annäherung an die Handzählung ergibt. Somit bestätigt sich dieses Vorgehen als geeignet. Jedoch stellte sich heraus, dass die Abweichung der Fahrtrichtung (-) signifikant höher liegt (siehe Tabelle 8 und Abbildung 29). Dies ist zum Teil der Montage geschuldet, da die Fahrer der Richtung (-) häufig sehr knapp am Messgerät vorbeifahren und daher nicht immer erkannt werden. Weiters wurde beobachtet, dass Fußgänger die Trennung von Rad- und Fußgängerverkehr nicht immer beachten und das Messgerät beim Vorbeigehen für kurze Zeit blockieren können. Für weiterfolgende Interpretationen (Vergleich mit Dauermessstation Körösstraße), muss dies im Hinterkopf behalten werden.

Tabelle 8 Zusammenfassung - Abweichung Handzählung/Seitenradargerät (siehe Anhang 7.2)

Filterung ≥ 6 km/h				
	Handzählung Nr.1		Handzählung Nr.2	
	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %
Messperiode/ Zeitraum				
17.01.19-28.02.19	17,24	14,58	-31,82	0,00
05.02.19-16.02.19	4,23	47,37	3,17	45,45
21.02.19-01.03.19	0,00	0,00	0,00	5,00

Filterung ≥ 7 km/h				
Messperiode/ Zeitraum	Handzählung Nr.1		Handzählung Nr.2	
	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %
17.01.19-28.02.19	1,75	12,50	0,00	3,77
05.02.19-16.02.19	5,63	50,00	9,52	50,91
21.02.19-01.03.19	10,38	16,83	11,48	7,50

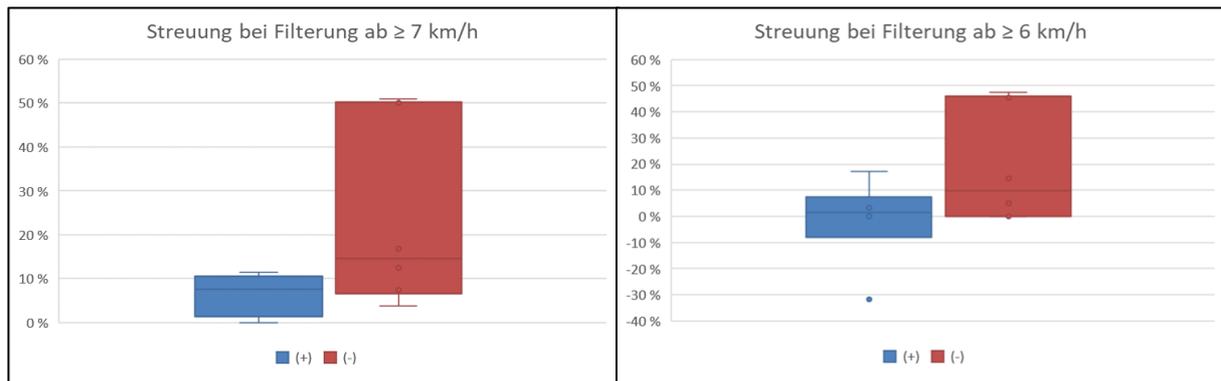


Abbildung 29 Visualisierung der Streuung: Handzählung zu Messdaten aus dem Seitenradar.

Ein weiterer Einflussfaktor ist die Geschwindigkeit im niedrigen Bereich. In manchen Situationen bewegt sich der Radfahrer sehr langsam am Gerät entlang. Anhand des Filterkriteriums Geschwindigkeit kann es zu ungewollter Ausklammerung dieser Personen kommen. Zuzüglich rundet das Messgerät auf ganze Zahlen, wodurch weitere Langsamfahrer in das Filterkriterium fallen. Da jeder subjektive Langsamfahrer notiert und später aus der Handzählung gefiltert wurde, kann es hier zu ungewollter Abweichung führen. Selbes gilt bei den Zufahrten zum gegenüberliegenden Shop oder Service Station, was häufig auftrat.

Zusammenfassung:

Wie erwähnt hat sich der Parameter Länge als ungeeignetes Filterkriterium erwiesen. Hingegen eignet sich beim Parameter Geschwindigkeit eine Filterung ≥ 7 km/h. Dies führt zu einer Annäherung der Ergebnisse aus der Handzählung. Da das Messgerät für den KFZ Verkehr entwickelt wurde, kann man nicht von einem „optimalen Messgerät“ für die Messung des Radverkehrs sprechen. Durch diverse Einflussfaktoren (Rundungsfehler, subjektive Zählung, Ausrichtung des Messgerätes, Fußgänger) ergibt sich eine Fehlerquote (siehe Abbildung 29).

Äußerst auffällig ist die hohe Abweichung zwischen der Handzählung und dem Seitenradar in Fahrtrichtung stadtauswärts (-). Bei seitlicher Montage, sowie gleichzeitiger Messung beider Fahrtrichtungen, kann die laut Hersteller vorgeschriebene Ausrichtung von 30° nur für eine Richtung eingehalten werden. Dies und weitere Fehlerquellen, wie etwa das Verdecken (Abschattung) durch den Gegenverkehr und Fußgänger, führen zu ungenauen Messergebnissen in einer Fahrtrichtung. Durch die Montage über Kopf, kann dieses Problem gelöst werden. Alternativ wäre der parallele Einsatz eines zweiten Seitenradars möglich. In diesem Fall müsste ein Abstand von 50 Meter eingehalten werden, um eine gegenseitige Beeinflussung zu unterbinden. Weiters müsste der

Messbereich dort gewählt werden, wo kein Ausweichen möglich ist, also alle Personen an beiden Messgeräten vorbeifahren müssen.

Die vom Hersteller festgelegte Mindestgeschwindigkeit von 8 km/h stellte innerhalb dieser Arbeit kein Problem dar. Es konnten auch geringere Geschwindigkeiten registriert werden. Jedoch ist unklar, wie hoch die Messgenauigkeit im niedrigen Bereich wird. Dazu müsste man Ergebnisse des Seitenradars mit einer weiteren und genaueren Messtechnik vergleichen. Die angegebenen $\pm 3\%$ Schwankung in der Messgenauigkeit fielen nicht weiter ins Gewicht, da die Geschwindigkeit als ganze Zahl registriert wird. Infolgedessen entsteht ohnehin bei jeder Messung ein Rundungsfehler.

4.2 Vergleich verschiedener Datenquellen

Dieses Kapitel beschäftigt sich genauer mit der Auswertung der verschiedenen Datensätze an den einzelnen Messpunkten. Zur Verfügung stehen Daten aus drei verschiedenen Quellen (siehe Abbildung 30). Zum einen stellt BC einen Zugang zu deren Analytics Tool bereit, welches mit dem Datensatz „Graz 2015-2017“ bespielt ist. Des Weiteren wird in dieser Arbeit mit jenen Daten gearbeitet, die aus den eigenen Messungen mittels Seitenradar, welche vom Einfluss des Fußgängerverkehrs bereinigt sind und durch die Handzählungen validiert wurden. Als dritte Datenquelle dienen die Daten aus den Dauermessstationen der Stadt Graz. Die geringe Datenmenge seitens BC wirkt sich problematisch auf die gesamten Auswertungen aus.

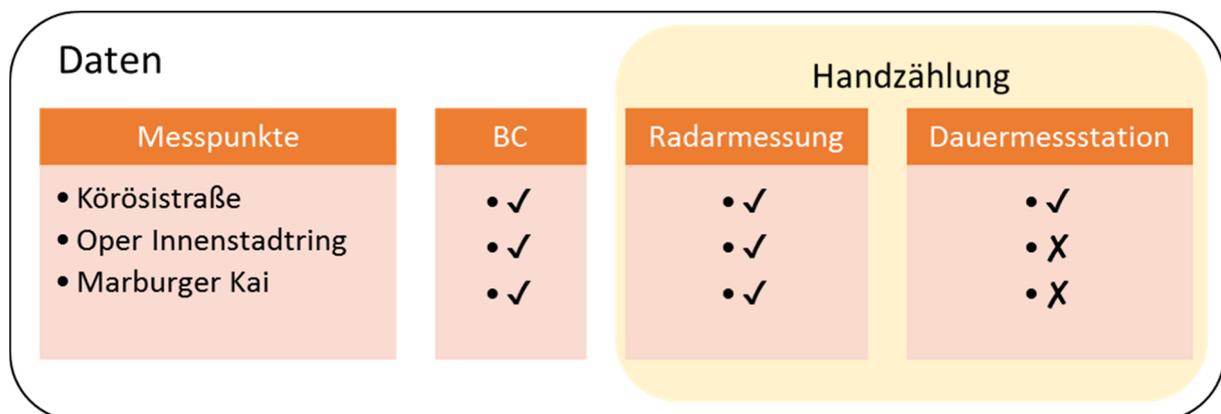


Abbildung 30 Überblick über die vorhandene Datengrundlage

Da die Messungen am Punkt Körösisstraße in unmittelbarer Nähe (rd. 20m) zu einer Dauermessstation durchgeführt werden, bietet sich eine Gegenüberstellung der eigenen Daten mit jenen aus der Dauermessstation an. Den Einfluss des gewählten Filterkriteriums von ≥ 7 km/h ist in Abbildung 31 erkennbar. Hier wurden die jeweiligen Tage untereinander verglichen, und die Abweichung ermittelt. Durch die Filterung verkleinert sich der Interquartilbereich.

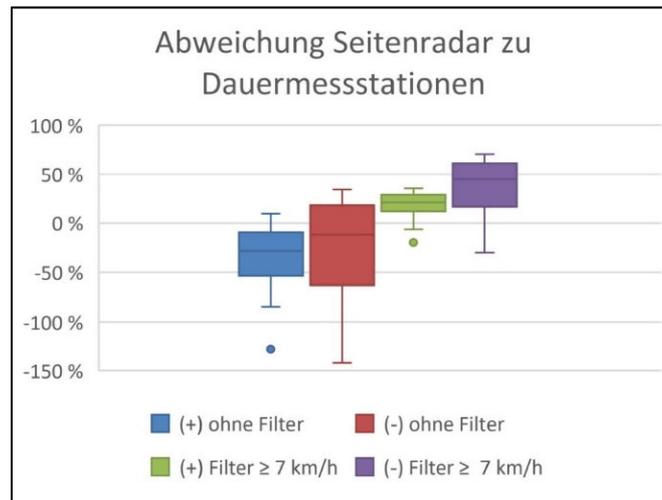


Abbildung 31 Streuung zwischen Seitenradar und Dauermessstation

Zur Erklärung: Die Messwerte an den Tagen zu Beginn und am Ende der Messperiode (siehe Tabelle 9) werden für den Vergleich mit der Dauermessstation nicht herangezogen, da die Messung an diesem Tag begonnen hat und diese keinen ganzen Tag abbilden. Für die Auswertung der Geschwindigkeit liefern sie dennoch relevante Werte und werden verwendet. Das Kapitel 7.3. im Anhang beinhalten weitere Tabellen der restlichen Messperioden.

Tabelle 9 Auswertung der Daten aus dem Seitenradar Messperiode 2. – Körösisstraße (n=21119)

Werte – Seitenradar							Wetter				
Datum			ohne Filterung			Filter ≥ 7 km/h			Nieder- schlag (mm)	Temp. (°C)	Sonnen- schein- dauer (%)
			(+)	(-)	Gesamt	(+)	(-)	Gesamt			
Jän	17	Do	363	416	779	235	294	529			
Jän	18	Fr	1134	991	2125	676	567	1243	2,1	2,9	0
Jän	19	Sa	688	612	1300	379	339	718	0	-1	0
Jän	20	So	572	532	1104	322	299	621	0	0,3	94
Jän	21	Mo	1301	1161	2462	805	709	1514	0	0,1	0
Jän	22	Di	1419	1218	2637	908	760	1668	0	-1	13
Jän	23	Mi	1140	1011	2151	566	490	1056	2,16	-2,8	0
Jän	24	Do	1298	1164	2462	740	631	1371	0,2	-0,6	18
Jän	25	Fr	1204	1060	2264	695	621	1316	0	-2	77
Jän	26	Sa	698	670	1368	367	361	728	0	-2,5	36
Jän	27	So	467	479	946	242	233	475	0	-0,3	19
Jän	28	Mo	863	658	1521	509	361	870			

Die Wetterdaten während der Messungen wurden aus den Daten der Dauermessstationen entnommen und sind in Abbildung 32 zusammengefasst. Im Zusammenhang zwischen der Temperaturkurve und dem Niederschlag lässt sich erkennen, dass an zwei Tagen der Messung Schnee fiel (23.01 und 23.02). Bei beiden Messdurchläufen wurde an der Körösisstraße gemessen. Da es hier insgesamt 4 Messperioden gibt, werden für die Auswertung (Verkehrsstärke) die Tage gemittelt. Durch diesen Schritt werden kurzzeitige Einflüsse, wie der Schneefall, abgemildert. Je mehr Messdaten zur

Verfügung stehen, desto genauere Aussagen können bei der Auswertung getroffen werden. Im Falle dieser Arbeit wurde im Winter/Frühjahr gemessen, somit in den verkehrsrärmsten Monaten. Da sich, aufgrund fehlender Rohdaten seitens BC kein Einfluss durch das Wetter ableiten lässt und ohnehin ein gemittelter Wert über drei Jahre ist, wird im Zuge dieser Arbeit jener Mittelweg gewählt.

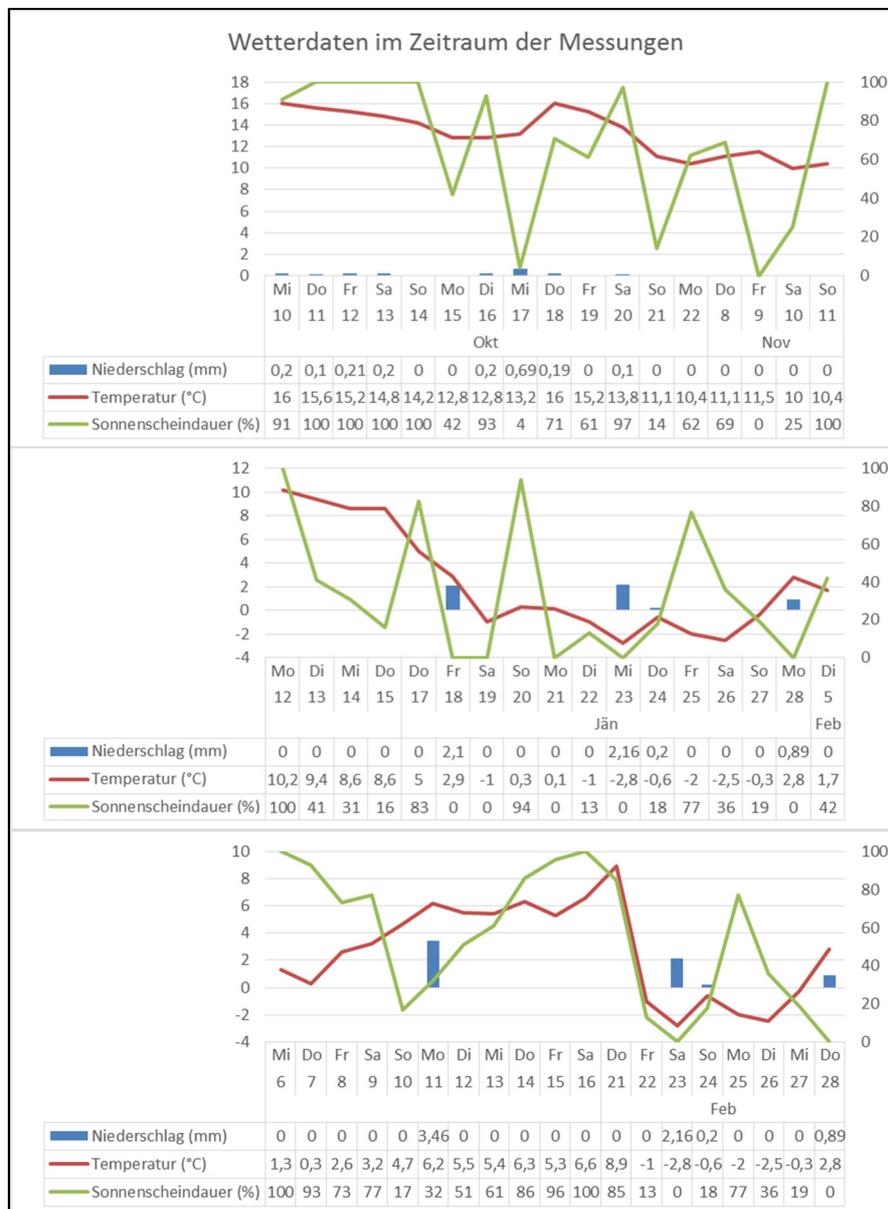


Abbildung 32 Wetterdaten im Zeitraum der durchgeführten Messungen. Achse links: Temperatur und Niederschlag, Achse rechts: Sonnenscheindauer

