



Master Thesis

im Rahmen des
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Interfakultären Fachbereich für GeoInformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

„GIS-gestützte Ermittlung von Verkehrsstärken aus verteilten Datenbeständen auf Hamburger Bezirksstraßen“

vorgelegt von

Dipl.-Ing. (FH) Vera Kirchenbauer

1423589, UNIGIS MSc Jahrgang 2015

Zur Erlangung des Grades
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Hamburg, 12.08.2018

Danksagung

An dieser Stelle will ich mich ganz herzlich bei all denen bedanken, die mich über die Zeit meines Fernstudiums und bei der Anfertigung meiner Master Thesis unterstützt haben und mir auch immer neue Ideen oder Sichtweisen unterbreitet haben.

Ein sehr großer Dank geht an den ADAC für die Überlassung von FCD zur Bearbeitung und an den Datendienstleister, der Firma VIOM – Visions of Mobility, für die eingängige Erläuterung und Bereitstellung der FCD sowie an DriveNow für die Überlassung der Standortdaten zur Anmietung deren Fahrzeuge.

Vielen Dank an das gesamte UNIGIS Team für die kompetente Betreuung und schnelle Beantwortung von Fragen über die gesamte Dauer des Studiums. Bei Herrn Prof. Bernd Resch am Interfakultären Fachbereich für Geoinformatik - Z_GIS an der Universität Salzburg möchte ich mich für die Betreuung dieser Arbeit bedanken.

Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen ist. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

Hamburg, den 12.08.2018

Vera Kirchenbauer

Zusammenfassung

Für den Neubau, Umbau sowie Ausbau von Straßen werden in der Straßenplanung unterschiedliche Eingangswerte zur richtigen Bemessung der Straße benötigt. Ein Parameter dafür ist die Verkehrsstärke, die die Kapazität einer Straße bestimmt. In Hamburg wird die Verkehrsstärke auf Hauptverkehrsstraßen anhand regelmäßiger Erhebungen ermittelt. Auf dem nachgeordneten Netz der Bezirksstraßen erfolgen Verkehrserhebungen nur anlassbezogen. Dies hat unterschiedliche Gründe, da eine manuelle Verkehrserhebung zum einen sehr personalintensiv ist und zum anderen von der zu beantwortenden Fragestellung abhängt.

Daher sollte für das nachgeordnete Straßennetz ein Lösungsansatz zur Ermittlung von Verkehrsstärken entwickelt werden, der nicht von der manuellen Verkehrserhebung abhängt, sondern auf möglichst frei verfügbaren Daten zurückgreift. In dieser Arbeit sollte ein Ansatz basierend auf FCD und Carsharingdaten entwickelt werden und in einer prototypischen Umsetzung im GIS realisiert werden. Der Einsatz vorhandener Daten sollte den Zeit- und Personalaufwand für eine erste Einschätzung reduzieren. Dabei basiert der Lösungsansatz auf dem Mapping der Eingangsdaten auf das Straßennetz, um an dieser Stelle Fehler zu eliminieren und eine erste Zuordnung zu treffen. Im Anschluss erfolgte die Auswertung der Eingangsdaten nach den Erhebungszeiten einer Verkehrszählung sowie der Aggregation der Eingangsdaten in Monatsstatistiken. Anschließend sollte die Ableitung eines Umrechnungsfaktors auf Grundlage der mittleren gefahrenen Geschwindigkeit von Hauptverkehrsstraßen auf Bezirksstraßen erfolgen. Da an dieser Stelle die Zusammensetzung des Verkehrs, nach fließend und stockend, nicht weiter betrachtet und somit auch nicht richtig im Lösungsansatz umgesetzt wurde, war eine Ermittlung von Verkehrsstärken auf Bezirksstraßen nicht möglich. Der zweite Ansatz zur Ermittlung der Verkehrsstärke war nicht zielführend, da hier keine Information vorlag welchen Anteil des Verkehrs die FCD und Carsharingdaten am Verkehr haben, um auf diesem Weg einen Rückschluss auf die Verkehrsstärke zu wagen.

Ergebnis der Arbeit war, dass GIS ein geeignetes Werkzeug zur Bearbeitung der Fragestellung ist. Aus den FCD konnten z.B. Betrachtungen in Bezug auf die Geschwindigkeit durchgeführt werden. Wichtig hierbei ist, dass sich die gewonnenen Ergebnisse auf das gewählte Untersuchungsgebiet beziehen und daher nicht auf alle Straßen übertragbar ist. Nichtsdestotrotz wird an dieser Stelle ein dichteres Netz an Eingangsdaten, z.B. über Infrarot- oder Wärmebildkameras an Ampel oder einer vollständigen Ausstattung der Fahrzeuge mit FCD benötigt.

Abstract

In the context of constructing, re-building and extending roads, different parameters are required in order to plan the correct dimensions for the road. One of such parameters is the traffic volume, which determines the capacity of a road. In Hamburg, the traffic volume of major roads is determined based on regular traffic counts. For subordinate district roads traffic counts are carried out on an ad-hoc basis. Since manual traffic counts are very labor-intensive and depends on the question to be answered.

Therefore, for the subordinate road network, an approach to determine of traffic volumes based on FCD and car sharing data was supposed to be developed and implemented in a prototypical implementation within a GIS. The aim was to use existing data in order to reduce time and personnel effort for an initial assessment. The solution is based on the mapping of the input data to a defined road-network in order to eliminate errors and to reach a first mapping. Afterwards input data was evaluated according to the periods of a traffic observation and aggregated to monthly statistics. Based on these statistics, a conversion factor should be derived that allows to calculate the speed on subordinate roads from the average driven speed of major roads. Since the composition of traffic was not properly considered and thus not properly implemented in the solution, the determination of traffic levels on district roads was not possible. The second possibility for determining the traffic volume was not expedient, since there was no information as to which share of traffic the FCD and car-sharing data have on traffic in order to dare to draw conclusions about the traffic volume.

The result of the work was that GIS is a suitable tool for dealing with the problem. From the FCD, e.g. Speed considerations. It is important that the results obtained are related to the chosen study area and therefore not transferable to all roads. Nevertheless, at this point a denser network of input data, e.g. via infrared or thermal imaging cameras at traffic lights or full equipment of vehicles with FCD required.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	II
Eigenständigkeitserklärung	III
Zusammenfassung.....	IV
Abstract	V
Inhaltsverzeichnis.....	VI
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis.....	X
Abkürzungsverzeichnis	X
I Einleitung	1
1 Motivation	1
2 Zielsetzung	2
3 Eingrenzung des Themas	3
4 Forschungsfragen	4
II Aktueller Entwicklungstand der Ermittlung von Verkehrsstärken	5
5 Aktueller Forschungsstand.....	6
6 Verkehrsstärken und deren Erhebung	8
6.1 Aufbau einer Verkehrserhebung	11
6.2 Erhebungszeiten.....	13
6.3 Automatische Ermittlung	13
6.4 Manuelle Ermittlung	15
III Methodik - Ein neuer Weg zur Ermittlung der Verkehrsstärken aus verteilten Datenquellen.....	16
7 Lösungsansatz	16
8 Map-Matching	20
9 Untersuchungsgebiet	22
10 Eingangsdaten.....	24
10.1 Straßennetz des OpenStreetMap Projekt.....	24

10.2	Verkehrszahlen und -mengen von Hauptverkehrsstraßen.....	25
10.3	Floating Car Daten	26
10.4	Carsharingdaten.....	27
IV	Anwendungsfall – prototypische Umsetzung	29
11	Umsetzung	29
12	Datenaufbereitung und -vorbereitung.....	30
12.1	Vorbereitung des Straßennetzes	30
12.2	Aufbereitung der FCD.....	34
12.3	Aufbereitung der Carsharingdaten	36
13	Mapping.....	37
13.1	Exkurs: Suchradius.....	37
13.2	FCD-Mapping	40
13.3	Mapping der Carsharingdaten	41
14	Aggregation der Eingangsdaten nach dem Erhebungsschema.....	42
14.1	Datenauswahl nach dem Erhebungsschema.....	43
14.2	Erstellung der Stunden-, Tages- und Monatsstatistiken.....	44
14.3	Zusammenführung der FCD- und Carsharingstatistiken	46
15	Ableitung der Verkehrsstärken	47
16	Vergleich der Geschwindigkeiten	48
V	Schlussfolgerung und Ausblick.....	49
17	Ergebnis	49
18	Diskussion	56
19	Schlussfolgerung	61
20	Ausblick.....	63
	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	64
	Anhang	69
1	Model FCD-Mapping.....	69
2	Workflow zum Erstellen der Zeitintervalle.....	70

3	Ergebnisse nach Mapping und Aggregation	71
3.1	Suchradius von 5 Metern beim Mapping	71
3.2	Suchradius von 10 Metern beim Mapping	75
3.3	Suchradius von 15 Metern beim Mapping	79
3.4	Suchradius von 20 Metern beim Mapping	83
3.5	Suchradius von 30 Metern beim Mapping	87

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Verkehrsmengen und Verkehrsstärken Hamburg im Geoportal-Verkehr der FHH.....	1
Abb. 2	Die aktuelle Verkehrslage im Geoportal-Verkehr.....	2
Abb. 3	"Zählung des KFZ-Verkehrs" (FGSV 2012).....	9
Abb. 4	"Arbeitsschritte einer Verkehrserhebung" (FGSV 2012).....	12
Abb. 5	Lösungsansatz zur GIS-gestützten Ermittlung von Verkehrsdaten.....	17
Abb. 6	Mittlere Fahrtgeschwindigkeit auf einer Hauptverkehrsstraße mit einem Fahrstreifen (FGSV 2015).....	18
Abb. 7	Mittlere Fahrtgeschwindigkeit auf einer Hauptverkehrsstraße mit einem überbreiten Fahrstreifen (FGSV 2015).....	19
Abb. 8	Mittlere Fahrtgeschwindigkeit auf einer Hauptverkehrsstraße mit zwei Fahrstreifen (FGSV 2015).....	19
Abb. 9	Das Untersuchungsgebiet	22
Abb. 10	Verkehrsnetz auf Basis der OSM-Daten	24
Abb. 11	Zählstellen in der Umgebung des Untersuchungsgebietes.....	25
Abb. 12	Verkehrsmengen auf den Hauptverkehrsstraßen im Untersuchungsgebiet.....	26
Abb. 13	Positionsdaten zu Anmietung und Abgabe der DriveNow-Fahrzeuge	28
Abb. 14	Vergleich Liniensegment (links) und Straßenabschnitt (rechts)	31
Abb. 15	Vergleich OSM-Daten mit dem erweiterten Straßennetz.....	32

Abb. 16 Ergebnis der Straßenabschnittsbildung	34
Abb. 17 Erstellen der Feature Class für die FCD vom April 2017	35
Abb. 18 Visualisierung der FCD und des Fahrtverlaufes eines Flottenfahrzeugs	35
Abb. 19 Model zur Umrechnung des Fahrrichtungswinkels	36
Abb. 20 Vorgehen zum Mapping der Eingangsdaten	37
Abb. 21 Das Werkzeug NEAR von ESRI/ArcGIS for Desktop	38
Abb. 22 Verteilung der nicht gemapten FCD im Vergleich zum Straßennetz.....	39
Abb. 23 Darstellung der gewählten Suchradien als Puffer um einen Straßenabschnitt.....	40
Abb. 24 Model zum Mapping der Carsharingdaten.....	41
Abb. 25 Konvertierung des Zeitstempels in das Format dd.MM.yyyy HH:mm:ss	44
Abb. 26 Modelbuilder-Model "Iterate Hours"	45
Abb. 27 Vorgehen zum Zusammenfassen der Stundenstatistiken zu Tagesstatistiken.....	46
Abb. 28 Vergleich der FCD vor (links) und nach dem Mapping (rechts)	49
Abb. 29 Anzahl der ermittelten Fahrzeuge und Lichtsignalanlagen	50
Abb. 30 Anzahl der Fahrzeuge im Bereich Raboisen	51
Abb. 31 Verkehrsstärke auf Grundlage von FCD und Carsharingfahrzeuge.....	52
Abb. 32 Durchschnittliche Geschwindigkeit aus den FCD nach Straßenabschnitten ermittelt	53
Abb. 33 Differenzen von der erlaubten zu der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Suchergebnisse auf Google Scholar (Stand: 15.07.2018)	7
Tabelle 2 Straßenliste plus Straßentyp im Untersuchungsgebiet	23
Tabelle 3 Zuordnung des Fahrtrichtungswinkels zur Fahrtrichtung	32
Tabelle 4 Ermittlung der Verkehrsstärke aus der mittleren Geschwindigkeit für ausgewählte Abschnitte an HVS	55
Tabelle 5 Anzahl der gemappten FCD nach dem gewählten Suchradius	56

Abkürzungsverzeichnis

BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BWVI	Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation
FCD	Floating Car Data
FGDB	File Geodatabase
FHH	Freie und Hansestadt Hamburg
FStrG	Bundesfernstraßengesetz
GIS	Geographisches Informationssystem
GPS	Global Positioning System
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
DTV _w	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke an Werktagen
EVE	Empfehlungen für Verkehrserhebungen
HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen
HVS	Hauptverkehrsstraße
KFZ	Kraftfahrzeug
LSBG	Landesbetrieb Brücken und Verkehr
WGS 1984	World Geodetic System 1984

I Einleitung

1 Motivation

Das Straßennetz der Freien und Hansestadt Hamburg (FHH) besteht aus 104 km Bundesfernstraßen und Autobahnen, 493 km Hauptverkehrsstraßen (HVS) und 3450 km Bezirksstraßen, von denen 565 km eine gesamtstädtische Bedeutung haben (Schirg 2017). Für deren Planung, Neubau und Unterhaltung sind verschiedene Organisationen wie z.B. der Landesbetrieb Brücken und Verkehr (LSBG) und die Bezirke zuständig. Aktuell liegen Informationen zu Verkehrszahlen, wie z.B. der Verkehrsmenge und durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV), Verkehrslage und -fluss, sowie über den Straßenzustand häufig nur für die Bundesfernstraßen, Autobahnen und Hauptverkehrsstraßen vor (siehe Abb. 1). Für das nachgeordnete Netz der Bezirksstraßen sind diese Informationen oft nicht vorhanden bzw. werden nur anlassbezogen erfasst, obwohl dort dieselben Informationen für die Planung und Betrieb benötigt werden.

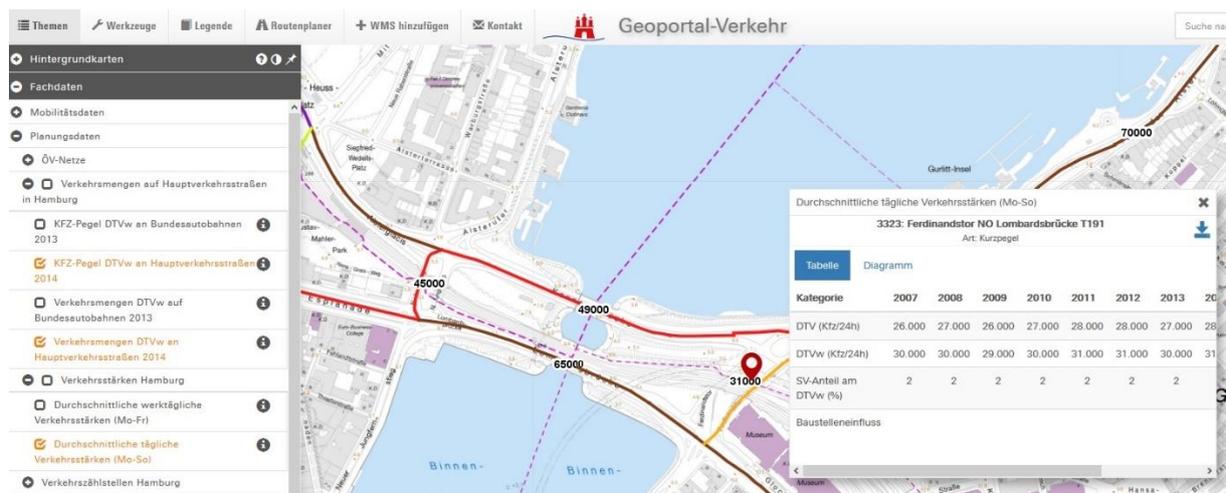


Abb. 1 Verkehrsmengen und Verkehrsstärken Hamburg im Geoportal-Verkehr der FHH

Auch auf dem Netz der Bezirksstraßen werden für eine effiziente Unterhaltung und Planung Daten benötigt, die es z.B. ermöglichen ein gezieltes Bauprogramm für das Netz zu erstellen oder eine Aussage über die Auslastung/Nutzung der Straßen treffen. An dieser Stelle kommt die stetige Weiterentwicklung von mobilen Endgeräten und Sensoren ins Spiel. Mit ihnen werden heutzutage automatisch z.B. im Rahmen von öffentlichen Verkehrszählungen oder einfach nur beim Passieren eines Detektors Daten und Informationen generiert. Die verschiedenen Datenquellen liefern unterschiedlichste Information aus denen Kennzahlen ermittelt werden können, z.B. für die kleinteilige Betrachtung von innerstädtischen Verkehrsflüssen oder für die Ermittlung von Verkehrsstärken, was in dieser Arbeit für Bezirksstraßen überprüft werden soll.

2 Zielsetzung

Verkehrsdaten werden anlassbezogen zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort, dem Querschnitt, als eine „lokale bzw. zeitliche Kenngröße“ (Schnabel und Lohse 2011a) erfasst. Dabei ist „die Verkehrsstärke q “, der Quotient aus der Anzahl der Fahrzeuge N (Verkehrselemente) und der Zeitspanne T , während der die Fahrzeuge den Beobachtungsquerschnitt durchfahren“ (Schnabel und Lohse 2011a). Die maximale Verkehrsstärke an einem Querschnitt wird daher als die Kapazität der Straße bezeichnet, der in der Straßenplanung eine wichtige Bedeutung zukommt. Ohne die Kapazität ist eine korrekte Bemessung des Querschnitts entsprechend des aktuellen Bedarfs und prognostizierter Werte nicht möglich. An diesem Punkt setzt diese Arbeit an, um einen neuen Weg zur Ermittlung bzw. Erhebung von Verkehrszahlen aus verschiedenen Datenquellen auf Hauptverkehrs- und Bezirksstraßen zu entwickeln.

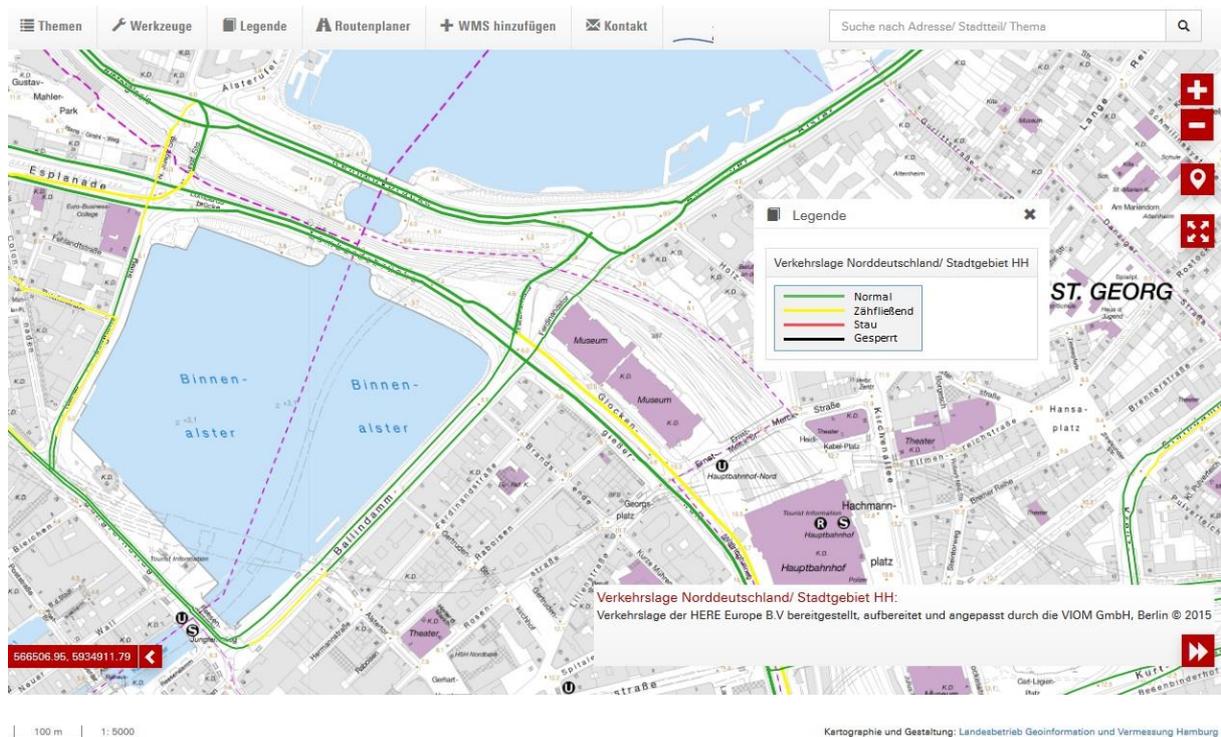


Abb. 2 Die aktuelle Verkehrslage im Geoportal-Verkehr

Floating Car Daten (FCD) liefern beispielsweise in der FHH Informationen zur aktuellen Verkehrslage (siehe Abb. 2) und zum Verkehrsfluss auf den Hauptverkehrsstraßen und Bezirksstraßen mit übergeordneter Bedeutung, welche u.a. mittels Webdiensten angeboten werden. Das nachgeordnete Netz der Bezirks- bzw. Gemeindestraßen taucht in dieser Betrachtung nicht auf, obwohl dort auch FCD erfasst bzw. gesendet werden. Die mit entsprechenden Sendern ausgestatteten Fahrzeuge übermitteln kontinuierlich ihre Mitteilungen, auch wenn sie im nachgeordneten Straßennetz fahren. Die Daten sind

vorhanden, werden an dieser Stelle aber nicht genutzt. Hieraus ergibt sich die Frage, mit welchen Mitteln für das nachgeordnete Netz Verkehrsdaten erfasst bzw. genutzt werden können und welche Datenquellen (FCD, Car Sharing Systeme, öffentlicher Verkehr, Smartphones) dafür geeignet sind.

3 Eingrenzung des Themas

Der Fokus der Arbeit wird auf Grund der recherchierten Daten auf die Ermittlung von Verkehrszahlen für Kraftfahrzeuge (KFZ) gelegt, also dem motorisierten Verkehr. Der nicht-motorisierte Verkehr innerhalb der FHH wird noch nicht in dem Umfang erfasst wie der motorisierte Verkehr und bedarf eines komplett anderen Ansatzes zur Datenerfassung und Datenaufbereitung.

Zu den recherchierten Daten zur Bearbeitung der vorliegenden Fragestellung gehören FCD, Daten zur Fahrzeugmiete eines Carsharing-Anbieters sowie im MetaVer (LGV 2018a) recherchierte Daten zum Thema Straßen und Verkehr. Bei den FCD und Carsharingdaten handelt es sich nicht um Echtzeitdaten sondern um archivierte Daten, was eine deutliche Auswirkung auf die Art und die Möglichkeiten der Datenaufbereitung hat (siehe Kapitel 8).

Im Zuge der Datenaufbereitung bzw. Gewinnung neuer Informationen sollen Verkehrsdaten abgeleitet werden. Werden hierzu z.B. bei der Aufbereitung der Daten bekannte Methoden, wie das Map-Matching, eingesetzt wird dies soweit wie notwendig erläutert. In dieser Arbeit soll kein neuer Map-Matching-Ansatz für FCD entwickelt werden, sondern vorhandene Ansätze zum Einsatz kommen. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Entwicklung eines neuen Lösungsansatzes zur Ermittlung von Verkehrsstärken.

In der Drucksache 18/2498 vom 28. Juni 2005 wurden vom Hamburger Senat für die Zuständigkeit im Straßenbauwesen festgelegt, dass das Straßennetz ohne Bundesfernstraßen in die zwei Kategorien der Hauptverkehrsstraßen sowie Bezirksstraßen eingeteilt wird (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg 2005). Unter Bezirksstraßen fallen alle Straßen, die weder Hauptverkehrsstraße noch Bundesfernstraße sind. In dieser Arbeit werden Autobahnen und Bundesfernstraßen nicht betrachtet, da diese dem Bundesfernstraßengesetz (FStrG) unterliegen und somit nicht in der Baulast der Hamburger Bezirke liegen.

Es werden nur Straßenabschnitte von der ersten Kreuzung bis zur nächsten Kreuzung betrachtet. Kreuzungsknoten werden aufgrund ihrer komplexen Struktur, Fahrbeziehungen und Beziehungen zwischen den einzelnen Verkehrsteilnehmern nicht betrachtet.

Die gesamte Bearbeitung, Analyse und Ergebnisgenerierung erfolgte zu Beginn mit Microsoft Excel und anschließend mit ArcGIS for Desktop von ESRI als zu Grunde liegendes GIS-System, da diese Software in der öffentlichen Verwaltung der FHH bereits vorhanden ist und zum Einsatz kommt. Dies soll die Nutzung der in dieser Arbeit gewonnen Ergebnisse und Werkzeuge in der Praxis ermöglichen.

4 Forschungsfragen

Hypothese: Auf Grundlage von FCD und Carsharingdaten kann die Verkehrsstärke auf Bezirksstraßen von den regelmäßig erhobenen Verkehrsstärken in Form des DTV-Wertes auf Hauptverkehrsstraßen abgeleitet werden.

Fragen:

- 1) Inwieweit ist es möglich auf Grundlage von FCD und Carsharingdaten die Verkehrsstärke auf Bezirks- bzw. Nebenstraßen zu ermitteln?
- 2) Inwieweit ist eine Ermittlung der Verkehrsstärke aus vorhandenen Verkehrszahlen auf Hauptverkehrsstraßen und Interpolation der Zahlen für Bezirksstraßen aus verteilten Datenquellen möglich?
- 3) Wie müssen die unterschiedlichen Daten aufbereitet werden, damit sie auf das Straßennetz gemappt und daraus die Verkehrsstärke ermittelt werden kann?
- 4) Wie können die so ermittelte Verkehrsstärke anhand amtlichen Verkehrszahlen validiert werden?

II Aktueller Entwicklungsstand der Ermittlung von Verkehrsstärken

Für den Bau neuer Straßen sowie den Um- und Ausbau von bestehenden Straßen werden Eingangsdaten zur richtigen Bemessung der zu planenden Anlage benötigt, die für jede Straßenplanung planungsrelevante Grundlagen sind. Ziel ist, dass der Querschnitt und die Kapazität der Straße an den vorhandenen sowie prognostizierten Verkehr angepasst werden kann und somit den Bedürfnissen der Verkehrsteilnehmer entspricht. Die sogenannte „Bemessung einer Straßenverkehrsanlage“ (FGSV 2012) ist dabei die Ausgangsbasis zur Gestaltung der Straßen.

Dabei ist der Anwendungsbereich des „Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen“ (FGSV 2015) kurz HBS „...die standardisierte Überprüfung von Entwürfen neuer oder geänderter Straßenverkehrsanlagen. Hierzu müssen Vorgaben für die grundsätzliche Gestaltung der Verkehrsanlage und Angaben der zu erwartenden Verkehrsnachfrage (als Verkehrsstärke für die relevanten Verkehrsströme) aus den vorangehenden Stufen des Planungsprozesses vorliegen“ (FGSV 2015).

Zu den planungsrelevanten Grundlagen gehören neben dem vorhandenen Bestand der Straße, verschiedenste Eingangswerte wie z.B. Verkehrsstärke, -dichte und -fluss, die u.a. über Verkehrserhebungen oder an Dauerzählstellen ermittelt werden. An diesem Punkt setzt diese Arbeit an, um zu klären ob es einen weniger aufwendigen Weg zur Ermittlung von Verkehrszahlen gibt und ob hier Rückschlüsse auf die Bezirksstraßen möglich sind. Da in Hamburg nur auf Hauptverkehrsstraßen regelmäßig Zählungen vorgenommen werden und auf Bezirksstraßen nur im Vorfeld einer Baumaßnahme Verkehrsdaten erhoben werden.

Im Folgenden wird ein Überblick über die Literatur bzw. die Grundlage zur bisherigen Umsetzung von Verkehrserhebungen und somit den aktuellen Stand zur Erhebung von Verkehrsstärken gegeben. Danach erfolgt ein Überblick zu neuen Methoden und Ansätzen, die zum Teil in dieser Arbeit verfolgt werden sollen. Im Anschluss daran erfolgt in Kapitel 6 die Erläuterung des aktuellen Standes zur Erfassung von Verkehrsdaten.

5 Aktueller Forschungsstand

Ausgangsbasis für die Erhebung von Verkehrszahlen und -daten in Deutschland sind die „Empfehlungen für Verkehrserhebungen“ kurz EVE (FGSV 2012), welche durch die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) erarbeitet wurde. Ziel der EVE ist die Gewährleistung eines „ausreichenden Qualitätsstandards“ (FGSV 2012) im Rahmen der Beauftragung, Durchführung und Ergebnisauswertung einer Verkehrserhebung. Mit einer Verkehrserhebung wird über die Zählung der Fahrzeuge an einem Querschnitt die „Verkehrsnachfrage im Ausgangszustand“ (FGSV 2015), die Bemessungsverkehrsstärke, ermittelt. Die im HBS beschriebenen Verfahren basieren auf der Nutzung der Bemessungsverkehrsstärke zur Bewertung der Kapazität von Straßenverkehrsanlagen und somit auch der Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs (FGSV 2015). Bei der Literaturrecherche und -arbeit waren dies die am häufigsten referenzierten Quellen zum Thema Verkehrserhebung und Verkehrszahlen aus Deutschland.

Da die EVE und das HBS zwei Standardwerke in der Straßenplanung sind und in der FHH zum Einsatz kommen, liefern diese die Basis für die Erhebung von Verkehrsdaten in dieser Arbeit. Nichtsdestotrotz muss an dieser Stelle kurz der Forschungsstand zu neuen Methoden der Verkehrserhebung mittels z.B. Bluetooth oder WLAN-Detektion an dieser Stelle betrachtet werden, da sich hier die Möglichkeit zur Erfassung der unterschiedlichen Verkehre (Fuß-, Rad- und/oder Kraftfahrzeugverkehr) ergibt. Als Beispiel ist hier die Arbeit von Kathmann, Ziegler, und Roggendorf (2012) zu nennen, die die Möglichkeit zur Detektion von Verkehrsströmen an Kreuzungen via Bluetooth betrachtet. Aktuell werden anhand der Bluetooth-Detektion Fragestellungen in Bezug auf die Reisezeit und -route betrachtet. Fazit der Arbeit von Kathmann, Ziegler, und Roggendorf (2012) war, dass die Detektion von Bluetooth zur Erfassung von Abbiegeströmen in Kombination mit automatischen Querschnittserhebungen einen Beitrag zur Vervollständigung der Datenbasis an Kreuzungen dienen. Des Weiteren stellten Kathmann, Ziegler, und Roggendorf (2012) heraus, dass der hohe Kostenaufwand für manuelle Zählung auf diesem Weg „deutlich reduziert werden“ (Kathmann, Ziegler, und Roggendorf 2012) kann. Hier ergab die Suche nach „Verkehr Bluetooth“ auf Google Scholar 2.080 Ergebnisse (abgefragt am 22.07.2018). Die Bluetooth- und WLAN-Detektion ist nicht Bestandteil dieser Arbeit, da hierzu entsprechende Detektoren am betrachteten Straßenquerschnitt angebracht werden bzw. vorhanden sein müssen. In Kapitel 3 erfolgte die Eingrenzung des Themas auf FCD und Carsharingdaten sowie der Nutzung von vorhandenen Daten und nicht Aufbau eines Detektornetzes.

In Bezug auf im Fahrzeug generierte Daten, den FCD, zielt der aktuelle Forschungsschwerpunkt auf die Verarbeitung von Echtzeitdaten ab sowie der „zeitnahen Auswertung“ (Körner 2011) der Daten in Bezug auf die Prognose, z.B. der Verkehrslage oder Ermittlung der Reisezeit (Körner 2011). Da sich diese Arbeit aber mit der Verkehrserhebung auf Basis verschiedener Eingangsdaten befasst, die zwar in Echtzeit entstanden sind, aber erst im Nachhinein zur Beantwortung der Fragestellung verarbeitet werden und nicht direkt zur Verkehrsbeeinflussung genutzt werden (Körner 2011), ist hier ein anderer Ansatz zur Datenverarbeitung notwendig. Des Weiteren gibt die Verkehrslage nur Informationen zum Verkehrszustand - Stau, stockender oder fließender Verkehr - wieder, aber nicht zur Verkehrsstärke. Dazu wurde bei der Literaturrecherche zum aktuellen Forschungsstand zum Thema Map-Matching von FCD wiederum die Erkenntnis gewonnen, dass hier sehr viele Ergebnisse zum Thema Reisezeiten und -geschwindigkeiten auf Grundlage der Verarbeitung von Echtzeitdaten gibt. Da aber in dieser Arbeit auf archivierte Daten zurückgegriffen wird erfolgt zum einen keine Bearbeitung von Echtzeitdaten und zum anderen sollen die Daten in einem Geographischen Informationssystem (GIS) verarbeitet werden. Bei der Recherche nach einem GIS-gestützten Ansatz zur Verarbeitung der Daten werden die Suchergebnisse deutlich geringer (siehe Tabelle 1). Des Weiteren wird dieses Bild zum aktuellen Forschungsstand bezüglich dem GIS-gestützten Map-Matching durch die Artikel von Van Dijk und De Jong (2017) und Dalumpines und Scott (2011) bestätigt.

Tabelle 1 Suchergebnisse auf Google Scholar (Stand: 15.07.2018)

Suchbegriff	Ergebnisse
„Map-Matching“	Etwa 26.000
“Map-Matching Real-time”	14.900
„Map-Matching GIS-based”	848

6 Verkehrsstärken und deren Erhebung

Im folgenden Kapitel werden nun die Grundlagen zur aktuell geläufigen Ermittlung von Verkehrszahlen bzw. Verkehrsdaten nach der „Empfehlungen für Verkehrserhebungen“ in Deutschland beschrieben. In den Empfehlungen werden Hinweise sowie direkte Maßnahmen beschrieben, die zur Einhaltung von Mindeststandards während der Verkehrserhebungen beitragen (FGSV 2012).

Die in dieser Arbeit vorrangig betrachtete Verkehrsstärke ist nur ein Element, das über eine Verkehrserhebung an Verkehrsdaten ermittelt werden kann. Die Verkehrsstärke ist dabei eine makroskopische Kenngröße und stellt die „Anzahl der Verkehrselemente eines Verkehrsstroms je Zeiteinheit an einem Querschnitt“ (FGSV 2012) dar. Für eine Verkehrserhebung ist der Zweck und das Ergebnis, weshalb diese durchgeführt wird, und somit die damit verbundenen Erfassungsmethode für den Wissensgewinn ausschlaggebend.

Bei der Verkehrserhebung gibt es grundsätzlich zwei Ansätze. Das ist zum einen die Zählung, die sich mit der Erfassung der Anzahl an Objekten befasst, also der „Ortsveränderung von Personen und Gütern“ (FGSV 2012) und zum anderen „die Beobachtung und Befragung“ (Wikipedia 2018a), z.B. zur Ermittlung des Grundes der Fahrt. Welche Methode bei der Verkehrserhebung zum Einsatz kommt hängt davon ab, welche Erkenntnis durch die Erhebung gewonnen werden soll. Da in dieser Arbeit die Fragestellung geklärt werden soll, ob es möglich ist die Verkehrsstärke auf Nebenstraßen zu ermitteln liegt hier der Fokus auf der Verkehrszählung also der Ortsveränderung von Objekten. Eine Befragung hinsichtlich des Zwecks und Grund einer Fahrt bedarf eines anderen Herangehens und vor allem anderer Daten und ist zur Beantwortung der Forschungsfragen dieser Arbeit nicht notwendig. Des Weiteren unterscheiden sich die Erfassungsarten der Verkehrserhebung auch dahingehend, dass die Verkehrsbefragung eine personenbezogene Methode ist und die Zählung sich auf den zu untersuchenden Raum, die Straße, bezieht. Dabei ist die Methode der Zählung nicht dahingehend untergliedert, ob rein die Bewegung eines Objektes im Netz untersucht werden soll, was die netzbezogene Erhebung darstellt, oder ob direkt die Bewegung eines Objektes im Raum abgebildet werden soll, was die „raumbezogene Erhebung im engeren“ Sinne (Wikipedia 2018a) darstellt.

