

Eine Methodik zur Ermittlung von Fahrmustern aus FCD

Schriftenreihe, Heft 21/2014



Entwicklung und Anwendung einer Methodik für die Ermittlung von Fahr- mustern als Grundlage für eine qualifizierte Emissions- und Immissionsprognose von Straßen

Wolfram Schmidt, Falk Richter, Matthias Körner

1	Zielstellung	11
2	Vorgehen	12
3	Datenlage	13
3.1	Messfahrten	13
3.1.1	Beschreibung der Verkehrssituation in HBEFA 3.1	13
3.1.2	Methodik der messtechnischen Erfassung der Fahrverhaltenskennwerte	15
3.1.3	Untersuchungsgebiet	16
3.2	VAMOS-Referenzdaten	18
3.2.1	Pegelzählstellen	19
3.2.2	Strategiedetektoren	20
3.2.3	Traffic Eyes	21
3.2.4	Datenaufbereitung	22
3.2.5	Taxi-Floating Car Data (FCD)	23
4	Geschwindigkeitsvergleich Detektoren – Messfahrten	24
4.1	Grafische Analyse	24
4.2	Vergleich der Fahrgeschwindigkeiten	27
5	Analyse Taxi-FCD	28
5.1	Beschreibung des Untersuchungsabschnitts und -zeitraums	28
5.2	Auswertung der Floating Car Data	29
5.3	Vergleich Taxi-FCD/Messfahrten	35
6	Entwicklung eines Ansatzes zur Bestimmung der mittleren Verkehrssituationen im Dresdner Hauptstraßennetz auf Basis der Taxi-FCD	38
6.1	Datenlage	39
6.2	Ableitung der mittleren Verkehrssituation nach HBEFA 3.1 auf Basis der Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD	41
6.3	Zuordnung der Teilabschnitte zu den Messfahrtabschnitten im GIS	48
6.4	Vergleich der Reisegeschwindigkeiten und Emissionsfaktoren Taxi-FCD/Messfahrten	49
6.5	Fazit	54
7	Kapazitätsuntersuchungen an ausgewählten Straßenabschnitten im Bereich der Dresdner Waldschlösschenbrücke	56
7.1	Allgemeine Betrachtungen	56
7.2	Datenlage	60
7.3	Ableitung der Kapazitätsgrenzen der untersuchten Abschnitte	61
7.4	Vergleich der Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD mit den Verkehrsmengen an den Detektoren	64
7.5	Fazit	67
8	Entwicklung eines Ansatzes zur Ermittlung der stundenfeinen Verkehrssituation im Bereich detektierter Straßenabschnitte	67
8.1	Entwicklung der Verkehrsmenge	67
8.2	Auswertung der Messfahrten	69
8.3	Vergleich der Regressionsfunktionen	69
8.4	Fazit	72
9	Zusammenfassung	73
10	Literaturverzeichnis	76
11	Anhang	77
11.1	Anhang A1	78
11.2	Anhang A2	79
11.3	Anhang A3	85

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	PM10-Emissionsfaktoren PKW nach ausgewählten Verkehrssituationen.....	13
Abbildung 2:	Verkehrssituation im Agglomerationsraum nach HBEFA 3.1.....	14
Abbildung 3:	Eingesetzte Messtechnik zur Erfassung der Fahrprofile.....	15
Abbildung 4:	v-s-Diagramm als Ergebnis der Messfahrten.....	16
Abbildung 5:	Lageplan der Messstrecken im Untersuchungsnetz.....	17
Abbildung 6:	Lage der Detektoren und Untersuchungsstrecke der ergänzenden Messfahrten.....	17
Abbildung 7:	Lage und Art vorhandener Detektoren im Dresdner Stadtgebiet.....	18
Abbildung 8:	Schleifen einer Pegelzählstelle.....	19
Abbildung 9:	Beispiel für Geschwindigkeitsmesswerte in km/h einer Pegelzählstelle (Carolabrücke Richtung Neustadt, rechter Fahrstreifen).....	20
Abbildung 10:	Beispiel für Verkehrsmengenmesswerte in Fzg/min einer Pegelzählstelle (Carolabrücke Richtung Neustadt, rechter Fahrstreifen; Chart 0/rot Leichtverkehr, Chart 1/grün Schwerverkehr).....	20
Abbildung 11:	Schleifen eines Strategiedetektors.....	21
Abbildung 12:	Sensor- und Auswerteeinheit eines Traffic Eyes.....	21
Abbildung 13:	Art und Lage der Detektoren entlang der Untersuchungsstrecken in Dresden.....	22
Abbildung 14:	Beispiel für Floating Car-Positionsdaten.....	23
Abbildung 15:	Beispielabschnitt ohne ausgeprägten Tagesgang der Verkehrssituation/HVS2.....	25
Abbildung 16:	Beispielabschnitt mit ausgeprägtem Tagesgang der Verkehrssituation.....	25
Abbildung 17:	Lage des Detektors im Untersuchungsabschnitt am Beispiel PEG 1002_2 (Leipziger Straße Richtung Zentrum).....	26
Abbildung 18:	Vergleich Abschnittsparameter/Querschnittsparameter nach Verkehrssituationen.....	27
Abbildung 19:	Abschnittsgliederung der Untersuchungsstrecke Dresden, Königsbrücker Straße.....	28
Abbildung 20:	Anzahl Befahrungen FCD Richtung 1.....	30
Abbildung 21:	Anzahl Befahrungen FCD Richtung 2.....	31
Abbildung 22:	Fahrverhaltenskennwerte der FCD Montag bis Freitag nach Stunden, Richtung 1.....	33
Abbildung 23:	Fahrverhaltenskennwerte der FCD Montag bis Freitag nach Stunden, Richtung 2.....	34
Abbildung 24:	Vergleich der Emissionsfaktoren NO _x und motorbedingtes PM10, Richtung 1.....	36
Abbildung 25:	Vergleich der Emissionsfaktoren NO _x und motorbedingtes PM10, Richtung 2.....	37
Abbildung 26:	Streckenauswahl für die Ermittlung von Emissionsfaktoren.....	38
Abbildung 27:	Prinzip der Teilbefahrungen.....	39
Abbildung 28:	Datenstruktur der Teilbefahrungen der Taxi-FCD.....	39
Abbildung 29:	Datensatzanzahl der Taxi-FCD nach Wochentag und Ferienzeit.....	40
Abbildung 30:	Mittlere Datensatzanzahl der Taxi-FCD pro Teilabschnitt im Zeitraum Dienstag bis Donnerstag außerhalb der sächsischen Schulferien.....	40
Abbildung 31:	Korrelation der NO _x -Emissionsfaktoren PKW 2012 aller HBEFA 3.1-Verkehrssituationen mit einer Reisegeschwindigkeit kleiner 70 km/h mit den Fahrverhaltenskennwerten RPA (oben), Standanteil (Mitte) und Reisegeschwindigkeit (unten).....	42
Abbildung 32:	Korrelation des Standanteils mit der Reisegeschwindigkeit aller HBEFA 3.1-Verkehrssituationen mit einer Reisegeschwindigkeit kleiner 70 km/h.....	43
Abbildung 33:	Einfluss des RPA auf den NO _x -Emissionsfaktor (PKW 2012, HBEFA 3.1) bei ausgewählten Verkehrssituationen im gleichen Reisegeschwindigkeitsbereich.....	43
Abbildung 34:	Regressionsfunktion Reisegeschwindigkeit aller relevanten Innerorts-Verkehrssituationen über NO _x -EFA PKW 2012 (HBEFA 3.1).....	44
Abbildung 35:	Regressionsfunktionen NO _x -EFA über Reisegeschwindigkeit, alle PKW-Konzepte.....	45
Abbildung 36:	Vergleich Regressionsfunktionen NO _x -EFA PKW 2012/2020 über Reisegeschwindigkeit Innerorts-Verkehrssituationen (HBEFA 3.1).....	45
Abbildung 37:	Regressionsfunktion PM10(mot)-EFA PKW 2012 (HBEFA 3.1) über Reisegeschwindigkeit Innerorts-Verkehrssituationen.....	46

Abbildung 38: Abweichungen der NO _x -Emissionsfaktoren bei Ermittlung der Verkehrssituationen mit den Regressionsfunktionen NO _x – PKW 2020 und PM10 – PKW 2012 gegenüber Regression NO _x – PKW 2012	46
Abbildung 39: Kombinationsmöglichkeiten aus relevanten Innerorts-Verkehrssituationen und Stop&Go-Anteil.....	47
Abbildung 40: NO _x -Emissionsfaktoren LNF, SNF für Kombinationen aus relevanten Verkehrssituationen mit Stop&Go-Anteilen aus PKW-v-Regression	48
Abbildung 41: Fahrtanzahl, mittlere Reisegeschwindigkeiten der Teilabschnitte des Messfahrtabschnitts Königsbrücker Straße von Albertplatz nach Bischofsweg pro Zeitscheibe.....	49
Abbildung 42: Vergleich der Reisegeschwindigkeiten Taxi-FCD/Messfahrten Königsbrücker Straße von Albertplatz nach Bischofsweg pro Zeitscheibe und als Tagesmittelwert	50
Abbildung 43: Wesentliche Abweichungen der Reisegeschwindigkeiten Taxi-FCD/Messfahrten, Bsp. 1	50
Abbildung 44: Wesentliche Abweichungen der Reisegeschwindigkeiten Taxi-FCD/Messfahrten, Bsp. 2	50
Abbildung 45: Abweichung NO _x -EFA über Geschwindigkeitsregressionsfunktion Taxi-FCD/Messfahrt.....	51
Abbildung 46: Abweichung NO _x -EFA Messfahrten über Geschwindigkeitsregressionsfunktion/ Geschwindigkeits-RPA-Regression	52
Abbildung 47: v-s-Diagramm Schäferstraße von LSA Löbtauer Straße nach LSA Behringstraße.....	53
Abbildung 48: Unterschiedliche Zuordnung der Verkehrssituation bei v-Regressionenfunktion und nicht linearer Regressionsfunktion unter Einbeziehung v und RPA am Bsp. LSA Löbtauer Straße nach LSA Behringstraße.....	53
Abbildung 49: v-s-Diagramm Albertstraße von LSA Carolaplatz nach LSA Albertplatz	53
Abbildung 50: Unterschiedliche Zuordnung der Verkehrssituation bei v-Regressionenfunktion und nicht linearer Regressionsfunktion unter Einbeziehung v und RPA am Bsp. Albertstraße von LSA Carolaplatz nach LSA Albertplatz.....	54
Abbildung 51: Abweichung NO _x -EFA Taxi-FCD/Messfahrten über Geschwindigkeits-RPA-Regression	55
Abbildung 52: Entwicklung der Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD 3. Quartal 2013/3. Quartal 2011	55
Abbildung 53: Beziehungen zwischen den Verkehrskenngrößen (SCHNABEL & LOHSE 1997).....	57
Abbildung 54: Beispiel für Querschnitte mit teilweise instabilem Verkehrsfluss	58
Abbildung 55: M-v-Beziehung am Beispielquerschnitt mit instabilem Verkehrsfluss.....	58
Abbildung 56: Beispiel für Querschnitte ohne erkennbare Kapazitätsgrenze	59
Abbildung 57: M-v-Beziehung am Beispielquerschnitt ohne erkennbare Kapazitätsgrenze	59
Abbildung 58: Streckenauswahl für Ermittlung streckenbezogener Verkehrssituationen.....	60
Abbildung 59: M-v-Diagramm HansasträÙe von Fritz-Reuter-StraÙe nach Lößnitzstraße nach Zeitscheibe	62
Abbildung 60: M-v-Diagramm Große Meißner Straße von Kleine Marienbrücke nach Neustädter Markt nach Zeitscheibe.....	62
Abbildung 61: M-v-Diagramm Grundstraße von Steglichstraße nach Körnerplatz nach Zeitscheibe.....	62
Abbildung 62: M-v-Diagramm Karcherallee von Stübelallee nach Winterbergstraße nach Zeitscheibe.....	63
Abbildung 63: M-v-Diagramm Karcherallee von Winterbergstraße nach Stübelallee nach Zeitscheibe.....	63
Abbildung 64: M-v-Diagramm Carolabrücke von Rathenauplatz nach Carolaplatz nach Zeitscheibe.....	63
Abbildung 65: Vergleich der Verkehrsmenge M pro Zeitscheibe am Detektor mit Reisegeschwindigkeit v der Taxi-FCD im Abschnitt HansasträÙe von Fritz-Reuter-StraÙe nach Lößnitzstraße.....	65
Abbildung 66: Vergleich der Verkehrsmenge M pro Zeitscheibe am Detektor mit Reisegeschwindigkeit v der Taxi-FCD im Abschnitt Große Meißner Straße von Kleine Marienbrücke nach Neustädter Markt.....	65
Abbildung 67: Vergleich der Verkehrsmenge M pro Zeitscheibe am Detektor mit Reisegeschwindigkeit v der Taxi-FCD im Abschnitt Carolabrücke von Rathenauplatz nach Carolaplatz	65
Abbildung 68: Vergleich der Verkehrsmenge M pro Zeitscheibe am Detektor mit Reisegeschwindigkeit v der Taxi-FCD im Abschnitt Grundstraße von Steglichstraße nach Körnerplatz.....	66
Abbildung 69: Vergleich der Verkehrsmenge M pro Zeitscheibe am Detektor mit Reisegeschwindigkeit v der Taxi-FCD im Abschnitt Karcherallee von Stübelallee nach Winterbergstraße	66
Abbildung 70: Vergleich der Verkehrsmenge M pro Zeitscheibe am Detektor mit Reisegeschwindigkeit v der Taxi-FCD im Abschnitt Karcherallee von Winterbergstraße nach Stübelallee	66
Abbildung 71: DTV-Entwicklung 3. Quartal 2011/3. Quartal 2013 an ausgewählten Detektoren im Bereich der Dresdner Waldschlösschenbrücke (WSB)	68