Nach der Graphischen Darstellung und Beurteilung der Werte wird auch jeweils eine einfache Varianzanalyse (ANOVA), auch zwei-Stichproben-F-Test, der Messwerte durchgeführt. Für diese gilt die Nullhypothese H_0 . Darunter versteht sich, dass zwischen zwei Gruppen von Daten ($k = 2$) mit jeweils 7 Tagen ($n_1 = n_2 = 7$) kein Unterschied besteht (Gleichheit von Sachverhalten). In Bezug auf diese Auswertung wird die Varianz an den Wochentagen zueinander untersucht.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

mit H_0 ... Nullhypothese = Durchschnittsergebnisse der Wochenganglinien sind gleich

mit μ_1 ... Erwartungswert des Testergebnisses des ersten Datensatzes

mit μ_2 ... Erwartungswert des Testergebnisses des zweiten Datensatzes

Zu Beginn werden die Mittelwerte und die Varianzen der beiden Datensätze ermittelt:

$$\bar{y}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{j=1}^{n_1} y_{1j} \text{ und } s_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{j=1}^{n_1} (y_{1j} - \bar{y}_1)^2$$

und

$$\bar{y}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} y_{2j} \text{ und } s_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (y_{2j} - \bar{y}_2)^2$$

Als Prüfgrößen dienen die mittleren Abweichungsquadrate (bereits umgeformt):

$$MQA = n_1(\bar{y}_1 - \bar{y})^2 + n_2(\bar{y}_2 - \bar{y})^2$$

und

$$MQR = \frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1 + n_2 - k}$$

Für die Berechnung der Testgröße werden die Abweichungsquadrate dividiert und ergeben eine Zufallsvariable mit einer $F_{k-1, n-k}$ Verteilung mit der Anzahl der Datensätze k und Anzahl der Messwerte (Tage pro Woche) n . Bei einem F-Quantil zum Fehler 1. Art mit 5% kann die Irrtumswahrscheinlichkeit in der sogenannten Fischer-Tafel nachgeschlagen werden.

$$F = \frac{MQA}{MQR}$$

Liegt der Wert für F unter der Irrtumswahrscheinlichkeit (Signifikanzniveau) ist die Hypothese bestätigt. Liegt der Wert darüber kann davon ausgegangen werden, dass die Varianz zu groß ist und keine ähnliche Verteilung vorliegt.

4.2.1 Wochenganglinie

Innerhalb dieses Kapitels werden die verschiedenen Datenquellen hinsichtlich ihrer Wochenganglinie verglichen. Für alle drei Messpunkte sind jeweils Daten von BC und dem Seitenradar vorhanden. Am Messpunkt Körösistraße kann auch die nah gelegene Dauermessstation ausgewertet werden. Die BC-Daten wurden aus dem Analytics Tool entnommen. Hierfür lässt sich der Tageswert je Wochentag auslesen. Für die Gegenüberstellung mit den Seitenradarwerten wurde aus diesen ein Mittelwert aus allen gemessenen Tagen verwendet. Dies soll auch die Einwirkung von Wetter (Schneefall, Regen, etc.) glätten.

Marburger Kai:

Am Marburger Kai stehen Seitenradar Daten einer ganzen Woche zur Verfügung. Im Vergleich zwischen BC-Daten und Seitenradar lässt sich in beiden Verläufen (siehe Abbildung 33) zum einen eine Abnahme der Verkehrsstärke gegen Wochenende erkennen, zum anderen wird die Fahrtrichtung stadteinwärts (+) stärker befahren als die Fahrtrichtung stadtauswärts (-). Bei der Auswertung mittels einfacher Varianzanalyse lässt sich eine hohe Abweichung zur Nullhypothese erkennen. Mit $F_{1,5} = 6,608 < 67,547$ für Fahrtrichtung (+) und $F_{1,5} = 6,608 < 76,929$ für Fahrtrichtung (-) ergibt sich ein hoher Fehleranteil. Damit wird nicht davon ausgegangen, dass an diesem Messpunkt die Wochenganglinie aus den BC-Daten jener der gemessenen Wochenganglinie aus dem Seitenradar entspricht.

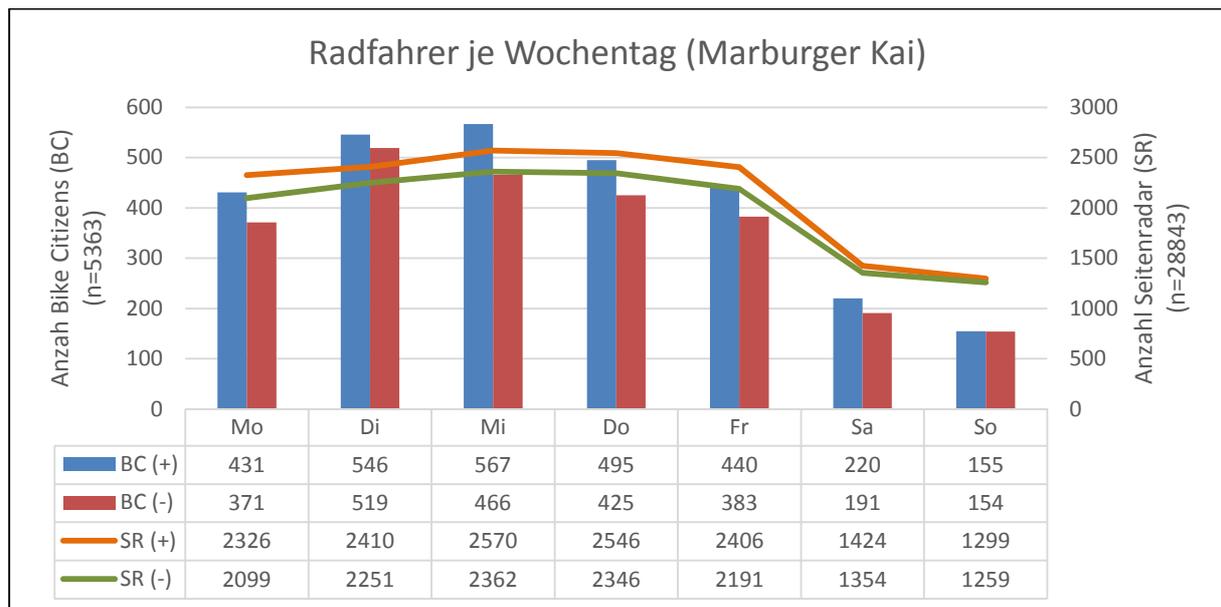


Abbildung 33 Wochenganglinie BC (n=5363) und Seitenradar (n=28843) – Marburger Kai

Tabelle 10 Anteil Daten BC (n=5363) zu Seitenradar (n=28843) je Wochentag – Marburger Kai

Aus den Verhältnissen der Zahlenwerte in Tabelle 10 lässt sich der Anteil ablesen, welchen BC innerhalb 3 Jahre an dieser Stelle erreicht hat. Somit bilden die Daten, welche innerhalb dieser Jahre gesammelt wurden, rund 12-23 % des gesamten Tagesaufkommens ab. Der Anteil der Fahrten werktags liegt höher und nimmt gegen Wochenende ab. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass der Werksverkehr stärker abgebildet wird als der Wochenends- und Freizeitverkehr. Die geringe Datenmenge seitens BC lässt keine genaueren Aussagen zu.

Wochentag	BC in % zu Seitenradar	
	(+)	(-)
Montag	18,53	17,68
Dienstag	22,66	23,06
Mittwoch	22,06	19,73
Donnerstag	19,44	18,12
Freitag	18,29	17,48
Samstag	15,45	14,11
Sonntag	11,93	12,23

Oper Innenstadtring:

An dieser Messstelle wurde mittels Seitenradar eine ganze Woche durchgehend gemessen. Die graphische Auswertung (siehe Abbildung 34) weist auf eine stärkere Befahrung in Fahrtrichtung stadtauswärts (-) hin. Interessanterweise deckt sich das nicht mit der vorhandenen Längsneigung, wenn angenommen wird, dass dieser Abschnitt bevorzugter bergab als bergauf gefahren wird. Tatsächlich fahren mehr Personen die Steigung hinauf als hinunter. Möglicherweise zieht der nahegelegene Stadtpark Radfahrer über diese Strecke an. Zusätzlich ist eine starke Abweichung der Verkehrsstärke am Sonntag in beiden Datensätzen zu erkennen. Die Auswertung mit der einfachen Varianzanalyse zeigt eine hohe Abweichung zur Nullhypothese. Mit $F_{1,5} = 6,608 < 47,817$ für Fahrtrichtung (+) und $F_{1,5} = 6,608 < 59,637$ für Fahrtrichtung (-) ergibt sich ein, im Gegensatz zu Marburger Kai geringerer, aber dennoch hoher Fehleranteil. Damit kann nicht davon ausgegangen werden, dass an diesem Messpunkt die Wochenganglinie aus den BC-Daten jener der gemessenen Wochenganglinie aus dem Seitenradar korrelieren.

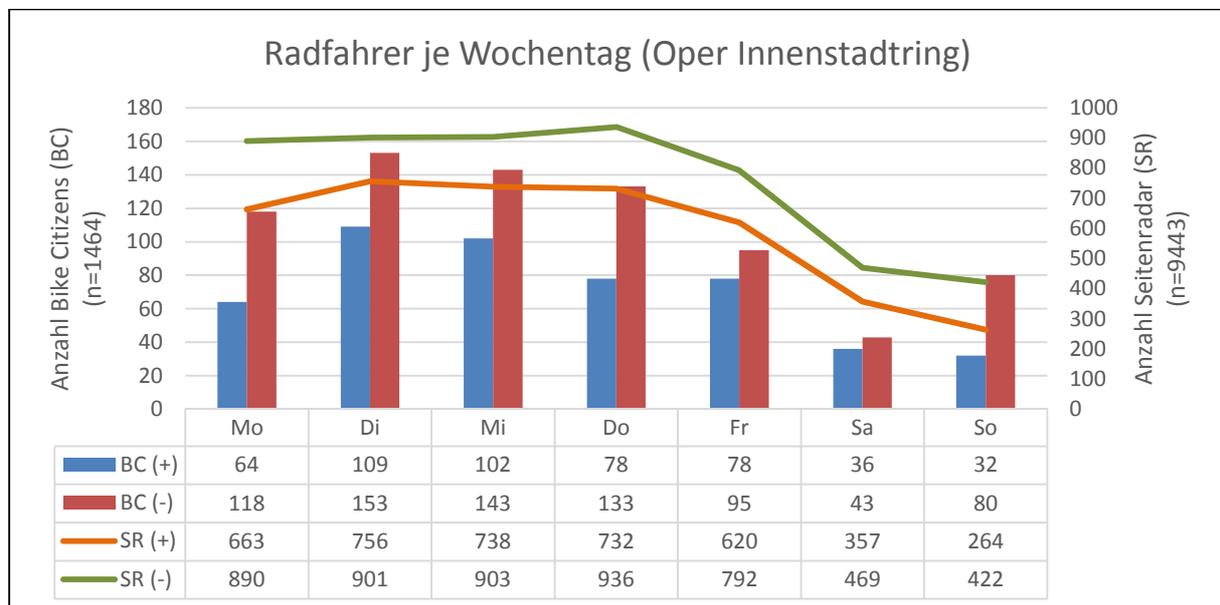


Abbildung 34 Wochenganglinie BC (n=1464) und Seitenradar (n=9443) – Opernring

Tabelle 11 Anteil Daten BC (n=1464) zu Seitenradar (n=9443) je Wochentag – Oper Innenstadtring

Wie in Tabelle 11 zu sehen, bilden die BC-Daten rund 9-19 % des gesamten Tagesaufkommens ab. Wobei der Anteil im Gegensatz zum Messpunkt Marburger Kai geringer ist. Auch hier lässt sich das Gefälle zwischen Werktags- und Wochenendesverkehr erkennen. Auf Grund des nah situierten Stadtparks erscheint der Anstieg am Sonntag plausibel (Freizeitverkehr) zu sein. Die geringe Datenmenge seitens BC lässt keine genaueren Aussagen zu.

Wochentag	BC in % zu Seitenradar	
	(+)	(-)
Montag	9,65	13,26
Dienstag	14,42	16,98
Mittwoch	13,82	15,84
Donnerstag	10,66	14,21
Freitag	12,58	11,99
Samstag	10,08	9,17
Sonntag	12,12	18,96

Körösstraße:

Da es hier insgesamt vier Messdurchgänge gab (1. Messdurchgang + 3 Folgemessungen), wurden hier die jeweiligen Wochentage gemittelt. Dies wurde auch seitens Dauermessstation durchgeführt. Dadurch werden Schwankungen durch das Wetter auf beiden Seiten geglättet. Im Grunde sollten beide Messgeräte dieselben/ähnlichen Ergebnisse liefern. An dieser Messstelle lässt sich abermals der Unterschied zwischen Werks- und Wochenendsverkehr erkennen (siehe Abbildung 35). Weiters zeigen beide Datensätze eine stärkere Befahrung der Fahrtrichtung stadteinwärts (+). Die Auswertung der einfachen Varianzanalyse zeigt abermals eine hohe Abweichung zur Nullhypothese. Mit $F_{1,5} = 6,608 < 35,387$ für Fahrtrichtung stadteinwärts (+) und $F_{1,5} = 6,608 < 46,595$ für Fahrtrichtung stadtauswärts (-) ergibt sich zwar der geringste Fehleranteil aller Messungen, liegt jedoch immer noch weit über dem Schwellwert. Damit kann davon ausgegangen werden, dass die BC-Daten an diesem Messpunkt nicht die Wochenganglinie des Seitenradars abbilden.

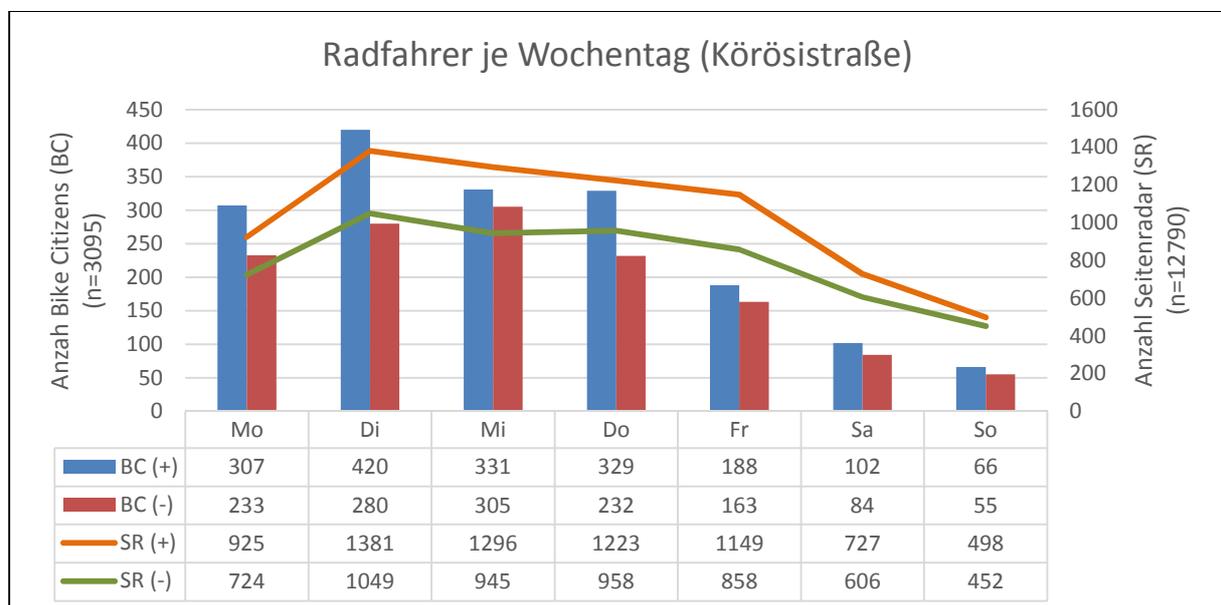


Abbildung 35 Wochenganglinie BC (n=3095) und Seitenradar (n=12790) – Körösstraße

Tabelle 12 bildet das Verhältnis zwischen Seitenradar und der Dauermessstation ab. Im Grunde sollten die Werte möglichst 100 % erreichen, da dann dieselbe Menge an Radfahrern mit dem Seitenradar und der Dauermessstation gemessen wurde. Wie zu erkennen, schwanken die Bereiche in beide Richtungen. Der Mittelwert aller Prozentzahlen liegt bei 98,24 %. Laut Tabelle 13 lässt sich ein höherer Anteil an BC-Daten gegenüber der anderen Messpunkte erkennen. Dieser liegt zwischen rund 12-33 % und ist damit anteilmäßig um einiges höher als etwa bei Messpunkt Marburger Kai oder Oper Innenstadtring. Wieder bilden die BC-Daten den Werktagsverkehr stärker als den Wochenendsverkehr ab.