Im Fall der Ermittlung von Verkehrsstärken wird daher die Verkehrszählung als Erfassungsart gewählt, da hier nicht die Bewegung eines einzelnen Objektes in einem Netz untersucht wird, sondern eine auf einen definierten Raum bezogene Erhebung erfolgt.

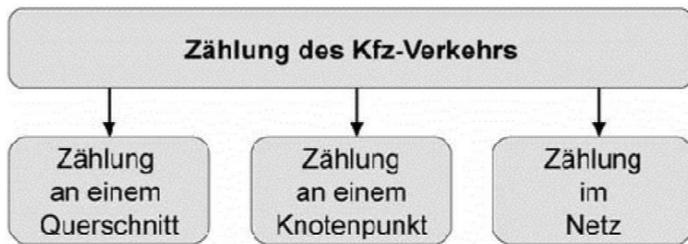


Abb. 3 "Zählung des KFZ-Verkehrs" (FGSV 2012)

In der EVE (FGSV 2012) werden für die Erfassung des Kraftfahrzeugverkehrs drei Anwendungsgebiete (siehe Abb. 3) beschrieben, welche im Folgenden mit ihrem Einsatzgebiet beschrieben werden:

- Bei einer **Querschnittszählung** werden alle Objekte gezählt, die während des Untersuchungszeitpunkts den Straßenquerschnitt passieren. Bei dieser Art der Erhebung wird nach der Fahrzeugart, Fahrtrichtung und, je nach Fragestellung, auch nach dem Fahrstreifen unterschieden (FGSV 2012). Querschnittszählungen sind eindeutig einem Ort/einer Position zugeordnet und können daher als Dauererhebungen in Form von Pegelzählungen oder als Stichprobenerhebungen ausgeführt werden (Schnabel und Lohse 2011b).

Eine Querschnittszählung wird durchgeführt, wenn die „Bestimmung von querschnitts- und richtungsbezogenen Verkehrsstärken in Form von DTV- bzw. DTV_{w5}-Werten oder anderen Kenngrößen“ (FGSV 2012) die Zielsetzung ist.

- Bei einer **Knotenpunkterhebung** werden an einem Kreuzungsknoten die Fahrzeuge getrennt nach ihrer Art und Fahrtrichtung einzeln erfasst (FGSV 2012). Zusätzlich zu den Fahrzeugen wird hierbei noch die Anzahl der Fußgänger je Richtung und Ast miterfasst. Dabei ist das Ziel die Leistungsfähigkeit des betrachteten Knotens zu ermitteln. Diese Form der Verkehrserhebung ist mit eine der komplexesten, da mit der Komplexität eines Knotens der „Aufwand für den Einsatz des Zählpersonals“ (FGSV 2012) deutlich steigt.
- Mit einer **Stromerhebung** (auch als Kordonerhebung bezeichnet) werden alle Ortsveränderungen sowie die dazu gehörenden Verkehrsquellen und Verkehrsziele beschrieben. Anhand einer Stromerhebung lassen sich daher „räumlich-zeitliche Verhaltensweisen“ (Schnabel und Lohse 2011b) beschreiben. Die Untersuchung erfolgt über die Betrachtung von mehreren Querschnittszählungen und Knotenpunkterhebungen in einem Gebiet mit einer größeren räumlichen Ausdehnung.

Eine Stromerhebung wird durchgeführt, wenn für ein größeres Untersuchungsgebiet (z.B. ein Quartier) „die Verkehrsmengen des Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehrs bzw. die Verkehrsmengen zwischen einzelnen Erfassungspunkten ermittelt werden sollen“ (FGSV 2012). Bei dieser Art der Betrachtung liegt der Fokus auf der Beantwortung der Frage wie groß der Anteil des Durchgangsverkehrs ist und wie man auf diesen Einfluss nehmen kann.

Die oben beschriebenen Erhebungsarten haben unterschiedliche Zielsetzungen und dienen daher der Beantwortung unterschiedlicher Fragestellungen und sollen entsprechend dieser eingesetzt werden. Bei einer Querschnittserhebung wird die Verkehrsstärke an einem bestimmten Straßenquerschnitt erhoben. Zusätzlich dazu werden bei einer Knotenerhebung noch die Anzahl der Fußgänger sowie die jeweilige Richtung betrachtet. In der darüber angeordneten Betrachtung einer Stromerhebung erfolgt die Betrachtung mehrerer Querschnitte und Knoten um hier eine Antwort zu den Verkehrsmengen zu erhalten.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen in dieser Arbeit wird daher der Ansatz der Querschnittserhebung verfolgt, da hier Verkehrsstärken in Bezug auf eine bestimmte Straße ermittelt werden sollen. Anhand der Themeneingrenzung in Kapitel 3 wird hier keine Knotenpunkterhebung umgesetzt. Da bei einer Stromerhebung neben der Ortsveränderung von Objekten auch die Quell- und Zielverkehre betrachtet werden und primär die Verkehrsmengen und der Durchgangsverkehr im Fokus stehen, kann die zugrundeliegende Fragestellung mit einer Stromerhebung nicht beantwortet werden.

6.1 Aufbau einer Verkehrserhebung

Eine Verkehrserhebung gliedert sich in sieben Schritte beginnend mit der Grundlagenkonzipierung bis hin zur Dokumentation. Im Folgenden wird eine kurze Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte zum Aufbau einer Verkehrserhebung auf Grundlage der EVE (siehe Abb. 4) gegeben.

Zu Beginn einer jeden Verkehrserhebung steht die Grundlagenkonzipierung in der der Erhebungsanlass sowie das Untersuchungsziel mit den dazugehörigen Randbedingungen und Hypothesen formuliert werden. In der Erhebungsvorbereitung erfolgen u.a. die Auswahl der Erhebungsmethode, die räumliche Abgrenzung sowie die Festlegung der Zeit und Erhebungsdauer. Bei der Erhebungsorganisation erfolgen die Abstimmung mit den Behörden, die Erstellung der Erhebungsunterlagen sowie die Schulung des Zählpersonals. Die praktische Umsetzung folgt dann in der direkten Erhebungsdurchführung bei der die Verkehrszahlen ermittelt werden und die Dokumentation der aktuellen Witterung sowie der Besonderheiten bei der Erhebung erfolgen. Im Anschluss daran erfolgt die Datenaufbereitung mit der Überprüfung der Ergebnisse und Korrektur von etwaigen Mängeln. In diesem Schritt erfolgen auch die Hochrechnung der Daten sowie die Ablage der Daten in einer Datenbank oder Datei. Als vorletzter Schritt wird die Analyse der Daten durchgeführt. Hier erfolgen die Auswertung der Daten, Interpretation sowie die Überprüfung, ob die Hypothesen widerlegt werden können und das Ziel erreicht wurde. Mit der Beschreibung der Datenstruktur, Bereitstellung der Daten sowie Erfassung von Metadaten ist der letzte Schritt der Dokumentation einer Verkehrserhebung abgeschlossen.

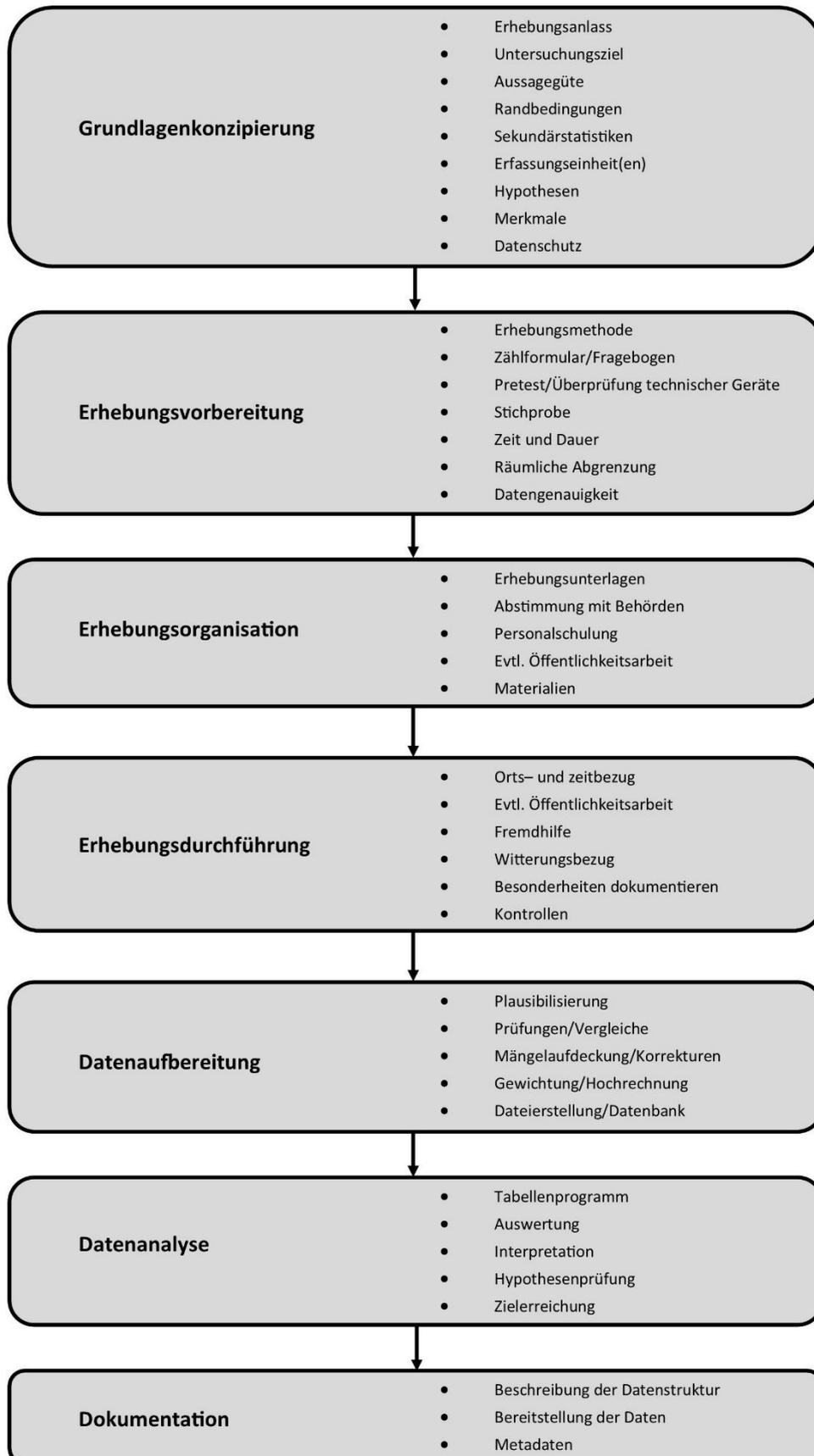


Abb. 4 "Arbeitsschritte einer Verkehrserhebung" (FGSV 2012)

6.2 Erhebungszeiten

Die Zeiten für eine Verkehrszählung richten sich nach dem jeweiligen Erhebungsziel. Für eine Verkehrserhebung liegt der übliche Erhebungszeitraum in den „jahresmittleren“ Monaten (FGSV 2012) von März bis Oktober in Wochen, die nicht unter der Beeinflussung von Schulferien und Feiertagen oder ähnlichen besonderen Ereignissen stehen. In Abhängigkeit von der Fragestellung können die Zählzeiten aber von der Norm abweichen, wenn z.B. geklärt werden soll wie sich der Fußgängerverkehr an Wochenenden im Advent verhält oder wenn sich dies durch die örtlichen Verhältnisse bedingt (FGSV 2012).

Bei einer Verkehrserhebung werden dabei die Werktage nach normalen Werktagen ohne Beeinflussung von Schulferien oder Feiertagen betrachtet sowie Werktage, die durch Schulferien beeinflusst sind (Lensing 2013). Dabei sind die Tage von Dienstag bis Donnerstag sich am ähnlichsten. Montag und Freitag werden gesondert betrachtet, da sie durch das Wochenende beeinflusst werden, was sich im Verkehrsaufkommen widerspiegelt. Je nach Anwendungsfall reicht eine reine Erhebung an durchschnittlichen Tagen nicht aus und erfordert eine Erhebung an Freitagen und Sonntagen.

Für die Beantwortung der Forschungsfragen dieser Arbeit bedeutet dies, dass hier die Erhebungszeiten für das Ziel der Ermittlung der Verkehrsstärke nach KFZ/h berücksichtigt werden müssen. Daher müssen die Erhebungszeiten bei der Entwicklung des Lösungsansatzes (Kapitel 7) und bei der prototypischen Umsetzung mitberücksichtigt bzw. umgesetzt werden.

6.3 Automatische Ermittlung

Bei der automatischen Ermittlung von Verkehrszahlen erfolgt die Unterteilung der eingesetzten Systeme nach der Art ihrer Anbringung. Dabei unterscheidet die (FGSV 2010) nach Systemen, die

- auf die Fahrbahn aufgebracht oder in bzw. unter der Fahrbahn sind oder
- wie z.B. Radargeräte neben der Fahrbahn bzw. oberhalb der Fahrbahn aufgebaut sind.

Im Folgenden werden die zur Erfassung von Verkehrsstärken relevanten Systeme kurz erläutert.

- In der Fahrbahn verlegte **Drucksensoren** (z.B. „pneumatische Schlauchdetektoren“ (FGSV 2010)) können mittels dem Weg-Zeit-Prinzip zur Erfassung der Fahrzeuganzahl und der gefahrenen Geschwindigkeit eingesetzt werden. Dabei haben alle Drucksensoren die Gemeinsamkeit, dass genaue Auswertungen der Fahrzeuganzahl und -gruppen nur mit Doppelsensoren sowie der Information zur

Achskonfiguration möglich sind. Des Weiteren ist das System fehleranfällig, wenn Fahrzeuge nicht in der Mitte des Fahrstreifens fahren (FGSV 2010). Dies führt zu Fehlern in Bezug auf die Anzahl und Geschwindigkeit.

- Die Ermittlung von Verkehrszahlen mittels **Induktionsschleifen** erfolgt über die in Fahrbahnen verlegte Drahtschleifen und der dazugehörigen „Detektions- und Auswerteeinheit“ (FGSV 2010). Bei dieser Art der Erfassung wird zwischen der reinen Erfassung der Fahrzeuganzahl als sogenanntes Einschleifen-Prinzip und dem Zweischleifen-Prinzip unterschieden, dass zur Erfassung der Geschwindigkeit und zur verbesserten Fahrzeug-klassifizierung dient. Vorteil der Messung mittels Induktionsschleifen ist, dass diese nicht durch witterungs- und lichtbedingte Faktoren in ihrer Genauigkeit beeinflusst werden und sich bei fachgerechtem Einbau jahrelang bewähren (FGSV 2010).
- Die Erfassung von Verkehrsdaten mittels **Magnetfeldsensoren** erfolgt über auf die Fahrbahn aufgebrachte Magnetfeldplatten. Anhand dieser werden Magnetfeldänderungen durch die „Bewegung von Metallteilen (z.B. in den Stahlkarosserien von Fahrzeugen)“ (FGSV 2010) erfasst. Erfasst werden hier die Fahrzeuganzahl, -art, Geschwindigkeit sowie die Abstände zwischen den Fahrzeugen. Dabei ist zu beachten, dass Fahrräder und Motorräder auf Grund ihrer geringen Masse nicht zuverlässig erfasst werden.
- Bei Messungen mittels **Radargeräten** werden elektromagnetische Signale ausgesendet, die durch das Fahrzeug reflektiert werden. Beim Seitenradar, das einen stationären Betrieb darstellt, ist die Erfassung der Fahrzeuganzahl nur bei geringen Verkehrsstärken sinnvoll, da das Signal sonst durch voranfahrende Fahrzeuge verschattet werden kann. Bei einem Aufbau der Antennen „über der Fahrbahn“ (FGSV 2010) ist eine Messung nach den einzelnen Messstreifen möglich. Vorteil der Methode ist, dass sie auch bei schlechten Witterungsbedingungen zur Ermittlung der Fahrzeuganzahl, Geschwindigkeit und Fahrtrichtung eingesetzt werden kann.

Bei der anschließenden Datenaufbereitung stellt die Plausibilitätsprüfung der erhobenen Werte einen wichtigen Punkt dar, da durch z.B. Detektorstörungen, einem Ausfall der Geräte, Datenübertragungsfehler oder Störungen im Verkehrsablauf diese Fehler in den Daten beseitigt oder behoben werden müssen (FGSV 2010). Zur Überprüfung der Ergebnisse können z.B. Vergleichsmessungen von „gleichartig strukturierten Nachbarzählstellen“ (FGSV 2010) herangezogen werden. In Bezug auf Dauerzählstellen werden zur Bildung von fortlaufenden und somit lückenlosen Datenreihen Schätzalgorithmen eingesetzt.

Alle automatischen Erhebungsmethoden haben als Gemeinsamkeit, dass ein Detektor auf, in oder neben der Fahrbahn verbaut werden muss. Im Vergleich dazu muss bei der Erfassung von Messwerten via FCD keine zusätzliche Messinfrastruktur aufgebaut werden, da FCD durch die im Fahrzeug verbaute Technik kontinuierlich Positionsdaten inklusive des Zeitstempels übermittelt werden (Körner 2011).

6.4 Manuelle Ermittlung

„Die manuelle Straßenverkehrszählung ist grundsätzlich als räumliche Totalerhebung konzipiert. Die Zählungen selbst werden als zeitliche Stichprobe durchgeführt“ (Lensing 2013). Dabei erfolgt die Datenaufnahme durch eingewiesenes Personal anhand von vorgefertigten „Formularen, mit Handzählgeräten oder mit Hilfe von Handheld-Computern“ (FGSV 2012). Des Weiteren besteht bei manuellen Zählungen die Notwendigkeit das Personal hinsichtlich der korrekten „Unterscheidung der Fahrzeugarten“ (FGSV 2012) zu schulen.

Auf Straßen mit einem hohen Verkehrsaufkommen ist es notwendig für jeden einzelnen Fahrstreifen eine Person einzusetzen. Dies machen die in der EVE veranschlagten Zahlen zur Zählleistung pro Person deutlich. Werden nur zwei Fahrzeugarten, z.B.

Personenkraftfahrzeuge (PKW) und der Schwerverkehr, gezählt wird dabei von einer „Zählleistung von 400 bis 500 Kfz/h“ (FGSV 2012) für beide Richtungen ausgegangen. Wird durch eine Person nur eine Fahrtrichtung betrachtet wird von 800 bis 1000 KFZ/h ausgegangen. Diese Zahlen steigen laut EVE auf 2500 KFZ/h und Richtung, wenn Handhelds eingesetzt werden. An diesem Punkt wird deutlich, wie personalintensiv eine manuelle Zählung ist, vor allem wenn mehrere Querschnitte und Knoten betrachtet werden. Erfolgt eine Knotenerhebung steigt der Personaleinsatz noch weiter, da jeder Ast und auch die Fußgängerströme betrachtet werden müssen.

III Methodik - Ein neuer Weg zur Ermittlung der Verkehrsstärken aus verteilten Datenquellen

7 Lösungsansatz

Wie Kapitel II zeigt ist die Erhebung von Verkehrszahlen zum Teil sehr ressourcenaufwendig und beschreibt die Situation an einem Straßenquerschnitt zu einem bestimmten Zeitpunkt. Daher soll in dieser Arbeit der Ansatz verfolgt werden aus vorhandenen Daten Verkehrszahlen abzuleiten, um für die erste Einschätzung Informationen über den betrachteten Straßenquerschnitt je Fahrtrichtung zu erhalten ohne direkt eine Verkehrserhebung vornehmen zu müssen. Ziel des Lösungsansatzes ist es ressourcensparend ohne zusätzlichen Personaleinsatz und Durchführung einer Verkehrserhebung, zu Verkehrszahlen zu gelangen. Daneben soll der Lösungsansatz es dem Anwender ermöglichen die Erhebungszeiten individuell anzupassen bzw. alle Eingangsdaten über z.B. einen Monat zu analysieren.

Das bezirkliche Erhaltungsmanagement in der FHH wird GIS-gestützt betrieben und basiert auf räumlichen Analysen, damit die im Rahmen des Erhaltungsmanagements gewonnenen Erkenntnisse auf einer einheitlichen und vergleichbaren Basis stehen. An dieser Stelle greift der Ansatz dieser Arbeit die in den Bezirken vorhanden Mittel zu nutzen ohne zusätzliche Mittel, z.B. neue Software, anschaffen zu müssen. In diesem Fall sollen die unterschiedlichen Datenquellen in einem GIS verarbeitet, aufbereitet und analysiert werden. Ziel ist es, die in dieser Arbeit gewonnen Ergebnisse und Werkzeuge auch in der Praxis zum Einsatz kommen. Wichtig hierfür ist, dass es sich um ein modulares Konzept handelt, das in Abhängigkeit des zu untersuchenden Gebiets sowie der nutzbaren Daten an die daraus resultierenden Bedürfnisse angepasst werden kann und keine zusätzlichen Programmierkenntnisse des Nutzers erfordern.

Der Ansatz dieser Arbeit ist daher Daten zu identifizieren, die für die Ermittlung von Verkehrszahlen frei nutzbar und zugänglich sind. Anschließend sollen die Daten so aufbereitet werden und in einem Datensatz abgelegt werden, der bezüglich der Fragestellung ausgewertet werden kann. Ziel ist es unterschiedliche Datenquellen so zu kombinieren, dass neue Informationen und Erkenntnisse gewonnen werden können, die aus den einzelnen Datenquellen so nicht ableitbar sind bzw. für die eine Aufbereitung der Daten notwendig ist.

Der nächste Schritt ist die Aufbereitung der Daten in der Form, dass diese später zusammen analysiert und ausgewertet werden können. Dabei geht der Lösungsansatz davon aus, dass die Daten zuerst auf ein Straßennetz als einheitliche Basis und zur Eliminierung von Ausreißern

in den Messwerten gemappt werden und dann zur Gewinnung der Verkehrsdaten weiterverarbeitet werden (siehe Abb. 5). Zur Umsetzung des Lösungsansatzes ist es notwendig Straßenabschnitte zu bilden. Da sich die Aussage der Verkehrsdaten auf einzelne Straßenabschnitte beziehen sollen, die im Rahmen der Datenaufbereitung und -verarbeitung erstellt werden. Dies hat des Weiteren den Vorteil, dass eine Straße mit mehreren Abschnitten nicht als Ganzes betrachtet wird, sondern immer bezogen auf den Abschnitt betrachtet werden kann. Dies entspricht auch der Praxis in der Straßenplanung.

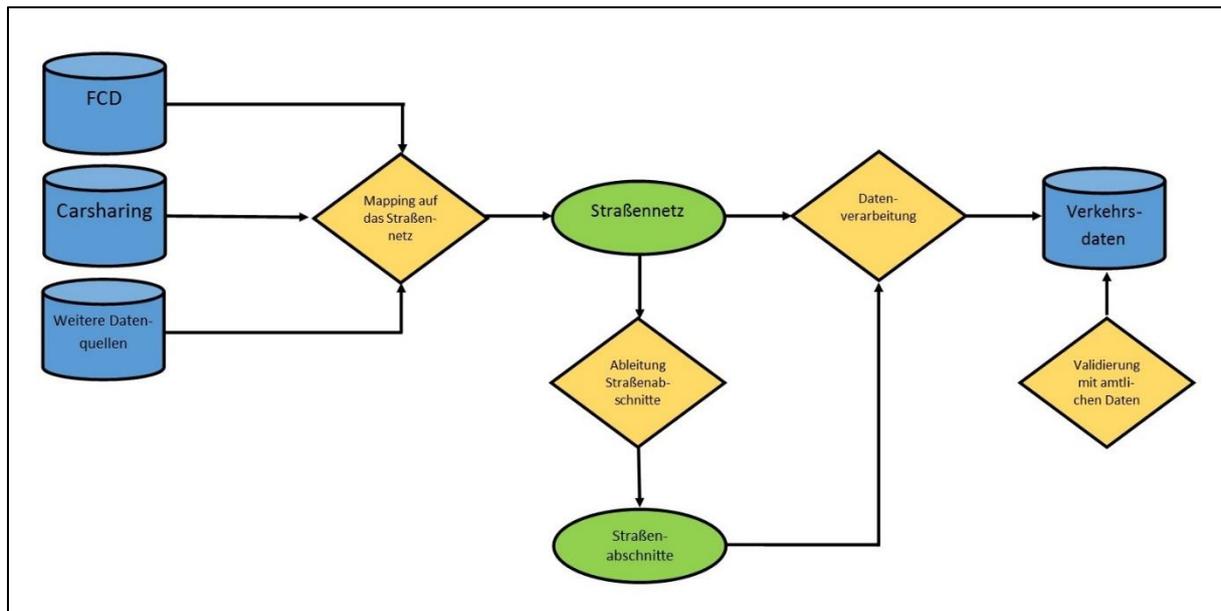


Abb. 5 Lösungsansatz zur GIS-gestützten Ermittlung von Verkehrsdaten

Nach der Datenaufbereitung erfolgt dann die Aggregation der Daten zum einen nach einem Schema für Verkehrserhebungen und zum anderen wird der vollständige Monatsdatensatz vom 01. bis 30. April 2017 analysiert. Die zwei Wege zur Aggregation werden betrachtet, da zum einen eine Vergleichbarkeit zu vergangenen Verkehrserhebungen nach dem in der EVE (FGSV 2012) beschriebenen Vorgehen bestehen soll und zum anderen betrachtet werden soll, wie die Ergebnisse aussehen, wenn der Monatsdatensatz genutzt wird. Hintergrund ist, dass FCD kontinuierlich gesendet werden und daher hier zu betrachten ist, wie sich die Ergebnisse der Auswertung eines kompletten Monats im Vergleich zu den aggregierten FCD verhalten. Im Vergleich wäre eine manuelle Verkehrserhebung über einen Monat nicht leistbar, da der Ressourcenaufwand ins Unermessliche steigen würde. Danach werden die aus den Eingangsdaten abgeleiteten Informationen in einen Datensatz zusammengeführt. Ab diesem Punkt erfolgt die gemeinsame Auswertung der Eingangsdaten. An dieser Stelle soll ein Weg erarbeitet werden zur Ableitung der Verkehrsstärke in KFZ/h nach Straßenabschnitten und es soll geklärt werden, ob es möglich ist einen Umrechnungsfaktor für

die Bezirksstraße auf Grundlage der auf Hauptverkehrsstraßen ermittelten Werte abzuleiten. Hierzu soll über die im HBS (FGSV 2015) beschriebenen q-V-Diagramme (Abb. 6 bis Abb. 8), für angebaute Hauptverkehrsstraßen und den dort beschriebenen Fahrbahnquerschnitt, anhand der gefahrenen mittleren Geschwindigkeit auf Hauptverkehrsstraßen die Verkehrsstärke in KFZ/h abgeleitet werden und mit amtlich erhobenen Verkehrszahlen der BWVI validiert werden. Abb. 6 zeigt das q-V-Diagramm für eine Hauptverkehrsstraße mit einem normalbreiten Fahrstreifen von 4,25 m (FGSV 2006). Als Beispiel hierfür ist der Jungfernstieg zu nennen. Abb. 7 zeigt das q-V-Diagramm für Hauptverkehrsstraßen mit einem überbreiten Fahrstreifen von bis zu 5,50 m und in Abb. 8 erfolgt die Darstellung des q-V-Diagramms für eine Hauptverkehrsstraße mit zwei Fahrstreifen, als Beispiel hierfür ist die Steinstraße zu nennen.

Sofern die aus den q-V-Diagrammen abgeleiteten Verkehrsstärken nicht zu stark von den amtlichen Verkehrsstärken abweichen, soll anhand der über die mittlere Geschwindigkeit ermittelte Verkehrsstärke auf Hauptverkehrsstraßen ein Umrechnungsfaktor auf Basis der Anzahl von FCD und Carsharing-Fahrzeugen für die Bezirksstraßen abgeleitet werden. Die mittlere Fahrtgeschwindigkeit steht mit der Verkehrsstärke in einem engen Zusammenhang, da sich Kraftfahrzeuge unterschiedlich auf den Querschnitt verteilen und somit die Verkehrsdichte beeinflussen. Daneben sollen die zusammengeführten Daten in Hinblick auf weitere Aussagen, wie z.B. der gefahrenen Geschwindigkeit, betrachtet werden.

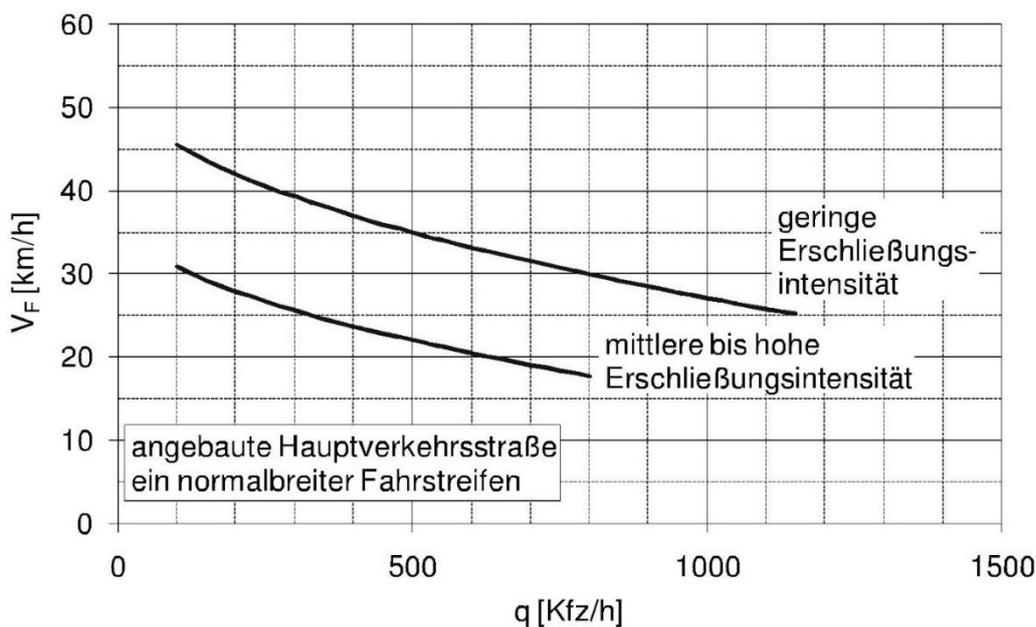


Abb. 6 Mittlere Fahrtgeschwindigkeit auf einer Hauptverkehrsstraße mit einem Fahrstreifen (FGSV 2015)

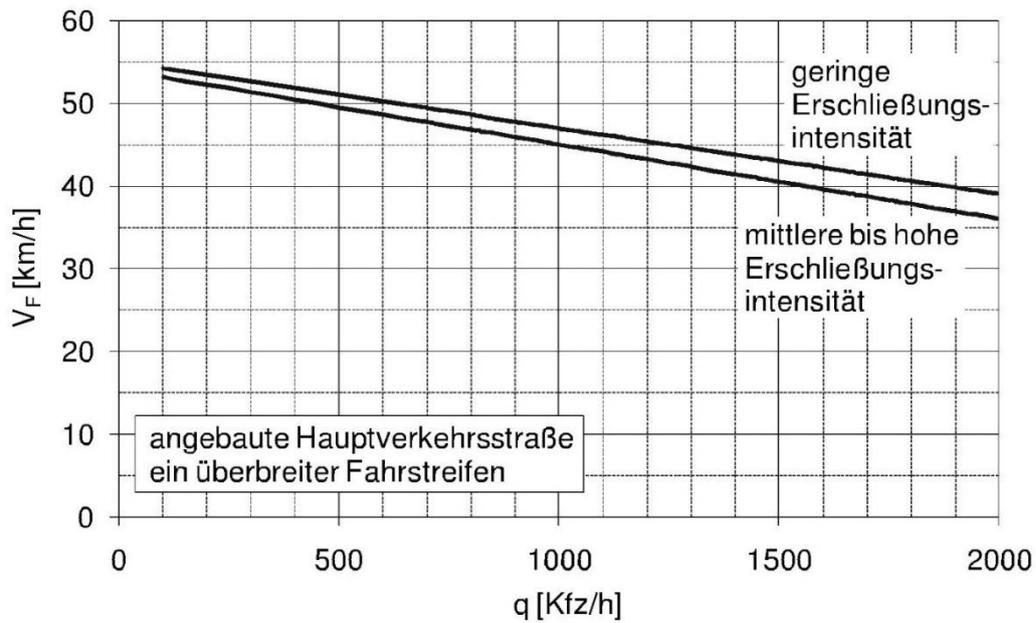


Abb. 7 Mittlere Fahrtgeschwindigkeit auf einer Hauptverkehrsstraße mit einem überbreiten Fahrstreifen (FGSV 2015)

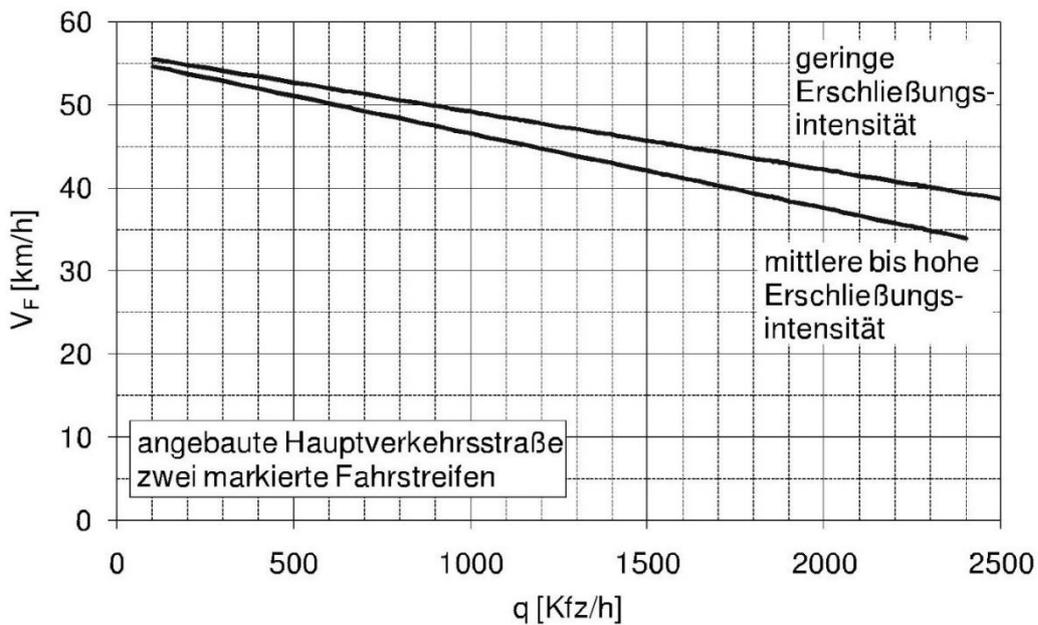


Abb. 8 Mittlere Fahrtgeschwindigkeit auf einer Hauptverkehrsstraße mit zwei Fahrstreifen (FGSV 2015)

8 Map-Matching

Zur Umsetzung des Lösungsansatzes aus Kapitel 7 ist es notwendig die Eingangsdaten (FCD und Carsharingdaten) dem Straßennetz zuzuordnen. Unter Map-Matching wird die Verortung von Positionsdaten, z.B. FCD oder GPS-Tracks, auf das nächst gelegene Liniensegment, in diesem Fall einem Straßennetz, verstanden (Xi u. a. 2007). Damit erfolgt eine Einpassung der GPS-Koordinaten, mit den ihnen innewohnenden Messungenauigkeiten, auf die Lage im Zieldatensatz. Van Dijk und De Jong (2017) und Dalumpines und Scott (2011) betrachten in ihren Arbeiten GPS-Tracks, die u.a. mittels Smartphones erfasst wurden, und wählten als Verarbeitung ein Post-Processing der Daten im GIS. Dieser Ansatz kommt in dieser Arbeit zum Einsatz, da hier vorhandene Software in der öffentlichen Verwaltung der FHH genutzt werden soll (siehe Kapitel 3) und archivierte Daten aus verschiedenen Quellen zusammengeführt werden sollen. Im Vergleich dazu betrachtet ein Großteil der Arbeiten zum Thema Map-Matching die Verarbeitung von Echtzeitdaten (Van Dijk und De Jong 2017), was eine andere Aufbereitung der Daten sowie der zugrundeliegenden Fragestellung erfordert. Der Unterschied liegt darin, dass das Ziel von Echtzeit-Map-Matching das Auffinden der aktuellen Position des Nutzers ist. Beim Post-Processing der GPS-Daten liegt der Fokus auf der Rekonstruktion eines aufgezeichneten Pfades (Van Dijk und De Jong 2017). Dabei setzen die gängigen Ansätze zum Map-Matching geometrische und topologische Analysen ein, welche standardgemäß im GIS enthaltenen Funktionen sind (Dalumpines und Scott 2011).