Abbildung 72: Vergleich der DTV-Werte am Querschnitt Karcherallee Winterbergstraße Richtung Stübelallee	68
Abbildung 73: Lageplan der Messstrecken im Bereich der Dresdner Waldschlösschenbrücke	69
Abbildung 74: Regressionsfunktion der Reisegeschwindigkeit über Verkehrsstärke, HansasträÙe von Fritz-Reuter-StraÙe nach Lößnitzstraße.....	70
Abbildung 75: Regressionsfunktion der Reisegeschwindigkeit über Verkehrsstärke, Große Meißner Straße von Kleine Marienbrücke nach Neustädter Markt	70
Abbildung 76: Regressionsfunktion der Reisegeschwindigkeit über Verkehrsstärke, Carolabrücke von Rathenauplatz nach Carolaplatz	71
Abbildung 77: Regressionsfunktion der Reisegeschwindigkeit über Verkehrsstärke, Grundstraße von Steglichstraße nach Körnerplatz.....	71
Abbildung 78: Regressionsfunktion der Reisegeschwindigkeit über Verkehrsstärke, Karcherallee von Stübelallee nach Winterbergstraße.....	71
Abbildung 79: Regressionsfunktion der Reisegeschwindigkeit über Verkehrsstärke, Karcherallee von Winterbergstraße nach Stübelallee.....	72
Abbildung 80: Vergleich Tagesgang NO _x -EFAs über v-Regression nach Taxi-FCD, Karcherallee von Winterbergstraße nach Stübelallee.....	72

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Art und Anzahl der vorhandenen Detektoren entlang der Untersuchungsstrecken	22
Tabelle 2:	Charakteristik der verwendeten Datenbasis	24
Tabelle 3:	Relevante Innerorts-Verkehrssituationen zu Zuordnung der Taxi-FCD	44
Tabelle 4:	Beispiel für Ableitung der Verkehrssituation und des Stop&Go-Anteils aus der Reisegeschwindigkeit unter Verwendung der Regressionsfunktion	47
Tabelle 5:	Beispiel Zuordnung Teilabschnitte/Messfahrtabschnitte	48

Abkürzungsverzeichnis

a ⁺	positive Beschleunigung
Abs	Abschnitt
Agglo	Agglomerationsraum
AO	Außerorts
BAB	Bundesautobahn
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
C	Kapazität
D	Verkehrsdichte
DWW	Dynamisches Wegweisungssystem
EFA	Emissionsfaktor
FCD	Floating Car Data
Fzg	Fahrzeug
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HBEFA	Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
HVS	Hauptverkehrsstraße
i. H.	in Höhe
IO	Innerorts
LOS	Level of service
LSA	Lichtsignalanlage
LV	Leichtverkehr
M	Verkehrsstärke
N	Leistungsgröße
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
PEG	Pegelzählstelle
QS	Querschnitt
Ri.	Richtung
RPA	relative positive acceleration
s	Weg
SV	Schwerverkehr
TEU	Traffic Eye unit
TLS	Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen
v	Geschwindigkeit
v _{Fahr}	Fahrgeschwindigkeit
v _{Reise}	Reisegeschwindigkeit
VAMOS	Verkehrs-, Analyse-, Management- und Optimierungs- System
VIS	Verkehrsinformationssystem
VSPA	Verkehrslageabhängige Signalprogrammauswahl
WSB	Waldschlösschenbrücke

Glossar

Fahrgeschwindigkeit

Die *Fahrgeschwindigkeit* ist die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges über einen Streckenabschnitt nach Abzug von Haltezeiten.

Fahrkurve

Eine *Fahrkurve* ist die Beschreibung des Fahrverlaufs innerhalb eines Streckenabschnittes, darstellbar in der Form von Geschwindigkeit/Weg- oder Geschwindigkeit/Zeit-Diagrammen oder durch Fahrverhaltenskennwerte.

Fahrmuster

Ein *Fahrmuster* ist die Beschreibung des repräsentativen Fahrverhaltens für bestimmte Straßensituationen in der Form von zusammengesetzten Fahrprofilen bzw. einer Stichprobe daraus. Sie werden aus realen Fahrten erzeugt, stellen aber keine geschlossene Fahrkurve dar, sodass sie z. B. für Emissionsmessungen auf einem Rollenprüfstand in ihrer Gesamtheit nicht nachgefahren werden können.

Fahrprofil

Das *Fahrprofil* ist die Gesamtheit der Fahrkurven eines Streckenabschnittes (teilweise untergliedert nach Tageszeiten) in Form von hintereinander gesetzten Fahrkurven bzw. den mittleren Kennwerten derselben. Der Begriff des Fahrprofils wird hier auch für Geschwindigkeit/Zeit-Reihen verwendet.

Fahrverhaltenskennwert

Die *Fahrverhaltenskennwerte* sind kinematische Kenngrößen, mit denen in HBEFA das Fahrverhalten der Verkehrssituationen beschrieben wird. In HBEFA 3.1 handelt es sich dabei um die Reisegeschwindigkeit, den Standanteil und den RPA.

Fahrtweite

Die *Fahrtweite* ist der zurückgelegte Weg innerhalb einer Fahrt.

Haltezeitanteil

Der *Haltezeitanteil* ist der prozentuale Anteil von Sekundenwerten mit einer Geschwindigkeit kleiner als 3 km/h an der Gesamtfahrzeit.

Kennwerte des Fahrverhaltens

Die *Kennwerte des Fahrverhaltens* sind statistische Maßzahlen zur Beschreibung des Fahrverhaltens, z. B. die mittlere Geschwindigkeit.

Konstantfahrtanteil

Der *Konstantfahrtanteil* ist der prozentuale Anteil der Zeiten mit einer Beschleunigung kleiner $0,3 \text{ m/s}^2$ und größer $-0,3 \text{ m/s}^2$ an der Gesamtfahrzeit.

Messfahrten

Messfahrten sind Fahrten mit einem Messfahrzeug zur Aufnahme des Fahrverhaltens; die Fahrweisung erfolgt nach verschiedenen Methoden:

Mitschwimmen (car floating): Anweisung an den Fahrer des Messfahrzeuges, sich dem allgemeinen Fahrverhalten anzupassen, um dieses möglichst gut abzubilden

Musterfahrten: Anweisung an den Fahrer des Messfahrzeuges, ein bestimmtes vorgegebenes Fahrverhalten möglichst einzuhalten (z. B. eine konstante Geschwindigkeit oder eine möglichst aggressive Fahrweise)

Verfolgungsfahrten (car following): Anweisung an den Fahrer des Messfahrzeuges, einem einzelnen Fahrzeug genau zu folgen und dessen Fahrverhalten möglichst gut abzubilden

Messstrecke

Eine *Messstrecke* ist ein ausgewählter Straßenzug, der mit einem Fahrzeug durchfahren wurde, um das Fahrverhalten aufzunehmen.

Reisegeschwindigkeit

Die *Reisegeschwindigkeit* ist die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges über einen Streckenabschnitt einschließlich aller Halte.

Standzeit

Die *Standzeit* ist die Zeit zwischen Ende einer Fahrt und Beginn der nächsten.

Streckenabschnitt

Ein *Streckenabschnitt* ist der Abschnitt einer Messstrecke mit homogener Streckencharakteristik, auf dem ein gleichbleibendes Fahrverhalten erwartet werden kann.

1 Zielstellung

Auf Grund gemessener Grenzwertüberschreitungen für die Schadstoffe NO₂ und PM₁₀ im Freistaat Sachsen war es erforderlich, für die Städte Leipzig, Dresden, Chemnitz, Plauen und Görlitz Luftreinhaltepläne aufzustellen, mit deren Hilfe Maßnahmen erarbeitet und beurteilt werden, die zukünftig die Einhaltung der Grenzwerte gewährleisten sollen. Trotz dieser Maßnahmen sind fortlaufend Grenzwertverletzungen zu verzeichnen. Unter anderem trugen Baumaßnahmen und anhaltende Hochdruckwetterlagen 2010 zu zusätzlichen Grenzwertverletzungen durch PM₁₀ in den Städten Zwickau und Zittau bei.

Für die Beurteilung der Immissionssituation in den städtischen Straßen ist eine genaue Kenntnis des anliegenden Verkehrs notwendig. Das umfasst neben den Verkehrsmengen der verschiedenen Fahrzeugkategorien vor allem die Fahrmuster. Die Fahrmuster sind entscheidend abhängig von der Kapazität der Straße, der Verkehrsdichte und vorhandenen Verkehrsleiteneinrichtungen. Verkehrsmengen und Fahrmuster sind die entscheidende Grundlage der Berechnung der Verkehrsemissionen, mit deren Hilfe dann die Immissionszusatzbelastung durch den Verkehr in der Straße berechnet werden kann. In Abhängigkeit vom Fahrmuster können die Verkehrsemissionen und damit auch Zusatzbelastungen um ein Vielfaches bei gleichen Verkehrsmengen voneinander abweichen. Deshalb wurden in den Städten Dresden und Chemnitz die aktuellen Fahrmuster mittels Messfahrten und Vergleichsrechnungen für die meisten wichtigen Straßen im Jahr 2009 bzw. 2010 aufwändig bestimmt (TU Dresden 2009, 2010).

Ein Großteil derjenigen Maßnahmen der Luftreinhaltepläne, die die größeren Maßnahmewirkungen entfalten, beeinflusst den Verkehr direkt. Verkehrsvermeidung, Umleitungen, Umweltzone, Vorrangschaltungen, Pfortnerampeln u. a. führen meist zu einer drastischen Änderung des Fahrmusters. Bei der Berechnung der Wirksamkeit der Maßnahmen kann dieser Einfluss bisher nicht beurteilt werden. Es existiert kein Verfahren, mit dessen Hilfe die oben genannten Maßnahmen für die Beeinflussung der Fahrmuster bewertet werden können. Die von der EU jährlich geforderte Berichterstattung zum Stand der Luftreinhaltung und der Umsetzung der geplanten Maßnahmen erfordert jedoch eine möglichst genaue Berechnung der aktuellen Situation. Weil nicht jedes Jahr eine neue Fahrmusterbestimmung mittels Messfahrten für alle betroffenen Städte finanzierbar ist, müssen andere Möglichkeiten gefunden werden.

Unabhängig vom Luftreinhalteplan wurden unter Regie des Dresdner Straßen- und Tiefbauamtes im Rahmen verschiedener Projekte, wie dem BMBF-Pilotprojekt „intermobil Region Dresden“ (TU Dresden 2005) und dem „Umsetzungskonzept für das Verkehrsmanagementsystem in der Region Dresden“ (ISUP 2001), verschiedene Komponenten eines operativen Verkehrsmanagementsystems für die sächsische Landeshauptstadt aufgebaut. Die Aktorik umfasst u. a. das Verkehrsinformationssystem (VIS) (an Hauptzufahrtsrouten zum Zentrum), das Dynamische Wegweisungssystem (DWW) (an Knotenpunkten, die potenziell von Autobahn-Umleitungsverkehren betroffen sein können) und die Verkehrslageabhängige Signalprogrammauswahl (VSPA) für die Lichtsignalanlagen auf ausgewählten Straßenzügen. Kern eines abgestimmten Vorgehens bildet dabei das Verkehrs-, Analyse-, Management- und Optimierungs-System (VAMOS) mit einem umfassenden Verkehrslagebild. Gespeist wird dieses durch eine Vielzahl stationärer Detektoren auf den städtischen Hauptverkehrsstraßen und dem stadtnahen Autobahnnetz (Datenbereitstellung hierbei durch das Autobahnamt Sachsen) sowohl mit einer hohen zeitlichen Auflösung als auch durch ein streckenbasiert arbeitendes Floating Car-System (Flotte der Dresdner Taxigenossenschaft). Wichtige Verkehrskenngrößen wie Verkehrsmengen und Geschwindigkeiten aus der punktuellen Detektion werden archiviert. Die Verkehrslageinformation kann bei Bedarf erneut generiert werden. Diese Daten können zum Abgleich mit den Daten der Messungen zur Fahrmusterbestimmung herangezogen werden.