Tabelle 12 Anteil Seitenradar (n=12790) zu Dauermessstation (n=13544) je Wochentag - Körösistraße

Wochentag	Seitenradar in % zu Dauermessstation	
	(+)	(-)
Montag	79,35	69,61
Dienstag	101,69	86,03
Mittwoch	107,22	83,85
Donnerstag	93,14	78,61
Freitag	109,08	92,80
Samstag	126,09	116,76
Sonntag	116,96	114,13

Tabelle 13 Anteil Daten BC (n=12790) zu Seitenradar (n=12790) je Wochentag - Körösistraße

Wochentag	BC in % zu Seitenradar	
	(+)	(-)
Montag	33,20	32,20
Dienstag	30,42	26,70
Mittwoch	25,55	32,28
Donnerstag	26,90	24,22
Freitag	16,37	19,00
Samstag	14,03	13,86
Sonntag	13,25	12,16

Bei der Gegenüberstellung der Daten aus dem Seitenradar und der Dauermessstation liegt das Signifikanzniveau im Bereich des Schwellenwertes. Mit $F_{1,5} = 6,608 > 0,006$ für Fahrtrichtung stadteinwärts (+) und $F_{1,5} = 6,608 > 0,431$ für Fahrtrichtung stadtauswärts (-) bestätigt sich die Nullhypothese für diese Datensätze. Dadurch bestätigt sich auch die Wahl des Filterkriteriums.

In den folgenden zwei Abbildungen wurde, wie für die Wochentagwerte des Seitenradars, die zugehörigen Tage aus der Dauermessstation gemittelt und mit denen des Seitenradars graphisch gegenübergestellt.

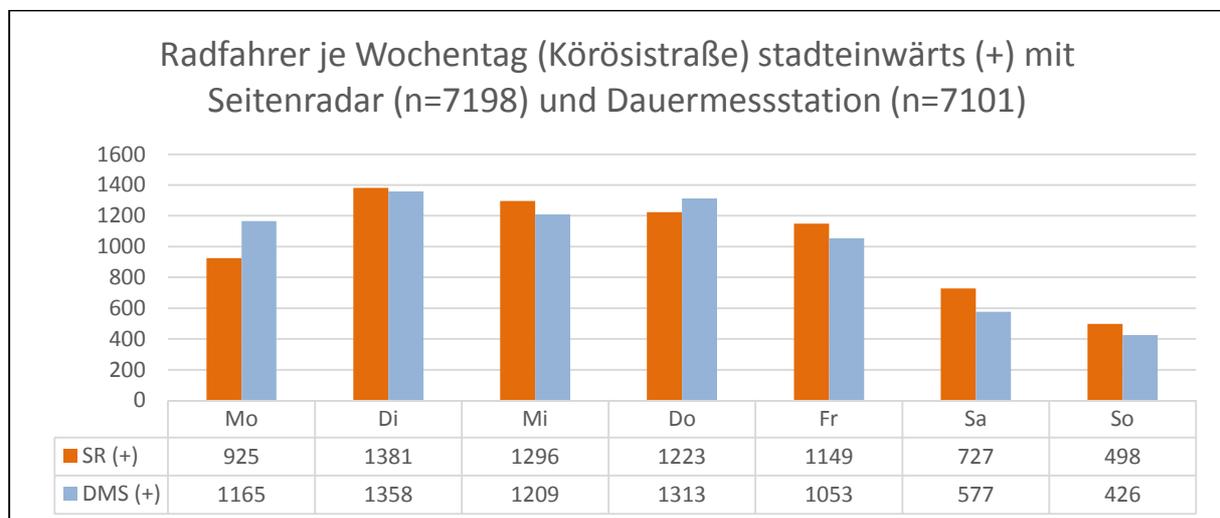


Abbildung 36 Radfahrer je Wochentag (+) vergleich Seitenradar (n=7198) zu Dauermessstation (n=7101) – Körösistraße

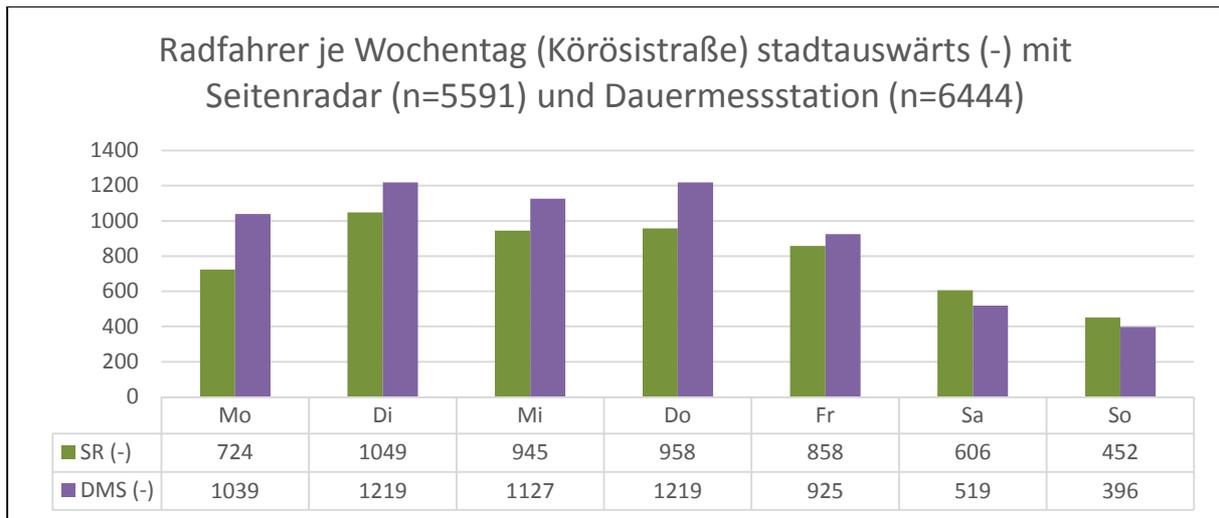


Abbildung 37 Radfahrer je Wochentag (-) vergleich Seitenradar (n=5591) zu Dauermessstation (n=6444) – Körösisstraße

4.2.2 Geschwindigkeitsprofil

Für die Erstellung der Geschwindigkeitsprofile wurden alle gefilterten Messdaten unabhängig von Wochentag oder Beginn der Aufzeichnung verwendet. Die Normalverteilung der Geschwindigkeit wird grafisch abgebildet. Die durchschnittliche Geschwindigkeit konnte aus dem Analytics Tool für einen Vergleich mit BC ausgelesen werden.

Marburger Kai:

Die durchschnittliche Geschwindigkeit aus den BC-Daten lässt sich nicht vollständig nachproduzieren, nähert sich jedoch den Messergebnissen mit geringer Abweichung an. An dieser Messstelle liefert BC für Fahrtrichtung stadteinwärts (+) = 15,90 km/h (diff: 3,45 km/h) und stadtauswärts (-) = 16,64 km/h (diff: 1,91 km/h).

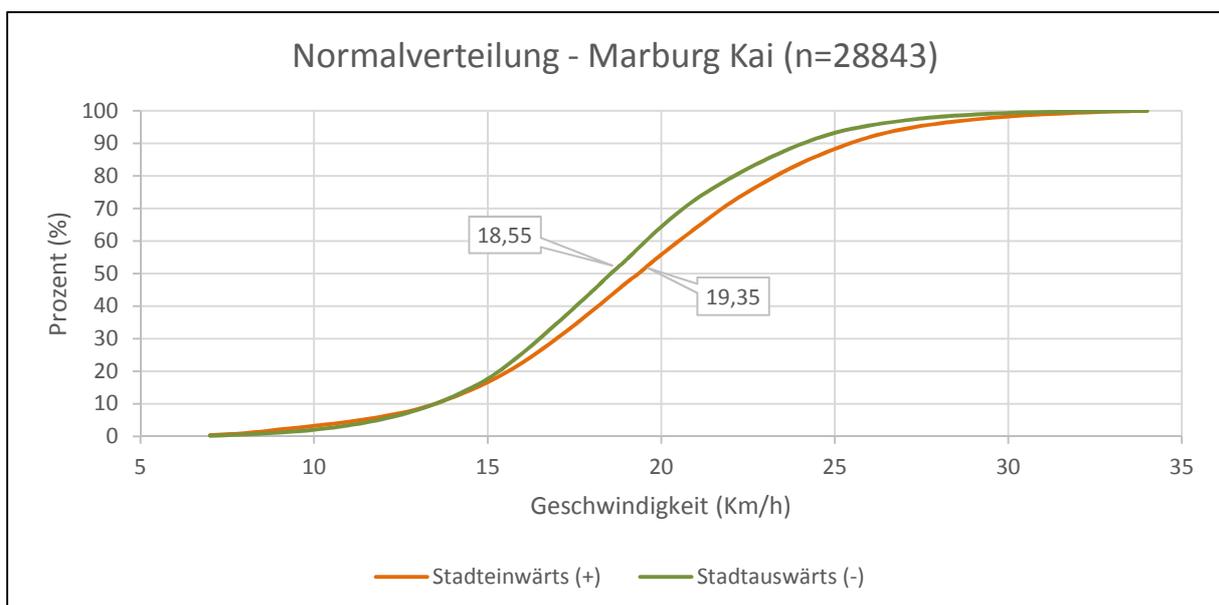


Abbildung 38 Normalverteilung Seitenradar (n=28843) – Marburger Kai

Betrachtet man die Verteilung der Summenkurve der jeweiligen Fahrrichtungen (Abbildung 38), erkennt man in der Fahrtrichtung (+) einen leicht erhöhten Anteil in den niedrigen Geschwindigkeitsbereichen. In Fahrtrichtung (-) wird anteilmäßig häufiger in Freifahrtgeschwindigkeit gefahren. Dies deutet auf ein „Hindernis“ in Richtung (+) hin – wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben, gibt es einen Schutzweg und eine Abbiegemöglichkeit, welche die Abweichung in der Verteilung erklären. Zusätzlich muss in Richtung stadtauswärts (-) an der Erzherzog-Johann-Brücke nach einer Kreuzung mit VLSA erst wieder beschleunigt werden. Eine Abweichung (wie in Abbildung 29 beschrieben) wurde zwar nicht überprüft, wäre für die Fahrtrichtung (+) aber genauso denkbar. Fast an jedem Tag des Messdurchlaufs fiel Niederschlag im Bereich von 0,1-0,69 mm ($\bar{\varnothing}$ 0,19 mm) bei Temperaturen zwischen 12,8-16,0 °C ($\bar{\varnothing}$ 14,51 °C).

Oper Innenstadtring:

Die durchschnittliche Geschwindigkeit aus den BC-Daten lässt sich zum Teil nachvollziehen und nähert sich nur in Fahrtrichtung (+) den Messergebnissen an. An dieser Messstelle liefert BC für Fahrtrichtung stadteinwärts (+) = 15,90 km/h (diff.: 0,80 km/h) und stadtauswärts (-) = 16,64 km/h (diff.: 2,81 km/h). Das Längsgefälle ist in beiden Datensätzen zu erkennen. Die Differenz von 2,81 km/h liegt in der Bergabfahrt vor. Eine Erklärung dafür könnte im Betrachtungszeitraum liegen. Da die BC-Daten einen Zeitraum von drei Jahren abbilden und die Seitenradarmessungen nur eine Woche durchgeführt worden sind, fließen gerade in hohem Geschwindigkeitsbereich wetterbedingte Einflüsse mit ein. Während der Messdurchführung gab es keinen Niederschlag und durchschnittliche Temperaturen von rund +10 °C. Bei niedrigen Temperaturen sind Radfahrer meist vorsichtiger und langsamer unterwegs.

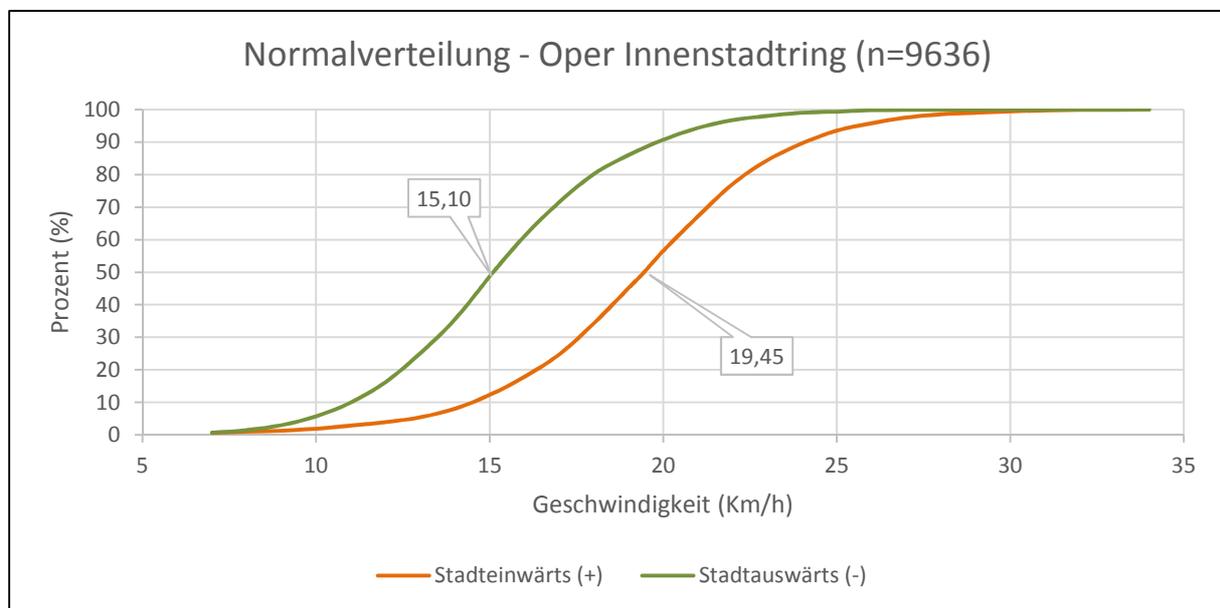


Abbildung 39 Normalverteilung Seitenradar – Oper Innenstadtring (n=9636)

Abbildung 39 spiegelt die Steigung des Messbereiches wider. Anteilmäßig werden höhere Geschwindigkeiten in Fahrtrichtung stadteinwärts (+) gefahren. Das deckt sich mit der tatsächlich vorliegenden Längsneigung der Strecke im Messbereich.