In dieser Arbeit wird im Vergleich zum beschriebenen GIS-gestützten Map-Matching kein Pfad rekonstruiert. Das Ziel des Post-Processings ist die Zuordnung der einzelnen Messwerte zum nächsten Straßensegment entsprechend deren Fahrtrichtung um auf diesem Weg die Daten nach Straßenabschnitten auswerten zu können. Hier wird also nicht der aufgezeichnete Pfad ermittelt, sondern die Zuordnung zum Straßenabschnitt über die enthaltene Fahrtrichtung (siehe Kapitel 7).

In Kombination mit geeigneten Daten, wie z.B. einem Verkehrsnetz, liefert GIS eine Analyseumgebung, in der durch die Nutzung von gängigen Filteroptionen die falsche Zuordnung von Messwerten reduziert werden kann. Für den vorliegenden Fall würden aus dem Verkehrsnetz nur Objekte, also Straßen, ausgewählt, auf denen Kraftfahrzeuge fahren. Dies hat den Vorteil, dass eine Betrachtung der unterschiedlichen Fortbewegungsarten erfolgen kann (Van Dijk und De Jong 2017). Des Weiteren werden auf diesem Weg die Fehler von Zuordnungen beim Map-Matching vermieden, da Kraftfahrzeuge nicht auf

Gehwegen fahren und wenn diese nicht mehr in der Auswahl enthalten sind, kann auf diese Segmente auch kein Map-Matching erfolgen (Van Dijk und De Jong 2017).

Neben den obengenannten GIS-Funktionalitäten setzten Dalumpines und Scott (2011) in ihrer Arbeit zur Entwicklung eines GIS-gestützten Map-Matching Algorithmus zusätzlich die Puffer-Funktion ein, die auch als Suchradius verstanden werden kann. Die Nutzung eines Puffers/Suchradius beim Map-Matching hat den Vorteil, dass Objekte, die zu weit vom nächsten Liniensegment entfernt liegen, automatisch ausgefiltert werden. Beim Mapping der Eingangsdaten auf ein eng gegliedertes Straßennetz, wie in es beim ausgewählten Untersuchungsgebiet (siehe Kapitel 9) der Fall ist, muss die Zuordnung der Messwerte über den Suchradius gesteuert werden, da sonst die Möglichkeit der falschen Zuordnung von Messwerten besteht. Dies stellt neben der Filteroption zur Reduzierung von Fehlzuordnungen eine weitere Möglichkeit dar, Fehler in den Messwerten, wie z.B. durch eine fehlerhafte Positionsbestimmung, zu eliminieren.

Im Folgenden wird in dieser Arbeit der Begriff Mapping genutzt, da sich hier nur an Elementen des Map-Matchings bedient wird.

9 Untersuchungsgebiet

Zur Bearbeitung der Fragestellungen wurde ein Gebiet in der Hamburger Innenstadt zwischen Binnenalster, Rathausmarkt, Glockengießerwall, Große Reichenstraße und Burchardstraße (siehe Abb. 9) ausgewählt. Das Untersuchungsgebiet wird dadurch charakterisiert, dass hier sehr viel Gewerbe- und Einzelhandel sowie Kaufhäuser und Einkaufszentren stationiert sind und daher über den Tag eine hohe Fluktuation im Verkehr besteht.

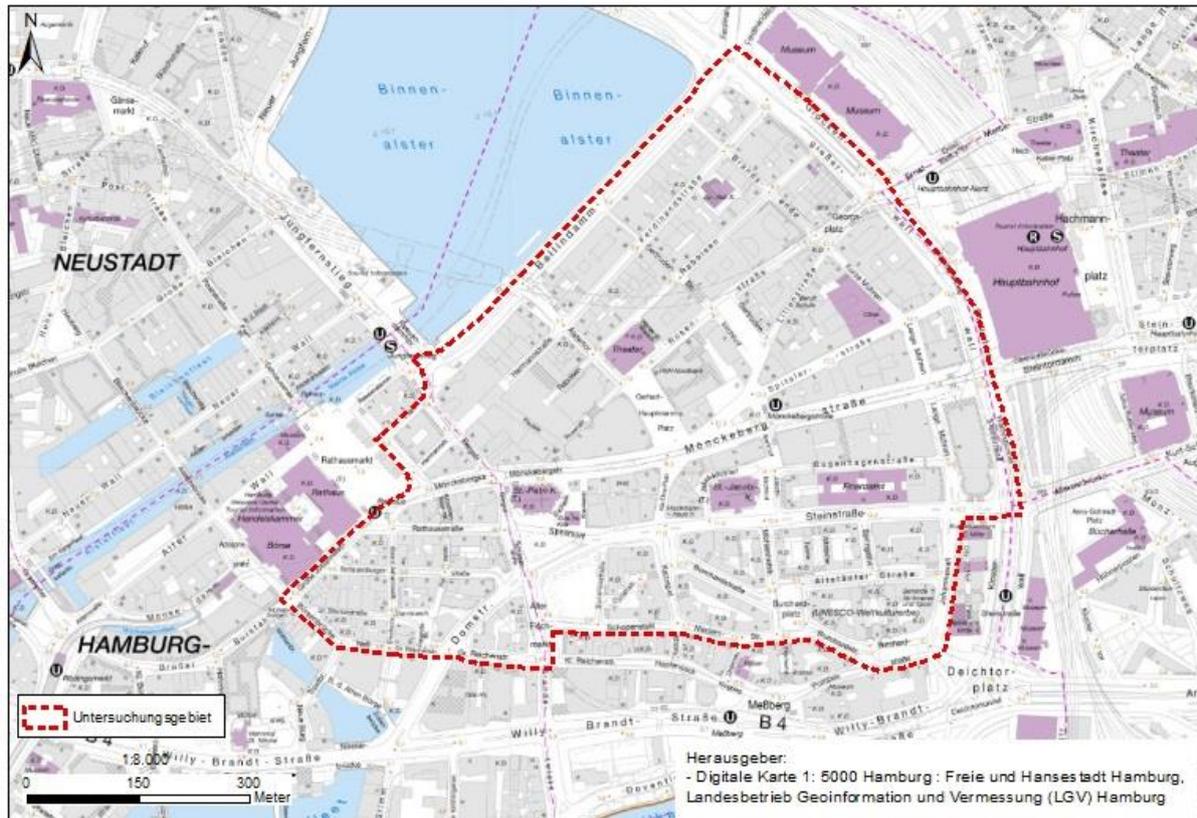


Abb. 9 Das Untersuchungsgebiet

Als Untersuchungszeitraum zur Beantwortung der Fragestellung wurde der Zeitraum von März bis April 2017 gewählt.

Folgende Straßen im Untersuchungsgebiet sind Gegenstand der Betrachtung in dieser Arbeit:

Tabelle 2 Straßenliste plus Straßentyp im Untersuchungsgebiet

Straßenname	Straßentyp	Bemerkung
Bergstraße	Hauptverkehrsstraße	
Ballindamm	Bezirksstraße	
Glockengießervall	Hauptverkehrsstraße	Nur der an das Untersuchungsgebiet angrenzende Teil
Brandsende	Bezirksstraße	
Ferdinandstraße	Bezirksstraße	
Alstertor	Bezirksstraße	
Hermannstraße	Bezirksstraße	
Raboisen	Bezirksstraße	
Rosenstraße	Bezirksstraße	
Kleine Rosenstraße	Bezirksstraße	
Gertrudenstraße	Bezirksstraße	
Lilienstraße	Bezirksstraße	
Georgsplatz	Bezirksstraße	
Kurze Mühren	Bezirksstraße	
Mönckebergstraße	Hauptverkehrsstraße	Ist nur für den öffentlichen Nahverkehr, Taxen und Lieferverkehre freigegeben
Lange Mühren	Bezirksstraße	
Steintorwall	Hauptverkehrsstraße	Nur der an das Untersuchungsgebiet angrenzende Teil
Steinstraße	Hauptverkehrsstraße	
Budenhagen	Bezirksstraße	
Jakobikirchhof	Bezirksstraße	
Speersort	Hauptverkehrsstraße	
Domstraße	Hauptverkehrsstraße	
Bergstraße	Hauptverkehrsstraße	
Plan	Bezirksstraße	
Rathausmarkt	Bezirksstraße	
Rathausstraße	Bezirksstraße	
Große Johannisstraße	Hauptverkehrsstraße	
Kleine Johannisstraße	Bezirksstraße	
Pelzerstraße	Bezirksstraße	
Schauenburgerstraße	Bezirksstraße	
Börsenbrücke	Bezirksstraße	
Neß	Bezirksstraße	
Große Bäckerstraße	Bezirksstraße	
Dornbusch	Bezirksstraße	
Große Reichenstraße	Bezirksstraße	
Alter Fischmarkt	Hauptverkehrsstraße	
Schopenstehl	Bezirksstraße	
Curienstraße	Bezirksstraße	
Kattrepel	Bezirksstraße	
Niedernstraße	Bezirksstraße	
Burchardstraße	Bezirksstraße	
Burchardplatz	Bezirksstraße	
Mohlenhofstraße	Bezirksstraße	
Altstädter Straße	Bezirksstraße	
Springeltwiete	Bezirksstraße	
Johanniswall	Bezirksstraße	

10 Eingangsdaten

Zu Beginn der Arbeit stand die Recherche nach möglichen Daten zur Bearbeitung der Fragestellung. In Hamburg steht hierzu u.a. das Verkehrsportal der BWVI (BWVI 2013) sowie der Metaver (LGV 2018a) zur Verfügung. Von dort aus begann die Recherche nach möglichen Ausgangsdaten die zur Beantwortung der Fragestellung genutzt werden können.

10.1 Straßennetz des OpenStreetMap Projekt

Als Grundlage zum Mappen der Ausgangsdaten wurde das Straßennetz des OpenSource-Projekt OpenStreetMap (OSM) ausgewählt. Über die Geofabrik (Geofabrik GmbH 2017) wurde das Verkehrsnetz der OSM als kostenlos angebotene Shape-Dateien für die Region Hamburg heruntergeladen. Für die weitere Verarbeitung wurde die Datei `gis.osm_roads_free_1.shp` (Abb. 10) verwendet. In dem Verkehrsnetz sind neben Straßen z.B. auch Geh- und Radwege sowie Abgänge zu der U- und S-Bahn enthalten, um für die unterschiedlichen Fortbewegungsarten alle Liniensegmente abzubilden. Das dort enthaltene Verkehrsnetz beinhaltet Informationen zu Straßennamen, Objektklasse, Geschwindigkeitsbegrenzungen, Fahrtrichtung, Brücken und Tunnels (Ramm 2017). Das Bezugssystem der Daten ist das World Geodetic System 1984 kurz WGS 1984.

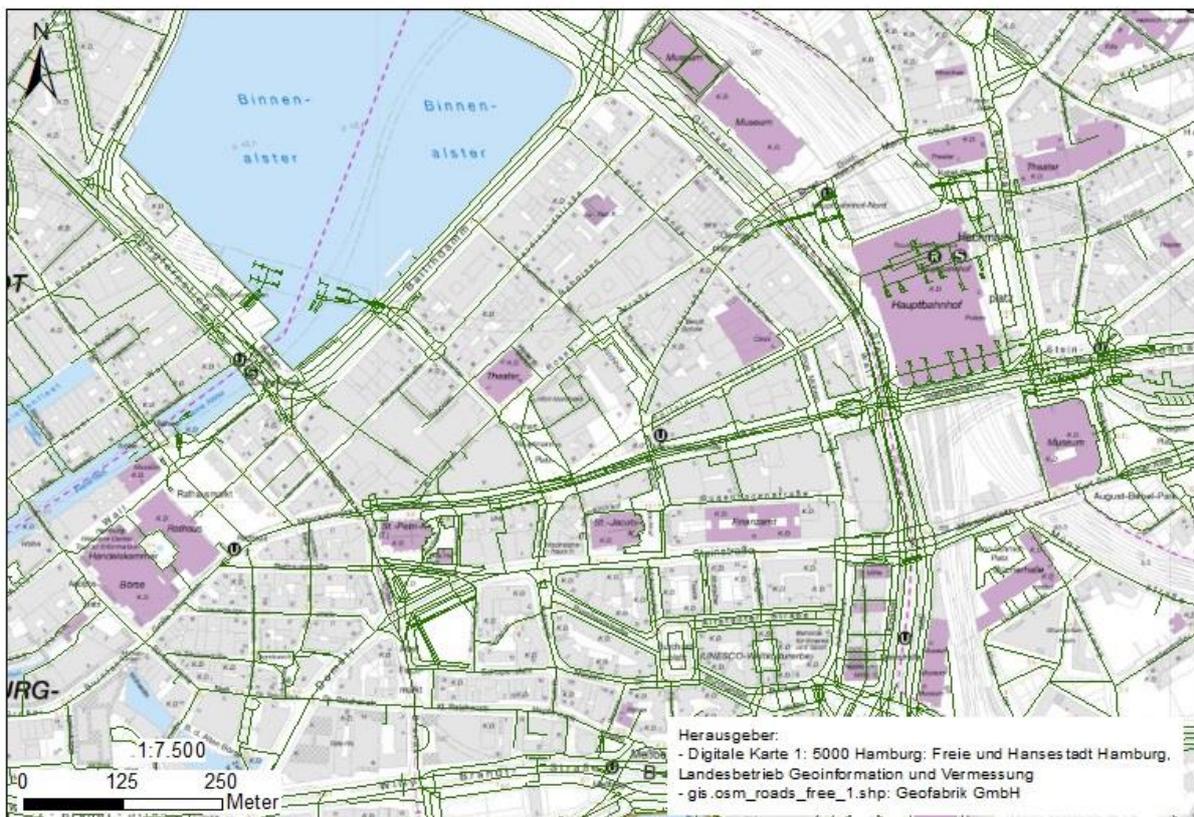


Abb. 10 Verkehrsnetz auf Basis der OSM-Daten

10.2 Verkehrszahlen und -mengen von Hauptverkehrsstraßen

Über die Internetpräsenz der Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation (BWVI) der FHH können für den Zeitraum von 2004 bis 2016 pro Jahr die durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV) in einer Excel-Tabelle bezogen werden (BWVI 2017) oder über das Verkehrsportal als Datensatz herunter geladen werden (BWVI 2013).

Ausgangspunkt für die so ermittelten Verkehrsstärken sind 30 Dauerzählstellen und ca. 300 Pegel auf den Hamburger Hauptverkehrsstraßen, Bundesfernstraßen und Autobahnen. An den Standorten erfolgt turnusmäßig eine stichprobenhafte Erhebung des fließenden Kraftfahrzeugverkehrs nach den allgemein gängigen Methoden der Verkehrserhebung. Dazu zeigt Abb. 11 die an das Untersuchungsgebiet angrenzenden KFZ-Zählstellen.

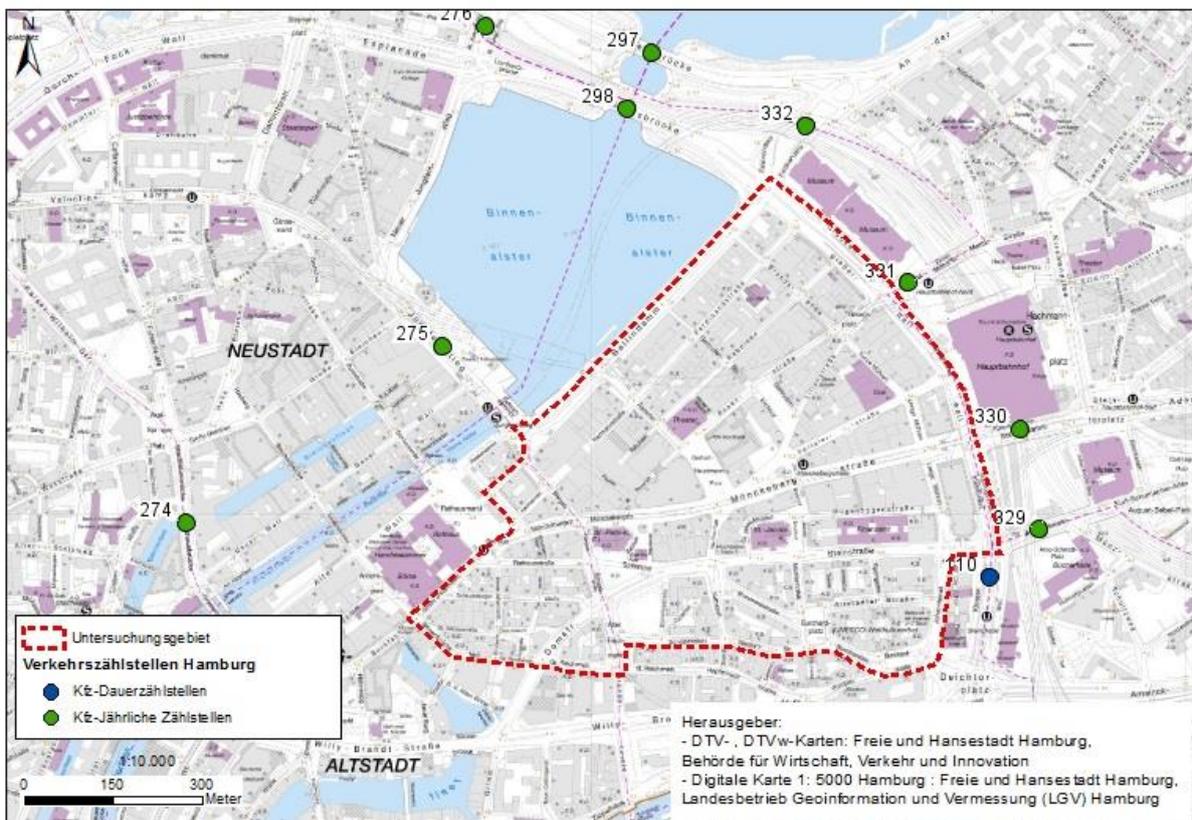


Abb. 11 Zählstellen in der Umgebung des Untersuchungsgebietes

Die BWVI stellt neben den Daten zu den Verkehrsstärken noch eine Karte zu den Verkehrsmengen auf Hauptverkehrsstraßen (BWVI 2016) zur Verfügung. Die der Karte zugrundeliegenden Daten wurden für die Ermittlung von Verkehrsstärken genutzt, da das Netz der jährlichen Zählstellen (siehe Abb. 11) nicht für alle Hauptverkehrsstraßen im Untersuchungsgebiet die Verkehrsstärke liefert. Inhalt der Karte sind die Verkehrsmengen

(siehe Abb. 12) als durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke an Werktagen (DTV_w) bezogen auf den jeweiligen Straßenabschnitt „bis zum Jahr 2014“ (BWVI 2016).

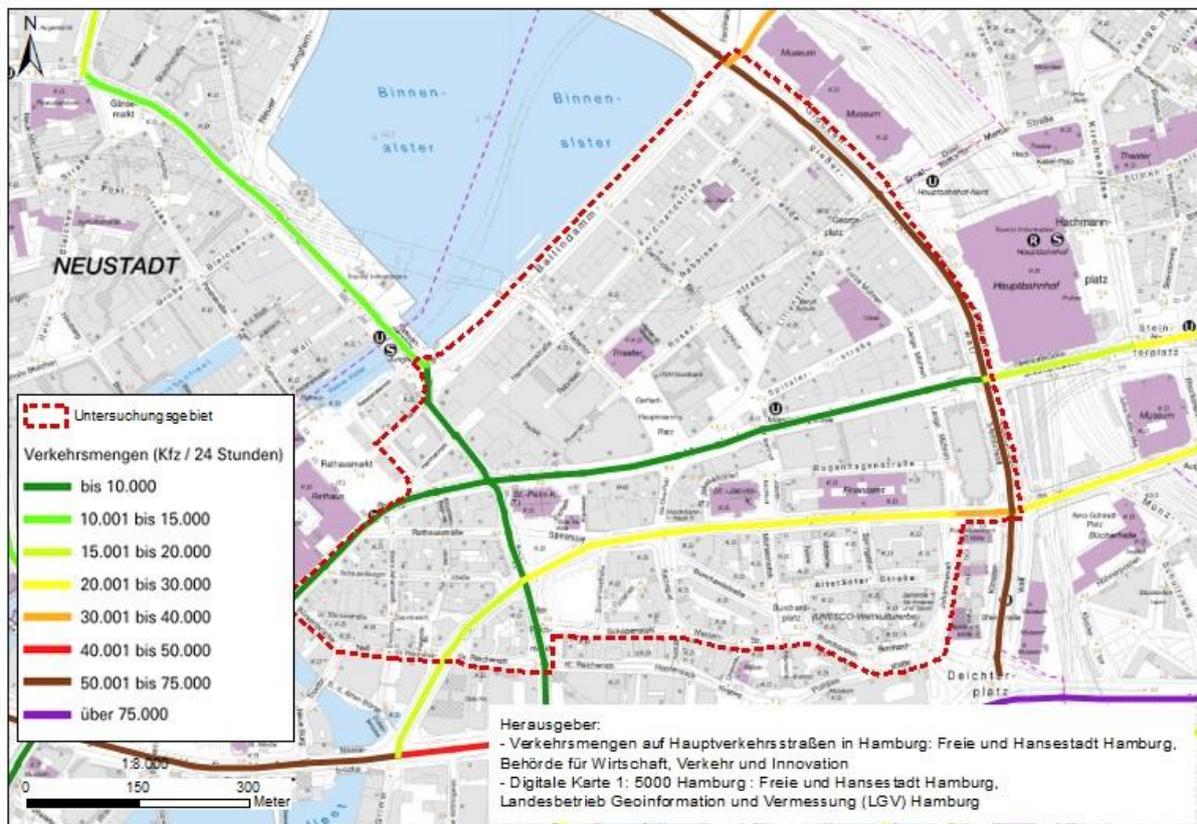


Abb. 12 Verkehrsmengen auf den Hauptverkehrsstraßen im Untersuchungsgebiet

10.3 Floating Car Daten

Die Positionsbestimmung und Erfassung der Geschwindigkeit von Fahrzeugen erfolgt heutzutage anhand der in Fahrzeugen verbauten Technik mittels GPS. Die so gewonnen kinematischen Parameter entlang eines Fahrtverlaufs sind im Fahrzeug generierte Verkehrsdaten und werden als Floating Car Daten bezeichnet (Wolf, Libbe, und Herrmann 2010). Das Prinzip hinter dieser Methode zur Erfassung von Verkehrsdaten ist, dass ein Fahrzeug zur Bewertung des allgemeinen Verkehrszustands genutzt wird und wie ein im Fluss schwimmender Korken im Verkehr mitschwimmt (nach Pfoser 2008).

Zur Bearbeitung der Fragestellung wurden FCD vom ADAC zur Verfügung gestellt, die über dessen Datendienstleister VIOM GmbH geliefert wurden.

In den FCD sind Informationen zum Fahrzeug-Identifizier, Fahrzeugtyp, Geschwindigkeit, aktuellen Position des Fahrzeugs, Zeitpunkt der Meldung sowie die aktuelle Fahrtrichtung und gefahrene Geschwindigkeit enthalten. Seit Anfang 2017 werden 1000 Meldungen pro Sekunde von jedem Fahrzeug der Flotte gesendet und die Fahrzeug-ID wird immer um 2 Uhr

nachts (UTC 0 Uhr) geändert. Die Daten wurden in einer CSV-Datei zur Verfügung gestellt und die GPS-Koordinaten haben das Bezugssystem WGS 1984.

Die FCD nutzen zur Datumsangabe die koordinierte Weltzeit (Universal Time Coordinated = UTC). Die UTC wird in Bereichen, wie z.B. der Navigation, Luft- und Seefahrt, in denen „eine weltweit einheitliche Zeitskala benötigt wird“ (Wikipedia 2018b).

10.4 Carsharingdaten

Als weitere Datenquellen zur Ermittlung der Verkehrsstärke soll neben den FCD, Daten eines Carsharing-Anbieters mit in die Ermittlung eingehen. Inhalt der Daten sind die Zeiten zur Anmietung und dem Mietende einer Fahrt. Auf den Verkehr hat das die Auswirkung, dass das Fahrzeug zum Abgabeort gefahren wurde bzw. wird vom Ort der Anmietung weggefahren. Das bedeutet, dass das Fahrzeug zum Zeitpunkt der Anmietung und dem Mietende am Verkehr beteiligt ist. Da hier eine Auswirkung auf den Verkehr erfasst werden soll, sind zur Beantwortung der Fragestellung stationsungebundene Carsharing-Anbieter von Bedeutung, da bei Stationsgebundenen Systemen nur an der Station eine Veränderung erfasst werden kann und nicht über ein größeres Gebiet.

In Hamburg waren für Personenkraftfahrzeuge momentan und zum Zeitpunkt der Betrachtung zwei stationsungebundene Carsharing-Anbieter aktiv. Das war zum einen Car2go und zum anderen DriveNow. Zur Beantwortung der Fragestellung wurden für diese Arbeit von DriveNow für den Untersuchungszeitraum anonymisierte Daten zur Fahrzeugmiete zur Verfügung gestellt.

Der zur Verfügung gestellte Datensatz beinhaltet die Standortdaten des jeweiligen Fahrzeugs mit Informationen zum Standort zu Beginn der Miete sowie zum Ende der Miete sowie den Start- und Endzeitpunkt der Miete, gefahrene Kilometer, Start- und Zieladresse, Koordinaten der Start- und Zieladresse. Informationen die den Beginn der Anmietung betreffen beinhalten ein „o“ am Ende des Spaltennamens/Attributnamen. Die Spalten, die sich auf das Ende der Miete beziehen enden auf „i“. Das Bezugssystem der Carsharingdaten ist das Koordinatensystem WGS 1984.

Zur Verarbeitung der Daten muss zum einen der Startzeitpunkt einer Miete berücksichtigt werden. Hier begibt sich das Fahrzeug in den Verkehr. Zum anderen müssen die Daten zum Ende der Miete beachtet werden, da das Fahrzeug zu diesem Zeitpunkt auch Bestandteil des im betroffenen Straßensegment auftretenden Verkehrs ist. Demnach müssen die

Carsharingdaten zweimal berücksichtigt werden, was eine Erstellung von zwei Feature Classes zur Folge hat.

Im Vergleich zu den FCD enthalten die Carsharingdaten keine Informationen zur Fahrtrichtung, da nur der Start- und Endzeitpunkt inkl. Position der Miete erfasst werden. Da die Carsharingdaten aber auf der Straßenachse verortet sind und keine Auswirkung der Fahrbewegung die Positionsdaten beeinflussen ist hier zu prüfen, ob ein Mapping notwendig ist oder ob einfachere Methoden eingesetzt werden können.

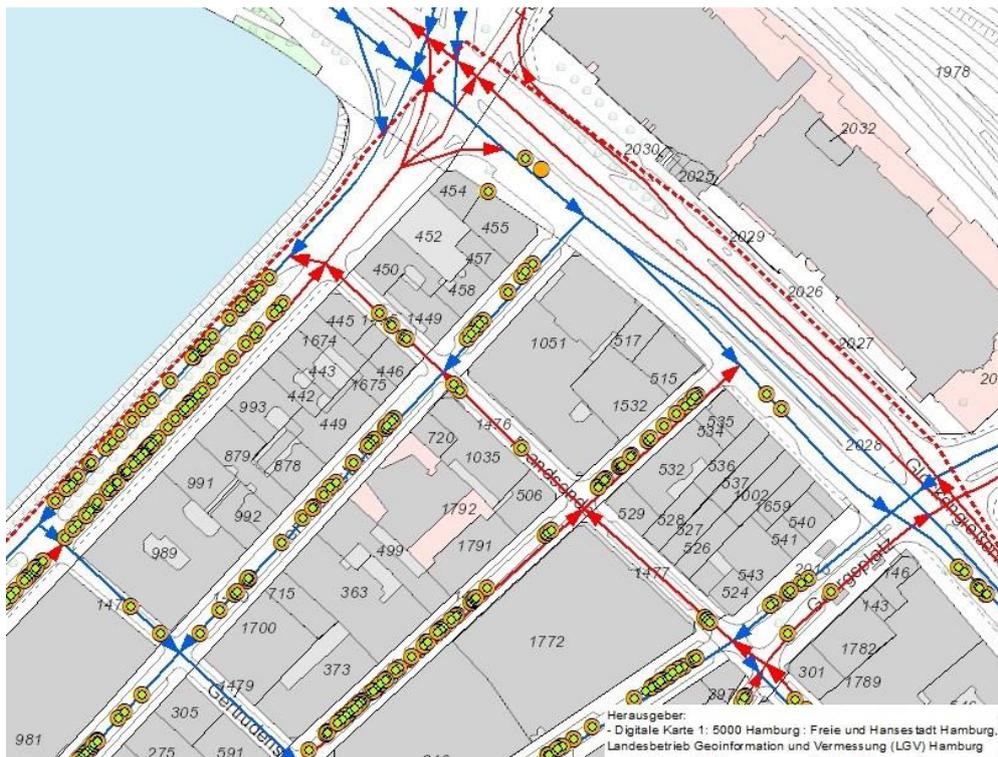


Abb. 13 Positionsdaten zu Anmietung und Abgabe der DriveNow-Fahrzeuge

IV Anwendungsfall – prototypische Umsetzung

11 Umsetzung

Nach der Datenrecherche und -analyse erfolgt nun in diesem Kapitel die Beschreibung der notwendigen Bearbeitungsschritte zur Datenaufbereitung sowie deren Ausführung und der eingesetzten Methoden zur Beantwortung der Forschungsfragen aus Kapitel 4.

Im Folgenden werden dazu die einzelnen Schritte beschrieben, die notwendig sind, um aus den vorliegenden Daten Verkehrsdaten zu ermitteln (siehe Abb. 5). Daher wurde das Kapitel IV in folgende Unterkapitel untergliedert:

- Datenaufbereitung und -vorbereitung
 - Vorbereitung des Straßennetzes
 - Aufbereitung der FCD
 - Aufbereitung der Carsharingdaten
- Mapping
 - Exkurs: Suchradius
 - FCD-Mapping
 - Mapping der Carsharingdaten
- Aggregation der Eingangsdaten nach dem Erhebungsschema
 - Datenauswahl nach dem Erhebungsschema
 - Erstellung der Stunden-, Tages- und Monatsstatistiken
 - Zusammenführung der FCD- und Carsharingstatistiken
- Ableitung der Verkehrsstärke
- Vergleich der Geschwindigkeiten

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf der Ermittlung von Verkehrszahlen. Daher wurde das Mapping der FCD und Carsharingdaten nur in dem Umfang umgesetzt, wie es zur Beantwortung der Fragestellung notwendig ist. Hierzu wurde der Ansatz zum Mappen der FCD aus der UNIGIS-Abschlussarbeit von Schulz (2011) zur Bearbeitung der Fragestellung entsprechend eingesetzt und an die vorliegende Fragestellung angepasst. Dieser Schritt ist notwendig, damit eine Aggregation der Daten nach Erhebungszeiträumen möglich ist sowie eine Zuordnung zum Straßenabschnitt entsprechend der Fahrbahnrichtung erfolgen kann (siehe Kapitel 7).

12 Datenaufbereitung und -vorbereitung

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte zur Aufbereitung der Eingangsdaten zum Straßennetz, der FCD und Carsharingdaten erläutert, da diese den notwendigen Anforderungen zur Bearbeitung der Fragestellung noch nicht genügen bzw. notwendige Informationen noch nicht vorliegen. Sei es, dass z.B. eine Straße mit zwei Fahrrichtungen nur anhand einer Linie dargestellt wird oder das Straßennetz in zwei Detaillierungsgraden benötigt wird oder dass die FCD für das Mapping vorbereitet werden müssen. Dieses Kapitel dient daher auch der Beantwortung der dritten Forschungsfrage *„Wie müssen die unterschiedlichen Daten aufbereitet werden, damit sie auf das Straßennetz gemappt und daraus die Verkehrsstärke ermittelt werden kann?“*.

12.1 Vorbereitung des Straßennetzes

Vor der Aufbereitung des OSM-Datensatzes `gis.osm_roads_free_1.shp` zum Straßennetz wurden alle Linienobjekte ausgewählt, die im Bezug zum KFZ-Verkehr stehen. Dazu wurde anhand der folgenden Definitionsabfrage die benötigten Objekte ausgewählt und in eine neue Feature Class in eine File Geodatabase (FGDB) exportiert:

```
"fclass" = 'primary' OR "fclass" = 'primary_link' OR  
"fclass" = 'residential' OR "fclass" = 'secondary' OR  
"fclass" = 'secondary_link' OR "fclass" = 'tertiary' OR  
"fclass" = 'tertiary_link' OR "fclass" = 'unclassified'
```

Alle anderen Objekte im Verkehrsnetz sind für die Betrachtung dieser Arbeit irrelevant, da sich auf ihnen keine Kraftfahrzeuge bewegen. Auf diesem Wege können beim darauffolgenden Schritt des Map-Matchings schon Fehler in der Zuordnung zum falschen Liniensegment vermieden werden, da diese nicht mehr im Datensatz enthalten sind (siehe Kapitel 8).

Zur Bearbeitung der vorliegenden Fragestellung wird das Straßennetz in zwei unterschiedlichen Ausprägungen benötigt. Zum einen in einzelnen Liniensegmenten als Ausgangspunkt für das Mapping der FCD und Carsharingdaten und zum anderen in Straßenabschnitten zwischen den Kreuzungsknoten. Da ein Straßenabschnitt sehr häufig aus mehreren Liniensegmenten besteht (siehe Abb. 14 links) mussten die Straßen erst aufgesplittet werden um dann später wieder als Straßenabschnitte (siehe Abb. 14 rechts) zusammengefasst zu werden.