Ziel des Projektes ist die Entwicklung und Verifizierung einer Methodik zur Ermittlung von Fahrmusterdaten aus den vorliegenden Verkehrsmessdaten, um einen verlässlichen Dateninput für eine qualifizierte Emissions- und Immissionsprognose zu erhalten.

2 Vorgehen

Die Projektbearbeitung erfolgte durch den Lehrstuhl für Verkehrsökologie in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Verkehrsleitsysteme und -prozessautomatisierung der TU Dresden.

Der Lehrstuhl für Verkehrsleitsysteme und -prozessautomatisierung verfügt über umfangreiche Kenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet der Verkehrsdatenerfassung, Aggregation und der Datenarchivierung. So wurde u. a. die Verkehrsdatenbank für die Region Dresden aufgebaut, in der Verkehrsdaten von unterschiedlichen Verkehrserfassungssystemen der Stadt Dresden und des Autobahnamtes Sachsen archiviert sind.

Der Lehrstuhl für Verkehrsökologie hat durch die jahrelange Arbeit im Bereich der Luftschadstoffmodellierung umfassende Erfahrungen bei der messtechnischen Erfassung von Verkehrssituationen. In diesem Zusammenhang wurden vom Lehrstuhl für Verkehrsökologie in der Vergangenheit zahlreiche Emissionsberechnungen, z. B. im Rahmen der Luftreinhalteplanung oder für Emissionskataster, durchgeführt.

Entsprechend der Datenlage und der Zielstellung ergaben sich folgende Teilaufgaben:

■ Geschwindigkeitsvergleich Detektoren – Messfahrten

Die im Herbst 2009 im Auftrag der Stadtverwaltung Dresden durch die TU Dresden durchgeführten Messfahrten zur Bestimmung der aktuellen Fahrmuster auf dem Dresdner Hauptstraßennetz führten über eine großen Anzahl von Monitorpunkten des VAMOS-Systems. Somit liegen in diesen Bereichen für identische Zeiträume sowohl messtechnisch bestimmte Verkehrssituationen für einen Straßenabschnitt als auch Datenbankeinträge der VAMOS-Verkehrsdetektion (Tagesgang der Kenngrößen Verkehrsmenge und mittlere Fahrgeschwindigkeit) für einen Straßenquerschnitt vor. Durch die Auswertung dieser Daten wurde ermittelt, inwieweit sich aus den Detektordaten des Querschnitts verlässliche Aussagen zur Verkehrssituation eines Abschnitts treffen lassen. Dazu wurde zunächst ein Vergleich der erfassten Fahrgeschwindigkeiten an den Detektoren mit den Fahr- bzw. Reisegeschwindigkeiten der Messfahrten vorgenommen. Ausgewählte Straßenabschnitte, für die zwar Detektordaten vorlagen, jedoch nicht Bestandteil der Messfahrten waren, wurden ergänzend befahren, um so die Anzahl der möglichen Vergleichsfälle zu erhöhen.

■ Analyse der Taxi-FCD

Neben der Auswertung der Detektordaten wurde geprüft, inwieweit die floating-car-data (FCD) der Dresdner Taxiflotte zur Fahrmustergenerierung verwendet werden können. Dabei wurde an Hand eines ausgewählten Streckenabschnittes untersucht, wie stark sich die über eine on-board-unit aufgezeichneten Positionsdatensätze (5-Sekundenschritte plus Halt- und Wiederanfahrinformation) von den mittels Messfahrten mit einem Peiseler-Messrad ermittelten (Erfassung der zurückgelegten Wegstrecke in 1-Sekundenschritten) unterscheiden und welche Abweichungen sich bei der Berechnung der Beschleunigung sowie des Standanteils ergeben. Letztendlich wurden Aussagen darüber getroffen, inwieweit sich Taxi-FCD mit vorliegender Ausprägung für einen Einsatz im Kontext der Emissionsmodellierung eignen.

■ Entwicklung eines Ansatzes zur Ermittlung der mittleren Verkehrssituationen im Dresdner Hauptstraßennetz auf Basis der Taxi-FCD

Auf Basis der Analyse der Taxi-FCD wurde ein Ansatz entwickelt, der es ermöglichen soll, mittlere Verkehrssituationen über einen längeren Zeitraum auf dem gesamten Dresdner Hauptstraßennetz zu ermitteln und turnusmäßig zu aktualisieren. Zur praktischen Anwendung wurden die relevanten Daten zur Übertragung auf das digitalisierte Straßennetz der Stadt Dresden aufbereitet.

■ Kapazitätsuntersuchungen an ausgewählten detektierten Straßenabschnitten im Bereich der Dresdner Waldschlösschenbrücke

Im Zusammenhang mit der Öffnung der Dresdner Waldschlösschenbrücke im September 2013 wurden umfängliche Änderungen der Verkehrsmengen und somit auch des Verkehrsflusses an Straßenabschnitten im Einflussbereich der Brücke erwartet. Es wurde deshalb in einer Vorher-Nachher-Betrachtung untersucht, inwieweit sich Aussagen zum Zusammenhang zwischen detektierter Verkehrsmenge und Fahrverhalten übertragen lassen. Hierzu wurden ausgewählte De-

tektionswerte aus der VAMOS-Datenbasis herangezogen. Das Fahrverhalten wurde hierbei auf Basis der Taxi-FCD bestimmt. Zur Verifizierung wurden an den betreffenden Abschnitten Messfahrten durchgeführt.

- Entwicklung eines Ansatzes zur Ermittlung der stundenfeinen Verkehrssituation im unmittelbaren Bereich detektierter Straßenabschnitte

Auf Basis der Kapazitätsuntersuchungen wurde unter Einbeziehung der Taxi-FCD ein Ansatz entwickelt, der es ermöglichen soll, in Abhängigkeit von den stundenfein aggregierten Verkehrsmengen Aussagen zur stundenfeinen Verkehrssituation im Bereich der detektierten Straßenabschnitte zu treffen.

3 Datenlage

3.1 Messfahrten

3.1.1 Beschreibung der Verkehrssituation in HBEFA 3.1

Im Rahmen einer Messfahrtuntersuchung erfolgte im November 2009 eine umfangreiche Befahrung des Dresdner Hauptstraßennetzes (TU Dresden 2009). Ziel der Untersuchung war es, für die Maßnahmenmodellierung im Rahmen der Dresdner Luftreinhalteplanung möglichst genaue und repräsentative Daten zur Verkehrssituation auf den relevanten Strecken zu erhalten. Die Verkehrssituation repräsentiert das unterschiedliche, real auftretende Fahrverhalten und ist somit eine wesentliche Eingangsgröße bei der Berechnung der Straßenverkehrsemissionen. Ein grundlegendes Werkzeug zur Emissionsberechnung ist das „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ (HBEFA). Diese Emissionsfaktorendatenbank wurde erstmals 1995 veröffentlicht und liegt derzeit in der vierten Aktualisierungsversion aus dem Jahre 2010 als HBEFA 3.1 vor (INFRAS 2010).

HBEFA enthält Emissionsfaktoren in verschiedenen Disaggregationsstufen der Fahrzeuge für eine Vielzahl von Verkehrssituationen. Dabei gliedert sich der Fahrzeugbestand zunächst nach Fahrzeugkategorien wie z. B. PKW, LKW oder Busse. Jede dieser Kategorien setzt sich aus Fahrzeugschichten zusammen, die ein annähernd gleiches Emissionsverhalten aufweisen. Gliederungskriterien sind dabei im Wesentlichen die Antriebsart, die EURO-Abgasnormen sowie der Hubraum bzw. das Fahrzeuggewicht. Zur Berechnung eines repräsentativen Emissionsfaktors einer Kategorie müssen die unterschiedlichen Emissionsfaktoren der einzelnen Schichten entsprechend ihres Fahrleistungsanteils gewichtet werden.

Der relativ große Einfluss des Fahrverhaltens ist exemplarisch für die auspuffbedingten PM10-Emissionen der PKW an Hand zweier Verkehrssituationen mit den jeweiligen LOS in Abbildung 1 dargestellt.

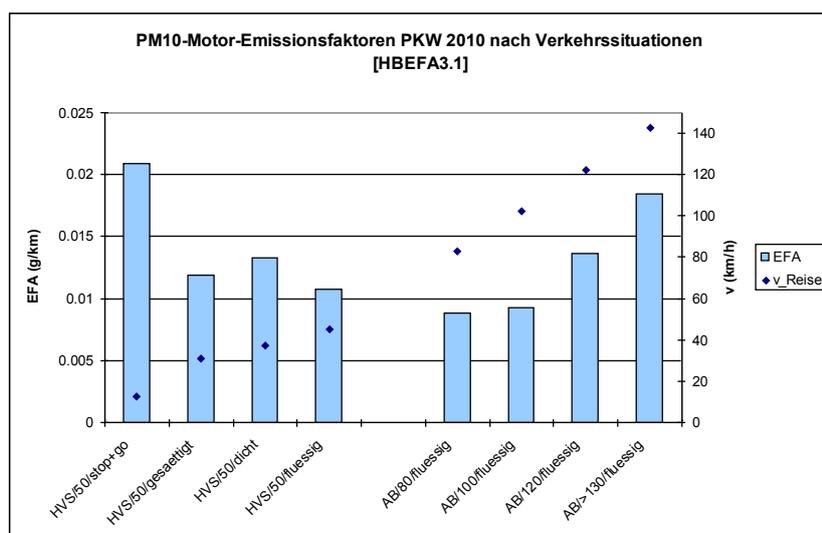


Abbildung 1: PM10-Emissionsfaktoren PKW nach ausgewählten Verkehrssituationen

In HBEFA 3.1 werden aus Kombinationen der Kriterien

- Gebiet (Agglomerationsraum/ländlicher Raum),
- Straßentyp (Erschließungsstraße, Hauptverkehrsstraße, Autobahn ...),
- Tempolimit und
- Level of service (LOS) (flüssig, dicht, gesättigt, Stop and Go)

insgesamt 276 Verkehrssituationen beschrieben.

Abbildung 2 zeigt die verfügbaren Verkehrssituationen im Agglomerationsraum nach HBEFA 3.1.

flüssig		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130
Agglomeration	Fern-, Bundesstr.					IO	AO	AO	AO	AO			
	Magistrale / Ringstr.			IO	IO	IO	AO	AO					
	HVS			IO	IO	IO	AO						
	Sammelstr.			IO	IO								
	Erschliessungsstr.	IO	IO	IO									

dicht		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130
Agglomeration	Fern-, Bundesstr.					IO	AO	AO	AO	AO			
	Magistrale / Ringstr.			IO	IO	IO	AO	AO					
	HVS			IO	IO	IO	AO						
	Sammelstr.			IO	IO								
	Erschliessungsstr.	IO	IO	IO									

gesättigt		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130
Agglomeration	Fern-, Bundesstr.					IO	AO	AO	AO	AO			
	Magistrale / Ringstr.			IO	IO	IO	AO	AO					
	HVS			IO	IO	IO	AO						
	Sammelstr.			IO	IO								
	Erschliessungsstr.	IO	IO	IO									

stgo		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130
Agglomeration	Fern-, Bundesstr.					IO	AO	AO	AO	AO			
	Magistrale / Ringstr.			IO	IO	IO	AO	AO					
	HVS			IO	IO	IO	AO						
	Sammelstr.			IO	IO								
	Erschliessungsstr.	IO	IO	IO									

Abbildung 2: Verkehrssituation im Agglomerationsraum nach HBEFA 3.1

Neben den o. g. formalen Kriterien zur Beschreibung der Verkehrssituation werden in HBEFA 3.1 jeweils die entsprechenden Fahrverhaltenskennwerte

- Reisegeschwindigkeit,
- Standanteil,
- RPA (relative positive acceleration)

angegeben.

Der RPA ist die geschwindigkeitsbezogene durchschnittliche positive Beschleunigung der Fahrzeuge und wird folgendermaßen berechnet:

$$RPA = \frac{\int_0^T (v_i * a_i^+) * dt}{x}$$

Dabei stellt T die Gesamt-Fahrzeit, x die Gesamt-Fahrstrecke, v die Momentangeschwindigkeit und a^+ die positive Momentanbeschleunigung dar.

Weil die HBEFA-Version 3.1 erst im Februar 2010 veröffentlicht wurde, erfolgte die Auswertung der im November 2009 durchgeführten Messfahrten nach den Verkehrssituationen des HBEFA 2.1. Auf Basis der Messfahrten erfolgte im Rahmen eines Projektes die Entwicklung einer Übertragungsmatrix der Verkehrssituationen HBEFA 2.1 zu HBEFA 3.1 (TU Dresden 2011).