Körösstraße:

Die durchschnittliche Geschwindigkeit aus den BC-Daten lässt sich nahezu vollständig nachproduzieren und nähert sich den Messergebnissen an. An dieser Messstelle liefert BC für Fahrtrichtung stadteinwärts (+) = 14,19 km/h (diff.: 0,96 km/h) und stadtauswärts (-) = 15,26 km/h (diff.: 1,19 km/h). Während der Messdurchführungen herrschten zum Teil Minusgrade. Auch gab es vereinzelt Schneefall.

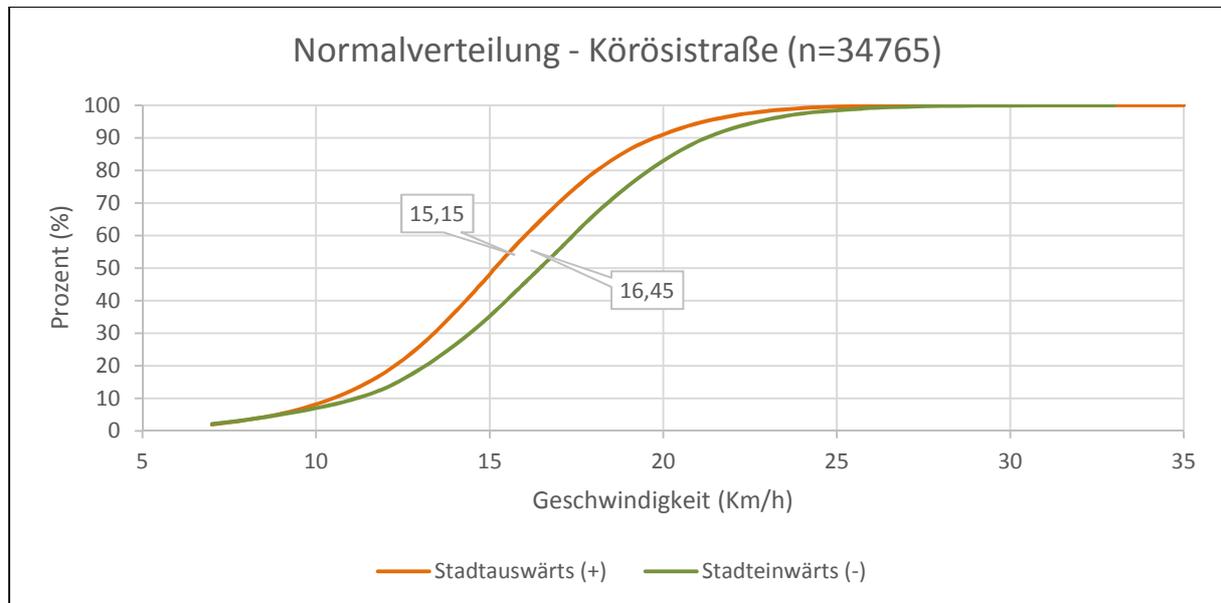


Abbildung 40 Normalverteilung Seitenradar – Körösstraße (n=34765)

Auch in Abbildung 40 spiegelt das Ergebnis die Gegebenheiten wider. In Fahrtrichtung stadteinwärts (+) wird auf eine große Kreuzung zugefahren. Dabei fahren viele Radfahrer mit reduzierter Geschwindigkeit um an der Kreuzung zu halten. Andererseits, von der Kreuzung kommend, wird beschleunigt. Da die Geschwindigkeit von dieser Seite aus kaum oder nur selten (abbiegen in Wartingergasse) verringert wird, bildet sich ein größerer Anteil mit höherer Reisegeschwindigkeit ab. Zusätzlich muss die in Abbildung 29 erwähnte Ungenauigkeit in Fahrtrichtung stadtauswärts (-) bedacht werden, da sich diese auf die Menge der erfassten Objekte auswirkt und somit die Werte beeinflusst.

4.2.3 Stundenganglinie

Aus dem Analytics-Tool lässt sich auslesen, wie viele Radfahrer je Stunde den Messquerschnitt durchquert (und getrackt) haben. Jedoch lässt sich nicht nach Tag und Uhrzeit filtern. Daher wurden die BC Tagesdaten auf sieben Tage geteilt. Im Gegensatz zu den Werten des Seitenradars, lässt sich kein Unterschied zwischen Werk- und Wochenendsverkehr seitens BC erkennen. Ein Vergleich zu der Dauermessstation konnte nicht angestellt werden, da hier nur Tageswerte verfügbar sind.

Die Eingangsdaten des Seitenradars wurden mit dem bekannten Geschwindigkeitsfilter (≥ 7 km/h) gefiltert. Für die Interpretation der folgenden Abbildungen muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den BC-Daten aus dem Analytics-Tool um einen Messzeitraum von drei Jahren handelt und dieser mit den Seitenradar Daten aus einem Zeitraum von 1-3 Wochen verglichen wird.

Körösstraße

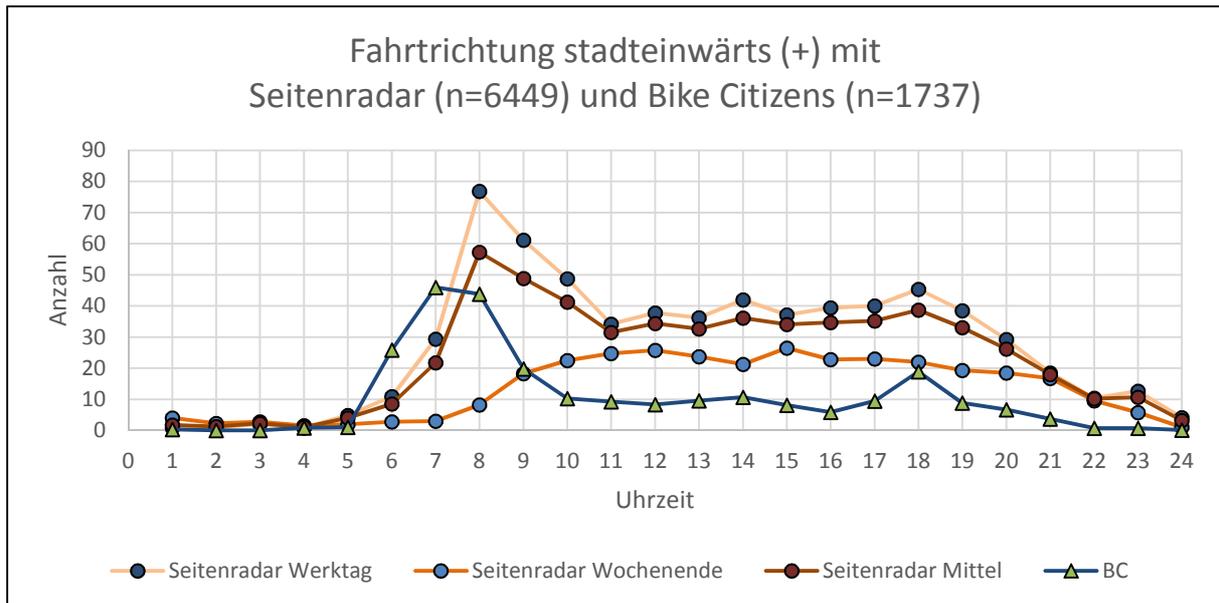


Abbildung 41 Körösstraße: Stundenganglinie (+) Seitenradar (n=6449) und Bike Citizens (n=1737)

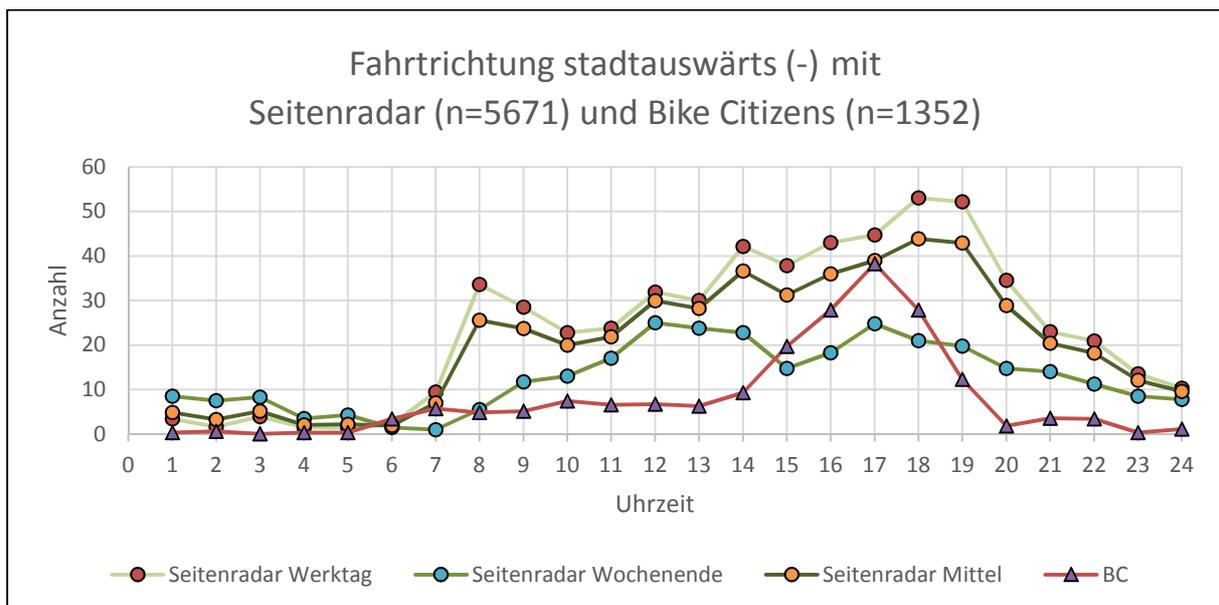


Abbildung 42 Körösstraße: Stundenganglinie (-) Seitenradar (n=5671) und Bike Citizens (n=1352)

Auffällig ist, dass sich Radfahrer häufig morgens Richtung Stadtzentrum und abends Richtung Stadtauswärts tracken. Wo sich in Abbildung 41 noch eine kleine Verkehrsspitze um 18 Uhr bildet, bildet sich diese Spitze in Abbildung 42 einmal am Abend aus. Ähnliches lässt sich beim Seitenradar erkennen. Es folgen die Grafiken der weiteren Messpunkte:

Marburger Kai

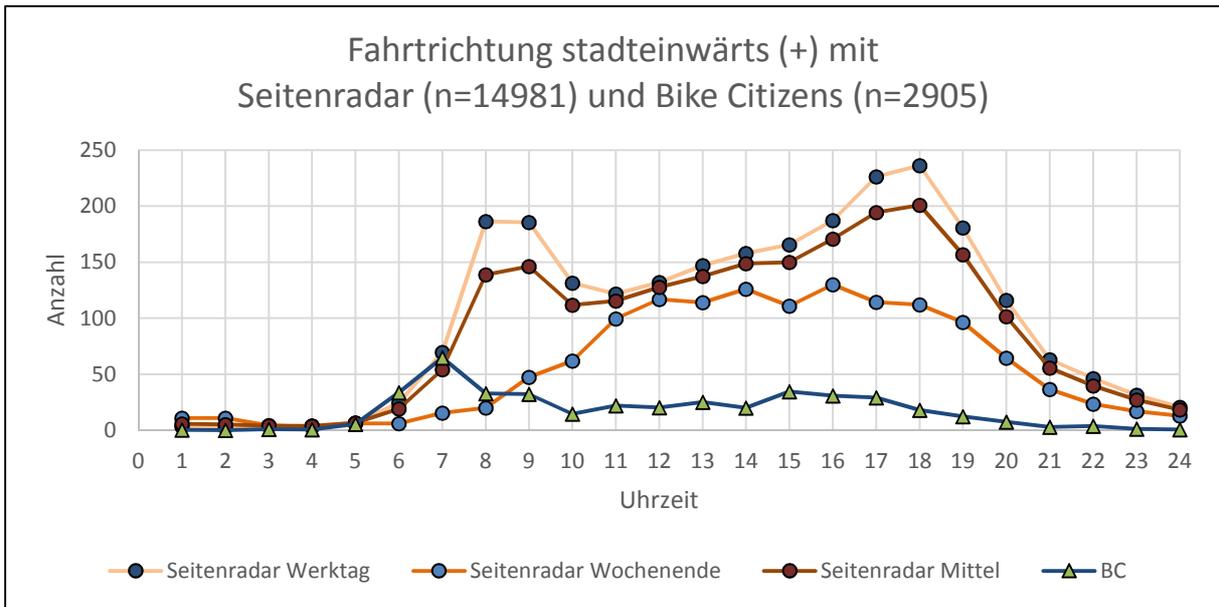


Abbildung 43 Marburger Kai: Stundenganglinie (+) Seitenradar (n=14981) und Bike Citizens (n=2905)

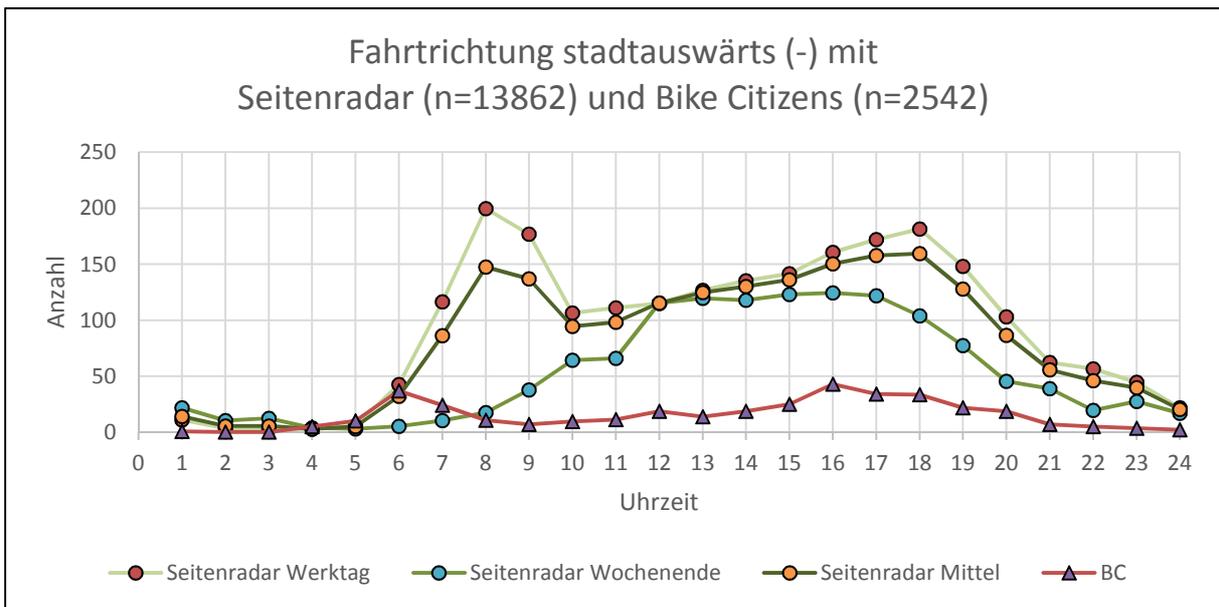


Abbildung 44 Marburger Kai: Stundenganglinie (-) Seitenradar (n=13862) und Bike Citizens (n=2542)

Durch die geringe Datengrundlage seitens BC lässt sich keine sinnvolle Stundenganglinie erkennen. Lediglich die morgendliche Verkehrsspitze bildet sich etwas ab. Das Seitenradar detektiert die üblichen morgen- und abendlichen Verkehrsspitzen.