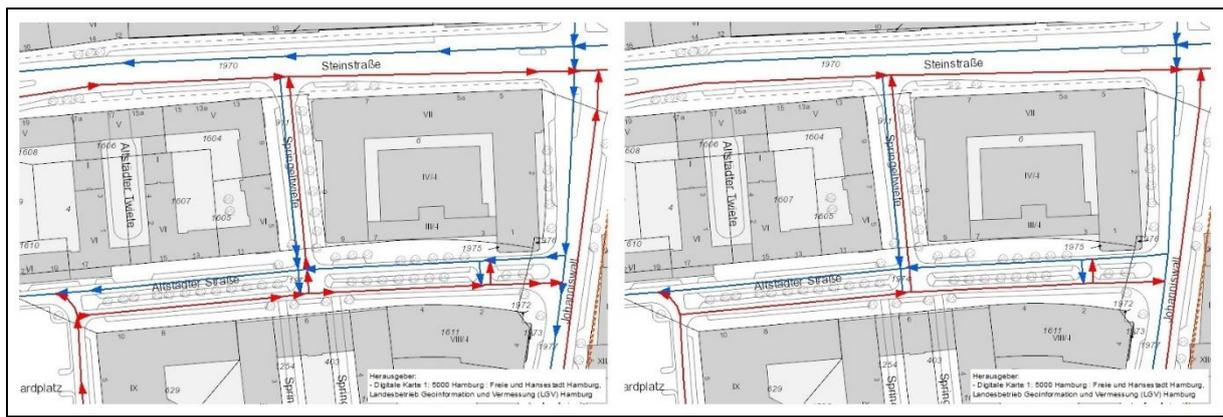


Abb. 14 Vergleich Liniensegment (links) und Straßenabschnitt (rechts)

Daher wurden im ersten Bearbeitungsschritt die OSM-Daten zum Thema Straßen um fehlende Fahrbahnen ergänzt (siehe Abb. 15), sofern die Straße z.B. keine Einbahnstraße war. Zur Vorbereitung der Berechnung des Richtungswinkels wurden alle Straßen in einzelne Liniensegmente an ihren Eckpunkten aufgetrennt (ESRI 2018b). Dieser Bearbeitungsschritt ist für die Berechnung des Richtungswinkels zwingend notwendig, da pro Linie nur ein Start- und Endpunkt für die Berechnung des Winkels existieren darf. Anschließend wurde der Richtungswinkel in einer Feldberechnung pro Liniensegment mit folgendem Ausdruck berechnet (siehe ESRI GeoNet 2011):

```
360 + math.degrees(math.atan2(!Shape.lastpoint.X! -
!Shape.firstpoint.X!),(!Shape.lastpoint.Y! -
!Shape.firstpoint.Y!)) if
math.degrees(math.atan2(!Shape.lastpoint.X! -
!Shape.firstpoint.X!),(!Shape.lastpoint.Y! -
!Shape.firstpoint.Y!)) < 0 else
math.degrees(math.atan2(!Shape.lastpoint.X! -
!Shape.firstpoint.X!),(!Shape.lastpoint.Y! -
!Shape.firstpoint.Y!))
```

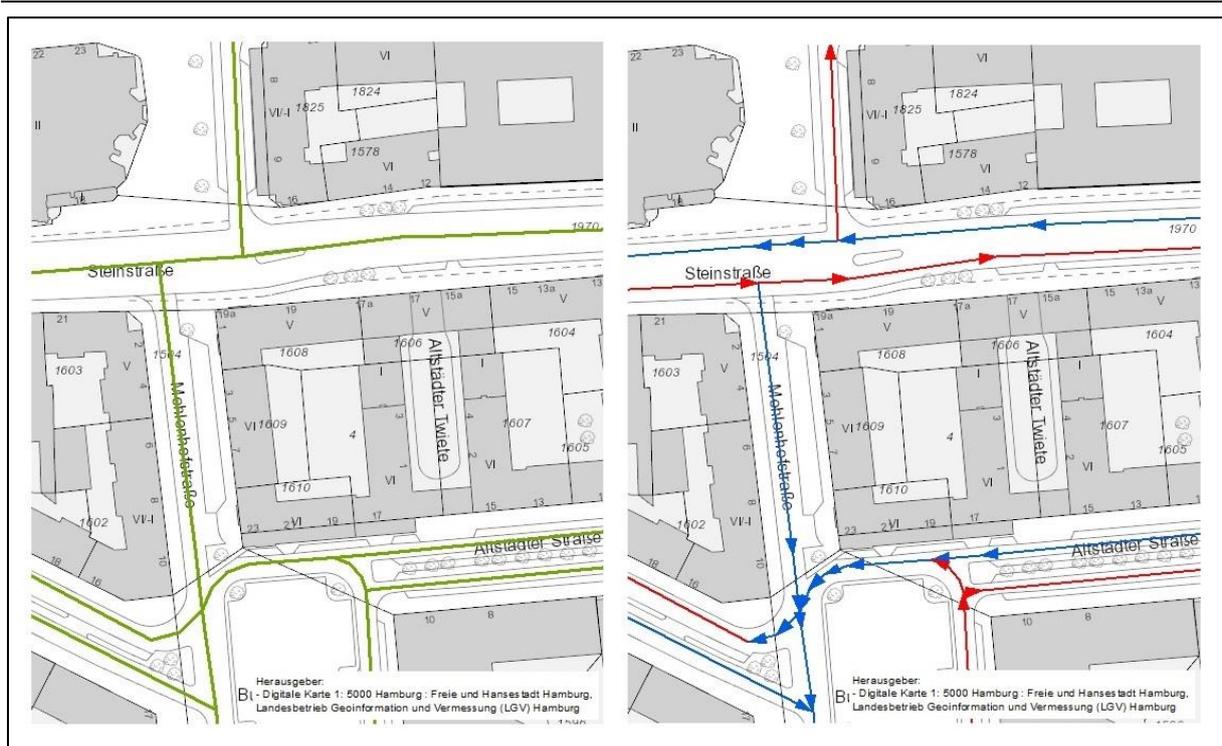


Abb. 15 Vergleich OSM-Daten mit dem erweiterten Straßennetz

Nach der Berechnung des Winkels der Fahrtrichtung wurde die Festlegung getroffen, dass die Fahrrichtungen einer Straße entsprechend ihrer Richtung mit 0 und 1 belegt werden. In der UNIGIS Abschlussarbeit von Schulz (2011) wurden für Autobahnen acht Fälle an möglichen Fahrrichtungen beschrieben. Dieser Zusammenhang ist für alle Straßen gleich, daher konnte dies auf die Winkel der Fahrtrichtung übertragen werden. In dieser Arbeit wurden die acht beschriebenen Fälle den Quadranten des Koordinatensystems zugeordnet. Liniensegmente mit einem Winkel größer 0° und kleiner 90° wurden dem ersten Quadranten, also der Fahrtrichtung 0 zugeordnet. Alle weiteren Fälle und deren Zuordnung sind in Tabelle 3 beschrieben.

Tabelle 3 Zuordnung des Fahrtrichtungswinkels zur Fahrtrichtung

Quadrant und Achsen	Fahrtrichtungswinkel	Fahrtrichtung
I	$> 0^\circ$ bis $< 90^\circ$	0
II	$> 90^\circ$ bis $< 180^\circ$	1
III	$> 180^\circ$ bis $< 270^\circ$	1
IV	$> 270^\circ$ bis $< 360^\circ$	0
+y	0° und 360°	0
+x	90°	0
-y	180°	1
-x	270°	1

Mit den Richtungswinkeln aus dem vorher gegangenen Schritt der Winkelberechnung ist es nun möglich die Fahrtrichtung anhand des unten angeführten Codeblocks als Feldberechnung im GIS zu ermitteln:

```
def dirFCD(dir):
    if (dir == 0 or dir == 360 or dir == 90):
        return 0
    elif dir > 0 and dir < 90:
        return 0
    elif (dir > 90 and dir < 180):
        return 1
    elif (dir > 180 and dir < 270):
        return 1
    elif (dir > 270 and dir < 360):
        return 0
    elif (dir == 180 or dir == 270):
        return 1
```

Da in der Straßenplanung bzw. Straßenunterhaltung eine Straße immer entsprechend ihrer Abschnitte betrachtet wird, wurden nun die einzelnen Liniensegmente zu Straßenabschnitten zusammengefasst. Besteht eine Straße aus mehreren Straßenabschnitten erfolgt eine Benennung der Abschnitte nach dem Schema „Straßenname (Von Straße - bis Straße)“ (siehe Abb. 16). Damit ist die Aufbereitung des Straßennetzes für den weiteren Einsatz zur Beantwortung der Fragestellung abgeschlossen.

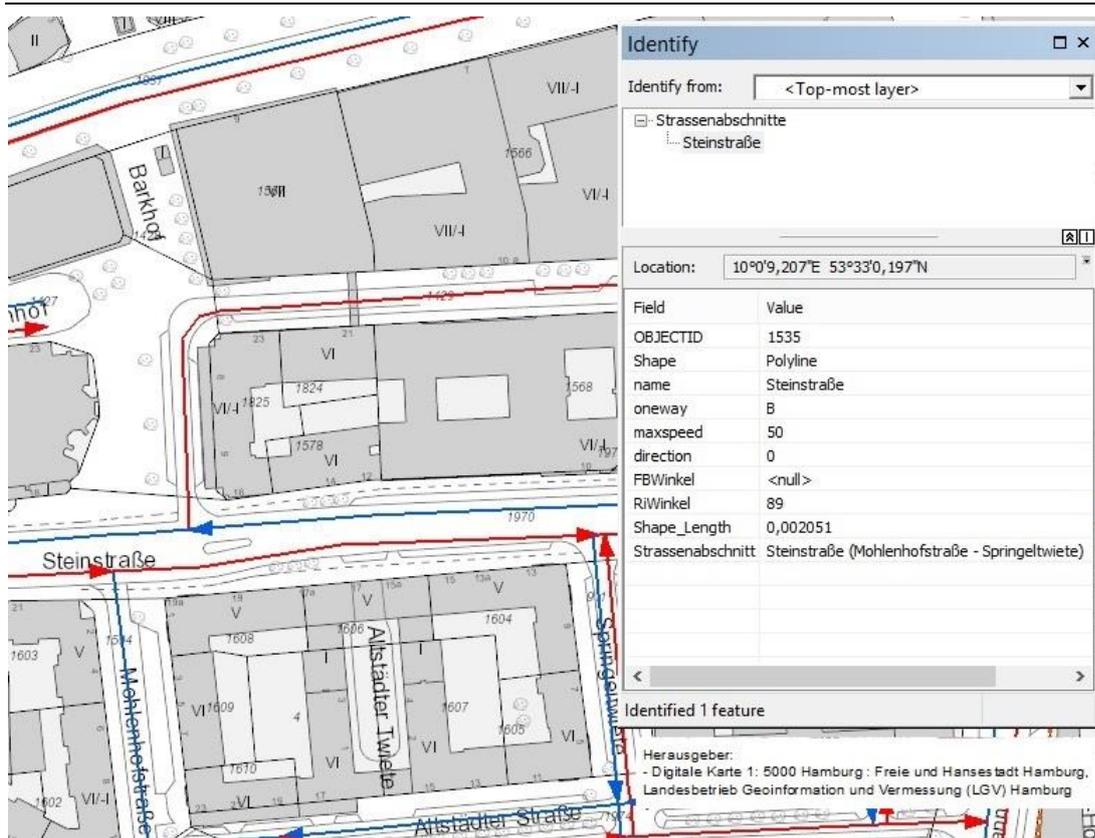


Abb. 16 Ergebnis der Straßenabschnittsbildung

12.2 Aufbereitung der FCD

Im ersten Schritt zur Aufbereitung der FCD wurden diese in Excel aufbereitet, da dort eine einfachere Aufbereitung der GPS-Koordinaten für den Import ins GIS möglich ist. Dazu wurden die Spalten LatWGS und LonWGS angelegt und die Koordinaten aus den Spalten Latitude und Longitude durch den Wert 1.000.000 geteilt und in Dezimalgrad abgespeichert. Anschließend wurde die angepassten CSV-Datei im ArcCatalog, mit zur Hilfenahme der Funktion Create Feature Class (Abb. 17), als Punkt-Feature Class in eine FDGB importiert. Abb. 18 zeigt die erste Darstellung der importierten FCD mit dem Umriss des Untersuchungsgebiets.

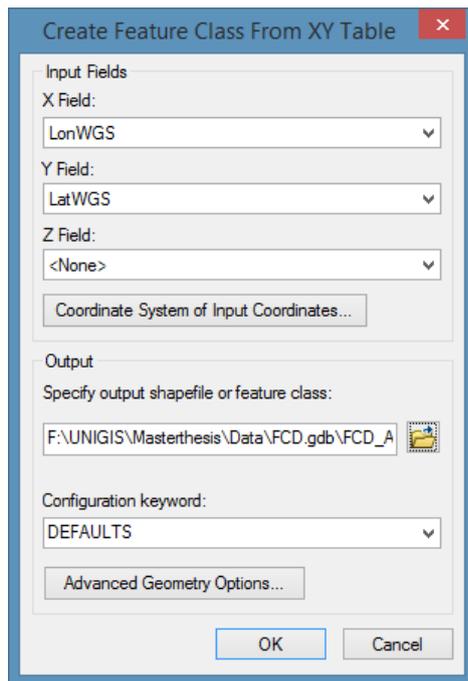


Abb. 17 Erstellen der Feature Class für die FCD vom April 2017

Die Darstellung des Fahrtverlaufes eines Flottenfahrzeugs in Abb. 18 verdeutlicht, wie wichtig die Fahrtrichtung für die weitere Verarbeitung der FCD ist, da dies der Ansatzpunkt zum Mapping auf das Straßennetz ist. Ohne die Berechnung der Fahrtrichtung kann angenommen werden, dass die FCD den einzelnen Straßenabschnitten „willkürlich“ zugeordnet werden bzw. ist eine qualifizierte Zuordnung der Messwerte nicht möglich ist.

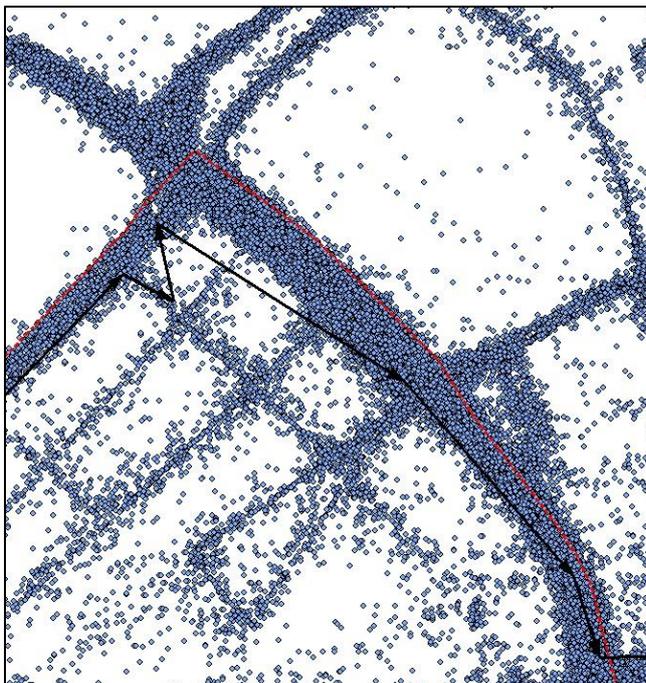


Abb. 18 Visualisierung der FCD und des Fahrtverlaufes eines Flottenfahrzeugs

Zur Berechnung des Winkels der Fahrtrichtung wurde ein Model mit dem Modelbuilder erstellt. Ziel des Models (siehe Abb. 19) ist die Umrechnung des Feldes `direction` in Grad und der anschließenden Berechnung der Fahrtrichtung, wie in Kapitel 12.1 beschrieben.

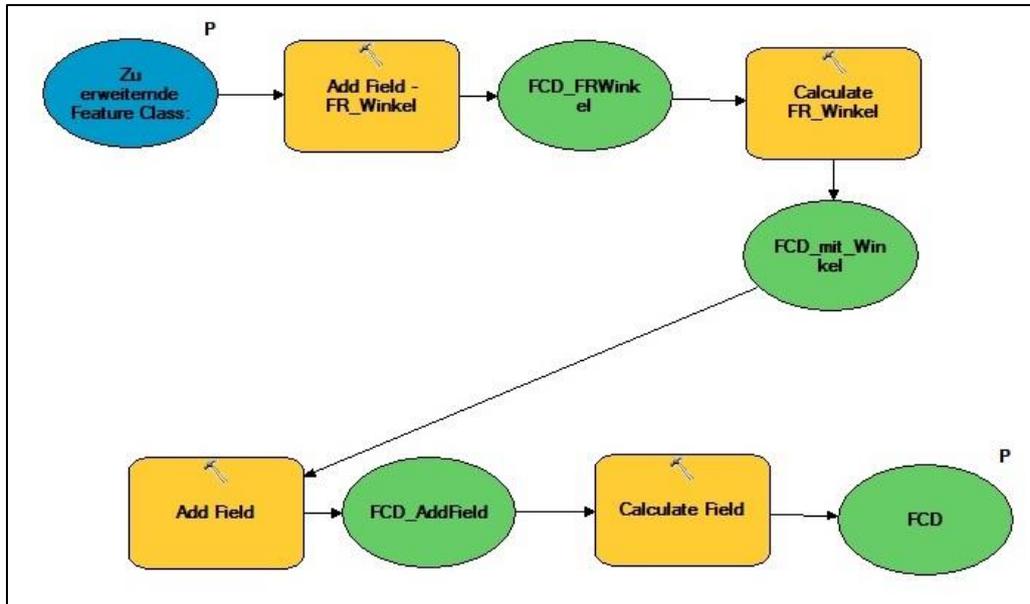


Abb. 19 Model zur Umrechnung des Fahrtrichtungswinkels

Nach der Aufbereitung der FCD in ArcGIS mit dem Winkel der Fahrtrichtung sowie der Zuordnung der Fahrtrichtung zu jedem Messwert ist die Datenaufbereitung für die FCD abgeschlossen.

12.3 Aufbereitung der Carsharingdaten

Vor dem Import der Daten in ArcGIS wurde die gelieferte Excel-Datei in eine CSV-Datei gewandelt, da beim direkten Import der Daten aus der Excel-Datei nicht alle Einträge übernommen wurden. Die Daten wurden in eine Tabelle in einer FGDB abgelegt. Aus dieser Tabelle wurden analog zum Vorgehen beim Import der FCD mit der Funktion Create Feature Class (siehe Abb. 17) dann die Feature Classes zum Mietende bzw. zur Anmietung erstellt. Das Ergebnis des Imports wurde schon in Abb. 13 im Kapitel 10.4 dargestellt. Damit ist die Aufbereitung der Carsharingdaten für das Mapping abgeschlossen.

13 Mapping

Nach der Datenaufbereitung steht das Mapping der Punktdaten auf das Straßennetz an. Auf Grund der unterschiedlichen Datengenerese erfolgt auch hier eine getrennte Beschreibung des Vorgehens für FCD und Carsharingdaten. Das prinzipielle Vorgehen ist für beide Eingangsdaten gleich (siehe Abb. 20), sie können in der vorliegenden Form, da sie sich im Aufbau ihrer Attribute und enthaltenen Datentypen unterscheiden, aber nicht zusammen verarbeitet werden.



Abb. 20 Vorgehen zum Mapping der Eingangsdaten

Zum besseren Verständnis des im Folgenden beschriebenen Mappings der Eingangsdaten auf das Straßennetz wurden in Kapitel 8 die Grundlagen zum Map-Matching beschrieben. In Kapitel 13.1 wird die Auswirkung von unterschiedlich gewählten Distanzen bei der Auswahl der zu mappenden Objekten dargestellt.

13.1 Exkurs: Suchradius

Beim Mapping der FCD (die Eingangsdaten) auf das segmentierte Straßennetz (im Folgenden als NEAR Feature bezeichnet) stellt sich die Frage nach dem optimalen Suchradius beim Einsatz des Werkzeuges NEAR im GIS. Das Werkzeug NEAR (siehe Abb. 21) berechnet die Entfernung zwischen den Eingangsdaten und dem NEAR Feature sowie die neuen Koordinaten der Eingabedaten in Bezug zum NEAR Feature (ESRI 2018a).

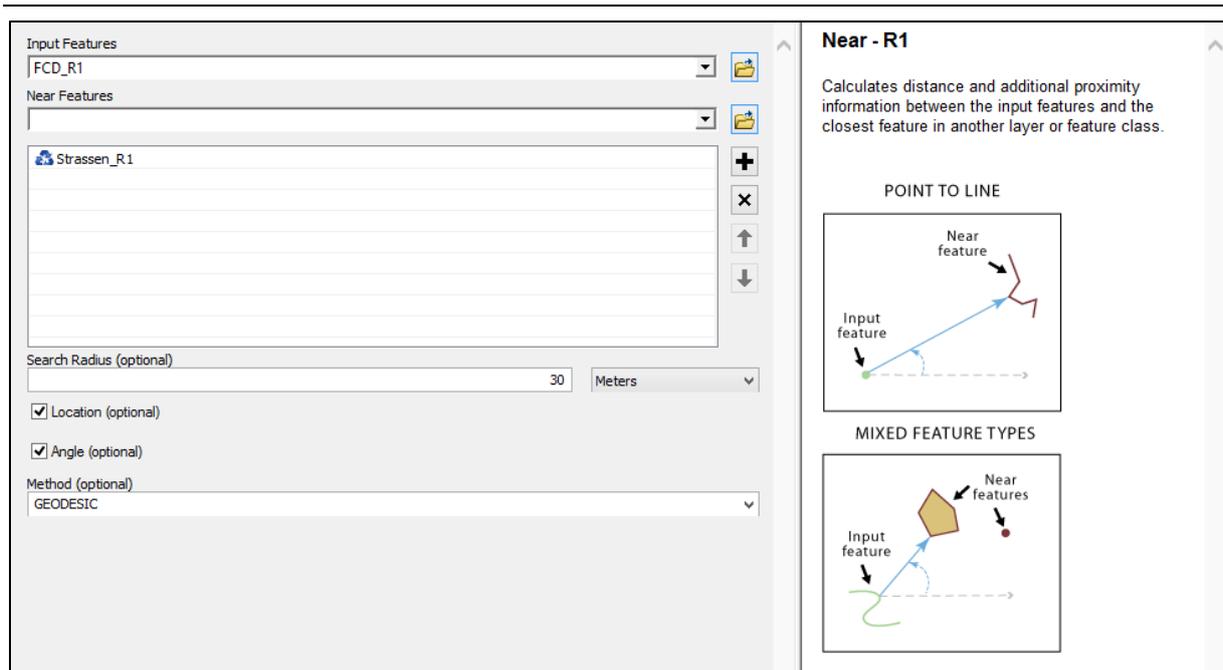


Abb. 21 Das Werkzeug NEAR von ESRI/ArcGIS for Desktop

Der Suchradius wird dazu eingesetzt, um nach dem nächsten NEAR Feature zu suchen. Das Werkzeug kann auch ohne Angabe eines Suchradius genutzt werden. In diesem Fall werden alle NEAR Feature für die Eingabeobjekte betrachtet (ESRI 2018a). In dieser Arbeit wurde ausschließlich der Weg über den Suchradius eingesetzt, um eine falsche Zuordnung von Messwert zu Straßensegment zu vermeiden. Abb. 22 zeigt zum besseren Verständnis die Verteilung der nicht gemapten FCD mit dem Straßennetz sowie einem Puffer von 20 m um das Straßennetz mit der ALKIS Basiskarte des Landesbetriebs Geoinformation und Vermessung (LGV) Hamburg (LGV 2018b) als Hintergrundkarte. Anhand dieser Abbildung wird deutlich, wie wichtig die richtige Auswahl des Suchradius ist, um zum einen Ausreißer aus den FCD zu beseitigen und zum anderen den einzelnen Messwert nicht dem falschen Abschnitt zuzuordnen. Da die Messwerte sehr weit links und rechts der Fahrbahn streuen und somit an Positionen aufgenommen werden an denen z.B. ein Gebäude steht oder eine andere Straße einmündet. GPS-Messwerte, die fahrzeugbasiert gewonnen wurden, haben eine Genauigkeit von bis zu 10 Metern. In Städten bzw. Gebieten mit hohen Gebäuden, wirken sich diese negativ auf die Genauigkeit der GPS-Messwerte aus und setzen diese weiter herab (Longley u. a. 2015). Des Weiteren macht die Abbildung deutlich, dass der Suchradius nicht zu eng gefasst werden darf, da sonst zu viele Eingangsobjekte nicht gemappt und später somit auch nicht mit analysiert werden. Daher wurden für das Mapping der FCD als kleinster Suchradius 5 m gewählt und als größter 30 m, mit den Zwischenschritten von 10 m, 15 m und

20 m. Ein Zwischenschritt von 25 m wurde nicht gewählt, da für diesen Suchradius kein großer Erkenntnisgewinn erwartet wird.

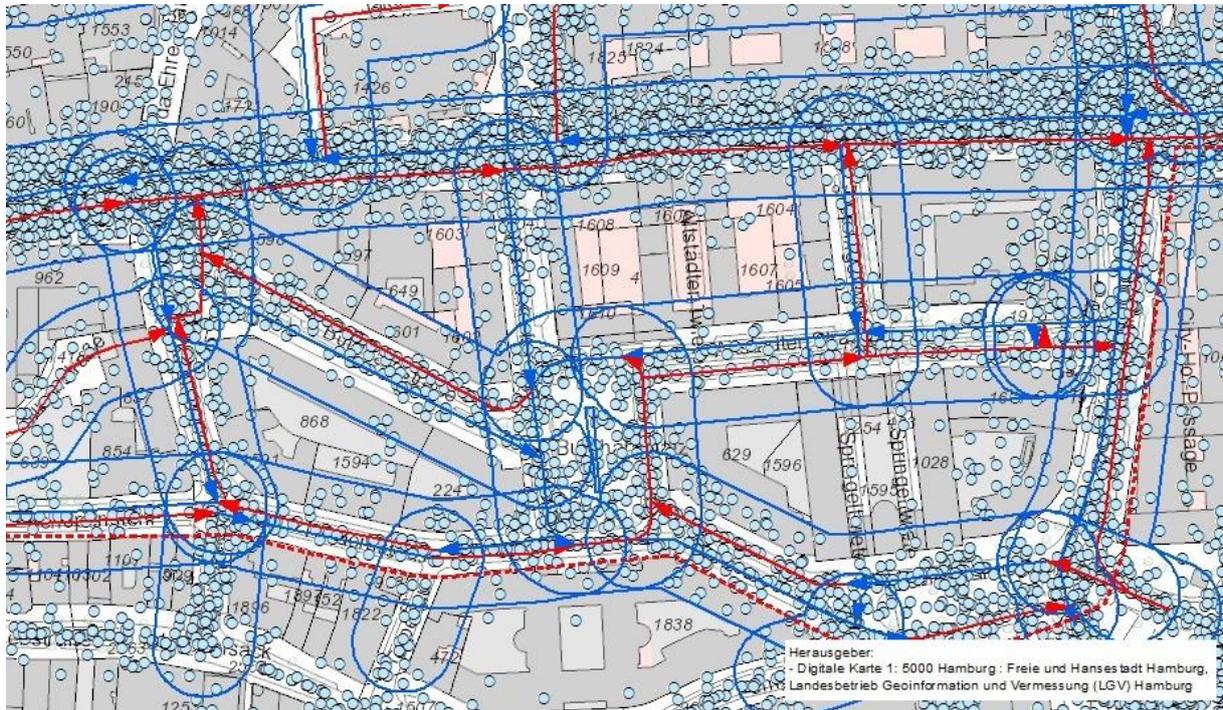


Abb. 22 Verteilung der nicht gemappten FCD im Vergleich zum Straßennetz

In Abb. 23 werden die Suchradien als Puffer um einen Straßenabschnitt dargestellt um zu verdeutlichen, was die einzelnen Radien in der Stadt für eine räumliche Ausdehnung haben. Auf Grund der dichten Bebauung und kleinteiligen Gliederung des Raumes ist ein Suchradius von 30 m im innerstädtischen Bereich zu weitgefasst, da der Messwert einem anderen, näherliegenden Straßensegment zugeordnet werden kann. Im Vergleich dazu wählte Schulz (2011) in ihrer Arbeit diesen Radius für das optimale Mapping der FCD auf das Autobahnnetz. Beim Suchradius von 5 m ergibt sich das Problem, dass auf Grund von Abweichungen bei der Positionierung mittels GPS das Objekt zu weit vom Straßensegment entfernt ist und somit keinem Segment zugeordnet wird. Des Weiteren würden hier zu viele Messwerte als Ausreißer betrachtet und bei der weitem Verarbeitung nicht mehr in die Betrachtung gelangen. Daher ist eine wesentliche Anforderung an den Suchradius, dass der optimale Suchradius davon abhängt, wie viele Messwerte richtig zu den Straßensegmenten zugeordnet werden und dass so wenig wie möglich an Messwerten aus der Betrachtung eliminiert werden. Ein genaues Ergebnis der gemappten FCD steht erst in Kapitel 18 bei der Auswertung der Ergebnisse fest. Anhand Abb. 23 wird angenommen, dass der optimale Suchradius für die weitere Bearbeitung bei 15 bis 20 Metern liegt.



Abb. 23 Darstellung der gewählten Suchradien als Puffer um einen Straßenabschnitt

13.2 FCD-Mapping

Zum Mapping der FCD auf das Straßennetz wurde im Modelbuilder ein Model erstellt. Bestandteil des Models ist das in Kapitel 12.2 vorgestellte Model „AddDirection-FCD“. Ziel des Models „FCD-Mapping“ (siehe Anhang 1) ist es, die FCD auf das Straßennetz entsprechend der berechneten Fahrtrichtung und mit der jeweils ausgewählten NEAR-Distanz zu mappen. Das Model „FCD-Mapping“ basiert auf dem Ergebnis von Schulz (2011) und wurde um das Model „AddDirection-FCD“ erweitert.

Das Model „FCD-Mapping“ beginnt daher mit der Auswahl der FCD und Straßensegmente nach der Fahrtrichtung und verarbeitet die FCD getrennt nach dieser. Im darauffolgenden Schritt wird der Abstand und die neuen Koordinaten jedes einzelnen Messwertes zum nächstgelegenen Liniensegment mit dem Werkzeug „NEAR“ berechnet. Nach der Berechnung der neuen Koordinaten auf dem Liniensegment wurden alle Werte ausgewählt, die echte Koordinaten enthielten. Dies wurden mit einem SELECT-Auswahl mit dem Ausdruck „NEAR-Dist > -1“ durchgeführt. Danach wurde mit dem Werkzeug „Make XY Event Layer“ die neu berechneten Koordinaten (NEAR_X und NEAR_Y) als Event-Layer je Fahrtrichtung dargestellt. Zum Abschluss des Mappings wurden die Event-Layer der beiden Fahrtrichtungen mit dem Werkzeug „Merge“ in einer neuen Feature Class FCD_gemappt zusammengeführt.

Das Model „FCD-Mapping“ wurde insgesamt 5-mal mit den ausgewählten NEAR-Distanzen durchlaufen, damit die notwendigen Eingangsdaten für den nächsten Verarbeitungsschritt in eigenen Feature Classes vorliegen.

13.3 Mapping der Carsharingdaten

Das Mapping auf das segmentierte Straßennetz erfolgte nach demselben Schema wie für die FCD mit dem Unterschied, dass keine Zuordnung zur Fahrtrichtung erfolgen kann, da diese Information nicht in den Daten enthalten ist. Daher wurde das Modell für die Carsharingdaten ohne die Auswahl der Fahrtrichtung erstellt (siehe Abb. 24). Dies hat zur Folge, dass das Mapping auf das nächst gelegene Straßensegment erfolgt, was z.B. bei Einbahnstraßen kein Problem darstellt, da hier nur eine Fahrtrichtung vorliegt. Bei Straßen mit zwei Fahrtrichtungen war ausschlaggebend, dass das Fahrzeug zur Ermittlung der Anzahl an Kraftfahrzeugen für den betrachteten Straßenabschnitt auf jeden Fall gezählt wird.

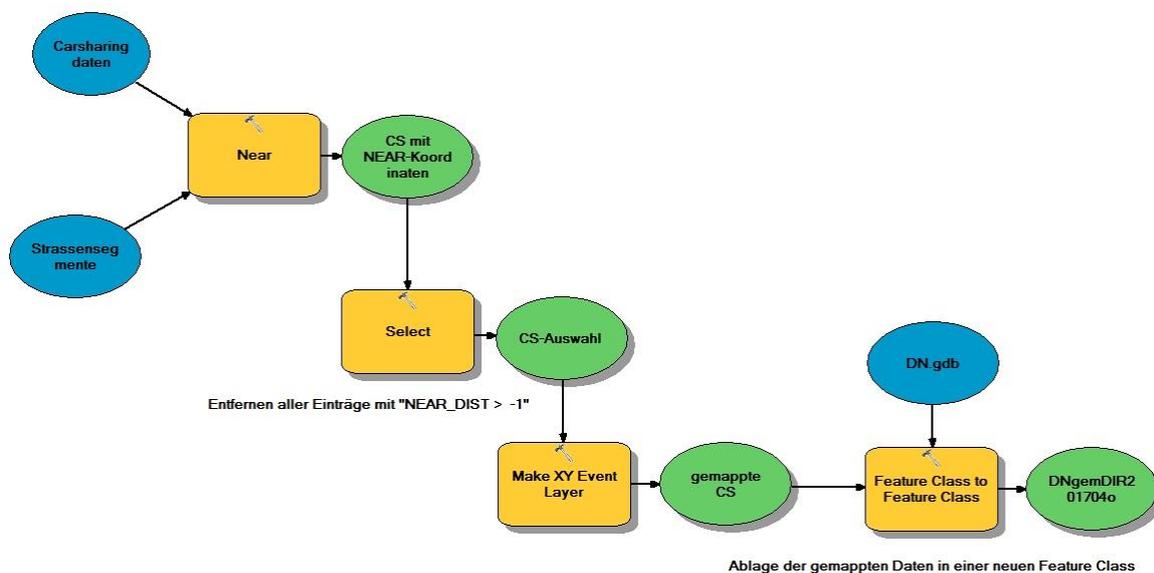


Abb. 24 Model zum Mapping der Carsharingdaten

Der zweite wesentliche Unterschied zu dem Model zum Mappen der FCD ist hier, dass die Daten nur einmal mit einer NEAR-Distanz von 10 m gemappt wurden, da die Carsharingdaten schon auf ein Straßennetz verortet wurden. Bei der automatisierten Verarbeitung der Daten ist zu berücksichtigen, dass die Daten keine Fahrtrichtung enthalten und dass sie einmal zu Beginn der Miete und zum Ende der Miete in der Zählung berücksichtigt werden müssen. Die Carsharingdaten wurden daher einmal zum Zeitpunkt der Anmietung sowie zum Mietende auf das Straßennetz gemappt.

14 Aggregation der Eingangsdaten nach dem Erhebungsschema

Damit aus den vorliegenden Daten z.B. Verkehrsstärken berechnet werden können oder ein Umrechnungsfaktor für Hauptverkehrsstraßen zu Bezirksstraßen ermittelt werden kann, werden die FCD und Carsharingdaten in diesem Bearbeitungsschritt nach einem Erhebungsschema für Verkehrserhebungen aggregiert. Die Aggregation der Messwerte erfolgt auf zwei Wegen zum einen, wie gerade erwähnt, nach einem Erhebungsschema und zum anderen werden die vorliegenden Messwerte eines gesamten Monats zusammengefasst.

Da der Lösungsansatz auf eine Übersetzung der Verkehrserhebung in einen GIS-gestützten Ansatz abzielt, wurden daher entsprechend der „Straßenverkehrszählung 2010 – Methodik“ (Lensing 2013) 8 Erhebungstage ausgewählt. Für die Erfassung der Fahrzeuganzahl an den sogenannten Normalwerktagen wurden der 25. und 27. April 2017 mit den Zeiträumen 7 bis 9 Uhr und 15 bis 18 Uhr ausgewählt. Als Freitage mit den Zeiten 15 bis 18 Uhr wurden der 12. und 19. April 2017 und als Sonntage mit den Zeiten 16 bis 19 Uhr der 02. und 30. April 2017 ausgewählt. Da hier das Erhebungsschema für die Zählstellengruppe A ($DTV > 7.000$ KFZ/24h) (siehe Lensing 2013) zum Einsatz kommt, wurden noch zwei Ferienwerktage mit den Zeiten 15 bis 18 Uhr am 12. und 19. April 2017 ausgewählt. Somit beinhaltet der Erhebungszeitraum insgesamt 28 Stunden verteilt über 8 Tage.

Bei den Ferienzeiträumen wurden die Osterferien 2017 betrachtet, die Schleswig-Holstein und Niedersachsen haben. Hamburg selbst hat keine Osterferien. Da aber sehr viele Personen aus dem Hamburger Umland nach Hamburg einpendeln und ihre Auswirkung auf den Verkehr haben, können diese mit in die Betrachtung einfließen.

Parallel wurden die Daten zusätzlich über den gesamten April 2017 ohne Bereinigung von Wochenenden und Ferienzeiten aggregiert, da FCD und Carsharingdaten fortlaufend übermittelt werden und hier keine zusätzlichen Ressourcen zur Datenerhebung notwendig sind. Der betrachtete Zeitraum umfasst insgesamt 720 Stunden. Die auf diesem Weg gewonnen Informationen sollen den Informationen auf Grundlage eines Erhebungsschemas zum Vergleich gegenübergestellt werden.

Zur Aggregation der Daten zur Ausgangsbasis der angestrebten Hochrechnung wurden insgesamt 4 Modelle im Modelbuilder zur Aufbereitung der FCD und Carsharingdaten erstellt. Auch dieser Schritt wird in der Datenverarbeitung getrennt nach den Eingangsdaten bearbeitet wird, welche in den nachfolgenden 4 Unterkapiteln erläutert werden:

1. Schritt: Aggregation nach dem Erhebungsschema
2. Schritt: Gruppieren der Messwerte nach Stunden und Zusammenfassen der Messwerte nach Anzahl, Min, Mean und Max Geschwindigkeit
3. Schritt: Zusammenführung der Stundenstatistiken zu Tagesstatistiken und abschließend zur Monatsstatistik
4. Schritt: Zusammenführung der FCD-Statistiken mit der Carsharingstatistik

14.1 Datenauswahl nach dem Erhebungsschema

Zur Auswahl der Messwerte nach dem Erhebungsschema wurde das Modelbuilder Model Zeitintervalle (siehe Anhang 2) erstellt, da hier die Eingangswerte anhand des Straßenabschnitts und nach dem Erhebungstag sowie den Erhebungsstunden aggregiert werden soll. Für einen besseren Überblick wurden dazu die Daten in einzelnen FGDBs abgelegt, da dieser Schritt z.B. für die FCD fünfmal durchlaufen wird. Die Carsharingdaten wurden demnach nur nach der Anmietung und dem Mietende getrennt verarbeitet.