3.1.2 Methodik der messtechnischen Erfassung der Fahrverhaltenskennwerte

Die Bestimmung der Verkehrssituation – insbesondere die Bestimmung des LOS – ist mit z. T. großen Unsicherheiten verbunden (TU Dresden 1998). Aus diesem Grund erfolgte die Ermittlung in Dresden durch die messtechnischen Erfassungen aller genannten Fahrverhaltenskennwerte. Die Verkehrssituation wurde dabei auf ausgewählten Strecken des Hauptstraßennetzes zunächst richtungsgetrennt und als Tagesgang eines durchschnittlichen Werktages erfasst sowie daraus resultierend ein durchschnittlicher Tageswert gebildet.

Um die Art der unterschiedlichen Verkehrszustände im Tagesverlauf und deren zeitliche Dauer zu erfassen, fuhr ein Messfahrzeug an den einzelnen Messtagen auf den jeweiligen Strecken in der Zeit zwischen 06:00 Uhr und 22:00 Uhr im Verkehr mit und zeichnete in Sekundenschritten die zurückgelegte Wegstrecke und die momentane Geschwindigkeit in Messdateien auf. Durch die Wahl der Messstreckenlänge von etwa 16 km wurde sichergestellt, dass das auf der Strecke pendelnde Fahrzeug ungefähr einen Messwert pro Stunde und Abschnitt bzw. eine Messung pro Richtung innerhalb von zwei Stunden lieferte.

Das Messfahrzeug war mit einem Peiseler-Messrad ausgestattet. Dieses System besteht aus einem Steuer- und Anzeigegerät und dem Radnabengeber. Das Messprinzip besteht darin, dass während eines bestimmten Zeitintervalls die registrierten Wegimpulse gezählt werden. Die Erfassung der Wegimpulse erfolgt über den Radnabengeber, der an ein nicht angetriebenes Fahrzeugrad angeschraubt wird (siehe Abbildung 3). Das Steuer- und Anzeigegerät ist ein Bordcomputer, der die registrierten Wegimpulse in eine Länge und über die definierten Zeitschritte in eine Geschwindigkeit umrechnet. Durch die Kopplung des Bordcomputers, der nur Summen- und Momentanwerte festhält, mit einem zusätzlichen Computer, können alle momentanen Messwerte (Sekundenintervalle) direkt vom Bordcomputer übernommen und nach der Messung als Messdatei gespeichert werden. Die dazu erforderliche Software ist am Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr entwickelt und erprobt worden. Die Messgenauigkeit beträgt nach vorliegenden Erfahrungen +/- 0,25 %.



Abbildung 3: Eingesetzte Messtechnik zur Erfassung der Fahrprofile

Es wurden mit zwei verschiedenen Fahrern insgesamt 80 Messfahrten auf den fünf Strecken absolviert. Die Messfahrten wurden nach der Methode des „Mitschwimmens“ (Car-floating) durchgeführt. Dabei orientiert sich der Fahrer an den jewei-

ligen Verkehrsbedingungen, indem er mit dem Verkehr „mitschwimmt“. Nach diesem Prinzip entstandene Fahrprofile reflektieren das durchschnittliche Geschwindigkeitsverhalten eines Gesamtkollektivs, die persönlichen Fahreigenschaften des Testfahrers treten dabei in den Hintergrund.

Das Ergebnis einer jeden Messfahrt war somit eine Messdatei mit einer bestimmten Menge an Sekundenwerten für Geschwindigkeit und zurückgelegte Wegstrecke. Die Gesamtheit dieser Geschwindigkeitswerte einer Fahrt bildet eine Fahrkurve, welche sich grafisch als Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm darstellen lässt (siehe exemplarisch Abbildung 4).

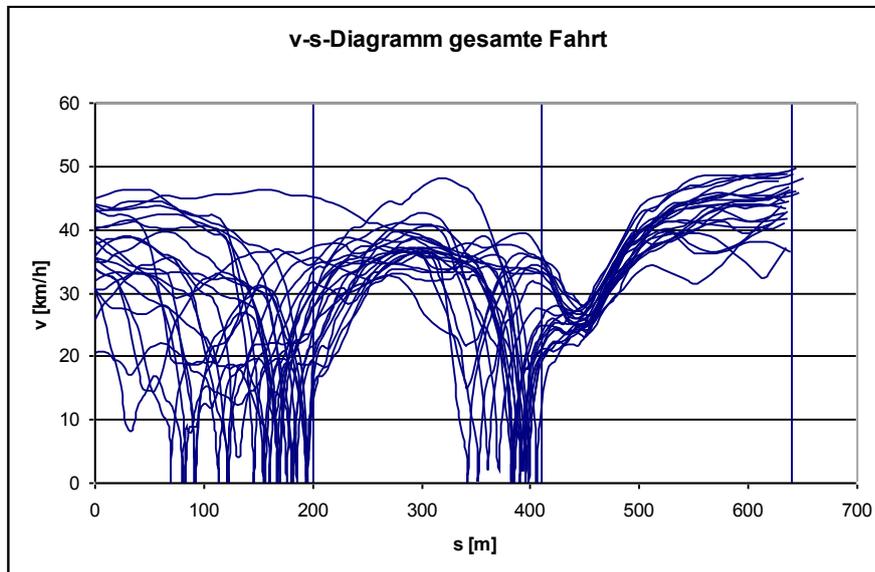


Abbildung 4: v-s-Diagramm als Ergebnis der Messfahrten

Auf Basis der ermittelten Fahrprofile wurden die Fahrverhaltenskennwerte ermittelt, sodass als Ergebnis für jeden untersuchten Abschnitt ein richtungsgetrennter Tagesgang der entsprechend zugeordneten Verkehrssituation vorlag.

3.1.3 Untersuchungsgebiet

In Abbildung 5 ist die Lage der Messstrecken im Dresdner Hauptstraßennetz der Untersuchung 2009 dargestellt. Danach wurde die Befahrung im innerörtlichen Hauptstraßennetz durch vier verschiedene Messstrecken mit einer durchschnittlichen Länge von ca. 16 km durchgeführt. Im Sinne einer differenzierten Auswertung wurden die Strecken in insgesamt 98 zu untersuchende Abschnitte gegliedert. Die Grenzen für diese Abschnitte wurden dabei an Kreuzungspunkten und Einmündungen gesetzt, wenn eine Änderung der Belegung bzw. der Verkehrssituation zu erwarten war.

In Auswertung der verfügbaren Detektordaten wurden ergänzende Messfahrten an Abschnitten durchgeführt, die nicht Bestandteil des Messnetzes der Untersuchung 2009 waren, für die jedoch Detektordaten vorliegen und an denen auf Grund eines ausgeprägten Tagesganges der Verkehrsstärke ein Tagesgang der Verkehrssituation zu erwarten war. Abbildung 6 zeigt die Lage der Detektoren, in deren Bereich die ergänzenden Messfahrten durchgeführt wurden.

Danach wurden durch die Messfahrten die Abschnitte

- Zellescher Weg zwischen Paradiesstraße und Teplitzer Straße (PEG 0552),
- Teplitzer Straße zwischen Strehleener Platz und Zellescher Weg (PEG 0404) und
- Winterbergstraße zwischen Gohrischstraße und Grunaer Weg (PEG 0465)

befahren.

Als Zeitpunkt für die Befahrung wurde der 29. September (Donnerstag) 2011 gewählt, weil sowohl der Wochentag als auch der Monat bzgl. der Verkehrsstärke einem mittleren Wert im Wochen- bzw. Jahresmittel entspricht und somit auch repräsentative Werte in Bezug auf das Fahrverhalten erwarten lassen.

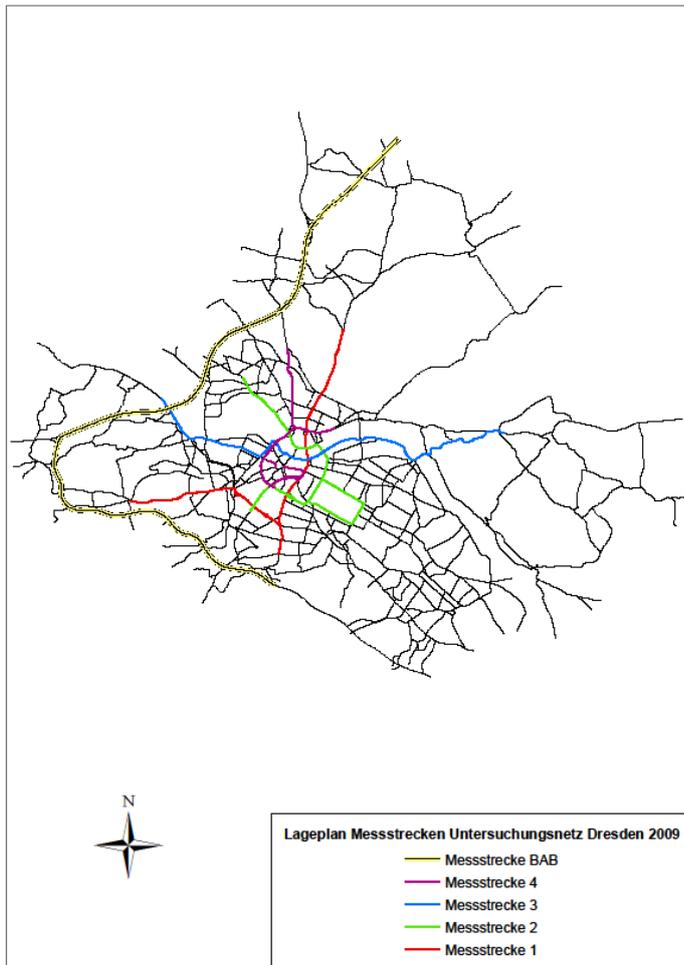


Abbildung 5: Lageplan der Messstrecken im Untersuchungsnetz

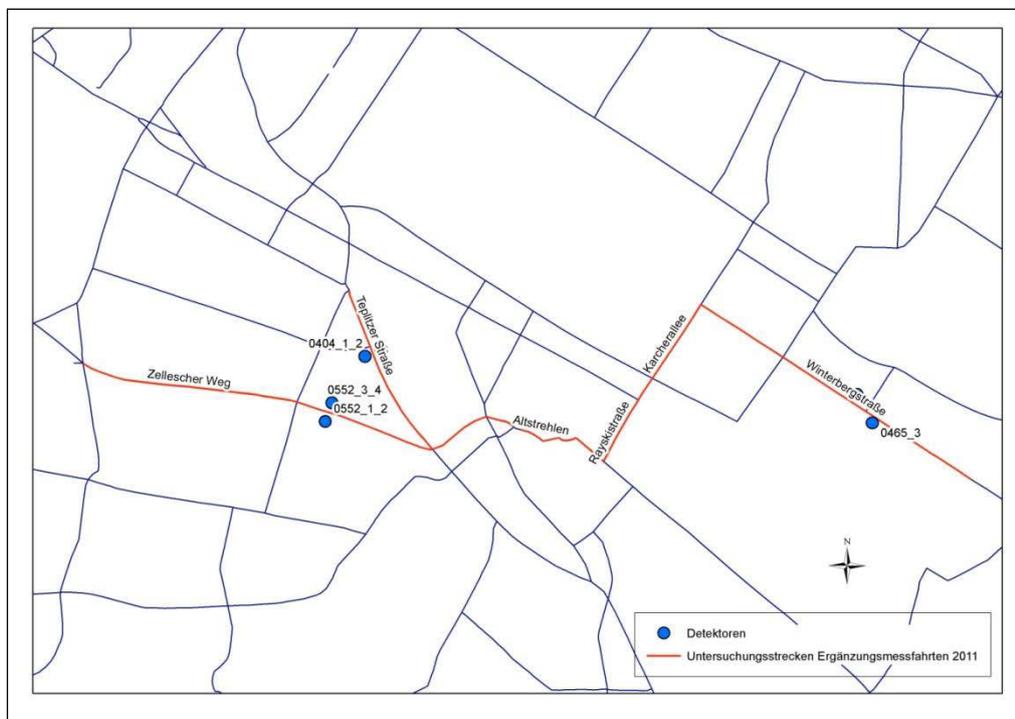


Abbildung 6: Lage der Detektoren und Untersuchungsstrecke der ergänzenden Messfahrten

3.2 VAMOS-Referenzdaten

Mit dem Ziel der Stauvermeidung und stadtverträglichen Abwicklung der Verkehrsströme ist in der Landeshauptstadt Dresden das Verkehrsmanagementsystem VAMOS in Betrieb. Die vollautomatisch wirkende Aktorik umfasst u. a. das Verkehrsinformationssystem VIS (Informationstafeln an Hauptzufahrtsrouten zum Stadtzentrum), das Dynamische Wegweisungssystem DWW (verkehrslageabhängige Ausweisung von Alternativrouten insbesondere bei Autobahn-Bedarfsumleitungen) und die Verkehrslageabhängige Signalprogrammauswahl VSPA für die Lichtsignalanlagen auf ausgewählten Straßenzügen.