Oper Innenstadttring

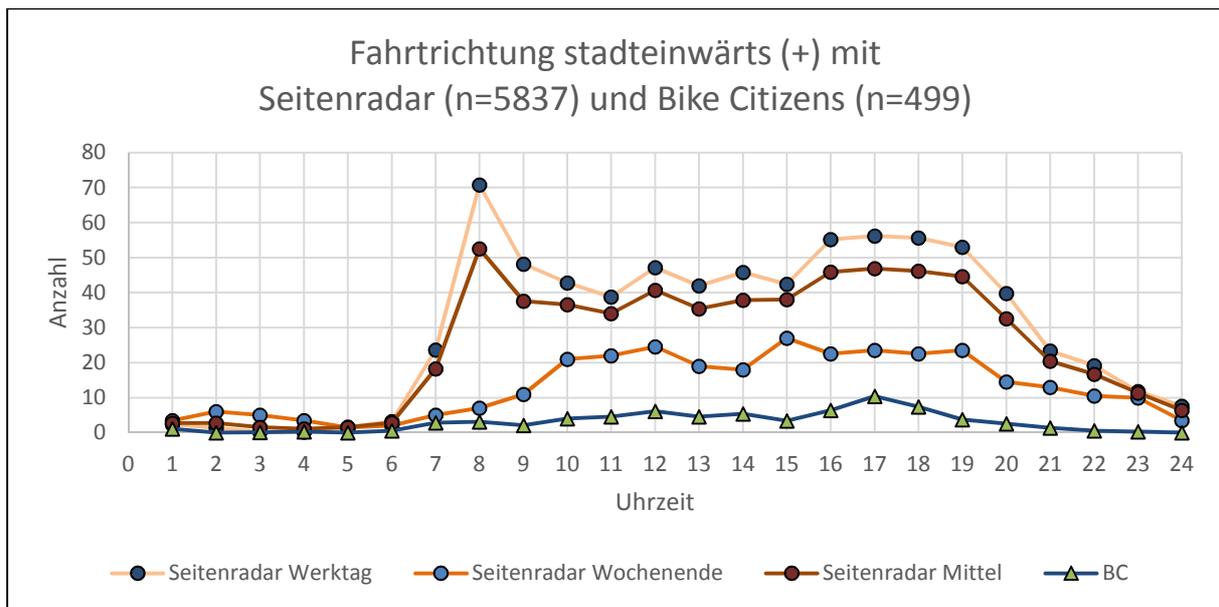


Abbildung 45 Oper Innenstadttring: Stundenganglinie (+) Seitenradar (n=5837) und Bike Citizens (n=499)

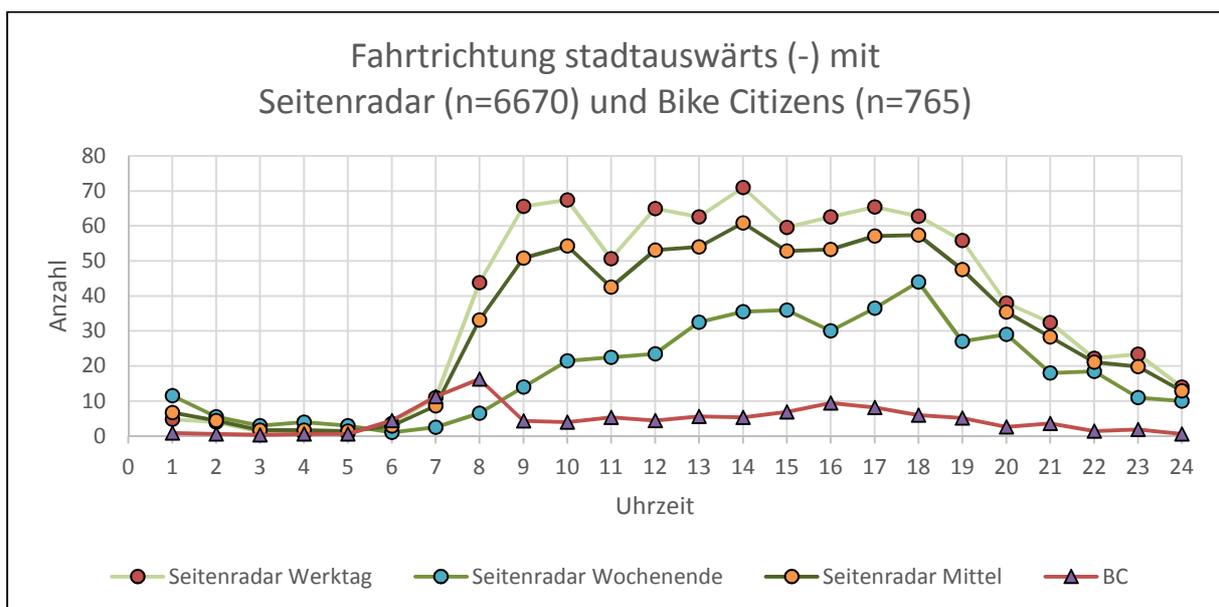


Abbildung 46 Oper Innenstadttring: Stundenganglinie (-) Seitenradar (n=6670) und Bike Citizens (n=765)

Auch hier liegen zu wenige BC-Werte vor um eine Auswertung durchführen zu können.

4.2.4 Hochrechnungsfaktor

Nach Francke & Lißner (Francke & Lißner, 2017) erhöht sich die Prognosesicherheit für einen Hochrechnungsfaktor mit der Dauer der Zählung. Da am Messpunkt Körösisstraße die meisten Werte zur Verfügung stehen, wäre diese für die Berechnung eines Faktors geeignet. Der Wert ergibt sich aus

den Mittelwerten des Quotienten des Seitenradars und BC-Werte (auf Stundenbasis – siehe Kapitel 7.4 im Anhang).

Durch die nicht repräsentativen Uploads hinsichtlich Menge und Zeitpunkt ist davon auszugehen, dass eine Hochrechnung mit dieser Datengrundlage nicht möglich ist. Anhand des Beispiels der Superuser, welche häufig dieselben Routen tracken, würden im Falle einer Hochrechnung diese Routen überrepräsentiert werden. Die unterschiedliche Verteilung der gefahrenen Tracks je Wochentag spiegeln nicht die realen Verhältnisse wider.

Körösstraße

Hierfür wurde der gesamte Datensatz (Erst- und Folgemessung) herangezogen. Dieser enthält bedingt durch die Jahreszeit von Grund auf weniger Fußgänger und wurde mit dem bekannten Filterkriterium (Geschwindigkeit ≥ 7 km/h) gefiltert. Da Daten über mehrere Wochentage zur Verfügung stehen, wurde für den Seitenradar-Mittelwert gleiche Wochentage gemittelt.

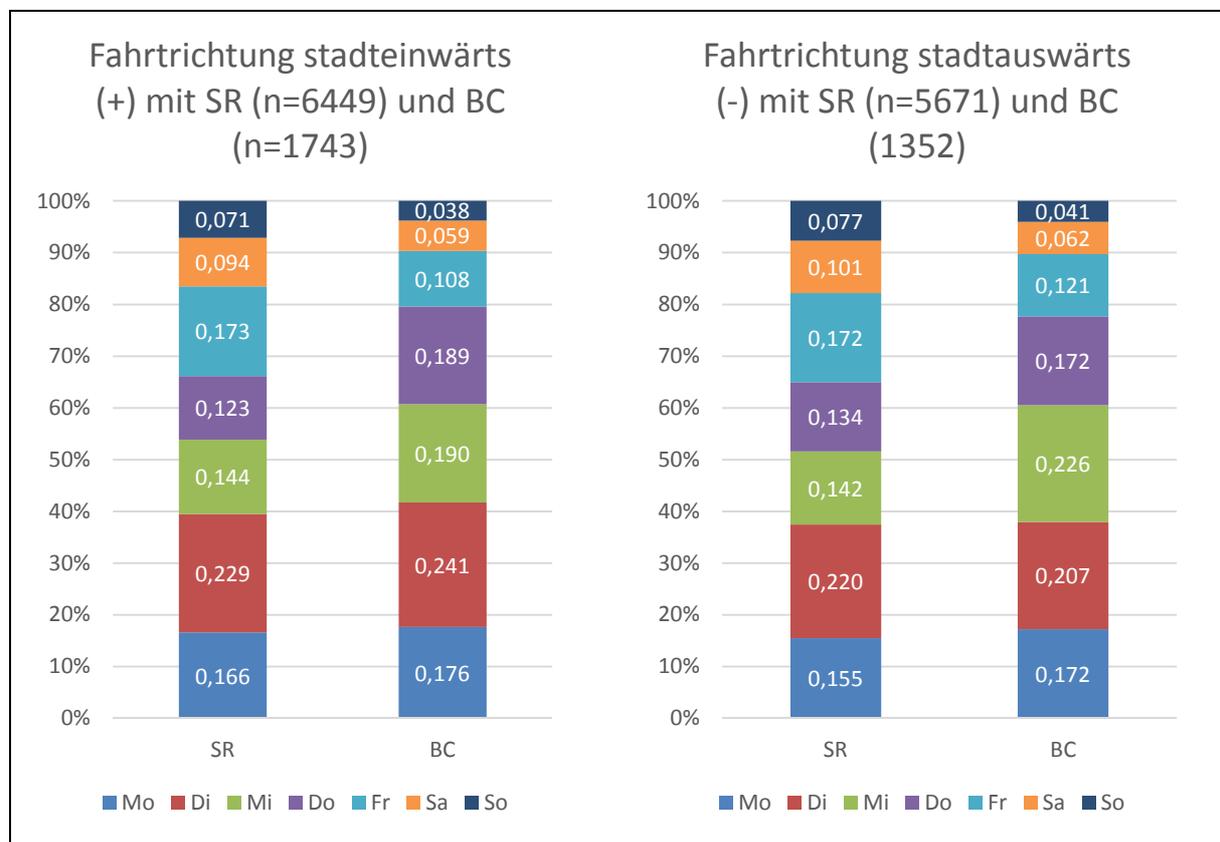


Abbildung 47 Körösstraße: Aufgezeichnete Objekte im Verhältnis zwischen Seitenradar und Bike Citizens Daten, geteilt nach Wochentagen. (+): SR (n=6449) und BC (n=1743); (-): SR (n=5671) und BC (n=1352)

Eine einfache Varianzanalyse bei der Untersuchung der Stundenganglinie zeigt, bei einem Signifikanzniveau im vorliegenden Fall bei einem Fehler 1.Art mit $\alpha = 0,05$ ($F_{1,46} \approx 4,052$), muss die Nullhypothese in beiden Fahrtrichtungen teilweise akzeptiert werden. Die Analyse ergab für die Fahrtrichtung stadteinwärts (+): $5,436 > 4,052$ und stadtauswärts (-): $3,70 < 4,052$. Es kann davon ausgegangen werden, dass die aufgenommenen Tracks ungleich über den Tag verteilt sind und nicht das

tägliche Durchschnittsaufkommen repräsentieren. Einflüsse wie das Fehlen von BC-Rohdaten und der kurze Messzeitraum mit dem Seitenradar fließen ebenso ein.

Marburger Kai

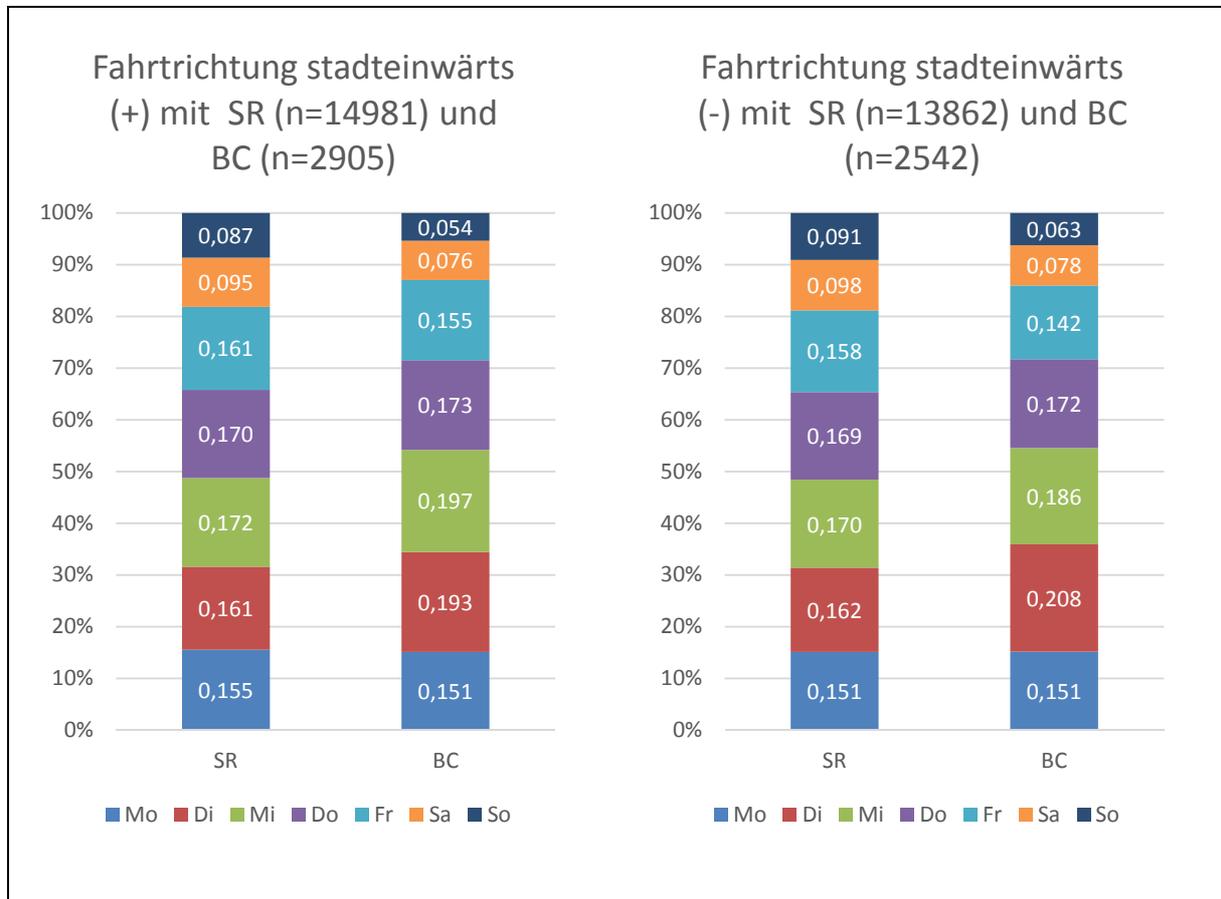


Abbildung 48 Marburger Kai: Aufgezeichnete Objekte im Verhältnis zwischen Seitenradar und Bike Citizens Daten, geteilt nach Wochentagen. (+): SR (n=14981) und BC (n=2905); (-): SR (n=13862) und BC (n=2542)

Bei einem Signifikanzniveau im vorliegenden Fall bei einem Fehler 1.Art mit $\alpha = 0,05$ ($F_{1,46} \approx 4,052$) muss die Nullhypothese in beiden Fahrtrichtungen akzeptiert werden. Die Analyse ergab für die Fahrtrichtung stadteinwärts (+): $1,308 < 4,052$ und stadtauswärts (-): $0,80 < 4,052$.