Die wesentlichen Elemente des Model Zeitintervalle im Anhang 2 sind zum einen die räumliche Verbindung zwischen den Attributen zu den Straßensegmenten mit den Messwerten (ESRI 2016b) und zum anderen die Aggregation der Messwerte nach dem Erhebungsschema. Ziel der Verbindung (Join) mit den Straßenabschnitten ist das Anfügen der Information über den jeweiligen Straßenabschnitt, zu dem der Messwert gemappt wurde. Diese Information wird für die weitere Aggregation der Daten benötigt.

Für die weitere Verarbeitung muss der Zeitstempel nach Datum und Uhrzeit getrennt werden, damit zum einen die Messwerte anhand des Datums und der benötigten Stunden ausgewählt werden können. Dazu wurden die Felder Tag_FCD bzw. Tag_CarS und Hours angelegt. Als Vorbereitung dazu musste bei den FCD der Zeitstempel umformatiert werden (siehe Abb. 25) (ESRI 2018c), da die FCD in der UTC-Zeit erfasst wurden und somit bei der Auswahl der Stunde die Funktion DatePart zum Einsatz kommen kann.

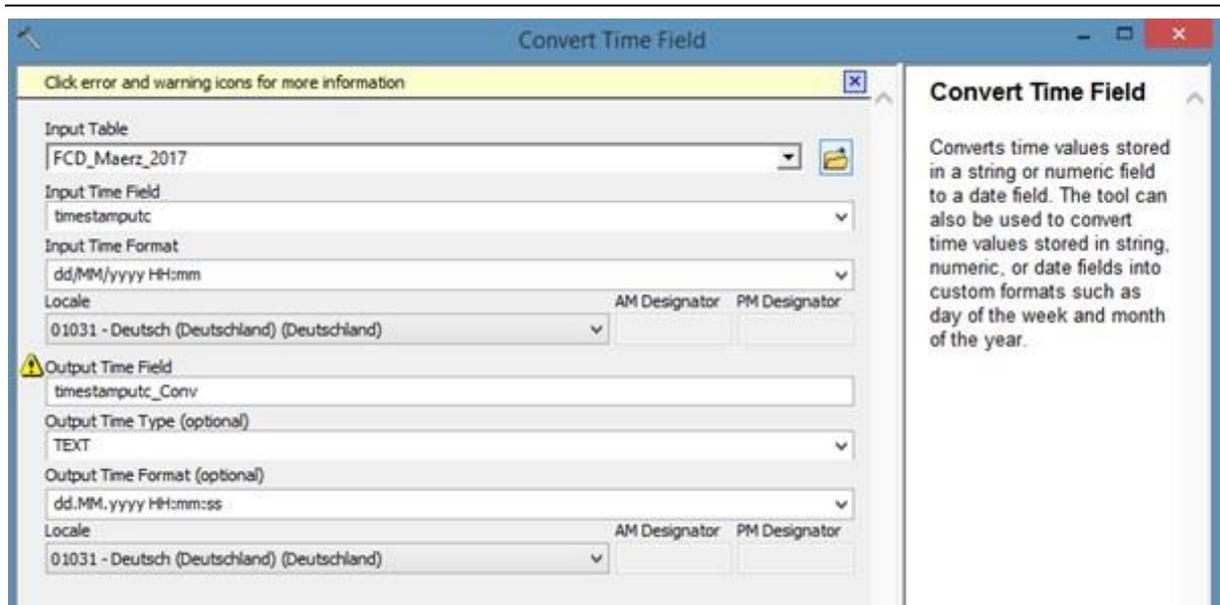


Abb. 25 Konvertierung des Zeitstempels in das Format dd.MM.yyyy HH:mm:ss

Die anschließende Berechnung der Felder erfolgt dann mittels einer Feldberechnung. Die Auswahl des Datums für das Feld Tag_FCD bzw. Tag_CarS erfolgt mittels dem Python-Ausdruck `!,timestampc_Conv!.split(" ").pop(0)`. Das Leerzeichen zwischen Datum und Uhrzeit wird hier als Trennelement verwendet und mittels `pop(0)` wird der erste Teil ausgewählt und in das neue Feld geschrieben. Die Auswahl der Stunden erfolgt mittels dem VB-Ausdruck `„DatePart(“h“, [timestampc_Conv])“`. Dabei wird über die Funktion DatePart das benötigte Datum- bzw. Zeitelement in das neue Feld geschrieben. Bei den FCD ist noch zu berücksichtigen, dass diese als UTC-Zeit vorliegen und hier die Sommerzeit berücksichtigt werden muss. Entsprechend muss auf die Stunden der FCD noch zwei addiert werden.

Nach diesen vorbereitenden Schritten erfolgte die Auswahl der Erhebungstage und -stunden mittels eines einfachen Select-Statements (siehe Anhang 2).

14.2 Erstellung der Stunden-, Tages- und Monatsstatistiken

Nach der Auswahl der Erhebungstage und -Stunden erfolgt im nächsten Schritt die Aggregation zu Stunden, Tages- und Monatsstatistiken sowie für den Erhebungszeitraum. Da am Ende nicht nur die Werte nach dem Erhebungsschema verglichen werden sollen, sondern auch alle FCD des April 2017, wurde hier eine Gesamtstatistik zu den gemappten FCD erstellt. Da bei der Erstellung der Tagesstatistik eine For-Schleife zum Einsatz kommt, wurde zur Verarbeitung des Teils das Model „Iterate Hours“ (siehe Abb. 26) erstellt. Das Model ist notwendig, da bei der Nutzung einer For-Schleife im Modelbuilder nach deren Durchlauf das Model erneut von Anfang an durchlaufen wird (ESRI 2016a). Dies ist aber

nicht gewünscht und daher erfolgt die Lösung über ein eigenes Model zum Iterieren der Stunden.

Nach der Auswahl der Messwerte nach Stunden erfolgt im Anschluss die erste Aggregation der Messwerte zu einem Stundendatensatz. Hierzu wird eine Summenstatistik nach Straßenabschnitt, Tag und Stunde erstellt. Die ausgewerteten Felder sind zum einen die `OBJECTID` zur Ermittlung der Anzahl und zum anderen `velocity` (die Geschwindigkeit) zur Ermittlung der minimalen, durchschnittlich und maximal gefahrenen Geschwindigkeit.

Dieses Model ist für die FCD und Carsharingdaten gleich und musste hier nicht entsprechend deren Eigenschaften angepasst werden.

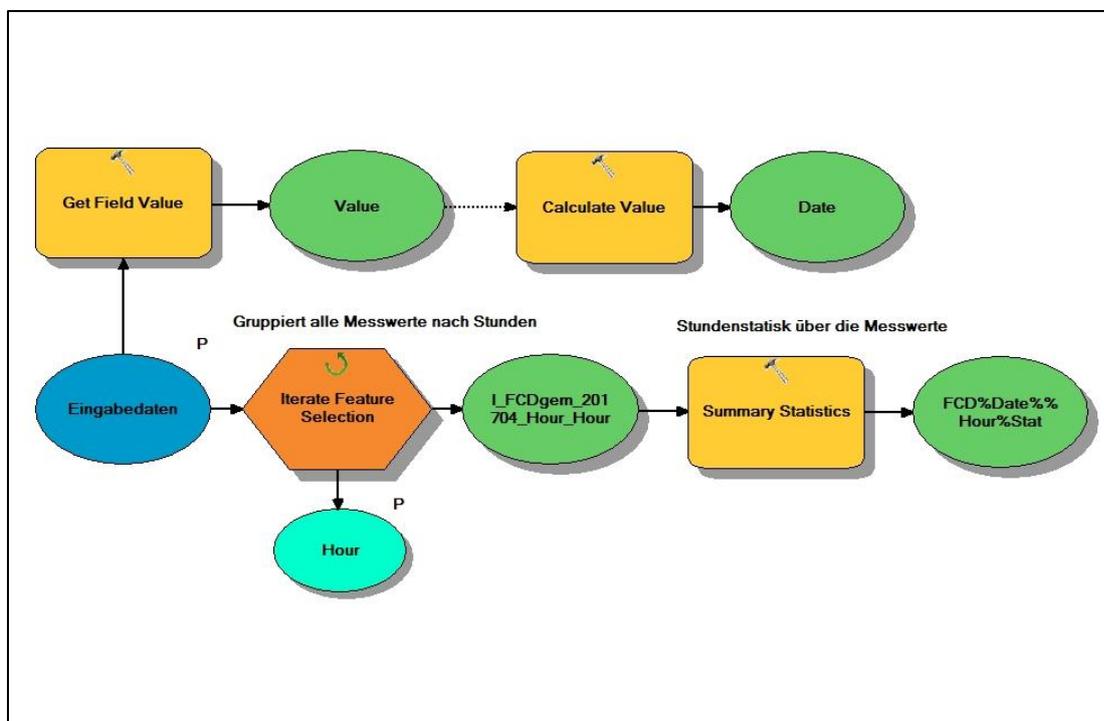


Abb. 26 Modelbuilder-Model "Iterate Hours"

Im Anschluss an die Stundenstatistiken erfolgt die Aggregation zu Tagesstatistiken für den jeweiligen Erhebungstag. Da das Vorgehen ähnlich zu dem der Stundenstatistiken ist, nur ohne Einsatz von Schleifen, wird hier der Tag der Verkehrserhebung betrachtet, weshalb die Zusammenfassung der Werte nur nach Straßenabschnitt und Datum erfolgt. Abb. 27 zeigt das Teilmodel für den 02. April 2017 welches die einzelnen Stundendatensätze zusammenführt, ausgewertet und anschließend aggregiert. Die Erstellung der Summenstatistik erfolgt analog zu der Zusammenfassung der Werte für die Tagesstatistik mit dem Unterschied, dass hier nur noch eine Gruppierung anhand des Straßenabschnitts und Tages erfolgt.

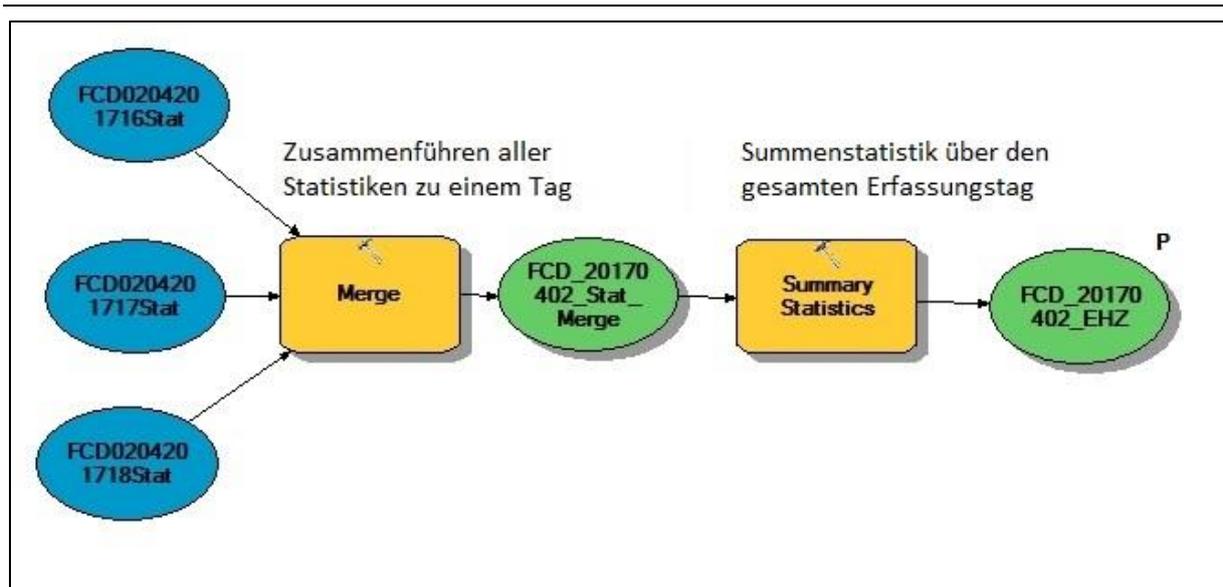


Abb. 27 Vorgehen zum Zusammenfassen der Stundenstatistiken zu Tagesstatistiken

Nachdem alle Tagesstatistiken erstellt waren wurden diese nach demselben Schema wie in Abb. 27 dargestellt in eine Monatsstatistik zusammengeführt und anhand des Attributs Straßenabschnitt gruppiert.

Nach Durchlauf aller Schritte lagen für die FCD 5 Statistiken nach dem Erhebungsschema und 5 Statistiken für den gesamten April 2017 vor. Da die Carsharingdaten nur einmal gemappt wurden lag hier eine Statistik zum Erhebungsschema und eine für den gesamten April 2017 vor.

14.3 Zusammenführung der FCD- und Carsharingstatistiken

Nach dem Erstellen der Summenstatistiken für FCD und Carsharingdaten mussten diese für die weitere, gemeinsame Auswertung in einen Datensatz zusammengeführt werden. Dies wurde mit einem einfachen JOIN der Summenstatistik anhand des Feldes Straßenabschnitt durchgeführt, der anschließend in eine gemeinsame Tabelle exportiert wurde.

Vor dem Addieren der Anzahl an FCD und Anzahl an Carsharingdaten mussten aus den Feldern der Anzahl an Carsharingfahrzeuge noch Einträge mit NULL durch die Ziffer 0 ersetzt werden, damit das Addieren mit der Feldberechnung (Field Calculator) auch zu einem Ergebnis führt, wenn bei den Carsharingdaten NULL-Werte enthalten war. Dazu wurde in

den Codeblock des Feldberechnung folgender Python-Code von (ESRI 2017) eingefügt und ausgeführt:

```
def updateValue(value):  
    if value == None:  
        return '0'  
    else: return value
```

Danach erfolgte die Berechnung der Verkehrsstärken Q_{FCD} und Q_{GES} . Die Verkehrsstärke Q_{FCD} bezieht sich allein auf die Anzahl der FCD und die Verkehrsstärke Q_{GES} auf die Anzahl an FCD und Carsharing-Fahrzeug. Für eine Gegenüberstellung der Ergebnisse von Erhebungszeitraum und Gesamtstatistik (siehe Kapitel 14.2) wurde dieser Schritt auf die Monatsstatistik nach den Erhebungszeiten und dem Gesamtdatensatz für den Monat April angewandt (siehe Anhang 3). Für die Berechnung der Verkehrsstärke über den Erhebungszeitraum wurde die Anzahl an FCD bzw. FCD und Carsharingdaten durch 28 Stunden (siehe Kapitel 14) geteilt, um KFZ pro Stunde zu gelangen. Für die Berechnung über den gesamten April 2017 wurde die Anzahl an FCD bzw. FCD und Carsharingdaten durch 720 Stunden geteilt.

Neben den Informationen zu der Fahrzeuganzahl aus den Eingangsdaten, enthalten die Statistiken noch die minimale, gemittelte und maximale Geschwindigkeit aus den FCD.

15 Ableitung der Verkehrsstärken

Für die angestrebte Ableitung der Verkehrsstärken soll auf im Untersuchungsgebiet bzw. an das Untersuchungsgebiet (Lombardsbrücke und Jungfernstieg) angrenzende Hauptverkehrsstraßen die Betrachtung der auf diesen ermittelten durchschnittlichen Geschwindigkeiten erfolgen, um von diesen im Rückschluss auf die KFZ/h zu schließen. Hier ist die Annahme, dass aus den q-V-Diagrammen aus dem HBS (FGSV 2015) über die ermittelte durchschnittliche Geschwindigkeit und dem Fahrbahnquerschnitt die Verkehrsstärke [KFZ/h] für den Abschnitt abgeleitet werden kann (siehe Abb. 6 bis Abb. 8). Die Überprüfung der Ergebnisse erfolgt anhand der Verkehrsmengenkarte (BWVI 2016) und Verkehrsstärken (BWVI 2017) von der BWVI und soll somit der Beantwortung der vierten Forschungsfrage „*Wie können die so ermittelte Verkehrsstärke anhand amtlichen Verkehrszahlen validiert werden?*“ dienen.

Dazu wurden folgende Abschnitte auf Hauptverkehrsstraßen ausgewählt:

- Jungfernstieg (Große Bleichen – Neuer Wall) – 1 Streifen, normal
- Jungfernstieg (Neuer Wall – Große Bleichen) – 1 Streifen, normal
- Lombardsbrücke (Ferdinandstor – Brücke) – 2 Streifen
- Lombardsbrücke (Brücke – Ferdinandstor) – 2 Streifen
- Steinstraße (Mohlenhofstraße - Springeltwiete) – 2 Streifen
- Steinstraße (Lange Mühren - Bugenhagenstraße) – 2 Streifen

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 17 und die abschließende Diskussion der Ergebnisse, warum hier die Ermittlung von Verkehrsstärken, die näherungsweise im Rahmen der amtlich ermittelten Verkehrsstärken liegen sollten, nicht erfolgreich war und somit die Ermittlung eines Umrechnungsfaktors von Hauptverkehrsstraßen zu Bezirksstraßen nicht möglich war, erfolgt im Kapitel 18.

16 Vergleich der Geschwindigkeiten

In den dem Straßenabschnitten zugrunde liegenden OSM-Datensatz sind die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten des jeweiligen Abschnitts enthalten. Daher wurden für einen Vergleich der erlaubten Höchstgeschwindigkeit mit der ermittelten durchschnittlichen Geschwindigkeit aus den FCD die Ergebnisse aus den Summenstatistiken mit den Straßenabschnitten verbunden, um im Anschluss die Differenz zwischen beiden Geschwindigkeiten nach Straßenabschnitten zu ermitteln.

Dieser Bearbeitungsschritt bedarf nur einer Verbindung der Straßenabschnitte mit den Statistiken zum Erhebungszeitraum und dem Gesamtdatensatz sowie eine Feldberechnung zur Ermittlung der Differenz.

V Schlussfolgerung und Ausblick

17 Ergebnis

Nach der prototypischen Umsetzung in Kapitel IV werden nun die Ergebnisse aus dieser Arbeit dargestellt. Im Anschluss daran erfolgt in Kapitel 18 die Diskussion der Ergebnisse und was in dieser Arbeit nicht erreicht wurde. Die im Folgenden dargestellte Abb. 29 bis Abb. 33 haben als Grundlage die FCD mit einem Suchradius von 15 Metern beim Mapping und wurden nach dem Erhebungsschema aus Kapitel 14 aggregiert.

Das erste Ergebnis nach dem Mapping sind die auf das Straßennetz gemappten FCD (siehe Abb. 28 rechts) und die im Anschluss daran erstellten Summenstatistiken, die die Anzahl an FCD und Carsharingfahrzeugen pro Straßenabschnitt (Abb. 29) darstellen. Damit kann eine Aussage zur Anzahl der Fahrzeuge über den betrachteten Zeitraum für den jeweiligen Straßenabschnitt in Abhängigkeit der Fahrtrichtung getätigt werden. Die Information der Fahrtrichtung bzw. die Zuordnung der FCD anhand ihrer Fahrtrichtung zum Straßenabschnitt ist für die Verkehrserhebung wichtig, da diese den Querschnitt entsprechend der Fahrtrichtung betrachtet.

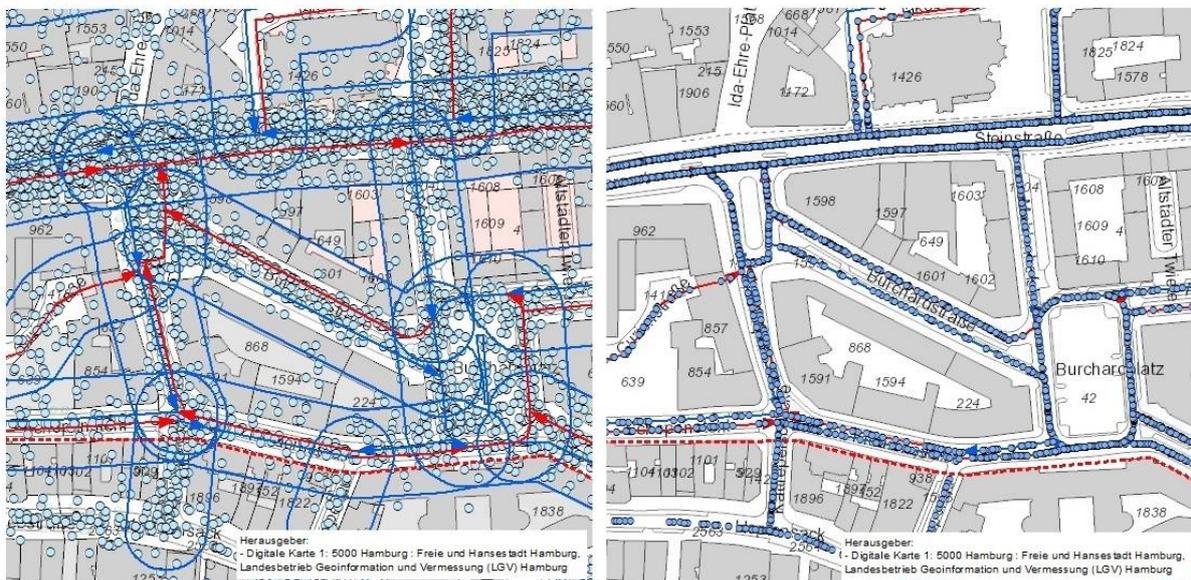


Abb. 28 Vergleich der FCD vor (links) und nach dem Mapping (rechts)

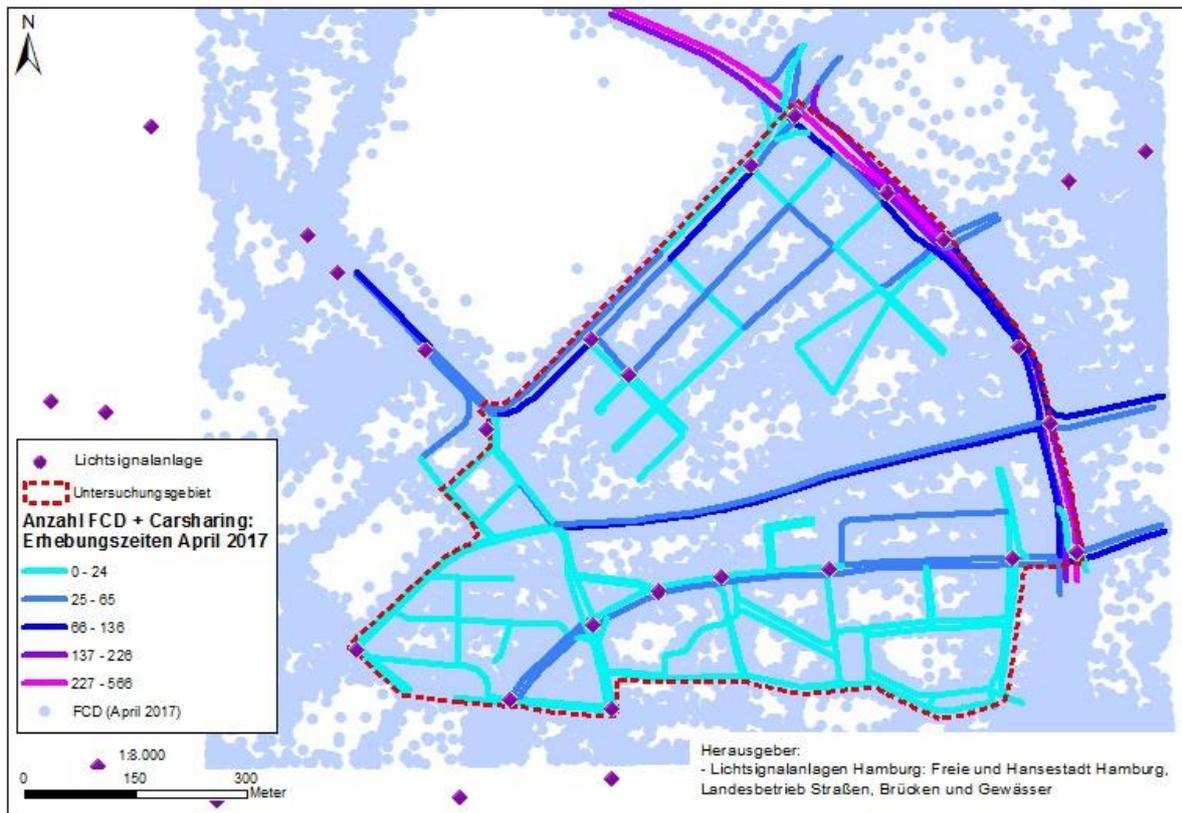


Abb. 29 Anzahl der ermittelten Fahrzeuge und Lichtsignalanlagen

Neben der reinen Fahrzeuganzahl ist hier zu erkennen, dass der Großteil der Fahrzeuge sich auf den Hauptverkehrsstraßen bewegt. Die davon abgehenden Bezirksstraßen zeichnen sich dadurch aus, dass sie im Mittel der kleinsten Kategorie der Darstellung für die Fahrzeuganzahl zugeordnet sind. In Abb. 29 sind maximal 24 Fahrzeuge über den gesamten Erhebungszeitraum zu sehen.

Nach dem Mapping der FCD auf das Straßennetz sowie der Zuordnung zu den einzelnen Straßenabschnitten lassen sich Knoten erkennen, an denen die Fahrzeuganzahl höher ist als im Abschnitt davor (Abb. 29). Das lässt auf Ampeln oder Kreuzungen mit Vorfahrtsregelungen rückschließen.

Im Bereich Raboisen/Ferdinandstraße (siehe Abb. 9, östlich der Binnenalster) ist die Anzahl der Fahrzeuge im Vergleich zu allen anderen Bezirksstraßen deutlich erhöht (siehe Abb. 30). Dies kann an der Ausfahrt des Parkhauses in der Rosenstraße liegen und an der Tatsache, dass hier ein System an Einbahnstraßen vorliegt, dass man nur auf einen Weg verlassen kann.

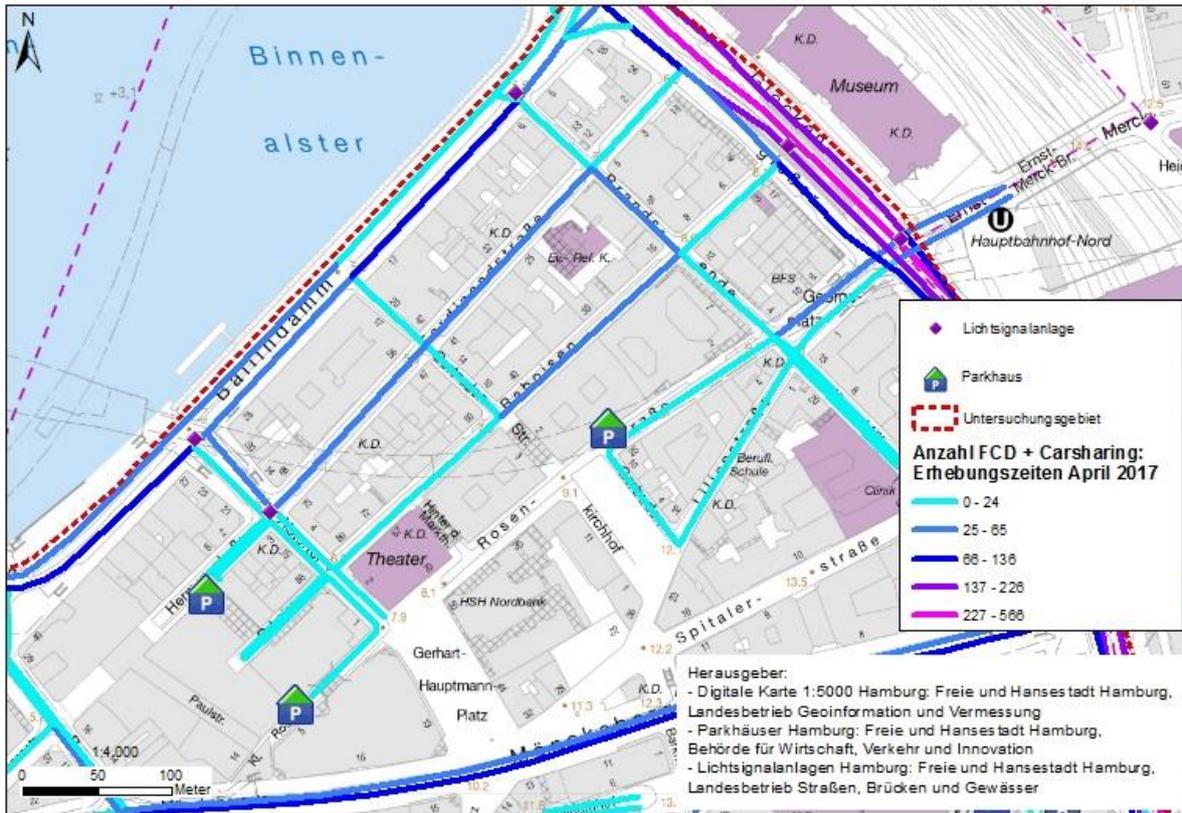


Abb. 30 Anzahl der Fahrzeuge im Bereich Raboisen

Aus der Anzahl an FCD wurde die Verkehrsstärke Q_{FCD} berechnet und zusammen mit der Anzahl an Carsharingfahrzeugen wurde die Verkehrsstärke und Q_{GES} (siehe Kapitel 14.2) in KFZ/h für diese beiden Verkehrsteilnehmer berechnet. Die Darstellung des Ergebnisses erfolgt in Abb. 31. Dort wird deutlich, wie gering der Anteil dieser Verkehrsteilnehmer im Verhältnis zu amtlichen Verkehrsstärken (vergleich Tabelle 4), also dem gesamten Verkehrsaufkommen an Kraftfahrzeugen, ist.

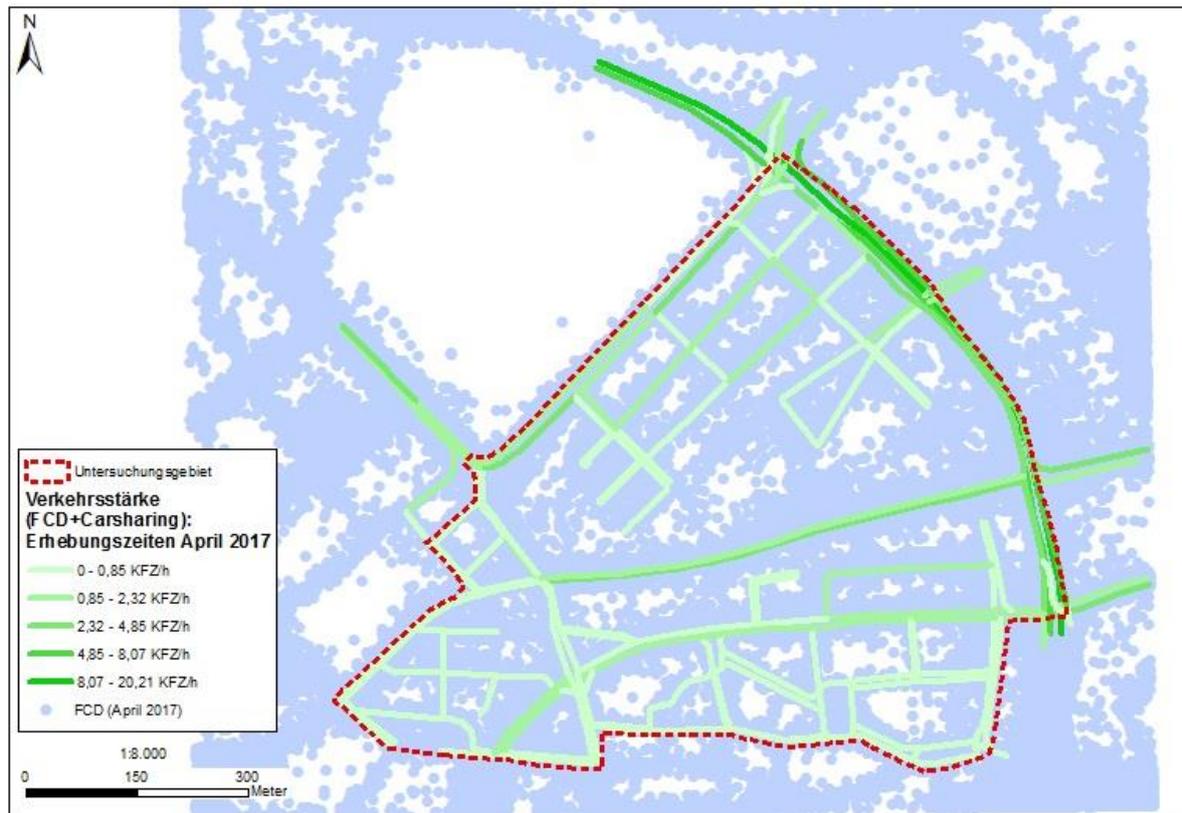


Abb. 31 Verkehrsstärke auf Grundlage von FCD und Carsharingfahrzeuge

Aus den FCD wurde pro Straßenabschnitt die minimal, durchschnittlich und maximal gefahrene Geschwindigkeit über den Erhebungszeitraum sowie dem Gesamtdatensatz ermittelt. Auf diesem Weg kann eine im Durchschnitt gefahrene mittlere Geschwindigkeit für den betrachteten Zeitraum abgeleitet werden. In Abb. 32 wird die durchschnittlich gefahrene Geschwindigkeit dargestellt. Hier kann man deutlich zwischen den Hauptverkehrsstraßen in den dunkleren Rottönen und den Bezirksstraßen differenzieren. Dabei bilden die Mönckebergstraße, Bergstraße und Große Johannisstraße eine Ausnahme, da dort als Höchstgeschwindigkeit 25 km/h erlaubt sind. Abb. 32 vermittelt das Bild, dass auf diesen Straßen deutlich langsamer gefahren wird als erlaubt. Hier hilft ein Blick auf Abb. 33, der deutlich macht, dass die Differenz zur erlaubten Höchstgeschwindigkeit sich auf diesen Abschnitten in der kleinsten Kategorie von 0 – 10,6 km/h bewegt und somit wird der Verkehrsfluss als nahezu frei betrachtet (FGSV 2015).