Kern eines abgestimmten Vorgehens bildet ein umfassendes Verkehrslagebild. Gespeist wird dieses durch eine Vielzahl stationärer Detektoren auf den städtischen Hauptverkehrsstraßen und dem stadtnahen Autobahnnetz (Datenbereitstellung hierbei durch das Autobahnamt Sachsen) sowohl mit einer hohen zeitlichen Auflösung als auch durch ein streckenbasiert arbeitendes Floating Car-System (Flotte der Dresdner Taxigenossenschaft).

Als Referenz für den Vergleich mit den Daten der Messfahrten wurde archiviertes Datenmaterial aus der 45. Kalenderwoche 2009 aus dem VAMOS-Datenpool genutzt.

Konkret handelt es sich beim Referenzmaterial um Messwerte von

- Pegelzählstellen,
- Strategiedetektoren und
- Traffic Eyes.

Eine komplette Übersicht zur Lage und Art der vorhandenen Detektoren ist in der Abbildung 7 dargestellt.

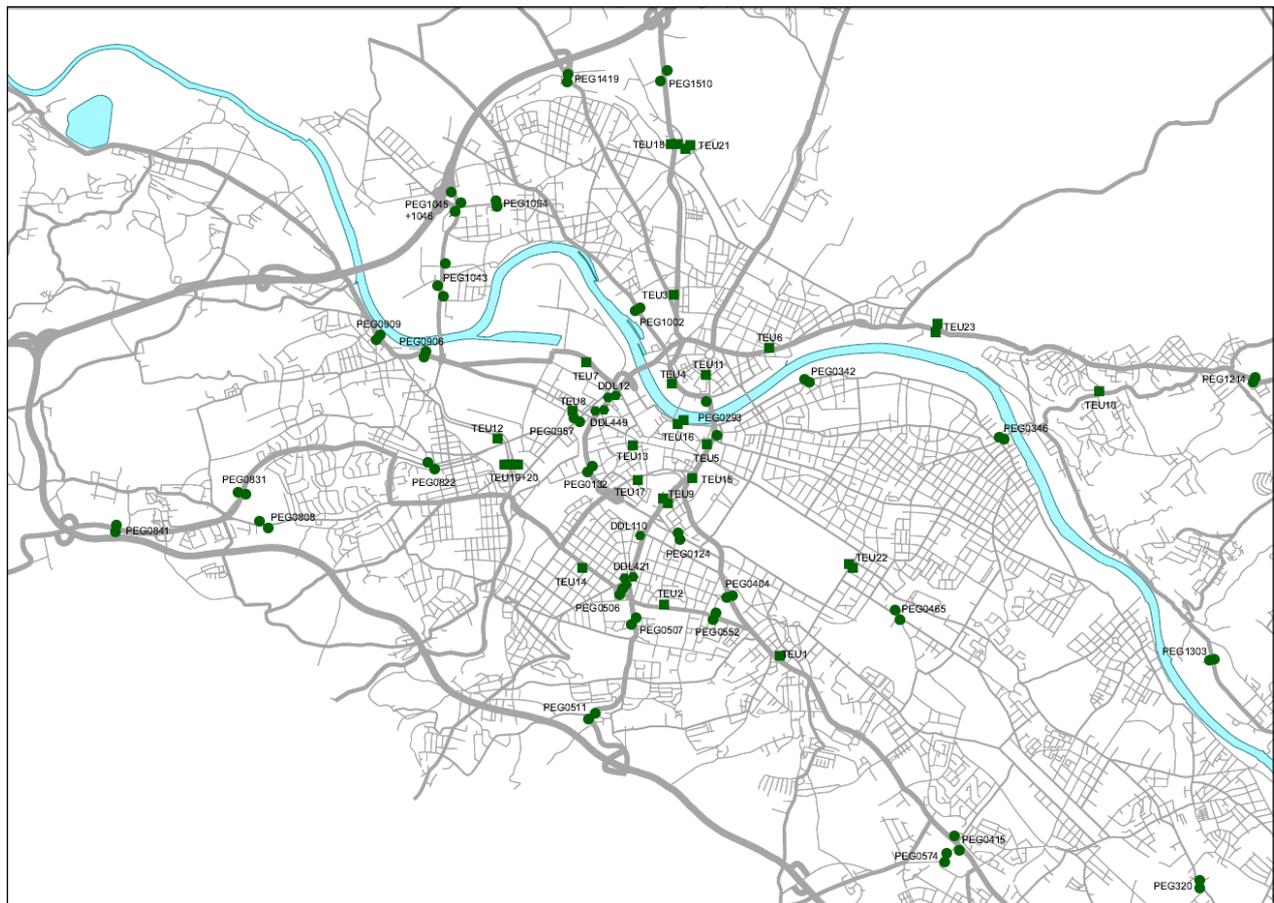


Abbildung 7: Lage und Art vorhandener Detektoren im Dresdner Stadtgebiet

3.2.1 Pegelzählstellen

Bei den Pegelzählstellen handelt es sich um Doppelinduktionsschleifen (siehe Abbildung 8). Durch Auswertungen der Verstimmung von Schwingkreisen kann auf die Präsenz von Fahrzeugen geschlossen werden. Dies ermöglicht die Bestimmung der den Messquerschnitt passierenden Verkehrsmenge. Durch Auswertung der Signale zweier direkt benachbarter Schleifen mit bekanntem Abstand wird auf die Geschwindigkeit geschlossen. Erfasst werden Fahrzeuge in acht Kategorien. Die Auswertung bedingt eine Aggregation in Leicht- und Schwerverkehr.



Abbildung 8: Schleifen einer Pegelzählstelle

Dies erfolgt nach Vorgaben der Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen TLS¹.

Unter Leichtverkehr werden Motorräder, Pkw ohne und mit Anhänger und Kleintransporter verstanden. Zugeordnet werden dieser Kategorie zusätzlich nicht klassifizierte Kfz. Beim Schwerverkehr handelt es sich um Lkw ohne und mit Anhänger, Sattelzüge und Busse. Das Aggregationsintervall beträgt eine Minute. Als TLS-gerechte Detektoren erfüllen die Pegelzählstellen hohe qualitative Anforderungen. Die Verkehrsmengen für den Leichtverkehr dürfen bei einer Verkehrsmenge kleiner gleich 10 Fzg/min um weniger als 20 % abweichen, bei höheren Verkehrsmengen um weniger als 10 %. Für die Verkehrsmengen des Schwerverkehrs betragen die Grenzwerte 35 % bzw. 20 %. Die Geschwindigkeitsmesswerte dürfen für Geschwindigkeiten unter 100 km/h nur weniger als 3 % abweichen. Ob dieser Spezifik stellen diese Detektoren die dem Stand der Technik und den vorherrschenden Marktbedingungen entsprechende bestmögliche Referenz dar. Im Betrachtungsgebiet sind die Detektoren typischerweise im Knotenabfluss verbaut und repräsentieren so den Verkehrsfluss der freien Strecke. Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen exemplarisch die Messwerte für Geschwindigkeit bzw. Verkehrsmenge an der Pegelzählstelle Carolabrücke.

¹ Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen TLS, Bergisch Gladbach (2002)

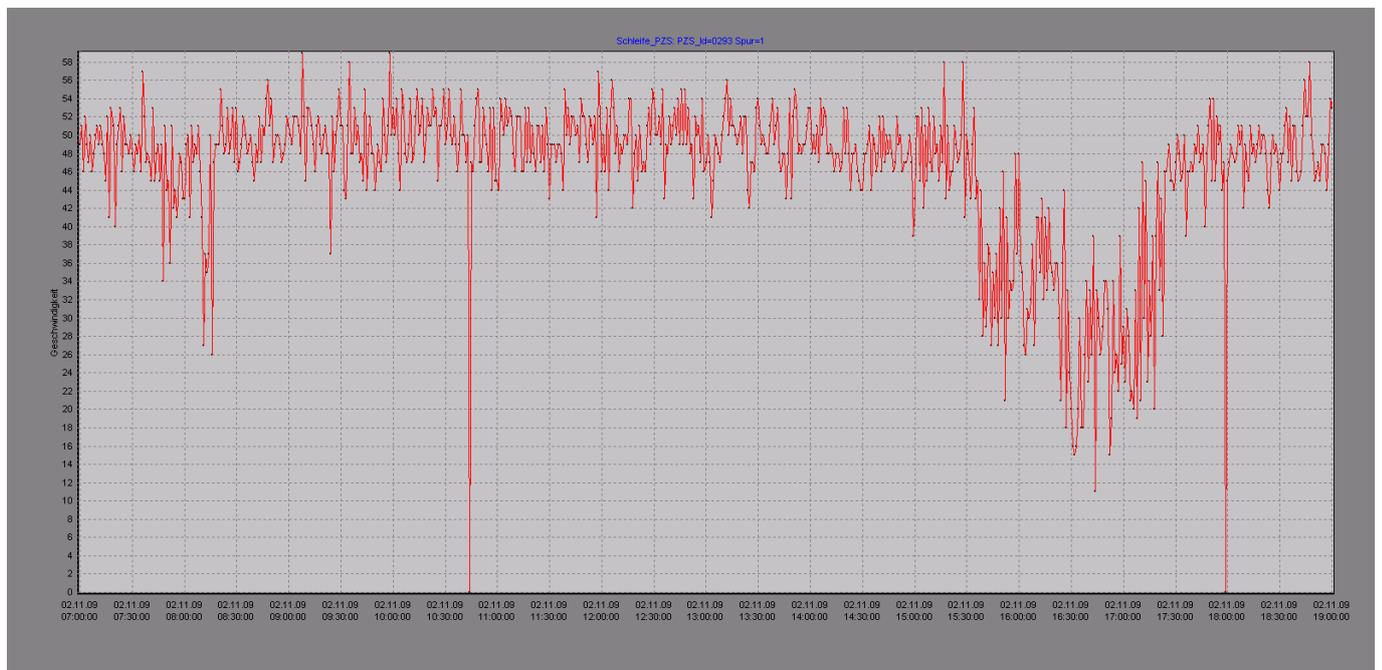


Abbildung 9: Beispiel für Geschwindigkeitsmesswerte in km/h einer Pegelzählstelle (Carolabrücke Richtung Neustadt, rechter Fahrstreifen)

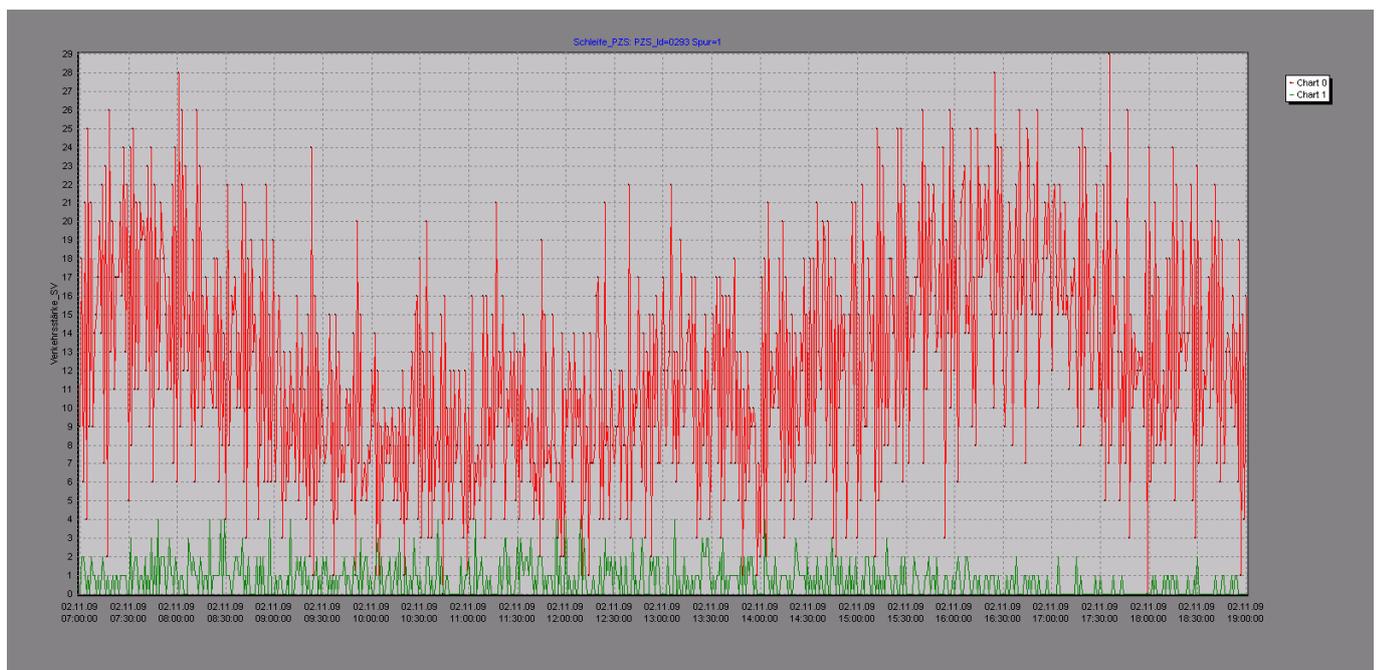


Abbildung 10: Beispiel für Verkehrsmengemesswerte in Fzg/min einer Pegelzählstelle (Carolabrücke Richtung Neustadt, rechter Fahrstreifen; Chart 0/rot Leichtverkehr, Chart 1/grün Schwerverkehr)

3.2.2 Strategiedetektoren

Strategiedetektoren besitzen dasselbe Wirkprinzip wie die Pegelzählstellen. Der Unterschied besteht darin, dass diese den qualitativen Anforderungen der TLS nicht gerecht werden müssen. Eine weiterführende Spezifikation ist leider nicht verfügbar. Aus Erfahrungswerten ist bekannt, dass insbesondere bei geringen Verkehrsmengen Probleme auftreten, die zu „Nichtdetektionen“ führen, das heißt der Datenstrom setzt erst ab einer Verkehrsmenge von ca. 5 Fzg/min stabil ein. Weil die Messfahrten zur Fahrmusterbestimmung tagsüber stattgefunden haben, stellt dies keinen Hinderungsgrund zur Nutzung der Daten im vorliegenden Projekt dar.