Oper Innenstadttring

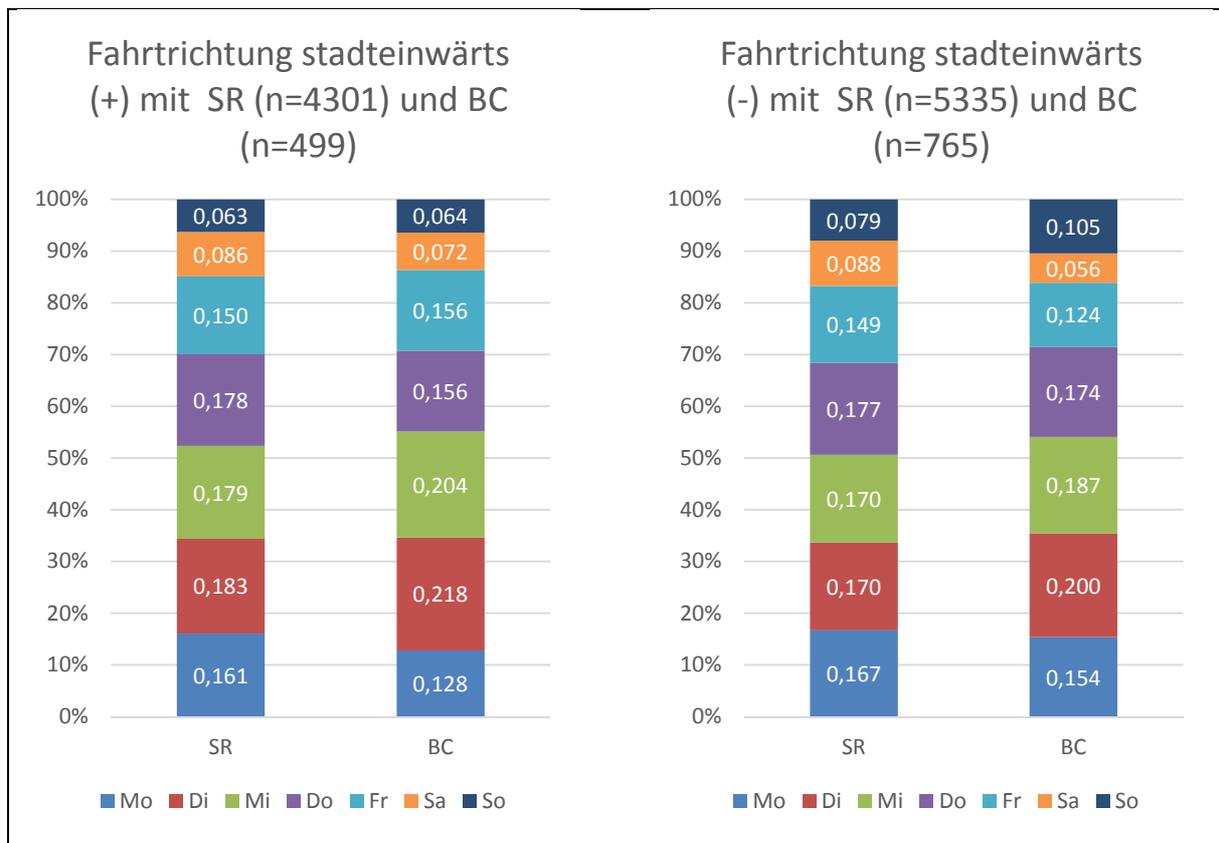


Abbildung 49 Oper Innenstadttring: Aufgezeichnete Objekte im Verhältnis zwischen Seitenradar und Bike Citizens Daten, geteilt nach Wochentagen. (+): SR (n=4301) und BC (n=499); (-): SR (n=5335) und BC (n=765)

Bei selben Signifikanzniveau im vorliegenden Fall bei einem Fehler 1.Art mit $\alpha = 0,05$ ($F_{1,46} \approx 4,052$) ist die Nullhypothese für beide Fahrtrichtungen zu akzeptieren. Die Analyse ergab für die Fahrtrichtung stadteinwärts (+): $0,765 < 4,052$ und stadtauswärts (-): $0,00 < 4,052$.

Fazit: Ohne BC-Rohdaten werden hier mit ungenauen Werten Vergleiche angestellt. Im Grunde lässt sich eine Ähnlichkeit erkennen, da die meisten Analysen innerhalb der Irrtumswahrscheinlichkeit lagen. Ohne Zugriff auf die Rohdaten kann dies jedoch nicht bestätigt werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Dieses Kapitel fasst die durchgeführten Arbeitsschritte der Messdurchführung zusammen. Des Weiteren werden die Schwierigkeiten, welche sich bei der Auswertung ergaben, besprochen und interpretiert. Das Kapitel schließt mit einem Fazit der Thematik Repräsentativität von GPS-Tracks im Fahrradverkehr ab.

5.1 Zusammenfassung

Es wurden nun Messungen mittels Seitenradar durchgeführt und mit Daten aus einer Dauerzählstation und Daten von Bike Citizens auf Korrelation überprüft. Bei den Auswertungen der eigenen Messungen, stellte sich heraus, dass die Montage problematisch ist, da hierfür ein geeigneter Platz gefunden werden muss. Zusätzlich wird die Messung stark von Fußgängern beeinflusst. Die Montage über Kopf, wie sie bei den Dauermessstationen gegeben ist, verringert diesen Einfluss (z.B. Verschattung). In beiden Fällen muss dennoch mittels Filterung die detektierten Fußgänger entfernt werden, da das Gerät Objekte nur durch Parameter wie Geschwindigkeit und Länge unterscheiden kann. Hier stellte sich die Länge als unzureichend heraus, da die Unterschiede sehr gering sind. Bessere Ergebnisse lieferte die Filterung nach Geschwindigkeit. Ein Schwellenwert von ≥ 7 km/h lieferte realitätsnahe Resultate, welche sich in Handzählung großteils reproduzieren lassen. Die Abweichung zwischen Handzählung und der Seitenradarmessung belief sich beim Messpunkt „Körösisstraße“ im Bereich von rund 4% in Fahrtrichtung stadteinwärts (+) und rund 10% in Fahrtrichtung stadtauswärts (-). Für genauere Werte müssten Folgemessungen an verschiedenen Dauermessstationen mittels Videodetektion durchgeführt werden. Im Grunde lässt sich die **erste Forschungsfrage** (Richtigkeit der Dauermessstation) zum größten Teil positiv beantworten. Es muss in Betracht gezogen werden, dass bei dieser Messmethode gefiltert werden muss und je nach Filterung das Endergebnis beeinflusst wird. Die Werte der Dauermessstation „Körösisstraße“ konnten durch die eigenen Messungen annäherungsweise nachgebildet werden und wirken stimmig. Ohne Zugang zu den Rohdaten seitens Sierzega kann jedoch keine genauere Aussage getroffen werden.

Hinsichtlich Bike Citizens wurde auf Informationen zurückgegriffen, welche über deren Analytics-Tool auszulesen waren. Für die Bearbeitung dieser Arbeit standen seitens BC keine Rohdaten zur Verfügung (Ausnahme Kapitel 3.1.1 - Weglängen). Der von der TU Graz zur Verfügung gestellte Datensatz zeigt im Vergleich mit Rohdaten von „Österreich Unterwegs“ übereinstimmende Ergebnisse hinsichtlich Wegelängen. Um die **zweite Forschungsfrage** (Hochrechnungsfaktor) zu beantworten, wurde die Verteilung der Track je Wochentag und Stunde mit den Daten aus dem Seitenradar verglichen. Zusätzlich wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Die Nullhypothese (Mittelwerte der beiden Datensätze) kann Großteiles bestätigt werden. Es weist darauf hin, dass Nutzer der App bevorzugt zu jenen Uhrzeiten tracken, welche einer realen Verteilung entsprechen. Der Einfluss von Superusern kann ohne Rohdaten jedoch nicht untersucht werden. Die Hochrechnung einer überrepräsentierten Route müsste zuvor innerhalb der Rohdaten gefunden und gewichtet/angepasst werden. Somit lässt sich die Frage mit einem „nein“ beantworten. Aufgrund der jetzigen Datengrundlage lässt sich kein Hochrechnungsfaktor auf andere Streckenabschnitte anwenden.

Das Geschwindigkeitsprofil konnte mit den eigenen Messungen rekonstruiert werden und entspricht nahezu der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit. Auch Eigenheiten im Einflussbereich des Streckenabschnittes, wie Kreuzungen oder Längsneigungen spiegelten sich in den Ergebnissen wider. Die **dritte Forschungsfrage** (Geschwindigkeitsprofil) lässt sich somit mit „ja“ beantworten. Bike Citizens

kann das Geschwindigkeitsprofil an drei verschiedenen Messpunkten innerhalb der Innenstadt abbilden.

5.2 Entwicklung des BC-Datensatzes

Als Teil dieses Kapitels werden Empfehlungen aus einer bereits abgeschlossenen Masterarbeit, welche ebenso in Kooperation mit Bike Citizens verfasst wurde, auf ihren aktuellen Fortschritt hin analysiert. Pühringer gab als Empfehlung zur Weiterentwicklung der Bike Citizens Daten folgendes an (Pühringer, 2017, S. 100):

1. Zielunterscheidung und Kategorisierung der Nutzer in Profile: Da mit dem Nutzer keine Information verbunden ist, lassen sich keine Rückschlüsse auf ihn schließen.
 - Empfehlung: automatische Detektion von Verhaltensweisen; Umfragen innerhalb der App
2. Information über Tracks: Die Unterscheidung ob ein User seine Fahrt tracken will oder ein Routing verwendet, ist möglich, wird aber nicht als Attribut im Datensatz hinterlegt.
 - Empfehlung: Anreiz zum Tracken soll ausgebaut werden
3. Datenschutzrechtliche Aspekte: Die Verknüpfung von Information und Usern muss rechtlich konform und geschützt sein um nicht durch „Geo-Referencing“ den Aufenthaltsort, Tätigkeiten oder die Verweildauer rückschließen zu können.
 - Empfehlung: Nach eigenen Aussagen seitens BC kann eine tageweise anonymisierte Herausgabe erfolgen um etwa Wegeketten analysieren zu können. Zusätzlich kürzt BC bereits die GPS-Tracks um ca. 100 m am Beginn und Ende der Aufzeichnung um keine exakten Start-/Endpunkte zu sammeln.

Ein für die Verkehrsplanung weiteres interessantes Werkzeug ist die sogenannte Quell-Ziel-Matrix oder anders, OD-Matrix (engl. Origin-Destination-Matrix). Diese beschreibt Ortsveränderungen von Fahrten zwischen Punkten innerhalb eines festgelegten Betrachtungsraums. Als Punkt wird meist ein Verkehrsbezirk oder Straßenquerschnitt verstanden. Eine solche Matrix ist symmetrisch und setzt sich aus n Quellen und n Zellen zusammen (Vgl. Rohde, 2006).

5.3 Fazit und Ausblick

GPS-Tracks kommen bereits seit einiger Zeit in der Verkehrsplanung zum Einsatz. Neben etlichen Forschungsprojekten und Feldversuchen, bieten viele Anbieter bereits funktionierende Systeme dafür an. Der große Vorteil ist sicherlich die Tatsache, dass das Smartphone für die Aufzeichnung von GPS-Tracks nahezu jeder in seiner Hosentasche mit sich trägt. Die Schwierigkeit besteht darin, Nutzer dazu zu bringen, ihre Wege auch aufzuzeichnen und zur Verfügung zu stellen. Da jedoch im Falle von Bike Citizens keine soziodemographischen Informationen aus den Daten ableitbar sind, ist der

Stichprobenumfang zu hinterfragen. Somit ist dieser Ansatz vielmehr als Ergänzung zu herkömmlichen Erhebungsmethoden zu sehen.

Die GPS-Technologie lässt sich, aufgrund der ausreichenden Genauigkeit, gut im kleinen Maßstab anwenden - beispielsweise innerhalb einer Großstadt. Für überregionale oder ländliche Gegenden bieten sich die Verwendung von Mobilfunkdaten an. Diese Methode bietet zwar Vorteile im Bereich der Stichprobengröße und Erhebungsaufwand, kann jedoch nicht aufgrund von zu kurzen Wegstrecken im Bereich des innerstädtischen Radverkehrs eingesetzt werden.

Für die weitergehende Forschung in diesem Bereich der Repräsentativität ist das Vorhandensein von vergleichbaren Rohdaten zwingend notwendig. Auch die eigenen Vergleichsdaten sollten in weiterer Folge mit anderer Messmethodik durchgeführt werden. Darunter versteht sich das Messen in verschiedenen Jahreszeiten, längere Messzyklen und bessere Dokumentation (eventuell mittels Videodetektion) um schärfere Filterkriterien setzen zu können.

6 Literaturverzeichnis

- ADF. (2019). *Allgemeiner Deutscher Fahrradclub*. Abgerufen am 18. 11 2019 von <https://bit.ly/2tyZbXD>
- Aemisegger, P., & Widmer, P. (Jänner 2016). Viele Technologien führen zum Ziel. *Info Buletin - Nur was gezählt wird, zählt!*, S. 13-15.
- Ashton, K. (22. Juni 2009). That 'Internet of Things' Thing. *RFID Journal*, S. 1.
- Avramovic, N., Brkic, S., Fenzl, R., & Frisee, A. M. (2009). *Vergleichsmessung Seitenradar – Videodetektion*. Graz: TU Graz Institut für Straßen- und Verkehrswesen.
- Bikealyze. (2017). *uml-salzburg*. Abgerufen am 13. 03 2019 von <https://bit.ly/2Tywmlb>
- Bishop, R. (2005). *Intelligent, Vehicle Technology and Trends*. Artech House Its Library.
- Blatnig, S., & Schelander, M. (02 2019). *Extending the Information Horizon through Floating Car Data*. Von vi.uni-klu.ac.at: <https://bit.ly/2uvADf7> abgerufen
- Bleher, W. (1987). *Messung des Verkehrsablaufs - Beurteilung der statistischen Genauigkeit mittels Simulation*. Dissertation: Universität Karlsruhe (TH).
- BMVIT. (2015). *Radfahren im Winter - Strategien zur Förderung des Radverkehrs in der kalten Jahreszeit*. Wien.
- BMVIT. (6. Dezember 2018). <https://mobilitaetderzukunft.at>. Abgerufen am 26. 10 2018 von <https://bit.ly/2CHIs5Q>
- Bundesministerium für Verkehr, I. u. (2017). *Österreich unterwegs - mit dem Fahrrad - Radverkehrsergebnisse der Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“ des bmvit*. Wien: gugler GmbH.
- Cik, M. (2017). Nutzung von anonymisierten Mobilfunkdaten im Verkehrswesen. *KAGIS Fachtag, Mobile Lösungen*, 20.
- DEKRA. (1976). Fußgängergeschwindigkeiten und Zeugenaussagen. *Fachschriftenreihe 8/76*.
- Ehrlich, J., Millar, J., & Ueda, S. (2016). *Cooperative Vehicle Highway System*. La Defense, Frankreich: World Road Association (PIARC).
- Ferri, C. (2016). Identifying the Sport Activity of GPS Tracks. *Procedia Computer Science*(80), S. 301-312. doi:10.1016/j.procs.2016.05.345
- FGSV (Hrsg.). (2010). *Hinweise zu Einsatzbereichen von Verfahren zur Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung*. Köln: FGSV Verlag.
- Flamm, M., & Sàrl, M. (Jänner 2016). Die Erhebung präziser Wegdaten mittels Smartphone-Apps. *Info Buletin - Nur was gezählt wird, zählt!*, S. 34-36.
- Fleischer, T., Vasarhelyi, B., & Biro, M. (1974). Erste internationale Verkehrszählung auf den Strassen europäischer OSShD-Mitglieder. *Zeitschrift der Organisation für die Zusammenarbeit der Eisenbahner*, 6(98), S. 6.
- Francke, A., & Lißner, S. (2017). *Big Data im Radverkehr. Ein anwendungsorientierter Leitfaden zur Nutzung von smartphone-energierten Radverkehrsdaten*. Dresden: Technische Universität Dresden, Professur für Verkehrsökologie und Professur für Verkehrspsychologie.
- Goodier, H. (2012). *BBC*. Abgerufen am 13. 03 2019 von <https://bbc.in/1KsDZPZ>
- Gorißen, N., & Schmitz, S. (1992). *Verkehrsentwicklung und Bundesverkehrswegeplanung im vereinten Deutschland. Informationen zur Raumentwicklung. Einige kritische Anmerkungen angesichts*

- der Konsequenzen für die Umwelt. Informationen für das Jahr 2030. *Informationen zur Raumentwicklung* 4, 193-207.
- Hablesreiter, M. (2007). Das Auto macht uns total verrückt. *Die Zeit*(38), 1-10.
- Imovino. (2018). Abgerufen am 03. 09 2018 von <https://bit.ly/2TC2IeQ>
- Jellinek, R. (2013). Präsentation E-Mobilitäts-Workshop des BMVIT.
- Kerner, B. (2004). *The Physics of Traffic*. Berlin: Springer.
- Klein, L. A. (2001). *Sensor technologies and data requirements for ITS*. Boston: Artech House.
- Kobbeler, D. (2007). Dezentrale Steuerung von Lichtsignalen in urbanen Verkehrsnetzen. (*Heft 18*). Kassel: kassel university press GmbH.
- Köhler, U. (2014). *Einführung in die Verkehrsplanung. Grundlagen, Modellierung, Verkehrsprognose, Verkehrsnetze*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Köhler, U., Zöllner, R., Wermuth, M., & Emig, J. (2001). *Analyse der Anwendung von Verkehrsnachfragemodellen*. Bonn: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Nr.804.
- Kühnel, C. (2012). Verkehrsdatenerfassung mittels Floating Car Observer auf zweistreifigen Landstraßen. *Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Kassel*(23), S. 265.
- Lackes, R., & Siepermann, M. (2016). *Web 2.0*. Universität Potsdam: Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik.
- magicmaps*. (2019). Abgerufen am 11. 10 2019 von <https://bit.ly/2sBmYWd>
- mobilitaetderzukunft*. (2018). *Mobilitaetderzukunft*. Abgerufen am 22. 10 2018 von <https://bit.ly/2CHIs5Q>
- Pühringer, F. (2017). *Einsatzmöglichkeiten von nutzergenerierten Mobilitätsdaten in der Stadt- und Regionalforschung - gezeigt am Beispiel von Fahrrad-Tracking-Daten in Wien*. Wien: Department für Raumentwicklung, Infrastruktur- und Umweltplanung.
- Reinsel, D., Gantz, J., & Rydnig, J. (2018). The Digitization of the World. *DATA AGE 2025*, 28.
- Rohde, J. (2006). *Schätzung von Herkunfts-/Zielbeziehungen*.
- Sammer, G., Rehrl, K., Herry, M., Fellendorf, M., Karnasin, H., & Wolf, E. (2011). *Handbuch für Mobilitätserhebungen; KOMOD - Konzeptstudie Mobilitätsdaten Österreich*. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Schiller, C., Zimmermann, F., & Bohle, W. (2011). *Hochrechnungsmodell von Stichprobenzählungen für den Radverkehr*. Technische Universität Dresden. Dresden: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Shen, L., & Stopher, P. R. (2014). Review of GPS Travel Survey and GPS Data-Processing Methods. In: *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal, Issue 3*(Vol. 34). doi:10.1080/01441647.2014.903530
- Stadt-Graz. (Oktober 2012). *Graz*. Abgerufen am 06. 10 2018 von Graz: <https://bit.ly/2FAhVif>
- Stadt-Graz. (10. 10 2018). *Graz*. Abgerufen am 10. 26 2018 von <https://bit.ly/2TC2Ivt>
- Statista. (19. 10 2018). *Statista*. Abgerufen am 26. 10 2018 von <https://bit.ly/2WtOfFh>
- Technology, A. I. (2019). *ait*. Abgerufen am 26. Dezember 2019 von <https://bit.ly/2P1nVzD>
- 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“. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Treiber, M., Kesting, A., & Thiemann, C. (2013). *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*. Berlin Heidelberg: Springer.