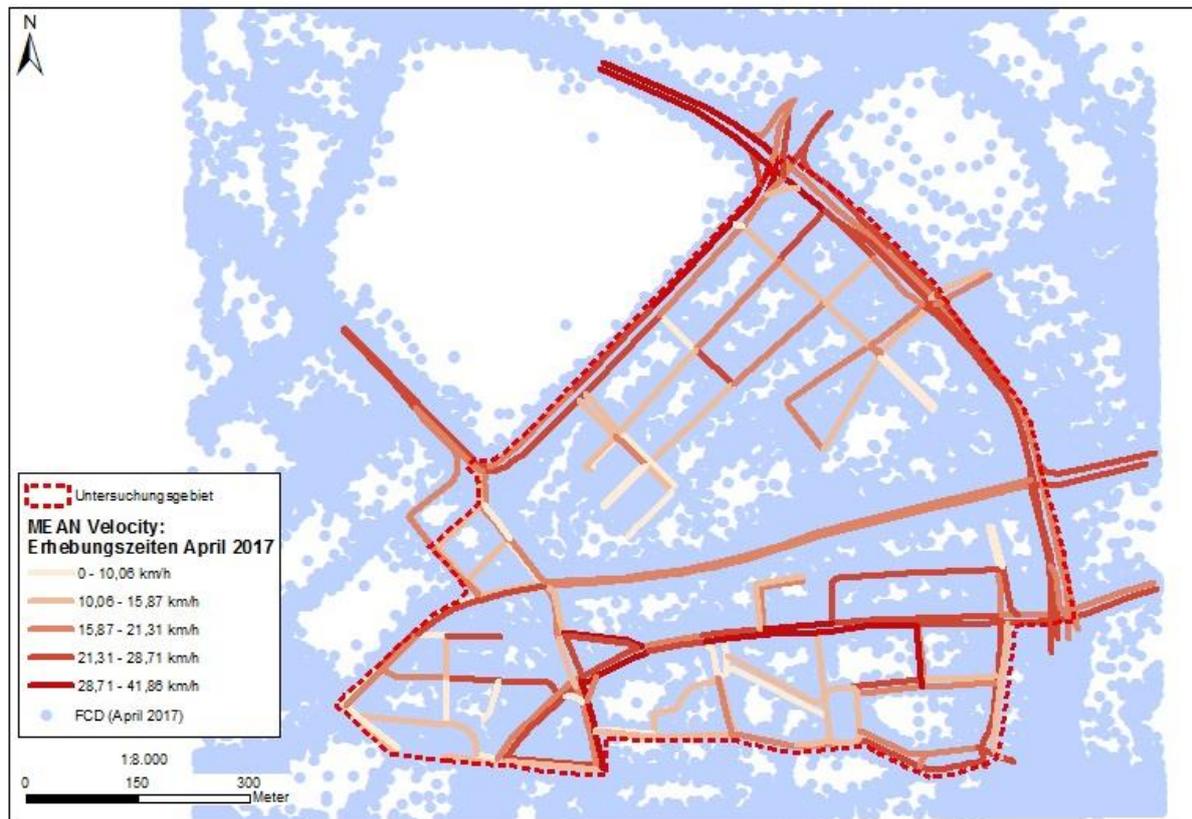


Abb. 32 Durchschnittliche Geschwindigkeit aus den FCD nach Straßenabschnitten ermittelt

In Bezug auf die gefahrene Geschwindigkeit konnte beim Vergleich der erlaubten Höchstgeschwindigkeit pro Abschnitt mit der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit die jeweilige Differenz pro Straßenabschnitt ermittelt werden (siehe Abb. 33). Auffällig ist bei dieser Betrachtung, dass die größten Differenzen auf den Bezirksstraßen auftreten, die von Hauptverkehrsstraßen abgehen. Dies kann auf möglich Parkverkehre zurückgeführt werden, die zu einer Reduzierung der gefahrenen Geschwindigkeit führen.



Abb. 33 Differenzen von der erlaubten zu der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit

Im Anhang 3 werden alle Ergebnisse gruppiert nach den eingesetzten Suchradien beim Mapping dargestellt. Dazu werden immer zuerst die Ergebnisse nach dem Erhebungsschema dargestellt und dann die Darstellung der Gesamtdatensatz der gemapten FCD.

Nach dem Mapping und der Aggregation der FCD und Carsharingdaten wurde an drei Hauptverkehrsstraßenabschnitten (siehe Kapitel 15) die mittlere Geschwindigkeit pro Fahrtrichtung abgelesen und die Verkehrsstärke aus den q-V-Diagrammen aus dem HBS (Abb. 6 bis Abb. 8) entnommen. Die mittlere Geschwindigkeit wurde für die FCD mit dem Suchradius von 5m, 10 m, 15 m und 20 m beim Mapping abgelesen, um hier zu prüfen, wie sich die unterschiedlichen Suchradien auf die mittlere Geschwindigkeit auswirken. Die Überprüfung erfolgte anhand der auf Stundenwerte umgerechneten DTV_w -Werte von der BWVI für den betrachteten Abschnitt. Die Ergebnisse dazu sind in Tabelle 4 dargestellt. Kernpunkt der Tabelle 4 sind die Spalten Mittlere Geschwindigkeit, Ermittelte Verkehrsstärke nach Richtung, Amtlich DTV_w pro h nach Richtung und Differenz, da hierüber die Bestätigung der ermittelten Verkehrsstärke erfolgen sollte. Die Spalte Differenz gibt die Abweichung der ermittelten Verkehrsstärke zu den amtlichen Zahlen in Prozent wieder.

Tabelle 4 Ermittlung der Verkehrsstärke aus der mittleren Geschwindigkeit für ausgewählte Abschnitte an HVS

Abschnitt	Datengrundlage	Anzahl FCD	Mittlere Geschwindigkeit [km/h]	Ermittelte Verkehrsstärke nach Richtung [KFZ/h]	Amtlich DTV _w pro h nach Richtung [KFZ/h]	Differenz [%]
Steinstraße (Mohlenhofstraße - Springeltwiete), 2 Streifen	Mean 20 m EHZ	44	36	2200	625	352
	Mean 15 m EHZ	44	36	2200	625	352
	Mean 10 m EHZ	29	35,7 km/h	2200	625	352
	Mean 5 m EHZ	30	32,2 km/h	Diagramm geht nicht soweit	625	-
Steinstraße (Lange Mühren - Bugenhagenstraße), 2 Streifen	Mean 20 m EHZ	53	31	Diagramm geht nicht soweit	625	-
	Mean 15 m EHZ	51	27,7	Diagramm geht nicht soweit	625	-
	Mean 10 m EHZ	28	28,4	Diagramm geht nicht soweit	625	-
	Mean 5 m EHZ	29	30,8	Diagramm geht nicht soweit	625	-
Jungfernstieg (Neuer Jungfernstieg - Neuer Wall), 1 Streifen	Mean 20 m EHZ	36	27	220	220	0
	Mean 15 m EHZ	35	27	220	220	0
	Mean 10 m EHZ	27	27,6	200	220	-9
	Mean 5 m EHZ	22	28,4	150	220	-32
Jungfernstieg (Neuer Wall - Große Bleichen), 1 Streifen	Mean 20 m EHZ	82	24	400	220	82
	Mean 15 m EHZ	78	24	400	220	82
	Mean 10 m EHZ	54	24,5	350	220	59
	Mean 5 m EHZ	51	25,6	300	220	36
Lombardsbrücke (Brücke - Ferdinandstor), 2 Streifen	Mean 20 m EHZ	195	38,6	1850	1250	48
	Mean 15 m EHZ	187	38,3	1900	1250	52
	Mean 10 m EHZ	156	37,8	1900	1250	52
	Mean 5 m EHZ	135	36,4	2100	1250	68
Lombardsbrücke (Ferdinandstor - Brücke), 2 Streifen	Mean 20 m EHZ	367	39,6	1750	1250	40
	Mean 15 m EHZ	358	39,7	1750	1250	40
	Mean 10 m EHZ	255	40,2	1700	1250	36
	Mean 5 m EHZ	212	41,3	1600	1250	28

18 Diskussion

Nachdem in Kapitel 17 die Ergebnisse dieser Arbeit vorgestellt wurden, erfolgt die Diskussion der Ergebnisse und somit des gewählten Lösungsansatzes hinsichtlich der Beantwortung der zugrundeliegenden Forschungsfragen. Der Fokus der Diskussion liegt auf der Beantwortung der Fragen „*Was hat funktioniert?*“ und „*Was hat nicht funktioniert?*“. Daneben muss an dieser Stelle auch die Wahl des Untersuchungsgebietes diskutiert werden, da dies eine maßgebliche Auswirkung auf die Ergebnisse hat. Dieser Teil der Diskussion erfolgt abschließend nach der Diskussion der Ergebnisse.

Die Beantwortung des „*Wie*“ der dritten Forschungsfrage erfolgte in Kapitel 12 in der prototypischen Umsetzung der Anwendungsentwicklung und ist in diesem Fall unkritisch zu betrachten, da sich die Frage rein auf die Aufbereitung der Daten bezieht. Viel wichtiger ist im darauffolgenden Schritt des Mappings die Betrachtung des Suchradius bei der Zuordnung der Messwerte zum Straßennetz. Hier stellt sich die Frage, welcher Suchradius zur Beantwortung der Fragestellungen am besten geeignet ist. Tabelle 5 zeigt die Anzahl der gemappten FCD nach dem jeweils ausgewählten Suchradius und gibt die Differenz in Prozent zum nächst größeren Suchradius an. An dieser Stelle wird deutlich, dass bei einem Suchradius von 5 Metern ein großer Teil der FCD im Untersuchungsgebiet nicht gemappt wird und somit nicht in die Auswertung einfließt. Nach Tabelle 5 liegt der optimale Suchradius im Untersuchungsgebiet zwischen 15 und 20 Metern, da hier ein Großteil der FCD auf das Straßennetz gemappt wurde und nach der Auswertung der Daten deutliche Unterschiede in der Anzahl der FCD sowie in den ermittelten Geschwindigkeiten zu erkennen ist. Ab einem Suchradius von 20 m wird es schwierig einen Unterschied in den Daten zu erkennen. Nach einem Vergleich der Tabellen wurde hier deutlich, dass sich nur geringe Unterschiede in der Fahrzeuganzahl und den Verkehrsstärken Q_{FCD} und Q_{GES} ergeben und die Zeilenanzahl dieselbe ist. Des Weiteren steigt hier wieder die Möglichkeit an falschen Zuordnungen der FCD, da die kleinteilige räumliche Gliederung des Untersuchungsgebiets zum Tragen kommt und bei der Zuordnung nur die Fahrtrichtung genutzt wurde.

Tabelle 5 Anzahl der gemappten FCD nach dem gewählten Suchradius

NEAR-Distanz [m]	Anzahl FCD	Differenz zur nächsten NEAR-Distanz [%]
5	50.508	24,6
10	66.995	8,4
15	73.165	4,2
20	76.374	3,7
30	79.322	

Der gewählte Ansatz zum Mapping der FCD und Carsharingdaten anhand der Fahrtrichtung auf das Straßennetz funktioniert für die Straßenabschnitte zwischen den einzelnen Knoten sehr zuverlässig. Hier kann über die Nutzung des Suchradius des Werkzeugs NEAR ein gutes Ergebnis erzielt werden. Schwieriger ist die Betrachtung an Kreuzungsknoten, da beim Mapping nur die Fahrtrichtung berücksichtigt wurde und es somit zur falschen Zuordnung von Messwerten kommen kann. Da Kreuzungsknoten, wie in Kapitel 3 beschrieben, nicht im Fokus dieser Arbeit liegen, kann dieses Problem vernachlässigt werden.

Um bei der Nutzung von größeren Suchradien Fehler in der Zuordnung zu reduzieren müsste der Ansatz aus Kapitel 13.2 neben der Fahrtrichtung zusätzlich den Richtungswinkel berücksichtigen. Dies würde die Zuverlässigkeit der Ergebnisse insgesamt erhöhen und würde kurze Straßenabschnitte besser beim Mapping berücksichtigen. Einer Fahrbahn mit der Richtung 0 und einem Winkel von 90° würde dann ein Messwert mit der Richtung 0 und einem Winkel von 10° nicht zugeordnet werden (siehe Tabelle 3). Über diesen Ansatz könnte das Mapping in Kreuzungs- und Einmündungsbereichen zuverlässige Ergebnisse liefern.

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage sollte geklärt werden, ob es mit dem Lösungsansatz möglich ist Verkehrsstärken auf Nebenstraßen zu ermitteln. Dazu wurde bereits schon im Rahmen der Anwendungsentwicklung in Kapitel 15 deutlich, dass keine sichere Grundlage zur Ableitung der Verkehrsstärke auf Nebenstraßen im Rahmen dieser Arbeit entwickelt werden konnte. Dies ist in begründet in der Tatsache, dass die Ermittlung der Verkehrsstärke anhand der ermittelten mittleren Geschwindigkeit auf den ausgewählten Hauptverkehrsstraßenabschnitten nicht zu dem Ergebnis führte, welches anhand des Lösungsansatzes angestrebt wurde. Diesen Sachverhalt gibt Tabelle 4 wieder. Bis auf einen Fall (Jungfernstieg: Neuer Jungfernstieg - Neuer Wall) sind die Abweichungen so groß, dass sich kein zuverlässiger Faktor zur Umrechnung auf Nebenstrecken ableiten lässt. Dass sich die Verkehrsstärke über die Zeit, z.B. auf Grund von baulichen Maßnahmen, verändert oder Schwankungen unterliegt ist hierbei berücksichtigt. Da hier aber zwischen den auf Grundlage der q-V-Diagramme aus dem HBS (siehe Abb. 6 bis Abb. 8) ermittelten Verkehrsstärken und den amtlich ermittelten Verkehrsstärken Abweichungen von bis zu 82% lagen, erwies sich dieser Ansatz als nicht praktikabel.

Bei der Aggregation der FCD, nach dem Erhebungsschema sowie beim Gesamtdatensatz wurden alle Geschwindigkeitswerte betrachtet. Es wurden weder Ausreißer nach unten bzw. oben bei der Geschwindigkeit aus der Betrachtung eliminiert. Das hat zur Folge, dass Messwerte mit langsameren Geschwindigkeiten, z.B. beim Anfahren an einer Ampel oder bei

stockenden Verkehr, mit in die Ermittlung der gefahrenen mittleren Geschwindigkeit einfließt. Die q-V-Diagramme in Kapitel 7 beziehen sich jedoch auf fließenden Verkehr. Da die Daten nur über die Zeit aggregiert wurden und die Geschwindigkeit einfach nach ihren gemessenen Werten ohne Bereinigung betrachtet wurden, sind hier zu viele Werte enthalten, die auf einen stockenden Verkehr deuten (siehe Tabelle 4). Stockender Verkehr charakterisiert sich dadurch, dass insgesamt niedrige Geschwindigkeiten gemessen werden und die Verkehrsstärke auf einen geringen Wert sinkt (Schnabel und Lohse 2011a). Dieser Zusammenhang wurde in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt und daher falsch interpretiert, was sich anhand Tabelle 4 belegen lässt.

Die durchschnittliche Geschwindigkeit ist im Schnitt deutlich geringer als die erlaubte Höchstgeschwindigkeit (siehe Abb. 33). Dies ist ein Zusammenhang von Verkehrsdichte und -fluss, der sich dadurch begründet, dass bei einer geringeren Verkehrsdichte, der Verkehr frei fließen kann und die Fahrzeuge eine höhere bzw. die erlaubte Geschwindigkeit fahren können und somit auch den Straßenabschnitt schneller passieren. Steigt nun die „Verkehrsdichte steigt auch der Verkehrsfluss“ (Dallmeyer 2014) was wiederum zu einer Reduzierung der mittleren Geschwindigkeit führt. Dies kann anhand der vielen Ampeln (Abb. 29) im Untersuchungsgebiet begründet werden, da hier die Fahrzeuge entweder während ihrer Haltezeit ihre Meldung mit einer geringen Geschwindigkeit senden oder den Abschnitt einer entsprechenden Ampelsteuerung schnell passieren und somit zu diesem Zeitpunkt keine Meldung senden.

Die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage - *Inwieweit ist eine Ermittlung der Verkehrsstärke aus vorhandenen Verkehrszahlen auf Hauptverkehrsstraßen und Interpolation der Zahlen für Bezirksstraßen aus verteilten Datenquellen möglich?* - konnte mit dem gewählten Lösungsansatz nicht erfolgen. Da der Lösungsansatz zeigt, dass mit nur zwei verschiedenen Eingangsdatenquellen eine qualifizierte Ermittlung der Verkehrsstärke auf Hauptverkehrs- und Bezirksstraßen nicht möglich ist. Ein wichtiger Punkt ist dabei, dass nicht bekannt ist wie hoch deren Anteil am gesamten Verkehrsaufkommen zum betrachteten Zeitpunkt ist. Hilfreich für diese Art der Betrachtung wäre eine Annahme über den Anteil der Daten am Gesamtverkehr, da dies eine Ermittlung der Gesamtverkehrsstärken näherungsweise ermöglicht hätte. In Bezug auf im Fahrzeug generierte Verkehrsdaten gelangte auch Steinauer et al. (2006) zu der Aussage, dass „so lange keine Vollausrüstung der Fahrzeuge mit FCD vorliegt“ (Steinauer et al. 2006) es sich bei der Betrachtung nur um eine Stichprobe handelt. Selbst sichere Aussagen über die Verkehrszahlen auf Hauptverkehrs-

straßen sind hier nicht möglich. In den Ergebnissen kann aber die unterschiedliche Gewichtung der Straßen und die unterschiedlichen Funktionen der Straßen erkannt werden. Anhand der Fahrzeuganzahl und der mittleren Geschwindigkeiten lassen sich die Hauptverkehrsstraßen eindeutig identifizieren, da diese von vielen Fahrzeugen in einer kürzeren Zeit passiert werden. Auf den Nebenstrecken herrscht ein anderes Bild. Hier sind die Geschwindigkeiten und die Fahrzeuganzahl geringer, da zum einen an Kreuzungen Vorfahrtsregeln beachtet werden müssen und zum anderen z.B. nach Erreichen des Ziels ein Parkplatz gesucht wird, was in den meisten Fällen zu einer Reduzierung der Geschwindigkeit führt.

Wichtig in Bezug auf verteilte und somit unterschiedliche Datenquellen ist, dass sichergestellt werden muss, dass ein erfasstes Fahrzeug nicht in mehreren Datenquellen gleichzeitig auftaucht und mehrfach analysiert und ausgewertet wird. Dies hätte eine massive Auswirkung z.B. auf die Ermittlung von Verkehrsstärken, da diese dadurch verfälscht würden. Im Fall der FCD wurde hier vom Datenlieferant versichert, dass die in dieser Arbeit eingesetzten Carsharingdaten nicht in den FCD enthalten sind.

Die Erkenntnis bezüglich der vierten Forschungsfrage - *Wie können die so ermittelte Verkehrsstärke anhand amtlichen Verkehrszahlen validiert werden?* - ist, dass prinzipiell amtlichen Verkehrsstärken zur Validierung genutzt werden können, wenn man diese unter Berücksichtigung der Hochrechnungsfaktoren entsprechend auf die zu vergleichende Zieleinheit, in diesem Fall KFZ/h umrechnet. Die Grundlage dazu bildet ein Netz aus Dauerzählstellen und Pegel an Autobahnen, Bundesfernstraßen und Hauptverkehrsstraßen zur Erhebung des fließenden Verkehrs (siehe Kapitel 10.2) (BWVI 2017). Dies zeigt aber auch direkt die Einschränkung der Zahlen auf, da mit ihnen nur auf Hauptverkehrsstraßen ermittelte Werte validiert werden können. Eine Eignung zur Validierung für Verkehrsstärken auf Neben-/Bezirksstraßen ist nicht gegeben. Aktuell liegen in Hamburg für Bezirksstraßen nur anlass-bezogene Verkehrserhebungen vor. Nachteil dieser Erhebungen ist, dass sie nicht einheitlich über das Netz verteilt sind, die Aktualität und der Anlass die Erhebungsart bestimmt.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Aktualität der Daten. Zu einzelnen Bezirksstraßen gibt es Verkehrszahlen, die zum Teil in den 1980zigern oder 1990zigern erhoben wurden. Selbst wenn die Verkehrszahlen erst vor zehn Jahren erfasst wurden ist eine Vergleichbarkeit mit aktuellen Zahlen als schwierig einzuschätzen, da sich das Verkehrsaufkommen über die Zeit verändert und diese so nicht wiedergegeben wird.

Somit ist das Ziel einer einheitlichen Validierung der Ergebnisse nicht zu erreichen, da in Ermangelung einer verlässlichen Datengrundlage auf Bezirksstraßen und der nicht vollständigen Abdeckung der Hauptverkehrsstraßen mit Zählstellen keine Validierung mittels der amtlichen Verkehrsstärken durchgeführt werden kann.

Die der Arbeit zugrundeliegende Hypothese - *Auf Grundlage von FCD und Carsharingdaten kann die Verkehrsstärke auf Bezirksstraßen von den regelmäßig erhobenen Verkehrsstärken in Form des DTV-Wertes auf Hauptverkehrsstraßen abgeleitet werden* - konnte so nicht bestätigt und gestützt werden. Es wurde nachgewiesen, dass nur zwei Eingangsdatenquellen für diese Frage nicht ausreichend für eine adäquate Beantwortung sind.

Die sehr komplexe Struktur des Untersuchungsgebietes mit fast ausschließlich gewerblicher Nutzung und Einzelhandel in seiner zentralen Innenstadtlage mit den dadurch bedingten Verkehren ohne nennenswerten Anteil an Wohngebiet wird im Nachhinein als schwierige Ausgangssituation betrachtet. Die Auswertungen lassen sich so nicht auf die Gesamtheit der Bezirksstraßen übertragen. Für eine weitere Betrachtung ist es daher zwingend erforderlich ein Untersuchungsgebiet anhand seines konkreten Planungsgegenstands auszuwählen, da dies auch die Größe und Abgrenzung eines zu untersuchenden Gebiets beeinflusst.

19 Schlussfolgerung

Schlussfolgerung und abschließendes Fazit dieser Arbeit ist, dass GIS mit all seinen Werkzeugen und Funktionen zur Aufbereitung und Auswertung der Eingangsdaten geeignet ist. Ein GIS liefert alle notwendigen Werkzeuge zur Analysen der Daten über die Zeit, den Raum und einzelnen Attribute und ermöglicht die weitere Aufbereitung der Daten sowie die Aggregation der Daten zu Summenstatistiken. Der gewählte Lösungsansatz war mit den zur Verfügung stehenden Daten nach der Datenaufbereitung und dem Mapping nicht geeignet zur Beantwortung aller Fragestellung.

Damit das Potential der FCD hinsichtlich der dort erfassten Geschwindigkeiten sich richtig nutzen lässt, wurden in der gewählten Vorgehensweise die gemittelten Geschwindigkeiten nach Straßenabschnitten zu einem bestimmten Zeitpunkt abgeleitet. Für eine detaillierte Betrachtung der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten bedarf es einer Aufbereitung der Daten in Hinblick auf Zustände des Stillstands. Nach Steinauer et. al. (2006) werden auf Stadtstraßen nur zwei Verkehrszustände unterschieden – Kein Stau und Stau. Dies wurde in dieser Arbeit nicht getan. Des Weiteren wäre die Betrachtung von einzelnen Tracks, die ohne Stopp durch die Straßenabschnitte fahren konnten, bzw. eine Auswahl an Tracks, bei denen es zu keinem Stopp kam, in Hinblick auf die Betrachtung der mittleren Geschwindigkeit ein Ansatz. Auf jeden Fall müssen Messwerte die eine zu niedrige Geschwindigkeit aufweisen aus der Betrachtung eliminiert werden. Dazu müssen aber vergleichbare Kriterien aufgestellt werden, nach denen dies geschieht. Diese Anpassung des Lösungsansatzes (Kapitel 7) wäre in einer prototypischen Umsetzung zu überprüfen. Nichtsdestotrotz wäre ein dichteres Netz an Zählstellen zur Beantwortung dieser Fragestellung hilfreich.

Zur reinen Auswertung der Anzahl der Fahrzeuge pro Abschnitt kann das Verfahren eingesetzt werden. Im GIS liefert der Modelbuilder ein einfaches Werkzeug, mit dem die Daten nach unterschiedlichen Erhebungsschemata ausgewählt und aggregiert werden können. Des Weiteren können die Modelle einfach an die Erfordernisse neuer Eingangsdaten angepasst werden. In dieser Arbeit ist die Menge der Eingangsdaten allerdings zu gering, um zu einer qualifizierten Aussage über die Verkehrsstärke in Hinblick auf den gesamten Kraftfahrzeugverkehr eines Straßenabschnittes zu gelangen.

Bei der richtungsbezogenen Betrachtung von Straßenquerschnitten können die Carsharingdaten nicht eingesetzt werden, da sie in Ermangelung der Richtung, nicht eindeutig einer Fahrbahn zugeordnet werden können. Die Carsharingdaten können nur bei Fragestellungen zum gesamten Straßenabschnitt eingesetzt werden.

Neben der Frage nach der Umsetzung im GIS hätte dem Untersuchungsgebiet und somit dem Planungsgrund eine höhere Bedeutung zukommen müssen (Schnabel und Lohse 2011b). Da die Auswahl eines Untersuchungsgebietes einen konkreten Planungsgegenstand bedarf muss dieser auch mit in die Beantwortung der Fragestellung einfließen bzw. von dieser berücksichtigt werden. In dieser Arbeit wurde zuerst das Untersuchungsgebiet ausgewählt und dann die Fragestellung ausgearbeitet. Dies hätte für ein besseres Ergebnis zusammen erfolgen müssen.

20 Ausblick

Als Ausblick aus dieser Arbeit kann mitgenommen werden, dass vor allen aus FCD auch für das nachgeordnete Netz an Bezirksstraßen Informationen gewonnen werden können. Auch wenn in dieser Arbeit bei der prototypischen Umsetzung nicht die erhofften Ziele erreicht wurden, lag dies nicht am Werkzeug GIS und den FCD, sondern an der Umsetzung des Lösungsansatzes sowie der Nutzung von zwei Datenquellen mit einem geringen Anteil am Verkehr. Hierzu kann die Forderung von Steinauer et. al. (2006) von einer Ausstattung aller Fahrzeuge mit FCD unterstützt werden, da auf diesem Wege eine Ermittlung der Verkehrsstärke mit dem gewählten Lösungsansatz möglich wäre.

Mit der zunehmenden Digitalisierung des öffentlichen Raumes durch z.B. die Aufrüstung von Lichtsignalanlagen mit Wärmebildkameras zur Erfassung der aktuellen Verkehrslage, dem Aufbau eines Netzes von Dauerzählstellen für den Radverkehr oder dem flächendeckenden Einsatz von Sensoren zur Erfassung der Parkplatzsituation (Hamburg.de 2018) werden neue Datenquellen geschaffen, die zur Erhebung von Verkehrsdaten genutzt werden können. Des Weiteren würde über den Ausbau der digitalen Infrastruktur zur Erfassung des Verkehrs eine Betrachtung des Fuß-, Rad- und motorisierten Verkehrs ermöglicht werden und nicht mehr die ausschließliche Betrachtung eines Verkehrsmittels. FCD beziehen sich heutzutage noch rein auf Kraftfahrzeuge, da sich aber der Trend hin zur multimodalen Nutzung der verschiedenen Verkehrsmittel entwickelt muss dies auch in den Verkehrsdaten sichtbar werden.

Ein weiterer Ansatz, der zu betrachten ist, ist die Kombination von Verkehrszahlen aus stationären Daten, z.B. Dauerzählstellen, und mobilen Daten, z.B. FCD. Dieser Ansatz der Kombination von lokalen und mobil erhobenen Messwerten wird als Datenfusion bezeichnet. Dabei werden unterschiedliche Signale und Daten unterschiedlicher Genese erfasst, überprüft, aufbereitet und abschließend in einen Datenbestand überführt (FGSV 2003). Die Entwicklung von geeigneten Analyseverfahren ist gerade Ziel eines laufenden Projektes des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI 2018).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- BMVI (2018): BMVI - Ermittlung von Verkehrsbeziehungen aus der Fusion von Floating Car Data mit Verkehrsstärkemessungen – OD-FCD. Online verfügbar unter <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/floating-card-data-mit-verkehrsstaeckemessungen-od-fcd.html>, zuletzt geprüft am 19.07.2018.
- Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg (2005): Drucksache 18/2498. Online verfügbar unter <https://www.buergerschaft-hh.de/ParlDok/dokument/16180/1-unterrichtung-der-b%c3%bcrgerschaft-eine-moderne-effiziente-und-kundenfreundliche-verwaltung-f%c3%bc-die-wachsende-stadt-2-beantwortung-des-ersuchens.pdf>, zuletzt geprüft am 22.02.2018.
- BWVI (2013): Verkehrsportal - Portal Hamburg. Online verfügbar unter <http://www.metaver.de/trefferanzeige?docuuid=01250B82-5327-404A-840B-32788F7D4DEC&plugid=/ingrid-group:ige-iplug-HH&docid=01250B82-5327-404A-840B-32788F7D4DEC>, zuletzt geprüft am 18.07.2018.
- BWVI (2016): Verkehrsmengen auf Hauptverkehrsstraßen in Hamburg. Online verfügbar unter <http://www.metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShowDocument&docuuid=2EFC4867-650E-4850-815B-CFBD2469513B&plugid=/ingrid-group:ige-iplug-HH>, zuletzt geprüft am 22.07.2018.
- BWVI (2017): Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken. Online verfügbar unter <http://www.hamburg.de/bwvi/verkehrsbelastung/>, zuletzt geprüft am 25.02.2018.
- Dallmeyer, Jörg (2014): Simulation des Straßenverkehrs in der Großstadt. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Dalumpines, Ron, und Darren M. Scott (2011): GIS-based map-matching: Development and demonstration of a postprocessing map-matching algorithm for transportation research. In: Advancing geoinformation science for a changing world. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 101–120.
- ESRI (2016a): Kurzer Überblick über die Verwendung von Iteratoren—Hilfe | ArcGIS for Desktop. Online verfügbar unter <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/analyze/modelbuilder/a-quick-tour-of-using-iterators-for-iteration-looping-.htm>, zuletzt geprüft am 13.06.2018.

-
- ESRI (2016b): Räumliche Verbindung—Hilfe | ArcGIS for Desktop. Online verfügbar unter <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/tools/analysis-toolbox/spatial-join.htm>, zuletzt geprüft am 10.07.2018.
- ESRI (2017): How To: Replace null values with zero in an attribute table. Online verfügbar unter <https://support.esri.com/en/technical-article/000016100>, zuletzt geprüft am 11.07.2017.
- ESRI (2018a): Near—Hilfe | ArcGIS Desktop. Online verfügbar unter <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.5/tools/analysis-toolbox/near.htm>, zuletzt geprüft am 07.07.2018.
- ESRI (2018b): Split Line At Vertices—Help | ArcGIS Desktop. Online verfügbar unter <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.5/tools/data-management-toolbox/split-line-at-vertices.htm>, zuletzt geprüft am 21.06.2018.
- ESRI (2018c): Zeitfeld konvertieren—Data Management (Toolbox) | ArcGIS Desktop. Online verfügbar unter <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/tool-reference/data-management/convert-time-field.htm>, zuletzt geprüft am 03.07.2018.
- ESRI GeoNet (2011): Get line direction/orientation as a numeric field | GeoNet. Online verfügbar unter <https://community.esri.com/thread/27393>, zuletzt geprüft am 03.07.2018.
- FGSV (2003): Hinweise zur Datenvervollständigung und Datenaufbereitung in verkehrstechnischen Anwendungen. Herausgegeben von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Köln: FGSV Verlag.
- FGSV (2006): Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt). Herausgegeben von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Straßenentwurf“. Köln: FGSV Verlag.
- FGSV (2010): Hinweise zur kurzzeitigen automatischen Erfassung von Daten des Straßenverkehrs. Herausgegeben von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Verkehrsplanung“. Köln: FGSV Verlag.
- FGSV (2012): Empfehlungen für Verkehrserhebungen. Herausgegeben von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Verkehrsplanung“. Köln: FGSV Verlag.

-
- FGSV (2015): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS).
Herausgegeben von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV),
Kommission „Bemessung von Straßenverkehrsanlagen“. Köln: FGSV Verlag.
- Geofabrik GmbH (2017): Download OpenStreetMap data for this region: Hamburg. Online
verfügbar unter <http://download.geofabrik.de/europe/germany/hamburg.html>, zuletzt
geprüft am 18.05.2017.
- Hamburg.de (2018): Hamburg drückt weiter auf die Tube. Online verfügbar unter
[http://www.hamburg.de/pressearchiv-fhh/11233040/2018-06-19-bwvi-zukunft-
mobilitaet/](http://www.hamburg.de/pressearchiv-fhh/11233040/2018-06-19-bwvi-zukunft-mobilitaet/), zuletzt geprüft am 19.07.2018.
- Kathmann, Thorsten, Hartmut Ziegler, und Susanne Roggendorf (2012): Bluetooth-Erfassung
in der Verkehrsplanung. In: Straßenverkehrstechnik 56 (9). Bonn: Kirschbaumer
Verlag GmbH, S. 541–547.
- Körner, Matthias (2011): Nutzungsmöglichkeiten von Floating Car Data zur
Verkehrsflussoptimierung. In: Angewandte Geoinformatik 2011, Berlin/Offenbach:
Herbert Wichmann Verlag, VDE VERLAG GmbH, S. 381 – 386.
- Lensing, Norbert (2013): Straßenverkehrszählung 2010 - Methodik. Bergisch Gladbach:
Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH. Online verfügbar unter
[https://www.bast.de/BASSt_2017/DE/Publikationen/Berichte/unterreihe-v/2014-
2013/v234.html](https://www.bast.de/BASSt_2017/DE/Publikationen/Berichte/unterreihe-v/2014-2013/v234.html), zuletzt geprüft am 07.07.2018.
- LGV (2018a): MetaVer - Zentraler Zugangspunkt zu den Metadaten aus BB, HB, HH, MV,
SL und ST. Online verfügbar unter <http://www.metaver.de/startseite>, zuletzt geprüft
am 22.07.2018.
- LGV (2018b): WMS ALKIS Basiskarte (farbig). Online verfügbar unter
[http://www.metaver.de/trefferanzeige?docuuid=D5DEAFFD-0C69-4552-99FD-
D4D58312DA92&plugid=/ingrid-group:ige-iplug-HH&docid=D5DEAFFD-0C69-
4552-99FD-D4D58312DA92](http://www.metaver.de/trefferanzeige?docuuid=D5DEAFFD-0C69-4552-99FD-D4D58312DA92&plugid=/ingrid-group:ige-iplug-HH&docid=D5DEAFFD-0C69-4552-99FD-D4D58312DA92), zuletzt geprüft am 18.07.2018.
- Longley, Paul A., Michael F. Goodchild, David J. Maguire, und David W. Rhind (2015):
Geographic Information Science and Systems. Danvers: John Wiley & Sons, Inc.
- Pfoser, Dieter (2008): Floating Car Data. In: Encyclopedia of GIS. Boston, MA: Springer US,
S. 321-321, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23519-6>.