Abbildung 11: Schleifen eines Strategiedetektors

Weiterer Unterschied zu den Pegelzählstellen ist, dass keine Differenzierung der Fahrzeugkategorien erfolgt. Verkehrsmenge und Geschwindigkeit sind auf ein Erfassungsintervall von einer Minute bezogen. Auch dieser Detektionstyp ist in Knotenabflüssen verbaut.

3.2.3 Traffic Eyes

Bei Traffic Eyes handelt es sich um Infrarotdetektoren, die in der Regel an Lichtmasten und Auslegern von Lichtsignalanlagen installiert sind (siehe Abbildung 12). Sie sind so platziert, dass Rückstaus von sensiblen Knoten mit Lichtsignalanlage zeitnah erkannt werden.

Erfasst werden u. a. die Kenngrößen Verkehrsmenge und Geschwindigkeit. Qualitative Ausprägungen sind in Datenblättern nicht gelistet. Große Bedeutung für die Auswertung besitzt in puncto Abbildungsgenauigkeit die Ausprägung der Datenübertragung. Einige wenige dieser Detektoren realisieren ihre Datenübertragung mittels Mobilfunk. Um die Kosten in engen Grenzen zu halten, wird nur ein Datensatz abgesetzt, wenn wesentliche Änderungen im Verkehrsfluss detektiert werden bzw. ein größeres Mindest-Meldeintervall erreicht ist. Vor der Nutzung ist zu prüfen, ob mit ca. 40 bis 80 Messwerten pro Tag die Dynamik des Verkehrsablaufs für den Anwendungsfall hinreichend gut abgebildet ist. Liegt eine Anbindung mittels Kabel vor, so beträgt das Erfassungsintervall fünf Minuten. Die für die Funkanbindung beschriebenen Einschränkungen bestehen hier nicht.



Abbildung 12: Sensor- und Auswerteeinheit eines Traffic Eyes

3.2.4 Datenaufbereitung

Entsprechend dem Untersuchungsnetz der 2009 durchgeführten Messfahrten wurden die benötigten Detektordaten ausgewählt und anforderungsgerecht aufbereitet. In Tabelle 1 ist die Art und Anzahl der vorhandenen Detektoren entlang der Untersuchungsstrecken dargestellt. Die detaillierten Angaben zu Art und Zeitraum der verwendeten Detektordaten ist in der Tabelle in Anhang A1 enthalten. Die Übersicht zu Art und Lage der Detektoren entlang der Untersuchungsstrecken ist in Abbildung 13 dargestellt.

Tabelle 1: Art und Anzahl der vorhandenen Detektoren entlang der Untersuchungsstrecken

Erfassung	Pegelzählstellen	Strategiedetektoren	Traffic Eye
Messstrecke 1	8	3	5
Messstrecke 2	4	0	3
Messstrecke 3	10	0	4
Messstrecke 4	2	4	7

Bei der Aufbereitung des Datenmaterials wurden folgende Schritte durchgeführt:

- Angleichung der Einheiten der Verkehrskenngrößen (Verkehrsmenge in Fzg/min, Geschwindigkeiten in km/h)
- Aggregation fahrstreifenfeiner Messwerte zur Aussage für fahrtrichtungsbezogenen Querschnitt
- getrenntes Vorhalten der Verkehrsmengenangaben für Leicht- und Schwerverkehr bei Pegelzählstellen
- Abbildung auf vollständigen Zeitstrahl und Markierung „echter“ Messwerte
- (in extrem wenigen Fällen) Löschen unplausibler Werte

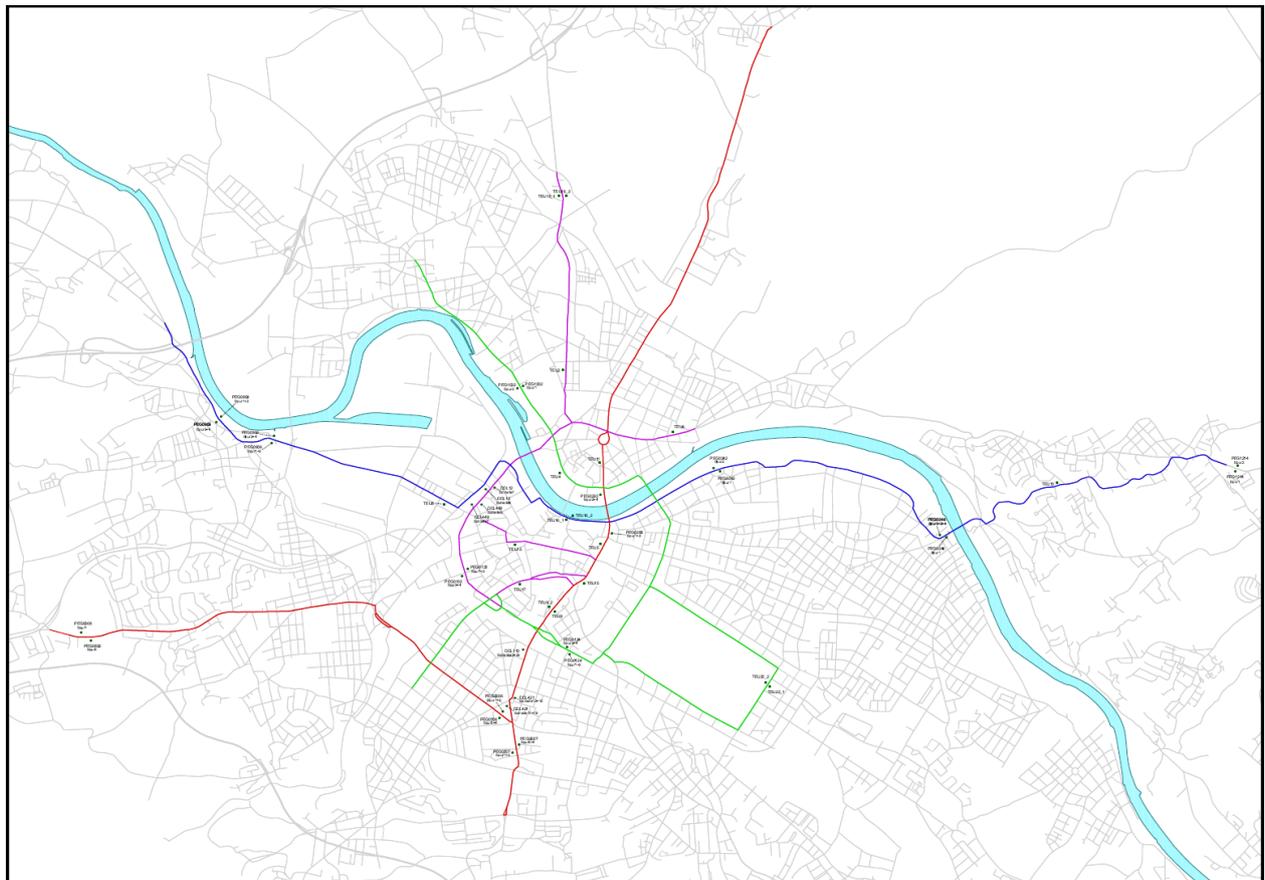


Abbildung 13: Art und Lage der Detektoren entlang der Untersuchungsstrecken in Dresden

3.2.5 Taxi-Floating Car Data (FCD)

Unter Floating Car Data werden Geokoordinaten verstanden, die durch Positionserfassungstechnik an Bord ausgewählter Kraftfahrzeuge, welche sich im Gesamtverkehrsfluss mitbewegen, zyklisch ermittelt werden. Kernintention ist es, anhand dieser Stichprobendaten auf Kennwerte des Gesamtverkehrsstroms zu schließen.

Vorzugsweise werden Fahrzeuge mit hoher Fahrleistung, wie von Lieferflotten oder Taxiunternehmen, als Detektionsträger gewählt, um eine möglichst große Netzabdeckung und hohe Befahrungshäufigkeit der Netzelemente zu erreichen. Die Fahrzeuge werden mit Positionserfassungstechnik, typischerweise einem GPS-Empfänger, ausgestattet bzw. verfügbare Komponenten nachgenutzt. Es werden in definierten Intervallen Positionsdaten sowie der Zeitstempel des Erfassungszeitpunkts ermittelt und eine Fahrzeugidentifikation beigefügt.

Anspruch ist meist eine zeitnahe Auswertung. Deshalb erfolgt überwiegend eine Weiterleitung der Datensätze mittels Kommunikationsmedium wie GSM, GPRS oder Bündelfunk zu einer Zentrale. Hier erfolgt dann die Datenauswertung.

Eine der häufigsten Anwendungen ist die Verkehrslageermittlung. So auch das Taxi-FCD-System in Dresden. Durch das Straßen- und Tiefbauamt der Landeshauptstadt Dresden wurde 2007 zur Verdichtung der Datengrundlagen für das operative Straßenverkehrsmanagementsystem VAMOS der Aufbau eines streckenbezogenen Detektionssystems in Auftrag gegeben. Dazu wurde mit der Dresdner Taxigenossenschaft e. G. kooperiert. Die über 500 Fahrzeuge von Funktaxi Dresden zeichnen sich durch hohe Fahrleistungen und häufige Fahrzeugnutzung aus, woraus eine sehr gute Netzabdeckung resultiert. Weitere günstige Voraussetzungen stellten die Ausrüstung der Fahrzeuge mit GPS-Positionsbestimmungstechnik und Betriebsfunk dar. Um die mit einem Zeitstempel versehenen Positionsmeldungen aufzeichnen und übertragen zu können, wurde die Software der Funkmodule sowohl in den Fahrzeugen als auch der Dispositionszentrale durch die Firma GefoS (Gesellschaft für offene Systeme mbH Schwerte) entsprechend modifiziert. Zur Bewältigung des größeren Datenaufkommens wurde außerdem die Kapazität des Funksystems erweitert. Die Erstellung der Verfahren zur Auswertung der verfügbar gemachten FCD hinsichtlich abschnittsbezogener Reisezeiten, der Verkehrslage und auch die Entwicklung von Datenfusionsalgorithmen zur Einbindung der ermittelten Verkehrslageinformationen in das operative Verkehrsmanagementsystem oblag dem Institut für Verkehrstelematik der Technischen Universität Dresden.

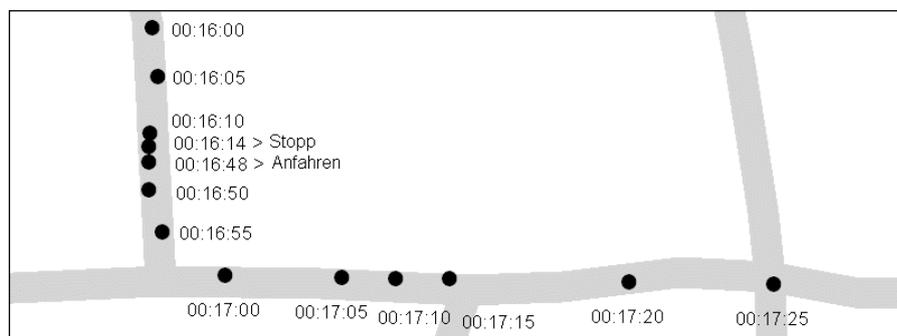


Abbildung 14: Beispiel für Floating Car-Positionsdaten

Das Dresdner Taxi-FCD-System zeichnet sich insbesondere durch eine hohe Erfassungsdichte aus. Die Fahrzeugpositionen werden alle 5 Sekunden aufgezeichnet (siehe exemplarisch Abbildung 14). Dies erlaubt ein exaktes Nachvollziehen des Fahrtverlaufs. Schätzverfahren sind nicht erforderlich. Ein weiterer Vorteil des Dresdner Systems besteht darin, das Fahrverhalten genau analysieren zu können. So kann präzise auf Stop&Go-Verkehr sowie Rückstaulängen vor Knoten geschlossen werden.