Wardrop, J., & Charlesworth, G. (1954). A method of estimating speed and flow of traffic from a moving vehicle. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers (Part II)*, 158-169. London.

Wetteronline. (18. 10 2018). *WetterOnline*. Abgerufen am 26. Oktober 2018 von <https://bit.ly/2Ypdvg6>

7 Anhang

7.1 Messprotokoll Handzählung

Es wurden drei Messungen mittels Seitenradar, begleitend mit zwei Handzählungen, am Messpunkt Körösistraße in beide Fahrrichtungen (+)/(-) durchgeführt.

Tabelle 14 Handzählung – 1. Messperiode

1. Handmessung Körösistraße – Messprotokoll					
Datum:	18.01.2019				
Uhrzeit:	16:00 - 17:00				
Wetter:	Schneeregen	Zählung		Kommentar	
Temp.:	1 °C	(+)	(-)	(+)	(-)
	16:00				
Zeitraum (min)	00 - 10	7	5		1x zufahrt Pumpe/Shop
	10 - 20	18	17		
	20 - 30	33	24		
	30 - 40	41	30		
	40 - 50	49	38		2x zufahrt Pumpe/Shop
	50 - 00	58	51		
	17:00				
2. Handmessung Körösistraße - Messprotokoll					
Datum:	25.01.2019				
Uhrzeit:	13:00 - 14:00				
Wetter:	sonnig	Zählung		Kommentar	
Temp.:	-4 °C	(+)	(-)	(+)	(-)
	13:00				
Zeitraum (min)	00 - 10	5	6	2x zufahrt Pumpe/Shop	
	10 - 20	11	16		
	20 - 30	19	22		
	30 - 40	29	32		
	40 - 50	40	48		1x langsam
	50 - 00	46	55		
	14:00				

Tabelle 15 Handzählung – 2. Messperiode

3. Handzählung Körösistraße - Messprotokoll					
Datum:	11.02.2019				
Uhrzeit:	08:05 - 09:05				
Wetter:	teilweise sonnig	Zählung		Kommentar	
Temp.:	3°C	(+)	(-)	(+)	(-)
	08:05				
Zeitraum (min)	05-15	15	9	1x zufahrt Pumpe/Shop	
	15-25	22	16	1x zufahrt Pumpe/Shop	
	25-35	39	21	1x zufahrt Pumpe/Shop	
	35-45	47	26		
	45-55	64	33		
	55-05	74	38		
	09:05				
4. Handzählung Körösistraße - Messprotokoll					
Datum:	15.02.2019				
Uhrzeit:	10:35 - 11:35				
Wetter:	sonnig	Zählung		Kommentar	
Temp.:	7°C	(+)	(-)	(+)	(-)
	10:35				
Zeitraum (min)	35-45	14	9	1x zufahrt Pumpe/Shop, Sensor verdeckt	1x zufahrt Pumpe/Shop
	45-55	21	19		
	55-05	33	30		
	05-15	44	41		1x zufahrt Pumpe/Shop
	15-25	59	47	2x zufahrt Pumpe/Shop, langsam 2x	1x langsam
	25-35	68	58	1x zufahrt Pumpe/Shop	
	11:35				

Tabelle 16 Handzählung – 3. Messperiode

5. Handzählung Körösistraße - Messprotokoll					
Datum:	28.02.2019				
Uhrzeit:	17:00 - 18:00				
Wetter:	sonnig	Zählung		Kommentar	
Temp.:	19°C	(+)	(-)	(+)	(-)
	17:00				
Zeitraum (min)	00-10	17	13	2xzufahrt Pumpe/Shop, 1xlangsam	
	10-20	42	28		1xlangsam
	20-30	63	53	1xlangsam	
	30-40	80	70	1xzufahrt Pumpe/Shop, 1xlangsam	1xzufahrt Pumpe/Shop
	40-50	94	86	1xzufahrt Pumpe/Shop	1xzufahrt Pumpe/Shop
	50-00	111	105		1xSensor verdeckt
	18:00				
6. Handzählung Körösistraße - Messprotokoll					
Datum:	01.03.2019				
Uhrzeit:	12:30 - 13:30				
Wetter:	wolkig	Zählung		Kommentar	
Temp.:	14°C	(+)	(-)	(+)	(-)
	12:30				
Zeitraum (min)	30-40	13	12		
	40-50	28	26	2xzufahrt Pumpe/Shop, 1xlangsam	2xlangsam
	50-00	35	39		2xzufahrt Pumpe/Shop
	00-10	43	52	1xzufahrt Pumpe, 1xlangsam	
	10-20	54	73		2xzufahrt Pumpe/Shop
	20-30	67	86	1xlangsam	
	13:30				

7.2 Auswertung Handzählung Körösistraße

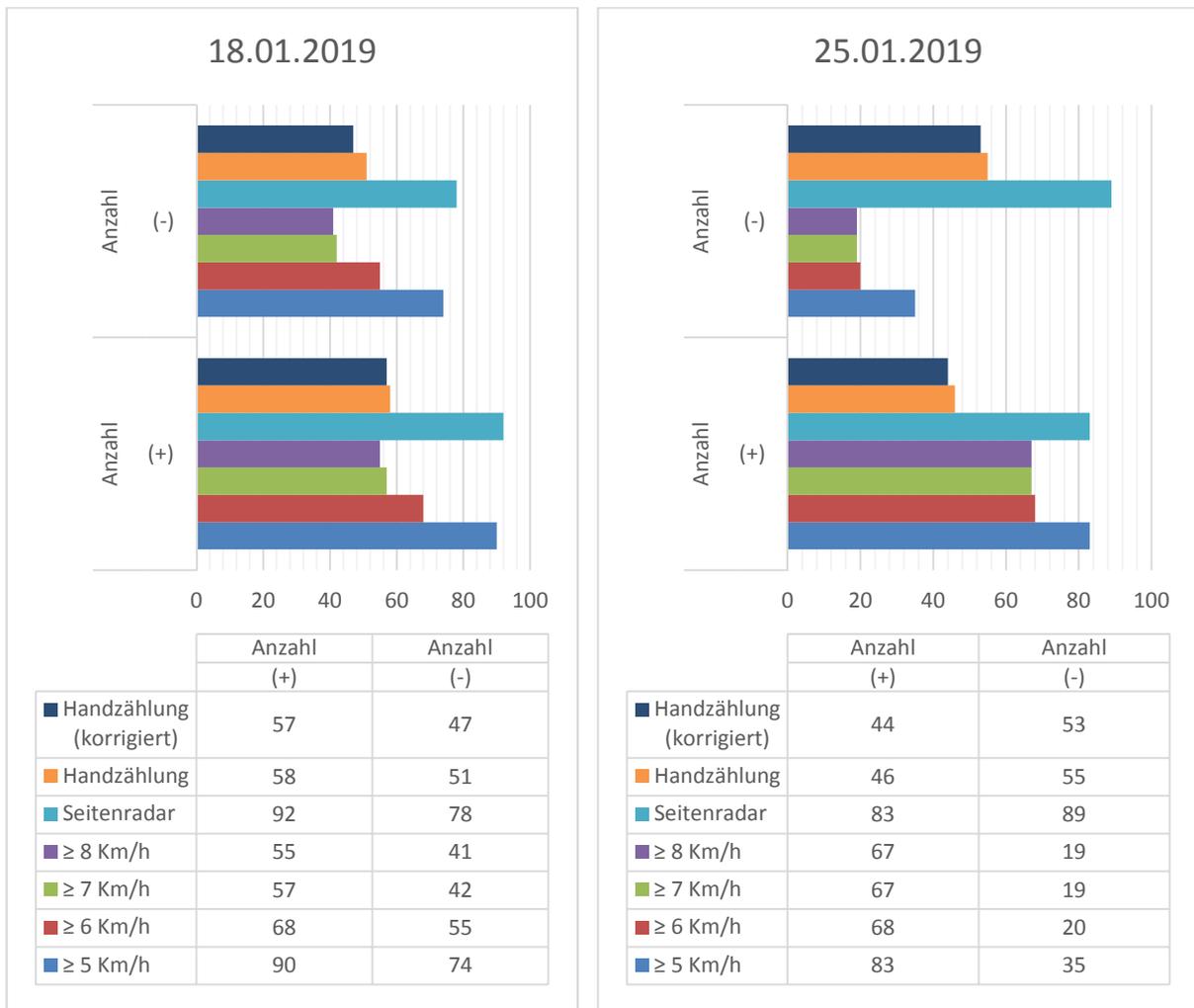


Abbildung 50 Visualisierung verschiedener Filterungen im Vergleich zwischen Seitenmessradar und Handmessung (Messperiode 2). 18.01.19 (links), 25.01.19 (rechts)

Tabelle 17 Auswertung Handzählung (Messperiode 2) hinsichtlich Abweichung zu Seitenradar bei unterschiedlicher Filterung.

01	Handzählung Auswertung	(+)	(-)
	Seitenradar	92	78
	Handmessung (inkl. Abzug Kommentare)	58	48
	Filterung ≥ 6 km/h	68	55
	Differenz	10	7
	Fehler in %	17,24	14,58
	Filterung ≥ 7 km/h	57	42
	Differenz	1	6
	Fehler in %	1,75	12,50

02	Handzählung Auswertung	(+)	(-)
	Seitenradar	83	89
	Handmessung (inkl. Abzug Kommentare)	44	53
	Filterung ≥ 6 km/h	58	53
	Differenz	14	0
	Fehler in %	-31,82	0,00
	Filterung ≥ 7 km/h	44	51
	Differenz	0	2
	Fehler in %	0	3,77

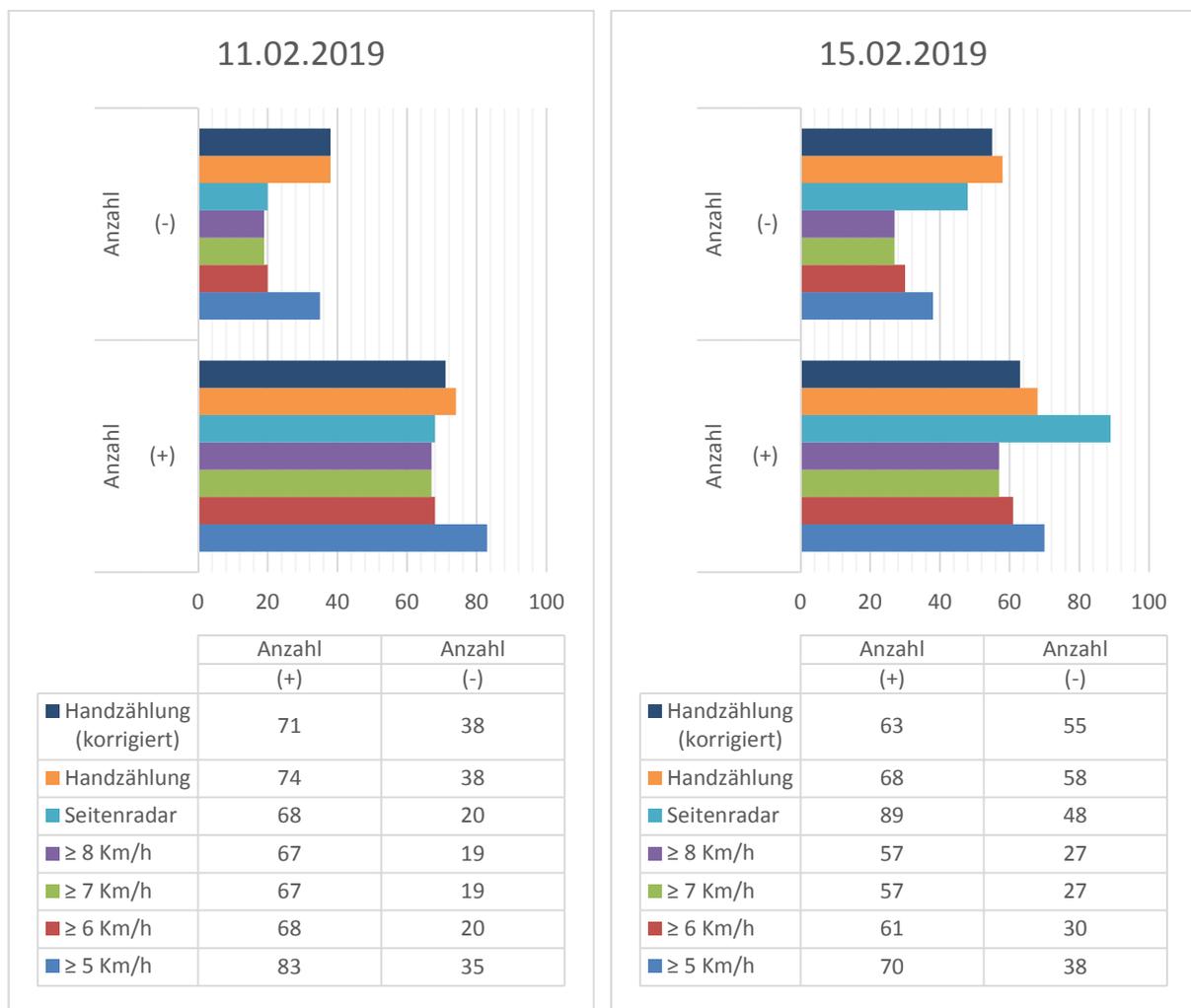


Abbildung 51 Visualisierung verschiedener Filterungen im Vergleich zwischen Seitenmessradar und Handmessung (Messperiode 2). 11.02.19 (links), 15.02.19 (rechts)

Tabelle 18 Auswertung Handzählung (Messperiode 2) hinsichtlich Abweichung zu Seitenradar bei unterschiedlicher Filterung.