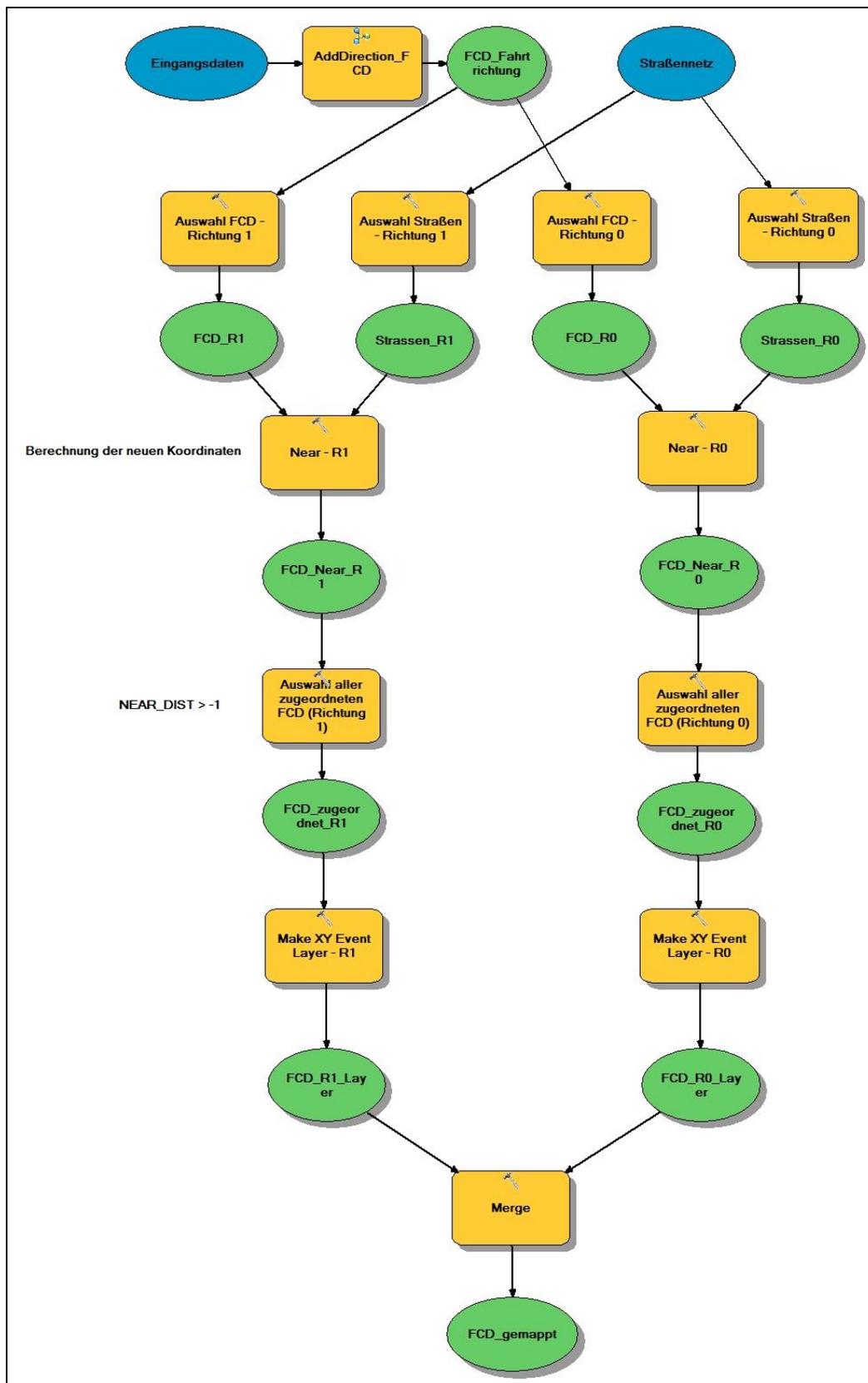
-
- Ramm, Frederik (2017): OpenStreetMap Data in Layered GIS Format. Online verfügbar unter <http://download.geofabrik.de/osm-data-in-gis-formats-free.pdf>, zuletzt geprüft am 18.05.2017.
- Schirg, Oliver (2017): Das Hamburger Straßennetz. In: Hamburger Abendblatt, 8. September 2017, online verfügbar unter <https://www.abendblatt.de/hamburg/article211522465/Das-Hamburger-Strassennetz.html>, zuletzt geprüft am 21.05.2018.
- Schnabel, Werner, und Dieter Lohse (2011a): Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. 3., Vollständig überarbeitete Auflage. Bd. 1 Straßenverkehrstechnik. Berlin, Bonn: Beuth Verlag GmbH, Kirschbaumer Verlag.
- Schnabel, Werner, und Dieter Lohse (2011b): Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. 3., Vollständig überarbeitete Auflage. Bd. 2 Verkehrsplanung. Berlin, Bonn: Beuth Verlag GmbH, Kirschbaumer Verlag.
- Schulz, Diana (2011): Visualisierung von FCD in einem WebGIS“. Online verfügbar unter <http://unigis.sbg.ac.at/files/Masterthesen/Full/1559.pdf>, zuletzt geprüft am 03.07.2018.
- Steinauer, Bernhard, Martin Brake, Michael M. Baier, und Thorsten Kathmann (2006): Integration mobil erfasster Verkehrsdaten (FCD) in die Steuerungsverfahren der kollektiven Verkehrsbeeinflussung. Herausgegeben von Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr. Bd. 933. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Düsseldorf: Spiekermann GmbH.
- Van Dijk, Justin, und Tom De Jong (2017): Post-processing GPS-tracks in reconstructing travelled routes in a GIS-environment: network subset selection and attribute adjustment. In: Annals of GIS Vol. 23 (No 3), S. 203–217, <https://doi.org/10.1080/19475683.2017.1340340>.
- Wikipedia (2018a): Verkehrserhebung. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Verkehrserhebung&oldid=177217911>, zuletzt geprüft am 21.05.2018.
- Wikipedia (2018b): Koordinierte Weltzeit. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Koordinierte_Weltzeit&oldid=178921736, zuletzt geprüft am 25.07.2018.

Wolf, Franziska, Stefan Libbe, und Andreas Herrmann (2010): Communication and Cooperation for Traffic Systems. In: IFAC Proceedings Volumes 43(23), Timisoara, Rumanien: Elsevier, S. 25-30, <https://doi.org/https://doi.org/10.3182/20101005-4-RO-2018.00009>.

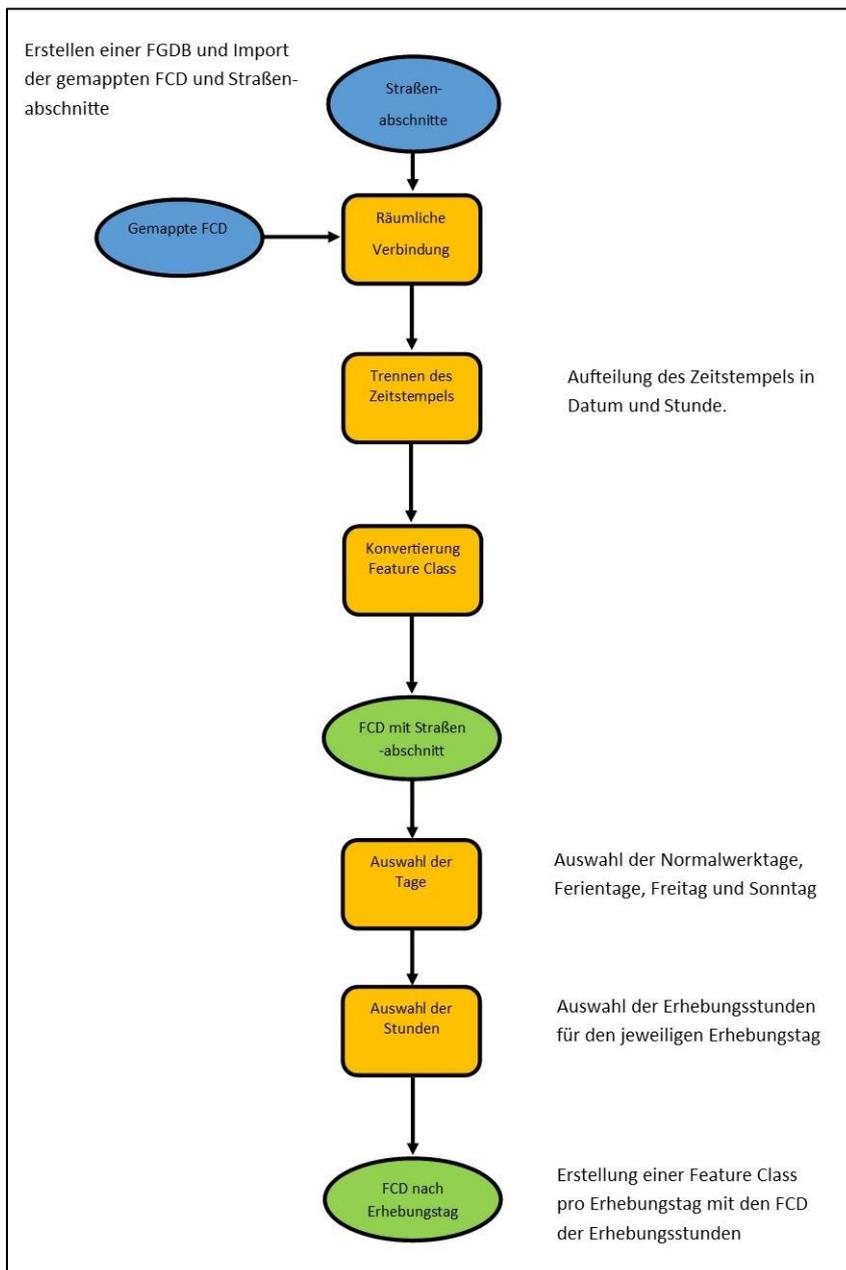
Xi, Lianxia, Quan Liu, Minghua Li, und Zhong Liu (2007): Map Matching Algorithm and Its Application. In: Proceedings on Intelligent Systems and Knowledge Engineering, Advances in Intelligent Systems Research. Chengdu, China: Atlantis Press, <https://doi.org/doi:10.2991/iske.2007.127>.

Anhang

1 Model FCD-Mapping

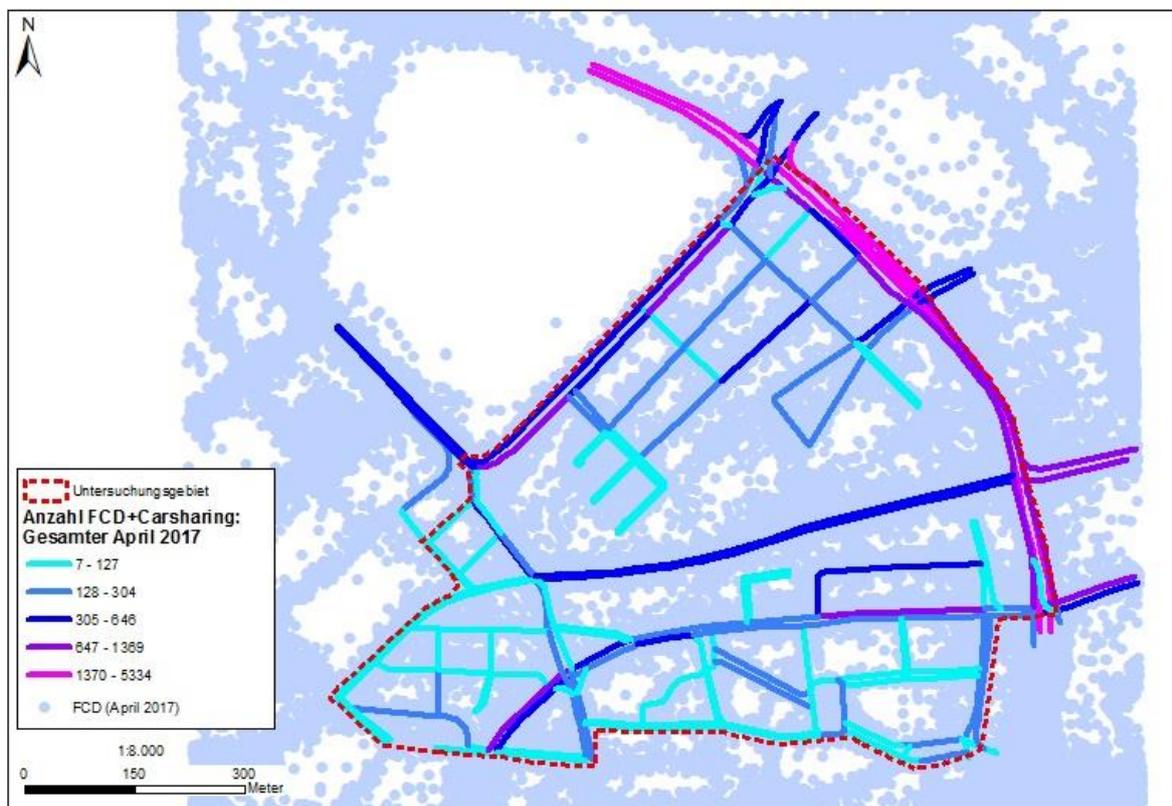
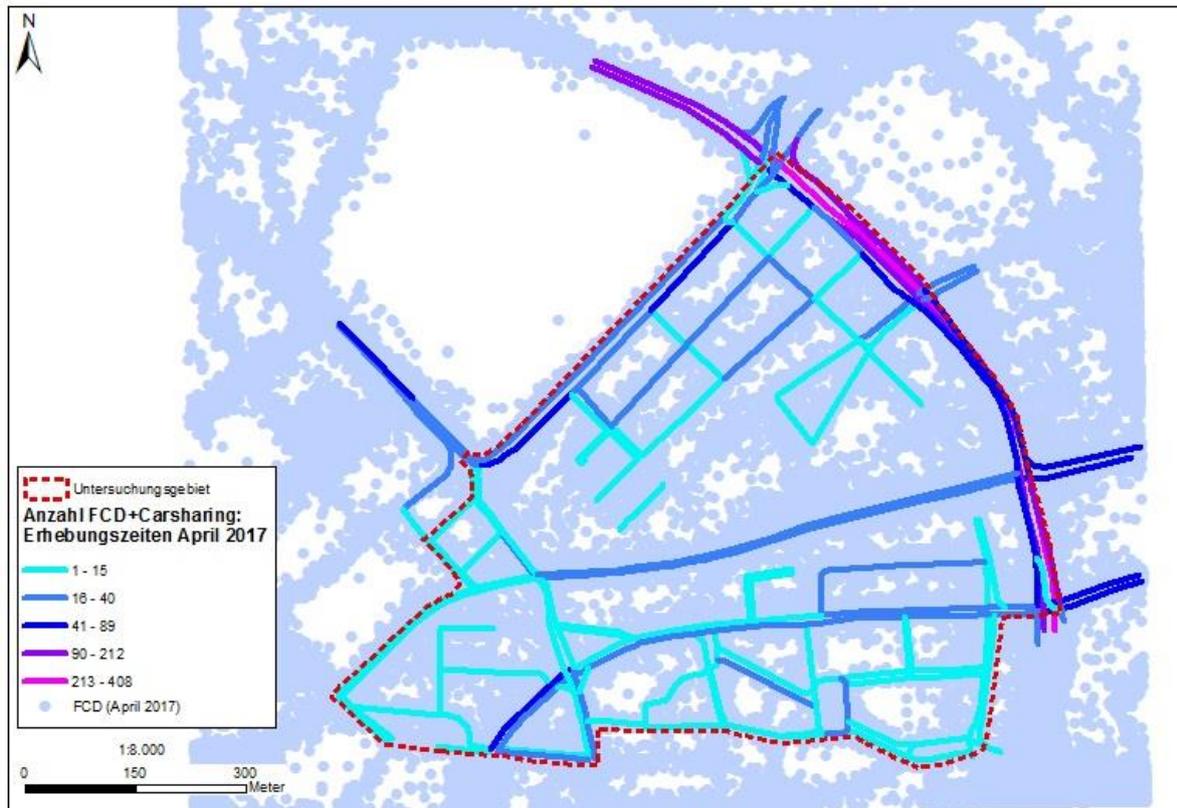


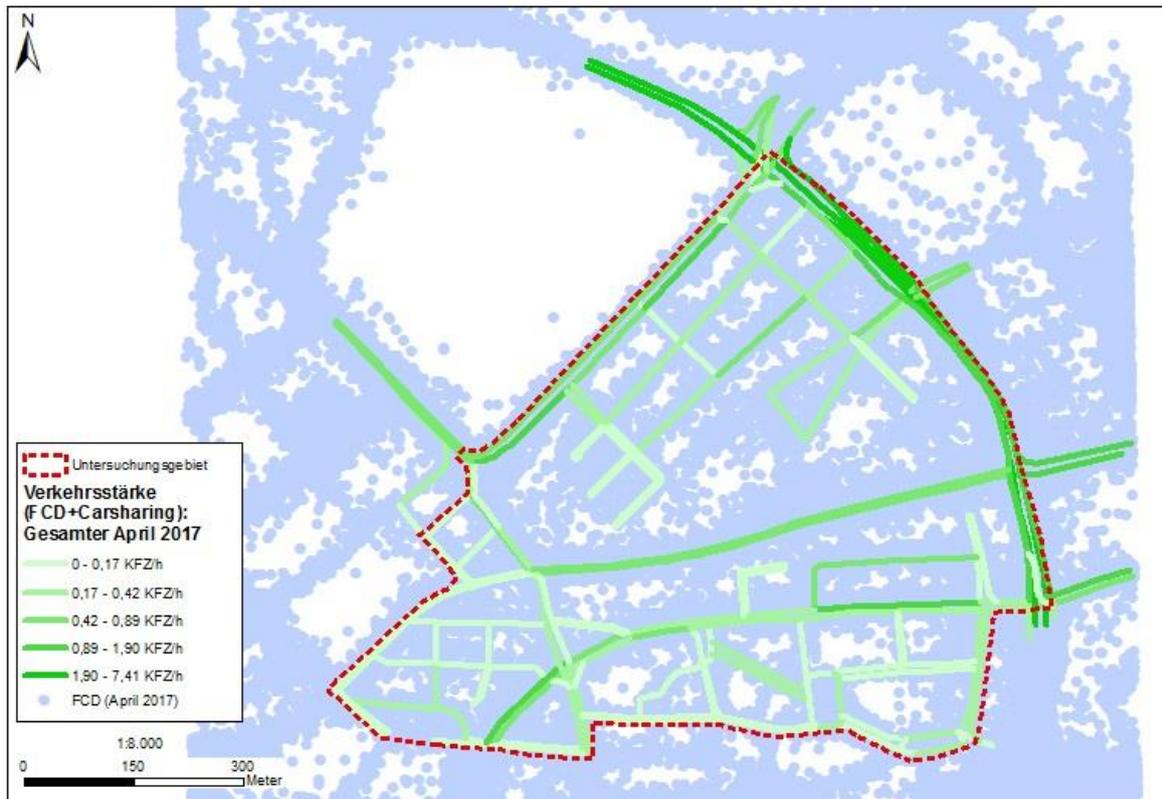
2 Workflow zum Erstellen der Zeitintervalle

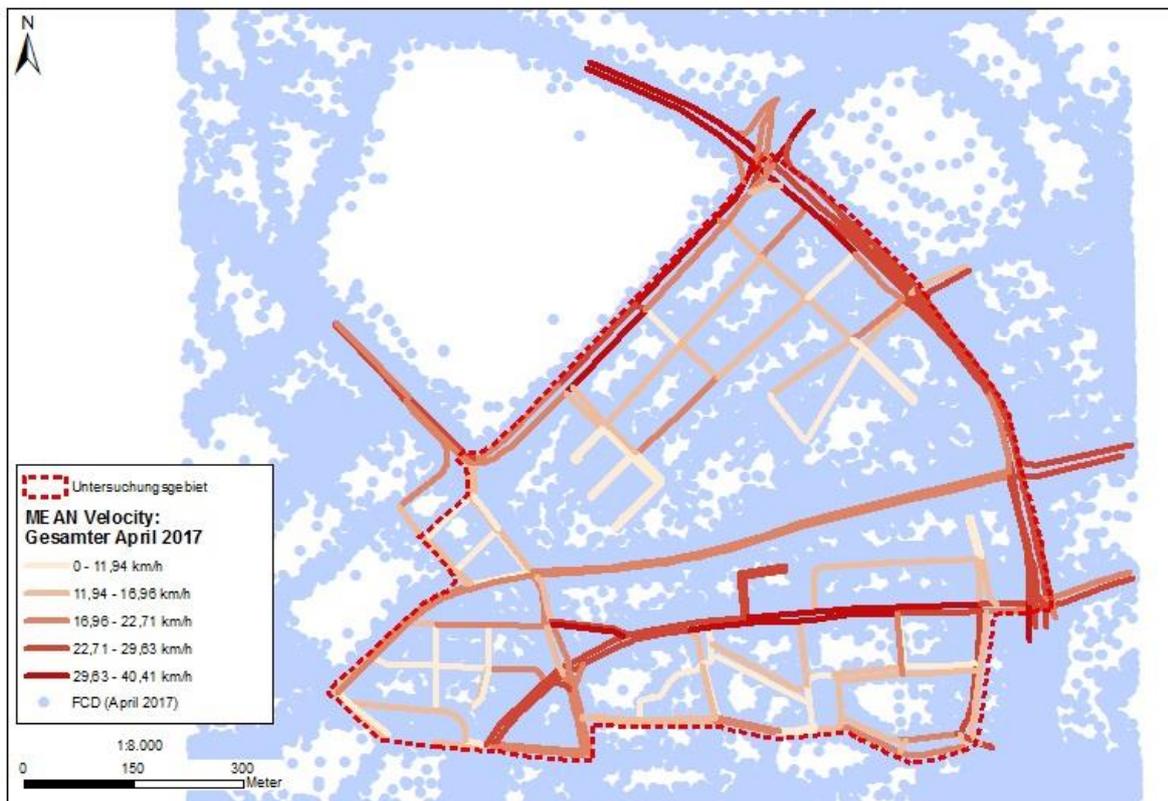
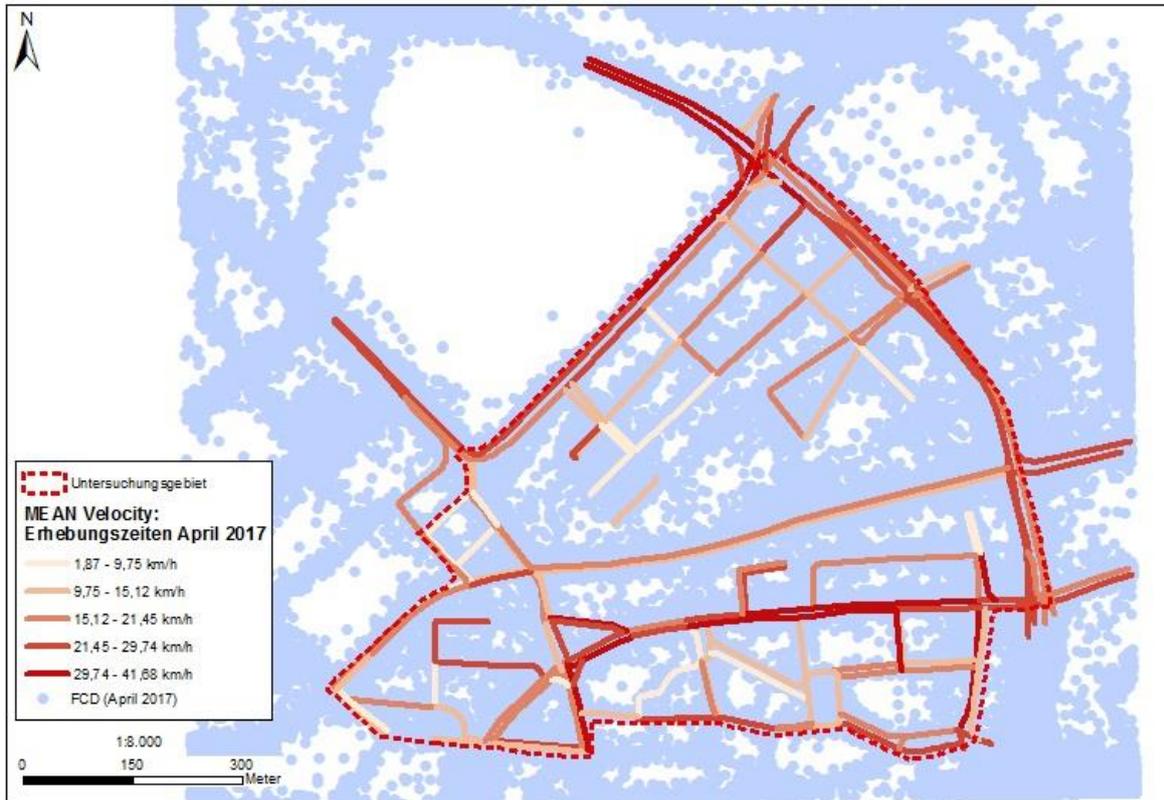


3 Ergebnisse nach Mapping und Aggregation

3.1 Suchradius von 5 Metern beim Mapping

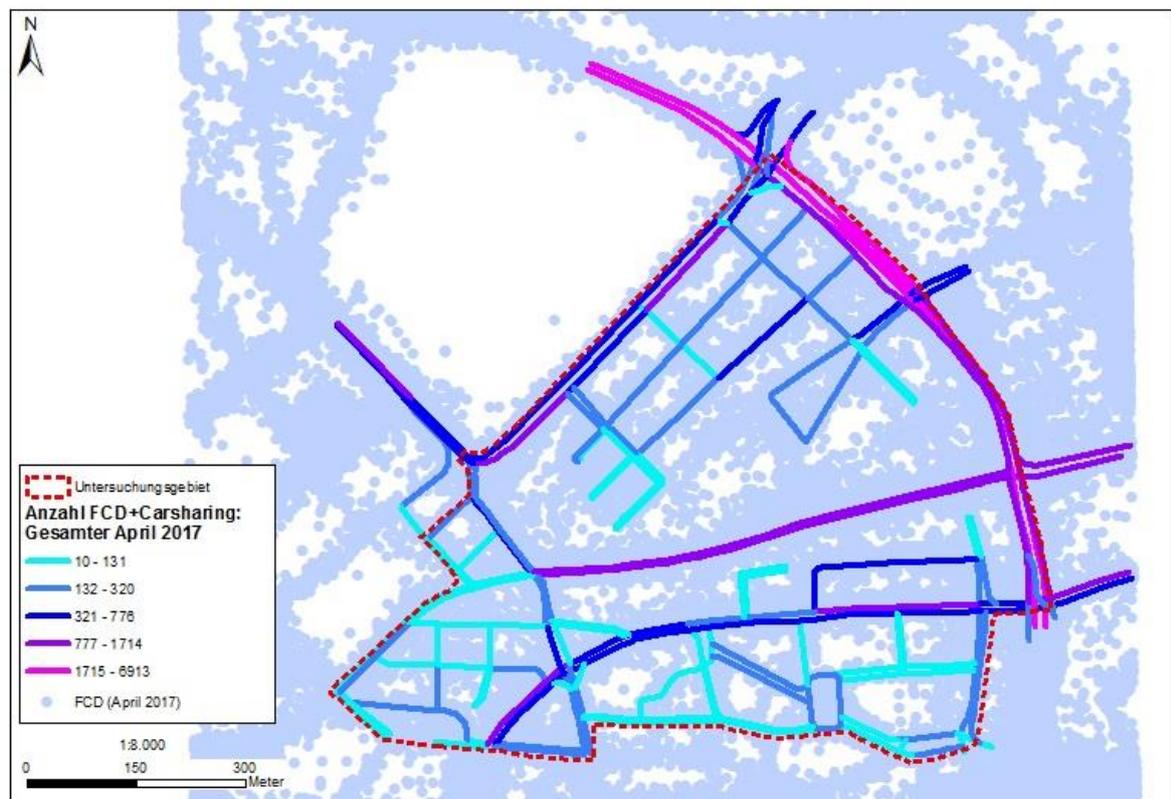
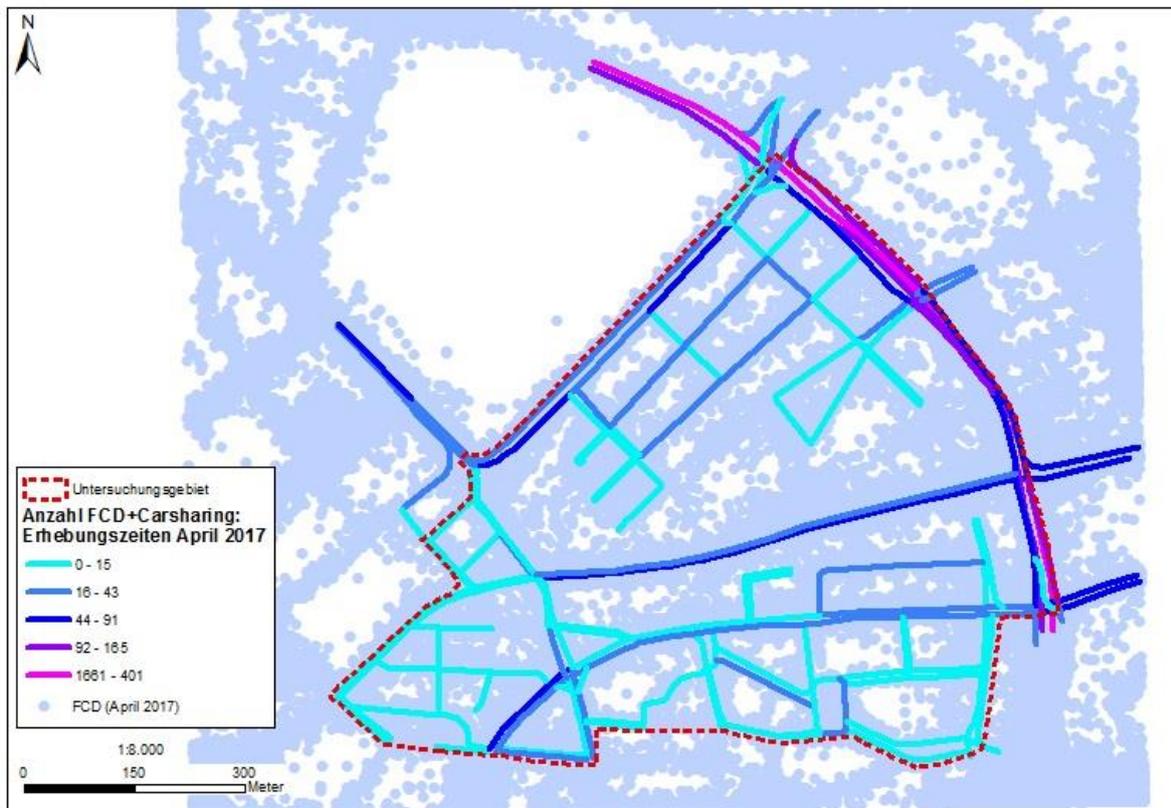


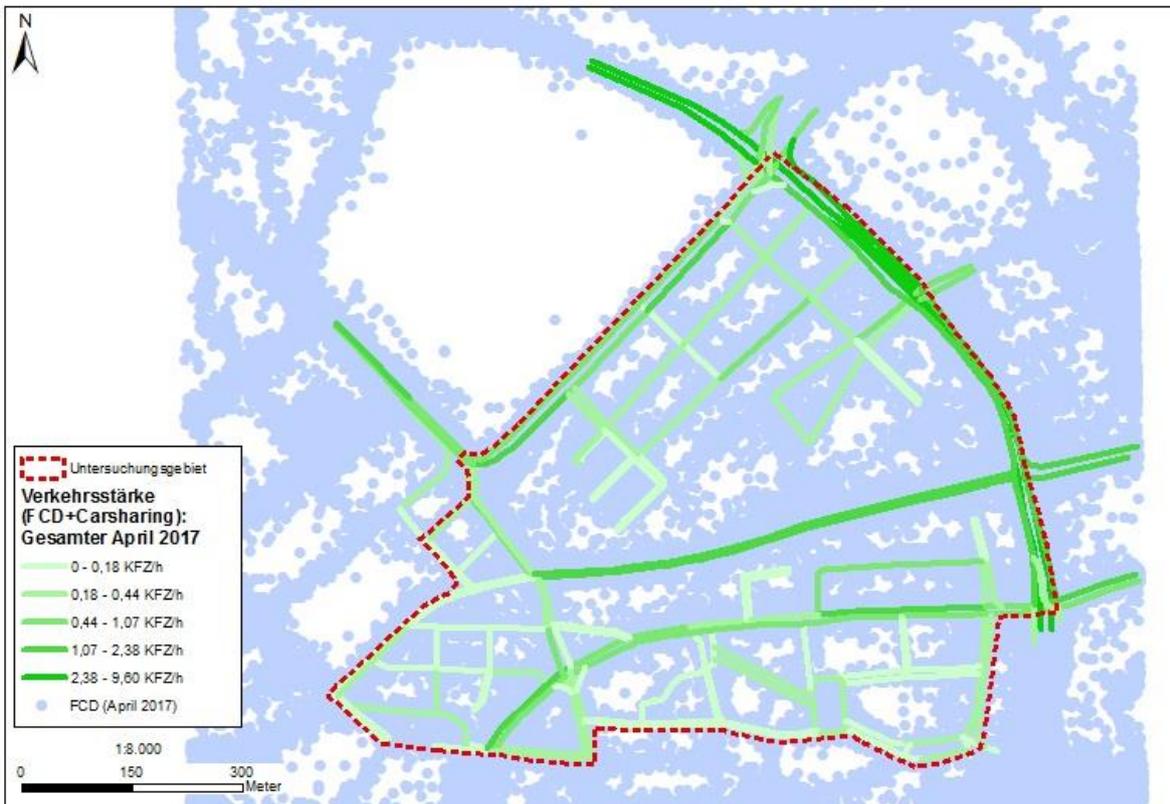
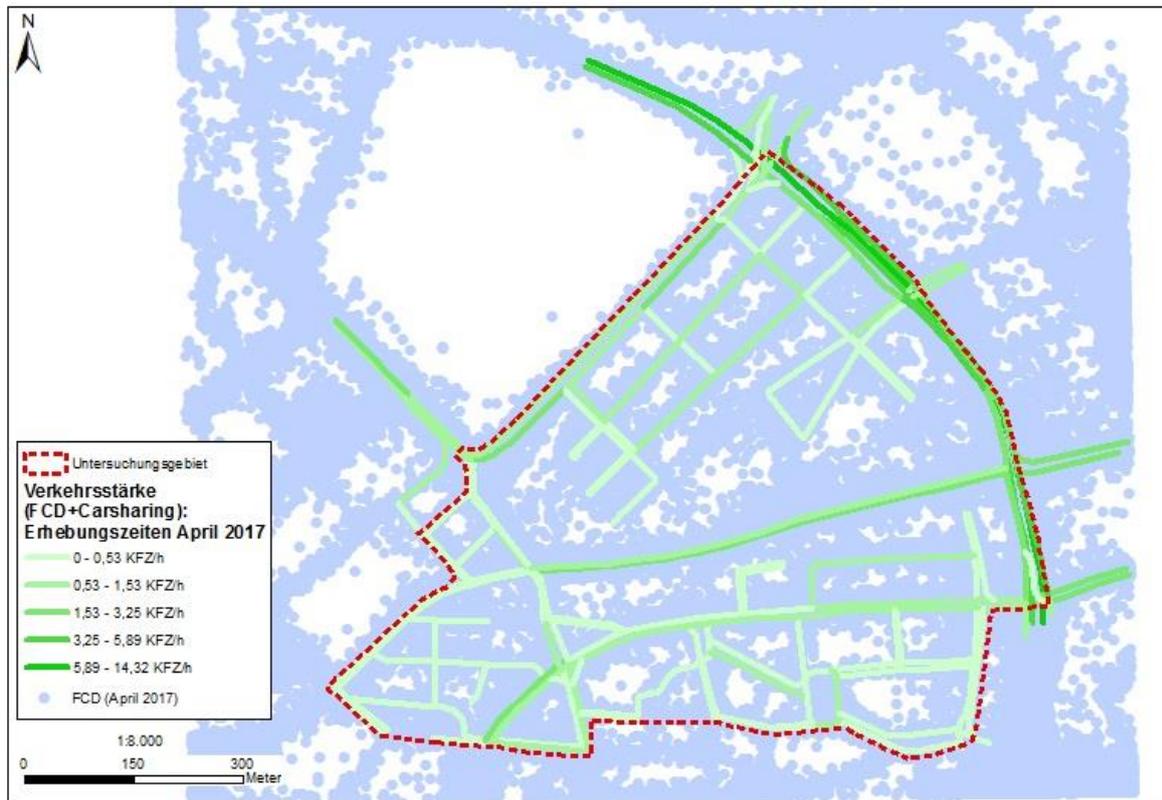