Nach breitenwirksamer Initialisierung der Fahrzeuge 2008/09 werden pro Minute ca. 12 Streckenkilometer – überwiegend im Hauptstraßennetz – detektiert. Dies entspricht in etwa einer Jahresfahrleistung von 5.000.000 km.

4 Geschwindigkeitsvergleich Detektoren – Messfahrten

Der Vergleich der vorliegenden Daten bezieht sich auf die im Rahmen der Messfahrten erhobenen abschnittsbezogenen Fahrverhaltenskennwerte und auf die vorliegenden querschnittsbezogenen Daten aus den verschiedenen Detektorsystemen. Entsprechend der Zielstellung des Projektes wurden die Daten zunächst unter dem Aspekt analysiert, inwieweit sich Korrelationen zwischen den querschnittsbezogenen Fahrgeschwindigkeiten und den abschnittsbezogenen Fahr- bzw. Reisegeschwindigkeiten ergeben. In Tabelle 2 sind die Charakteristika der verwendeten Datenbasis gegenübergestellt.

Tabelle 2: Charakteristik der verwendeten Datenbasis

	Abschnittsdaten	Querschnittsdaten
Erhobene Kenngrößen	v_Reise, v_Fahr, Standanteil, RPA	v_Fahr, oft auch Q (teilweise differenziert nach LV, SV)
Stärken	Gute Parameter zur Bestimmung der Verkehrssituation, hohe Genauigkeit der Messeinrichtung, räumliche Abdeckung des gesamten Messraumes	Hohe zeitliche Auflösung, hohe Anzahl an Messungen, je nach Messgerätetyp: hohe Genauigkeit
Schwächen	Einfluss zufälliger "Störungen", geringe zeitliche Verfügbarkeit	Geringe Aussagekraft hinsichtlich der Verkehrssituation, geringe räumliche Abdeckung

4.1 Grafische Analyse

Zur Auswertung wurden die vorhandenen Daten einer grafischen Analyse unterzogen. Dazu wurde zunächst der Tagesgang der Verkehrsstärke und der Fahrgeschwindigkeit am Detektorquerschnitt betrachtet. Als vertikale Linien wurden darüber hinaus die Zeitpunkte der durchgeführten Messfahrten in diesem Abschnitt mit den dabei jeweils ermittelten Fahr- und Reisegeschwindigkeiten eingetragen. Evtl. auftretende Datenausfälle wurden durch entsprechende Stundenwerte aus vergleichbaren Wochentagen ergänzt. Als weitere Information wurde die über den Tag gemessene Verkehrssituation im Abschnitt in die Darstellung aufgenommen.

Die derart aufgetragenen Tagesgänge aller Querschnitts-/Abschnittsdaten wurden in Gruppen eingeteilt. Dabei wurde zunächst zwischen Abschnitten, in denen es im Laufe der Tagesstunden (06:00 Uhr bis 21:00 Uhr) zu einer Änderung der Verkehrssituation kommt und denjenigen Abschnitten, die über die Tagesstunden eine relativ gleichbleibende Verkehrssituation aufweisen, unterschieden. Die Abschnitte ohne Änderung der Verkehrssituation wurden wiederum nach der jeweiligen Verkehrssituation gruppiert. Die Darstellungen in Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen exemplarisch einen Abschnitt ohne ausgeprägten Tagesgang bzw. mit ausgeprägtem Tagesgang der Verkehrssituation.

Wie in Abschnitt 3.1 erläutert, wurde in diesen Darstellungen die Zuordnung zu den Verkehrssituationen nach HBEFA 2.1 verwendet, weil diese HBEFA-Version zum Zeitpunkt der Messfahrten im Jahre 2009 aktuell und die Auswertung der Messfahrten somit auf der Basis von HBEFA 2.1 erfolgte. Für die Aussagen zur Korrelation der Querschnittsdaten zu den Abschnittsdaten hat die Bezeichnung der Verkehrssituation jedoch nur eine untergeordnete Bedeutung, weil es an dieser Stelle zunächst vielmehr um die Möglichkeiten der Abbildung von Verkehrssituationsänderungen im Abschnitt durch die querschnittsbezogenen Detektordaten und nicht um eine explizite Verkehrssituationsbestimmung geht.

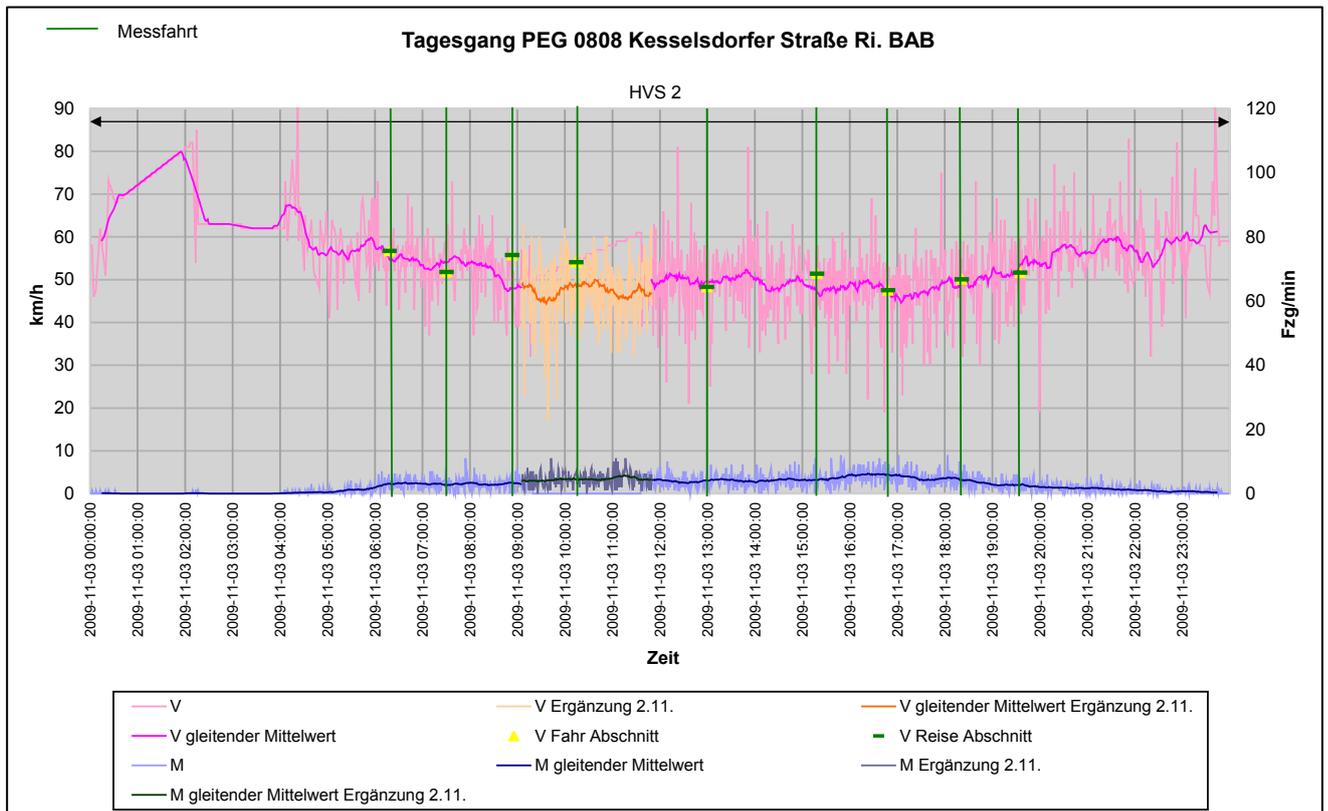


Abbildung 15: Beispielabschnitt ohne ausgeprägten Tagesgang der Verkehrssituation/HVS2

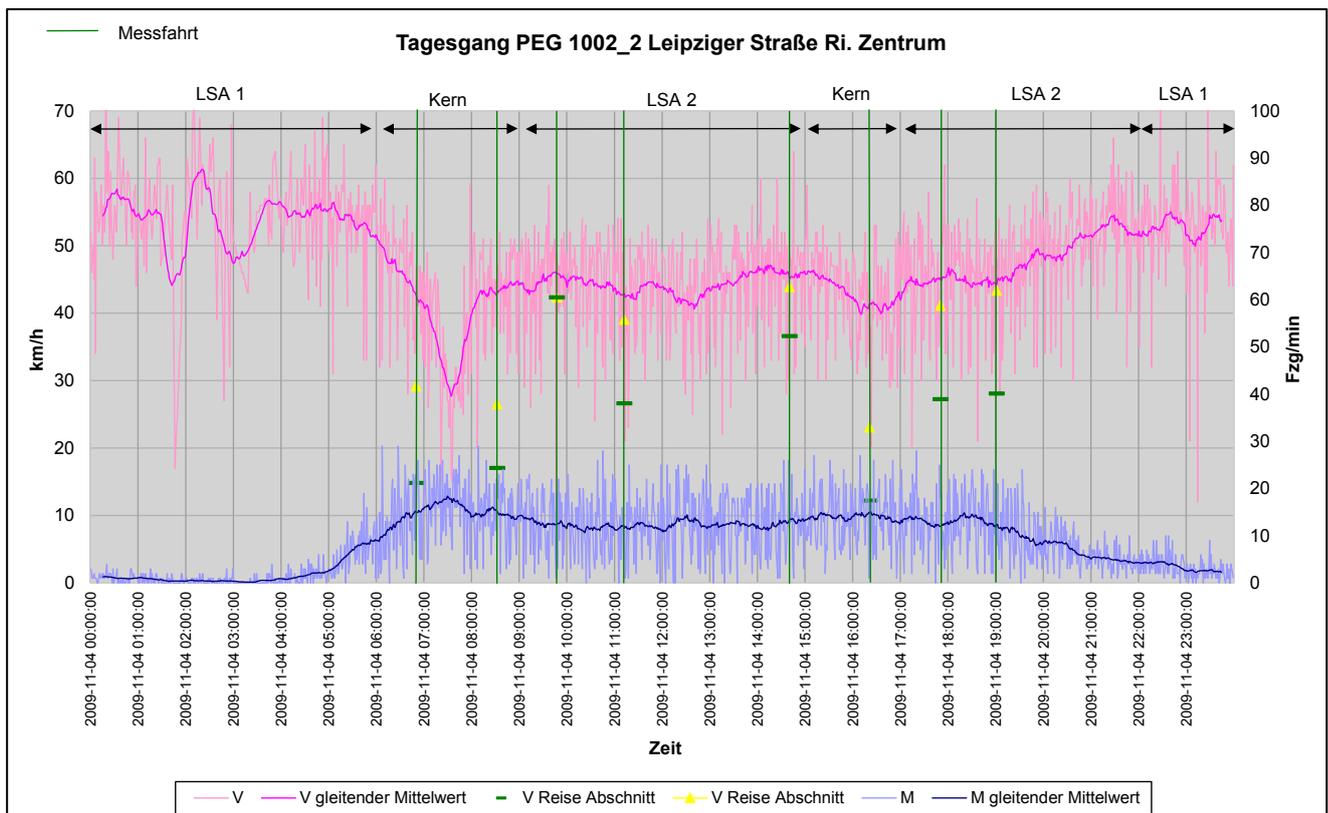


Abbildung 16: Beispielabschnitt mit ausgeprägtem Tagesgang der Verkehrssituation

Die Auswertung dieser grafischen Analyse zeigt eine unterschiedlich große Korrelation zwischen der gemessenen Fahrgeschwindigkeit am Querschnitt und der mittleren Fahrgeschwindigkeit im Abschnitt. Danach zeigt sich zunächst, dass bei störungsärmeren Verkehrssituationen, das heißt Verkehrssituationen ohne oder mit einem geringen Standanteil, die Korrelation zwischen Querschnitts- und Abschnittsfahrgeschwindigkeiten relativ gut ist, weil hierbei meist ein homogenes Fahrverhalten im gesamten Abschnitt auftritt. Die Repräsentanz der Querschnittsgeschwindigkeit bzgl. des Abschnitts hängt jedoch stark von der Gesamtlänge des Abschnitts und vor allem von der Lage des Detektors innerhalb des Abschnitts ab.