03	Handzählung Auswertung		(+)	(-)
	Seitenradar		68	20
	Handmessung (inkl. Abzug Kommentare)		71	38
	Filterung \geq 6 km/h		68	20
		Differenz	3	18
		Fehler in %	4,23	47,37
	Filterung \geq 7 km/h		67	19
		Differenz	4	19
		Fehler in %	5,63	50,00
04	Handzählung Auswertung		(+)	(-)
	Seitenradar		89	48
	Handmessung (inkl. Abzug Kommentare)		63	55
	Filterung \geq 6 km/h		61	30
		Differenz	2	25
		Fehler in %	3,17	45,45
	Filterung \geq 7 km/h		57	27
		Differenz	6	28
		Fehler in %	9,52	50,91

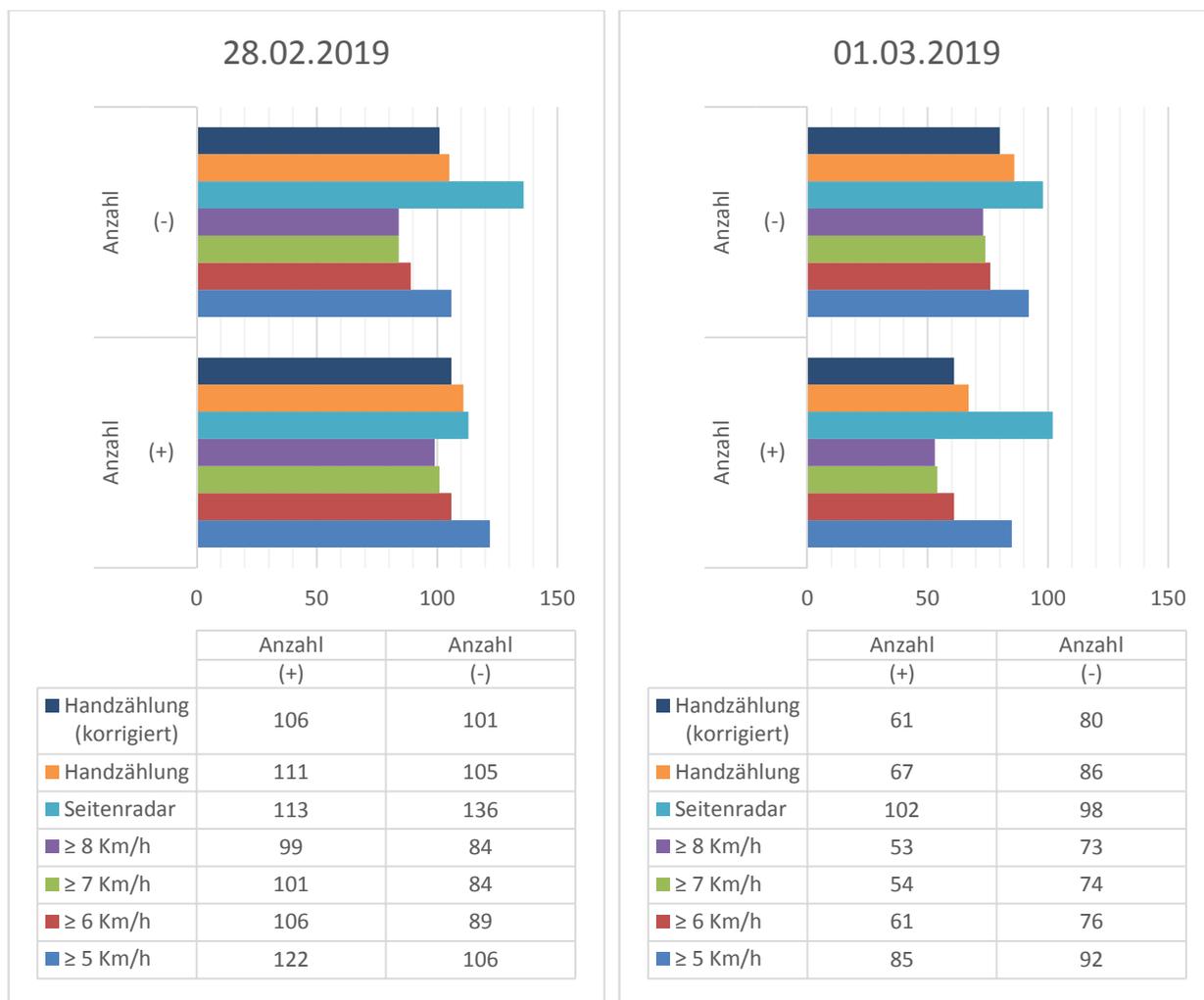


Abbildung 52 Visualisierung verschiedener Filterungen im Vergleich zwischen Seitenmessradar und Handmessung (Messperiode 3). 28.02.19 (links), 01.03.19 (rechts)

Tabelle 19 Auswertung Handzählung (Messperiode 3) hinsichtlich Abweichung zu Seitenradar bei unterschiedlicher Filterung.

05	Handzählung Auswertung	(+)	(-)
	Seitenradar	113	136
	Handmessung (inkl. Abzug Kommentare)	106	101
	Filterung ≥ 6 km/h	106	101
	Differenz	0	0
	Fehler in %	0,00	0,00
	Filterung ≥ 7 km/h	95	84
	Differenz	11	17
	Fehler in %	10,38	16,83

06	Handzählung Auswertung	(+)	(-)
	Seitenradar	102	98
	Handmessung (inkl. Abzug Kommentare)	61	80
	Filterung ≥ 6 km/h	61	76
	Differenz	0	4
	Fehler in %	0	5,00
	Filterung ≥ 7 km/h	54	74
	Differenz	7	6
	Fehler in %	11,48	7,50

7.3 Messdurchgänge (Folgemessungen) Körösisstraße

Tabelle 20 Auswertung der Daten aus dem Seitenradar Messperiode 2.

Werte - Seitenradar						Wetter					
Datum			ohne Filterung			Filter ≥ 7 km/h			Nieder- schlag (mm)	Temp. (°C)	Sonnen- schein- dauer (%)
			(+)	(-)	Gesamt	(+)	(-)	Gesamt			
Jän	17	Do	363	416	779	235	294	529			
Jän	18	Fr	1134	991	2125	676	567	1243	2,1	2,9	0
Jän	19	Sa	688	612	1300	379	339	718	0	-1	0
Jän	20	So	572	532	1104	322	299	621	0	0,3	94
Jän	21	Mo	1301	1161	2462	805	709	1514	0	0,1	0
Jän	22	Di	1419	1218	2637	908	760	1668	0	-1	13
Jän	23	Mi	1140	1011	2151	566	490	1056	2,16	-2,8	0
Jän	24	Do	1298	1164	2462	740	631	1371	0,2	-0,6	18
Jän	25	Fr	1204	1060	2264	695	621	1316	0	-2	77
Jän	26	Sa	698	670	1368	367	361	728	0	-2,5	36
Jän	27	So	467	479	946	242	233	475	0	-0,3	19
Jän	28	Mo	863	658	1521	509	361	870			

Tabelle 21 Auswertung der Daten aus dem Seitenradar Messperiode 3.

Werte – Seitenradar							Wetter				
Datum			ohne Filterung			Filter \geq 7 km/h			Nieder- schlag (mm)	Temp. (°C)	Sonnen- schein- dauer (%)
			(+)	(-)	Gesamt	(+)	(-)	Gesamt			
Feb	05	Di	822	586	1408	497	263	763			
Feb	06	Mi	1222	797	2019	781	329	1111	0	1,3	100
Feb	07	Do	1223	828	2051	745	341	1086	0	0,3	93
Feb	08	Fr	1202	682	1884	717	274	991	0	2,6	73
Feb	09	Sa	729	483	1212	431	207	638	0	3,2	77
Feb	10	So	475	352	827	246	142	388	0	4,7	17
Feb	11	Mo	1011	656	1667	686	297	983	3,46	6,2	32
Feb	12	Di	1154	688	1842	766	314	1080	0	5,5	51
Feb	13	Mi	1256	750	2006	802	349	1151	0	5,4	61
Feb	14	Do	1235	772	2007	792	360	1152	0	6,3	86
Feb	15	Fr	1252	707	1959	801	306	1107	0	5,3	96
Feb	16	Sa	183	213	396	165	188	353			

Tabelle 22 Auswertung der Daten aus dem Seitenradar Messperiode 4.

Werte - Seitenradar							Wetter				
Datum			ohne Filterung			Filter \geq 7 km/h			Nieder- schlag (mm)	Temp. (°C)	Sonnen- schein- dauer (%)
			(+)	(-)	Gesamt	(+)	(-)	Gesamt			
Feb	21	Do	719	733	1452	445	453	898			
Feb	22	Fr	968	784	1752	643	474	1117	0	-1	13
Feb	23	Sa	794	659	1453	437	351	788	2,16	-2,8	0
Feb	24	So	479	473	952	247	247	494	0,2	-0,6	18
Feb	25	Mo	1369	1034	2403	948	653	1601	0	-2	77
Feb	26	Di	1569	1240	2809	1077	777	1854	0	-2,5	36
Feb	27	Mi	1565	1239	2804	1130	820	1950	0	-0,3	19
Feb	28	Do	1641	1293	2934	1173	847	2020	0,89	2,8	0
Mrz	1	Fr	820	480	1300	614	316	930			

7.4 Hochrechnungsfaktor

- Messpunkt Körösisstraße

Tabelle 23 BC-Analytics Stundenwerte – Körösisstraße

Stunde	(+)	(-)	Stunde	(+)	(-)	Stunde	(+)	(-)
00	2	2	08	139	36	16	66	268
01	0	4	09	72	52	17	132	195
02	0	0	10	65	46	18	62	86
03	6	2	11	58	47	19	47	13
04	7	2	12	67	44	20	26	25
05	181	24	13	75	65	21	5	24
06	322	40	14	57	138	22	5	2
07	307	34	15	41	195	23	1	8

Tabelle 24 Seitenradar Stundenwerte – Körösisstraße

	(+) Mittelwert			(-) Mittelwert		
	Mittel Werktag	Mittel Wochenende	Mittelwert	Mittel Werktag	Mittel Wochenende	Mittelwert
00	0,80	4,00	1,71	3,40	8,50	4,86
01	0,90	2,25	1,29	1,60	7,50	3,29
02	2,10	2,75	2,29	3,90	8,25	5,14
03	0,80	1,50	1,00	1,50	3,50	2,07
04	4,80	2,00	4,00	1,40	4,25	2,21
05	10,90	2,75	8,57	2,10	1,50	1,93
06	29,30	3,00	21,79	9,40	1,00	7,00
07	76,80	8,25	57,21	33,60	5,50	25,57
08	61,10	18,25	48,86	28,50	11,75	23,71
09	48,70	22,50	41,21	22,80	13,00	20,00
10	34,20	24,75	31,50	23,80	17,00	21,86
11	37,80	25,75	34,36	31,90	25,00	29,93
12	36,20	23,75	32,64	30,00	23,75	28,21
13	42,00	21,25	36,07	42,10	22,75	36,57
14	37,10	26,50	34,07	37,80	14,75	31,21
15	39,40	22,75	34,64	43,00	18,25	35,93
16	40,00	23,00	35,14	44,70	24,75	39,00
17	45,30	22,00	38,64	53,00	21,00	43,86
18	38,50	19,25	33,00	52,20	19,75	42,93
19	29,20	18,50	26,14	34,50	14,75	28,86
20	18,50	16,75	18,00	23,00	14,00	20,43
21	10,40	9,50	10,14	20,90	11,25	18,14
22	12,60	5,75	10,64	13,50	8,50	12,07
23	4,10	1,00	3,21	10,30	7,75	9,57

- Messpunkt Marburger Kai

Stunde	(+)	(-)	Stunde	(+)	(-)	Stunde	(+)	(-)
0	2	6	8	227	50	16	204	239
1	0	2	9	103	68	17	127	235
2	6	2	10	154	80	18	86	154
3	4	35	11	142	131	19	53	132
4	39	72	12	177	97	20	21	50
5	236	260	13	141	131	21	26	36
6	454	169	14	243	176	22	8	26
7	231	75	15	216	300	23	5	16

Abbildung 53 BC-Analytics Stundenwerte – Marburger Kai

	(+) Mittelwert			(-) Mittelwert		
	Mittel Werktag	Mittel Wochenende	Mittelwert	Mittel Werktag	Mittel Wochenende	Mittelwert
00	3,60	11,00	5,71	11,20	22,00	14,29
01	2,80	11,00	5,14	3,60	10,50	5,57
02	3,80	4,50	4,00	3,00	12,50	5,71
03	4,00	3,00	3,71	2,80	4,00	3,14
04	6,80	6,00	6,57	6,00	3,00	5,14
05	24,60	6,00	19,29	42,80	5,50	32,14
06	69,60	15,50	54,14	116,60	10,50	86,29
07	186,40	20,00	138,86	199,60	17,50	147,57
08	185,60	47,50	146,14	176,80	38,00	137,14
09	131,60	62,00	111,71	106,40	64,50	94,43
10	121,80	99,50	115,43	111,00	66,00	98,14
11	132,00	117,00	127,71	115,20	115,50	115,29
12	147,00	114,00	137,57	126,80	119,50	124,71
13	158,00	126,00	148,86	135,20	118,00	130,29
14	165,60	111,00	150,00	141,60	123,00	136,29
15	187,20	130,00	170,86	160,80	124,50	150,43
16	226,40	114,50	194,43	172,00	122,00	157,71
17	236,40	112,00	200,86	181,60	104,00	159,43
18	180,80	96,50	156,71	148,20	77,50	128,00
19	116,20	64,50	101,43	103,00	45,50	86,57
20	63,20	36,50	55,57	62,40	39,00	55,71
21	46,20	23,50	39,71	56,60	19,50	46,00
22	31,40	17,00	27,29	44,80	27,50	39,86
23	20,60	13,00	18,43	21,80	17,00	20,43

Abbildung 54 Seitenradar Stundenwerte – Marburger Kai

- Oper Innenstadtring

Stunde	(+)	(-)	Stunde	(+)	(-)	Stunde	(+)	(-)
0	8	6	8	15	30	16	73	57
1	0	4	9	28	28	17	52	42
2	1	2	10	32	37	18	26	36
3	2	4	11	43	31	19	18	18
4	0	4	12	32	39	20	10	25
5	4	31	13	38	37	21	4	10
6	20	79	14	24	48	22	2	13
7	22	114	15	45	66	23	0	4

Abbildung 55 BC-Analytics Stundenwerte – Oper Innenstadtring

	(+) Mittelwert			(-) Mittelwert		
	Mittel Werktag	Mittel Wochenende	Mittelwert	Mittel Werktag	Mittel Wochenende	Mittelwert
00	2,40	3,50	2,71	4,80	11,50	6,71
01	1,40	6,00	2,71	4,00	5,50	4,43
02	0,20	5,00	1,57	1,20	3,00	1,71
03	0,20	3,50	1,14	0,80	4,00	1,71
04	1,60	1,50	1,57	0,80	3,00	1,43
05	3,20	2,00	2,86	3,60	1,00	2,86
06	23,60	5,00	18,29	11,00	2,50	8,57
07	70,80	7,00	52,57	43,80	6,50	33,14
08	48,20	11,00	37,57	65,60	14,00	50,86
09	42,80	21,00	36,57	67,40	21,50	54,29
10	38,80	22,00	34,00	50,60	22,50	42,57
11	47,20	24,50	40,71	65,00	23,50	53,14
12	42,00	19,00	35,43	62,60	32,50	54,00
13	45,80	18,00	37,86	71,00	35,50	60,86
14	42,40	27,00	38,00	59,60	36,00	52,86
15	55,20	22,50	45,86	62,60	30,00	53,29
16	56,20	23,50	46,86	65,40	36,50	57,14
17	55,60	22,50	46,14	62,80	44,00	57,43
18	53,00	23,50	44,57	55,80	27,00	47,57
19	39,80	14,50	32,57	38,00	29,00	35,43
20	23,40	13,00	20,43	32,40	18,00	28,29
21	19,20	10,50	16,71	22,20	18,50	21,14
22	11,80	10,00	11,29	23,40	11,00	19,86
23	7,60	3,50	6,43	14,00	10,00	12,86

Abbildung 56 Seitenradar Stundenwerte – Oper Innenstadtring