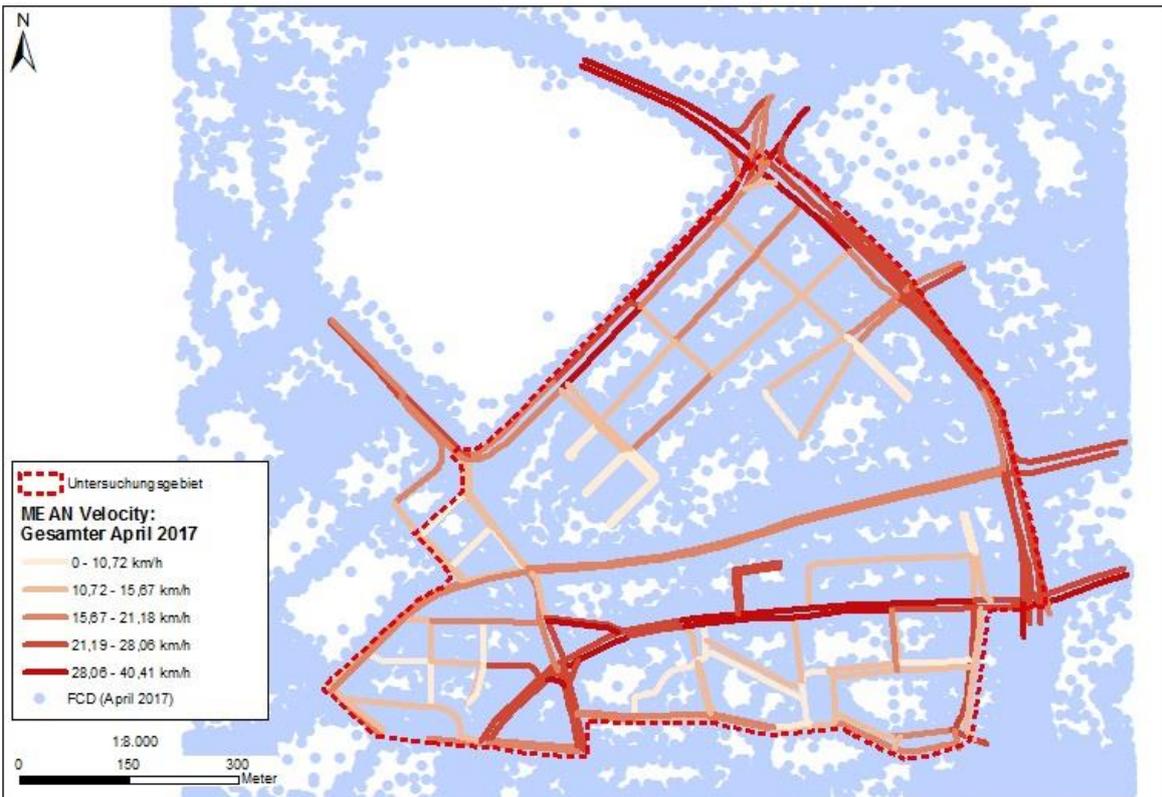
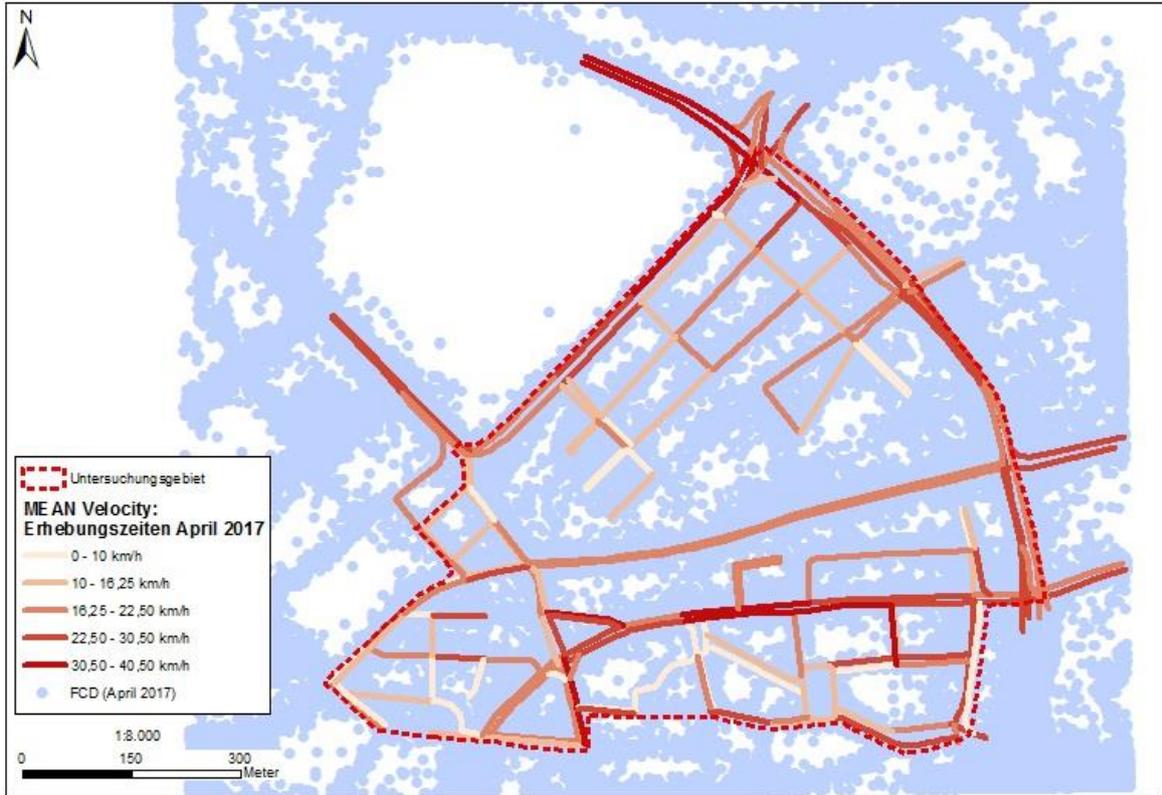




3.2 Suchradius von 10 Metern beim Mapping

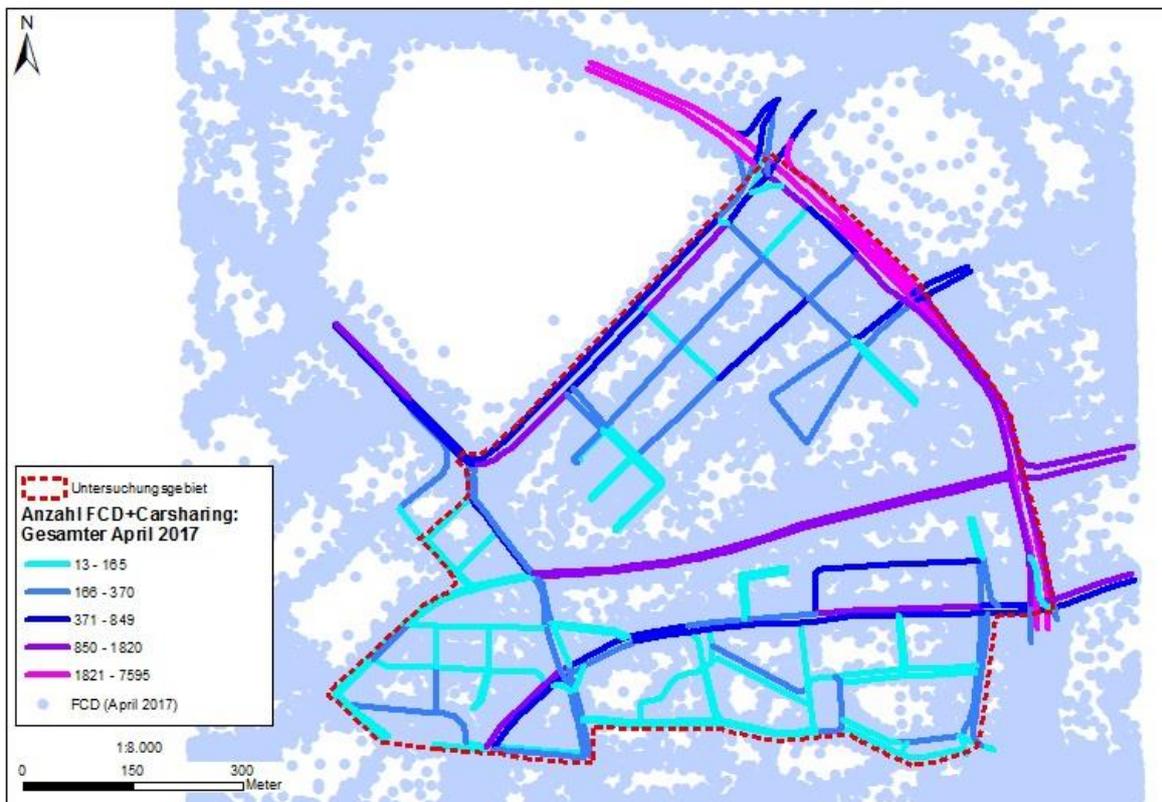
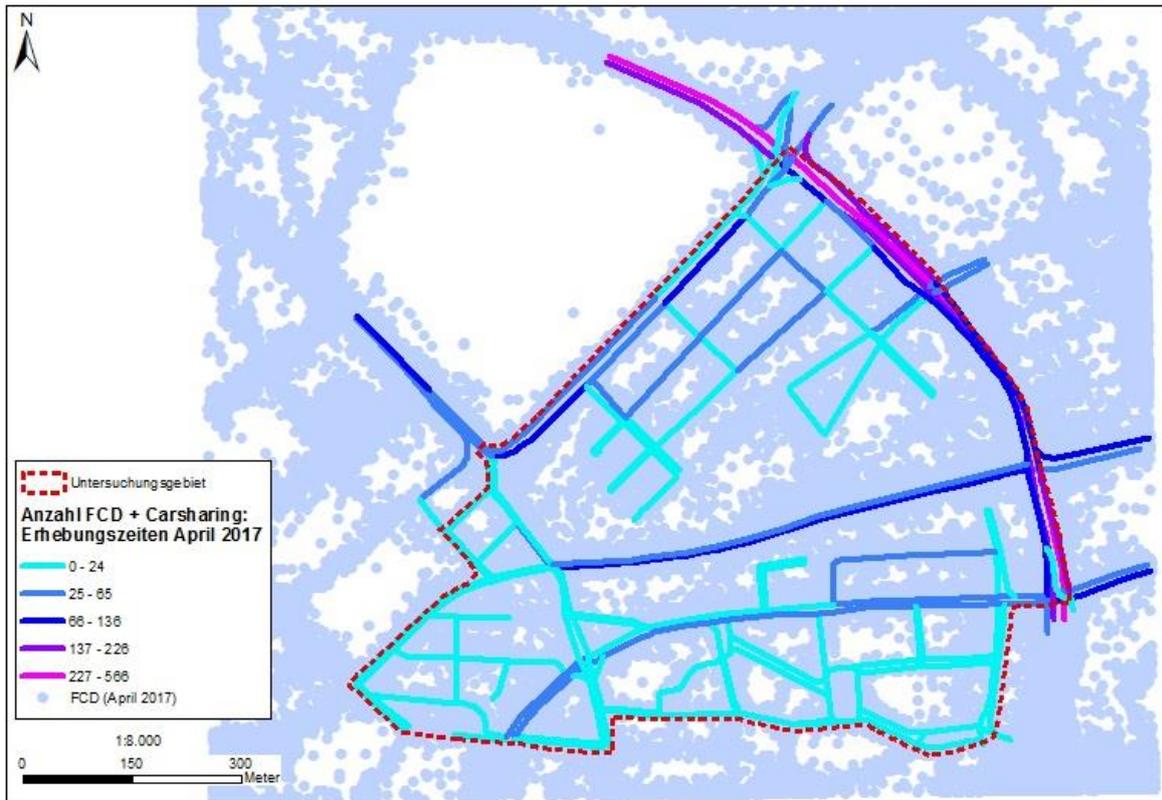


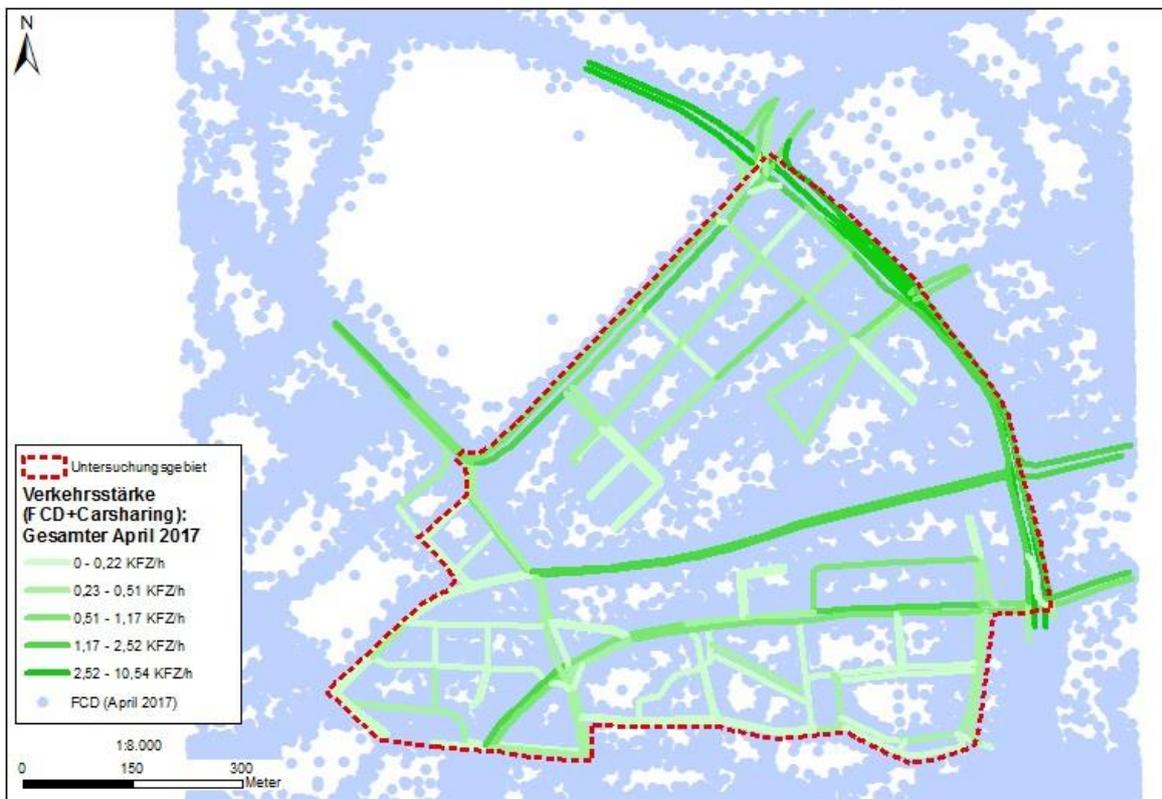
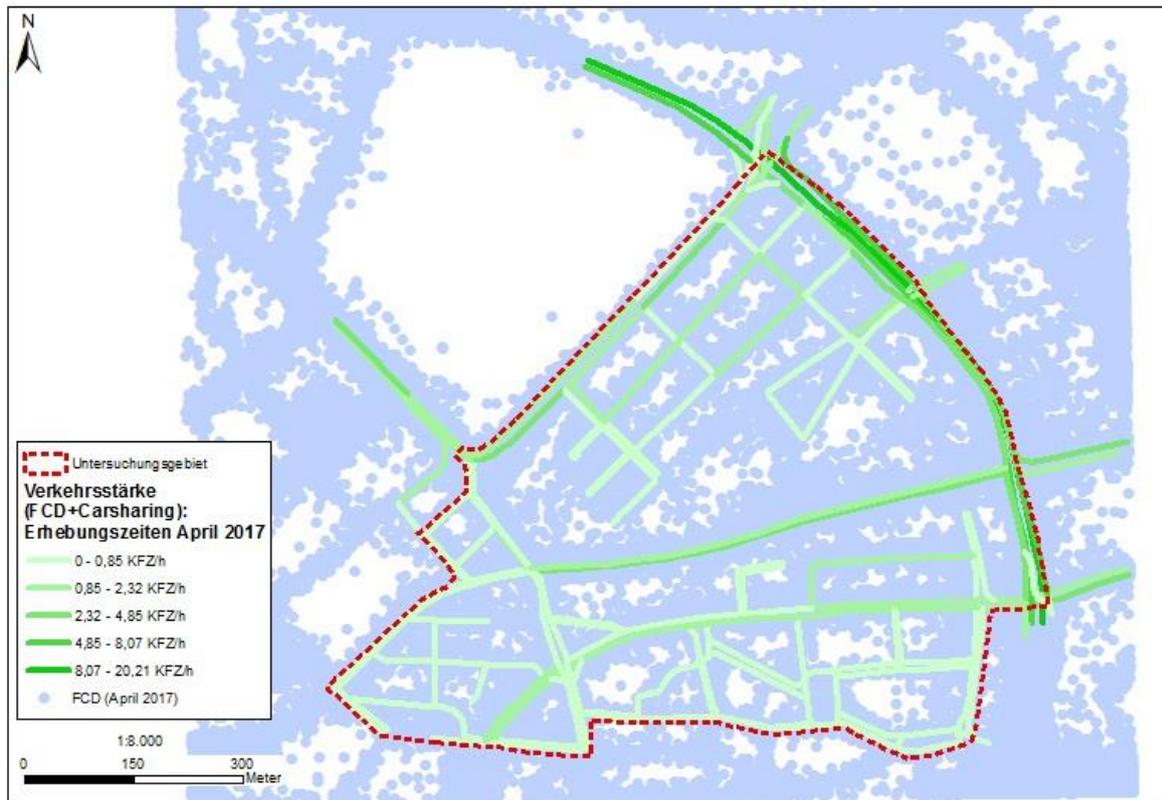


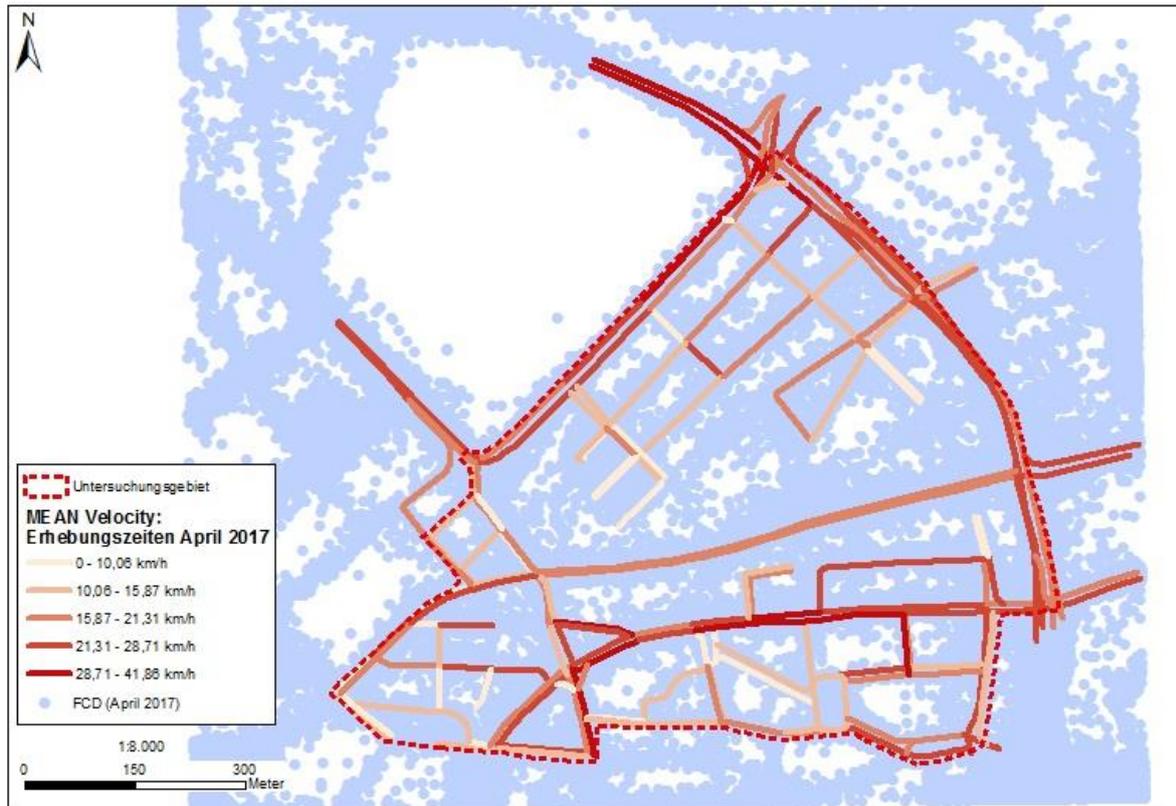




3.3 Suchradius von 15 Metern beim Mapping

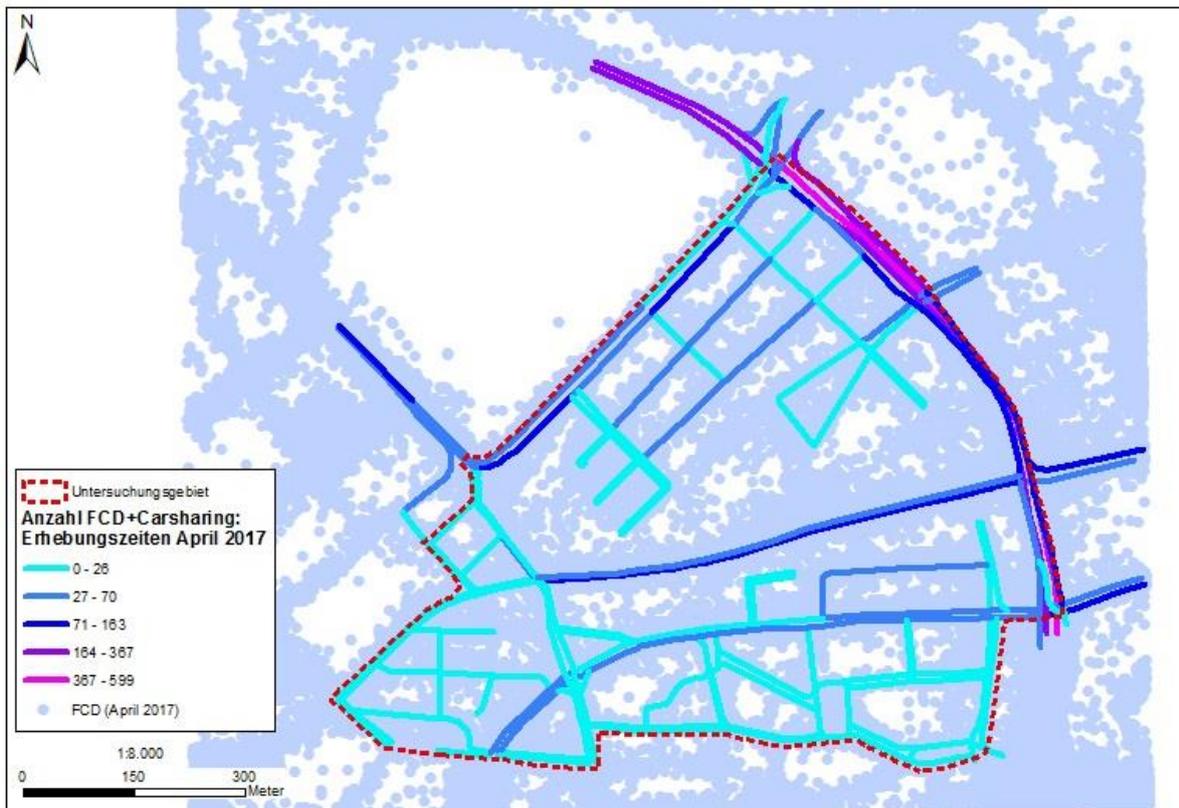
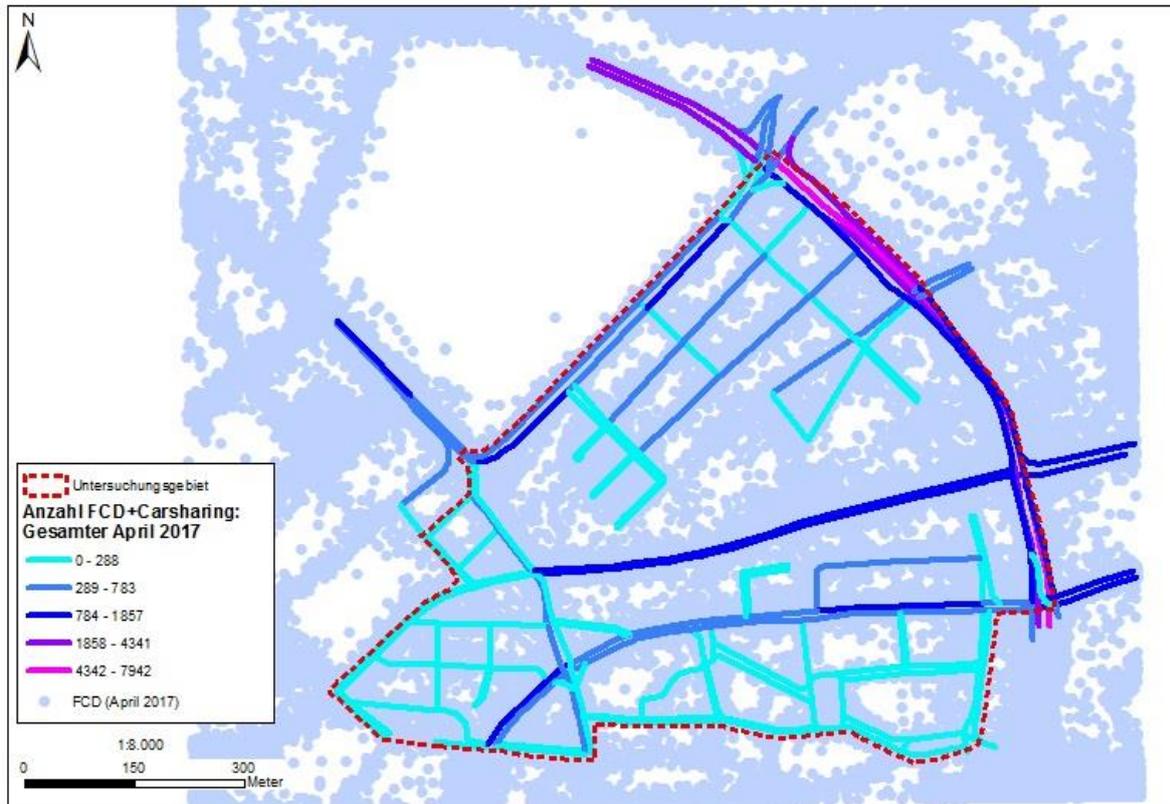


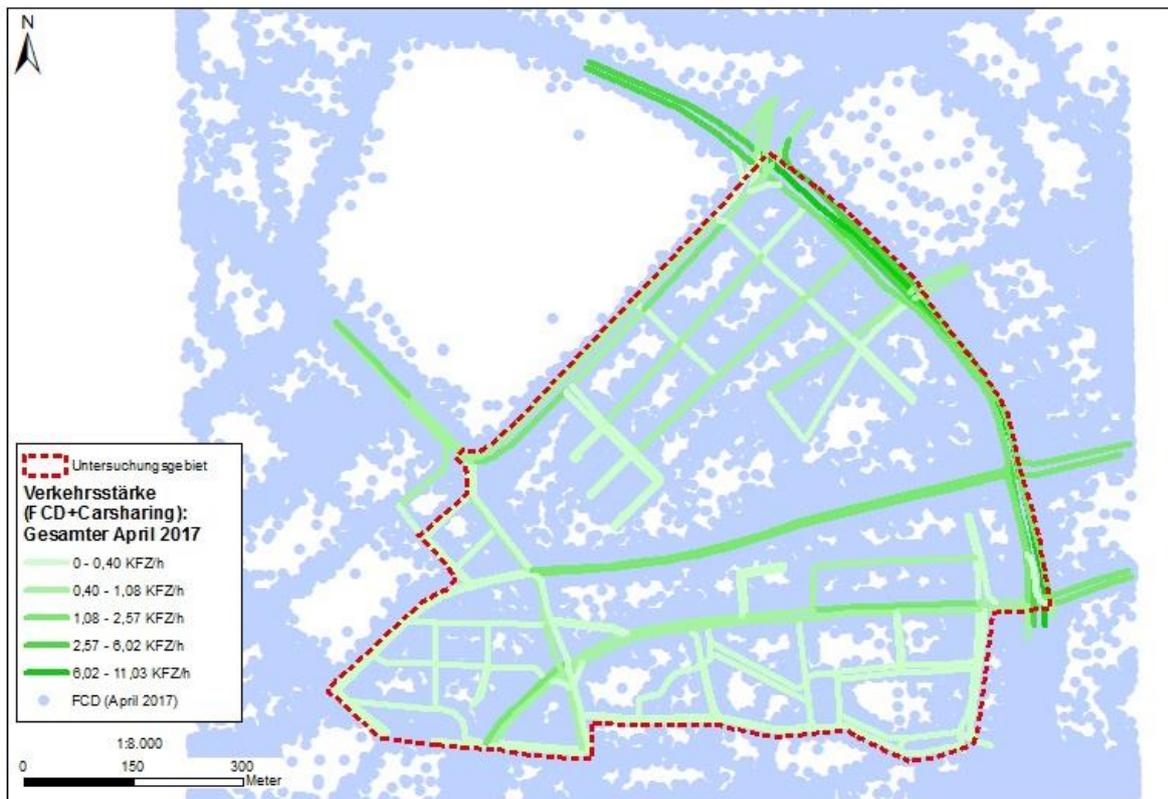
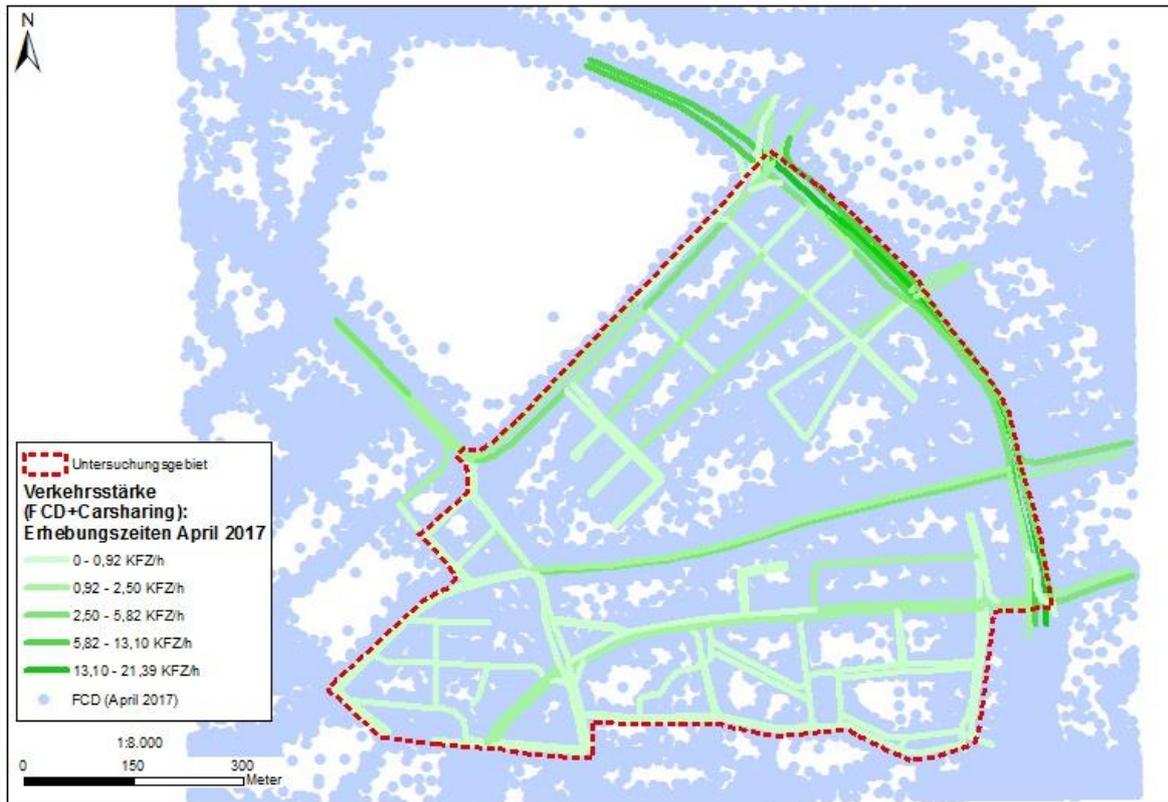


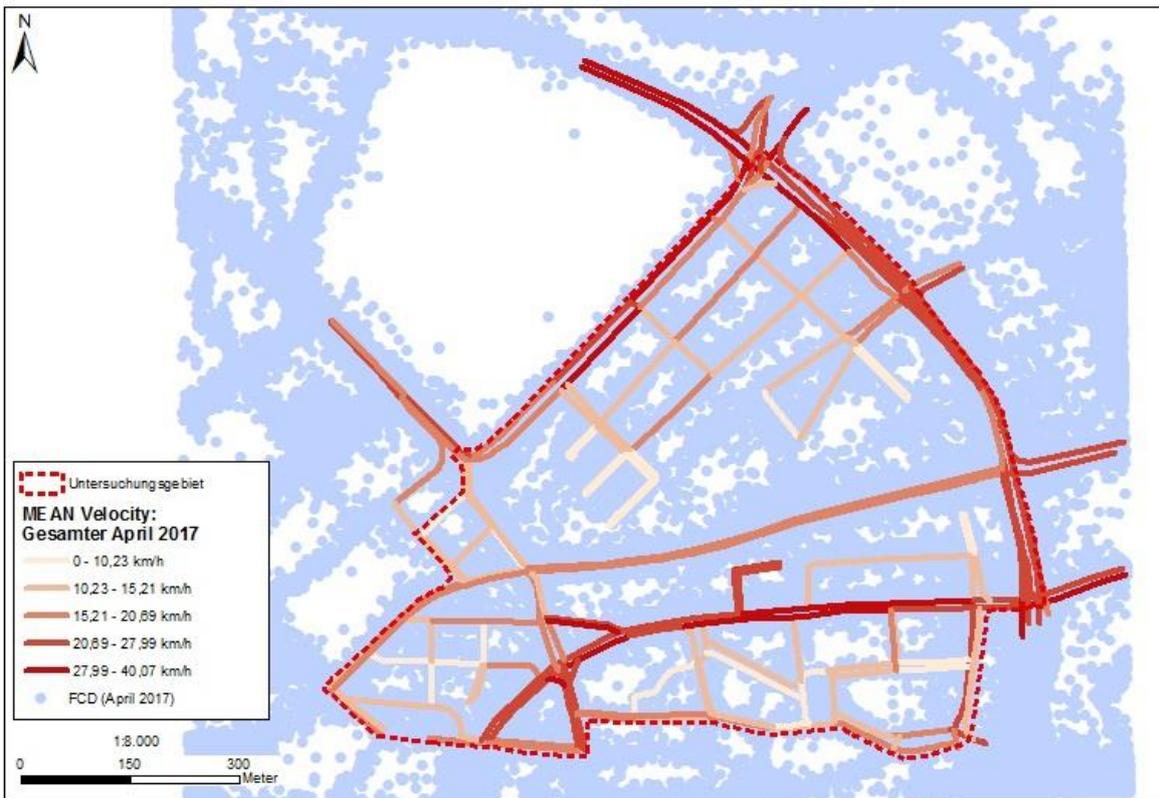
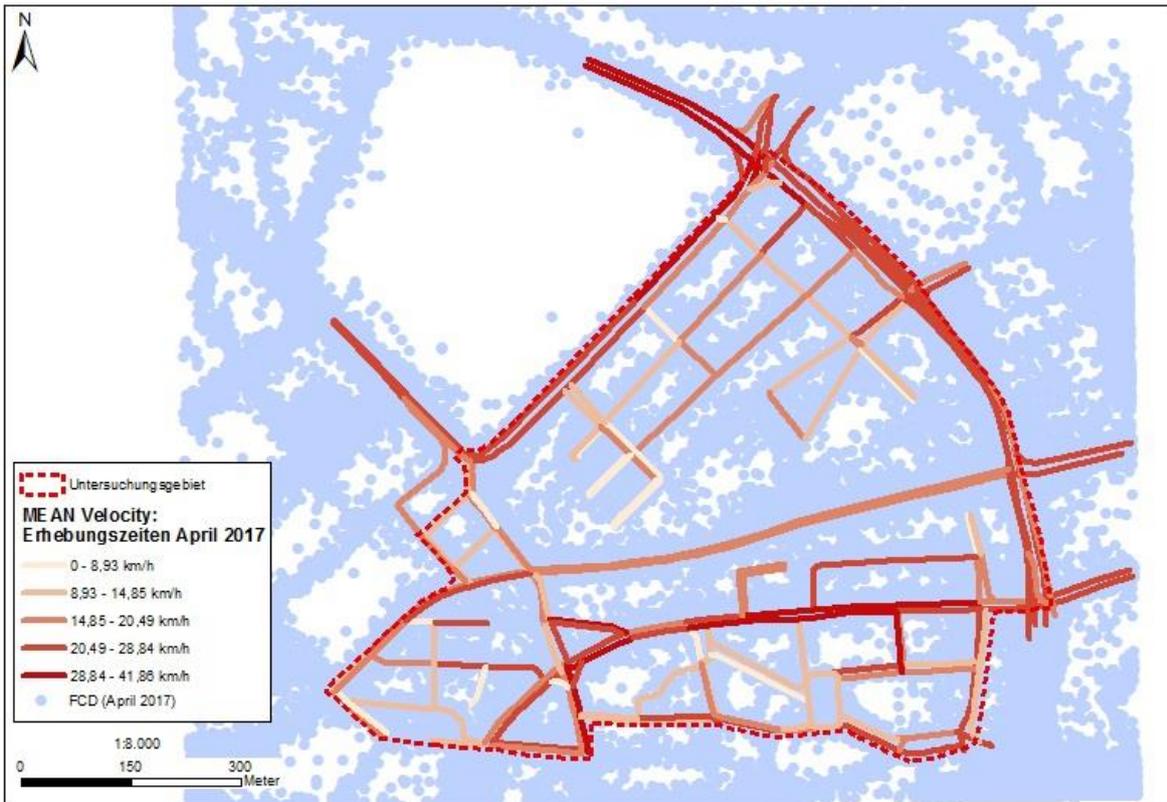




3.4 Suchradius von 20 Metern beim Mapping









3.5 Suchradius von 30 Metern beim Mapping