Die vorhandenen Detektoren wurden primär mit dem Ziel der Verkehrsstärkemessung installiert. Werden die Detektoren (wie z. B. die Induktionsschleifen) überstaut – das heißt, kommen Fahrzeuge darauf zum Stehen – oder sind die Abstände zwischen den Fahrzeugen zu gering, kommt es zu fehlerhaften Messungen. Um diese Messfehler möglichst zu vermeiden, sind die Detektoren bzgl. der Fahrtrichtung tendenziell am Abschnittsbeginn installiert. Die Störungen im Verkehrsfluss, die einen relevanten Einfluss auf die Fahrverhaltenskennwerte nach HBEFA haben, treten jedoch – bzgl. der Fahrtrichtung – tendenziell im hinteren Teil des Abschnitts, das heißt meist vor dem nächsten Knotenpunkt auf. Die Länge dieses störungsanfälligen Bereichs kann je nach Verkehrsaufkommen und Knotendurchlassfähigkeit zwischen 50 und mehreren hundert Metern betragen.

In längeren Abschnitten, in denen der Detektor zudem noch relativ weit am Abschnittsbeginn installiert ist, werden somit Störungen am Ende des Abschnitts nicht immer abgebildet. Die Pegelzählstelle PEG 1002_2 ist im Abschnitt Leipziger Straße zwischen Puschkinplatz und Antonstraße installiert. Abbildung 17 zeigt das v-s-Diagramm der Messfahrten auf diesem Abschnitt mit der Lage des Detektors. Danach ist der Gesamtabschnitt ca. 1.050 m lang, der Detektor befindet sich ca. 220 m nach Abschnittsbeginn. Im Laufe des Tages wurde sowohl in der Morgen- als auch in der Nachmittagsspitze eine Verschlechterung der Verkehrssituation verzeichnet. Während die Veränderungen am Morgen durch die Daten am Detektor sehr gut abgebildet werden, wird die Verschlechterung am Nachmittag nicht signifikant registriert (siehe Abbildung 16).

Neben der Lage der Pegelmessstelle im Abschnitt ist ein weiterer, nicht zufälliger Einfluss die unterschiedliche Behandlung von mehreren Fahrstreifen. Während von der Messfahrt nur der befahrene Streifen gemessen wird, bildet die Messstelle Mittelwerte über alle vorhandenen Streifen. Dies hat insbesondere bei stark unterschiedlichen Verkehrssituationen je Fahrstreifen einen Einfluss, wie z. B. auf der Carolabrücke in Richtung Neustadt.

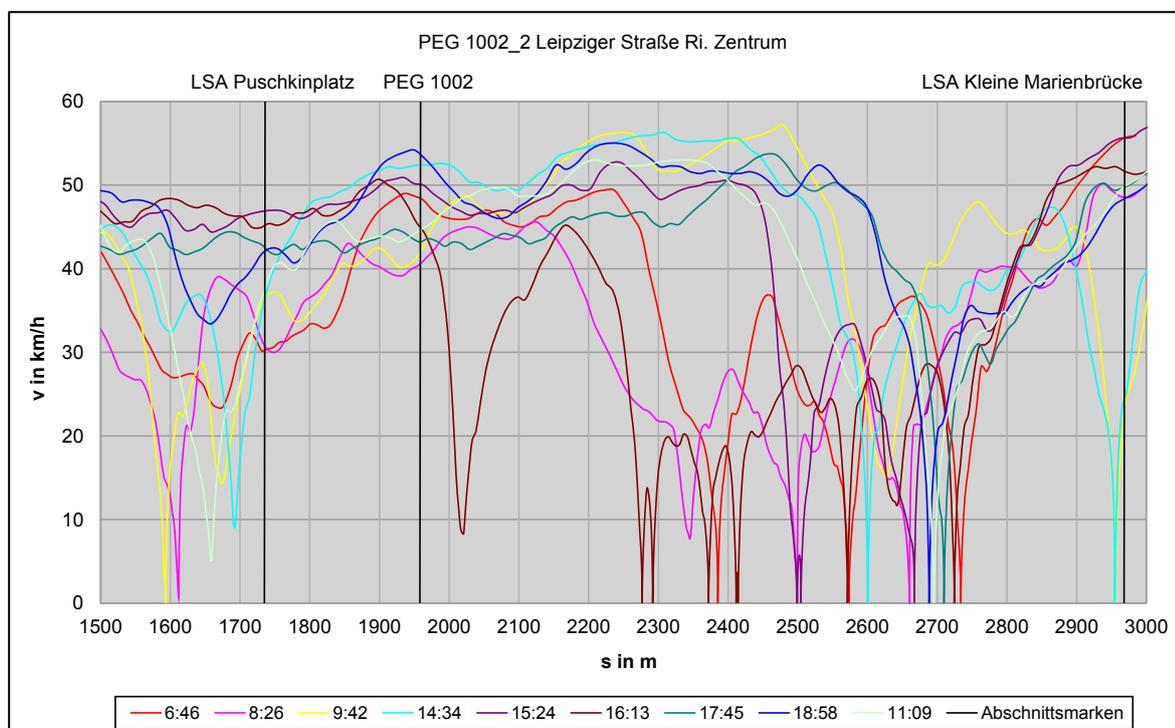


Abbildung 17: Lage des Detektors im Untersuchungsabschnitt am Beispiel PEG 1002_2 (Leipziger Straße Richtung Zentrum)

4.2 Vergleich der Fahrgeschwindigkeiten

Zur Untersuchung der Repräsentanz der Querschnittsfahrgeschwindigkeit auf die Verkehrssituation im Abschnitt wurden die Fahrverhaltenskennwerte aller Abschnitte ohne ausgeprägten Tagesgang der Verkehrssituation differenziert nach Verkehrssituation und unter Berücksichtigung der Abschnittslänge untersucht. Danach zeigte sich, dass die Querschnittsfahrgeschwindigkeit mit der im Abschnitt gemessenen Fahrgeschwindigkeit bei Standanteilen von maximal 10 % in Kombination mit einer Abschnittslänge von mehr als 700 m relativ gut übereinstimmt. Das ist plausibel, weil Fahrten ohne Standanteil über dem gesamten Abschnitt relativ homogen sind sowie geringe Standanteile auf Grund der großen Abschnittslänge wieder relativiert werden und die mittlere Fahrgeschwindigkeit im Abschnitt wieder ungefähr der Querschnittsfahrgeschwindigkeit entspricht.

In Abbildung 18 ist der Vergleich der Fahr- und Reisegeschwindigkeiten aus den Messfahrten zu den Fahrgeschwindigkeiten der Detektoren, gemittelt über alle Abschnitte mit der gleichen Verkehrssituation, differenziert nach den verschiedenen Verkehrssituationen dargestellt. Ergänzend dazu ist die Reisegeschwindigkeit aufgetragen, mit der in HBEFA 2.1 die jeweilige Verkehrssituation beschrieben wird.

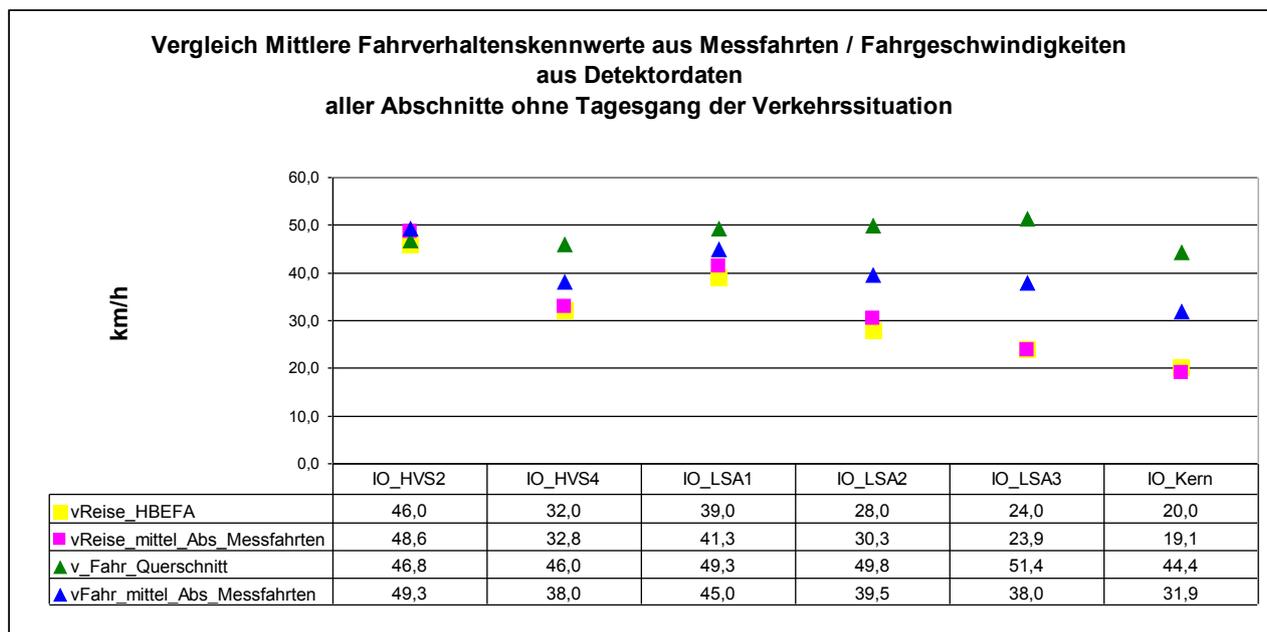


Abbildung 18: Vergleich Abschnittsparameter/Querschnittsparameter nach Verkehrssituationen

Danach zeigt sich, dass die Querschnittsfahrgeschwindigkeit allein kein verlässlicher Indikator für die Verkehrssituation im Abschnitt ist. So sinken die durch die Messfahrten ermittelten Abschnitts-Fahrgeschwindigkeiten von ca. 49 km/h (HVS2) auf ca. 32 km/h (Kern). Die Reisegeschwindigkeiten sinken entsprechend des steigenden Standanteils von 49 km/h auf 19 km/h. Dieser Verlauf spiegelt sich in den mittleren Querschnitts-Fahrgeschwindigkeiten der Detektoren jedoch nicht wider – dort liegen die Geschwindigkeiten relativ gleichbleibend zwischen 44 km/h und 50 km/h.

5 Analyse Taxi-FCD

Zur Untersuchung der Eignung der vorhandenen Taxi-FCD bzgl. Aussagen zur Verkehrssituation nach HBEFA 3.1 und somit zur Ermittlung der Emissionsfaktoren wurden an einem ausgewählten Straßenzug des Dresdner Hauptstraßennetzes die bei den Messfahrten erhobenen Fahrverhaltenskennwerte mit denen der Taxi-FCD verglichen. Über die Zuordnung der Fahrverhaltenskennwerte zu den Verkehrssituationen des HBEFA 3.1 wurden die sich daraus ergebenden Emissionsfaktoren verglichen.

5.1 Beschreibung des Untersuchungsabschnitts und -zeitraums

Als Untersuchungsstrecke wurde die Königsbrücker Straße in Dresden zwischen Hermann-Mende-Straße im Norden und Albertplatz im Süden gewählt. Sie ist eine Hauptverkehrsstraße und verbindet das Zentrum mit den Industrieansiedlungen und Stadtteilen bzw. Vororten im Norden der Stadt. Während sie im nördlichen Teil ab Einmündung Stauffenbergallee den typischen Charakter einer Ausfallstraße aufweist, ist die Nutzung im Südtteil durch anliegende Wohnungen, Geschäfte und Orte mit Aufenthaltsfunktion sehr viel heterogener. Ausdruck dieser Mischung ist ein hohes Aufkommen von MIV, Straßenbahn, Fuß- und Radverkehr. Straßenbahn und MIV teilen sich dabei, vom Albertplatz kommend, bis zur Stauffenbergallee eine überbreite Fahrspur, danach werden sie getrennt geführt. Aus Beobachtungen ist dabei die Qualität des Verkehrsflusses im Süden des Abschnitts als gering anzusehen, insbesondere in den Spitzenstunden. Deswegen wird die Königsbrücker Straße auch, soweit möglich, zu diesen Stunden vom durchgehenden Verkehr gemieden. Das betrifft auch die für den Taxiverkehr wichtige Route zum Flughafen, die bei besserer Verkehrsqualität über die Königsbrücker Straße verläuft. Insofern muss geprüft werden, ob auch in Spitzenstunden genug FCD auf dem Abschnitt gesammelt werden.

Analog der Messfahrtenuntersuchung wurde die betrachtete Strecke in drei Abschnitte unterteilt (siehe Abbildung 19). Der zeitliche Untersuchungsrahmen richtet sich nach der Verfügbarkeit der Daten. Die FCD sind dabei über einen sehr großen Zeitraum verfügbar und jeweils in der Datenbank quartalsweise abgelegt. Sie sind somit bzgl. des zeitlichen Untersuchungsrahmens unproblematisch, wobei sich ein Jahresquartal als Dauer des Zeitraumes als guter Kompromiss zwischen Vergleichbarkeit, Einfachheit der Datenerhebung und Stichprobengröße anbietet. Entsprechend dem Erhebungszeitraum der Messfahrten im November 2009 wurden zum Vergleich die Taxi-FCD des 4. Quartals des Jahres 2009 herangezogen.

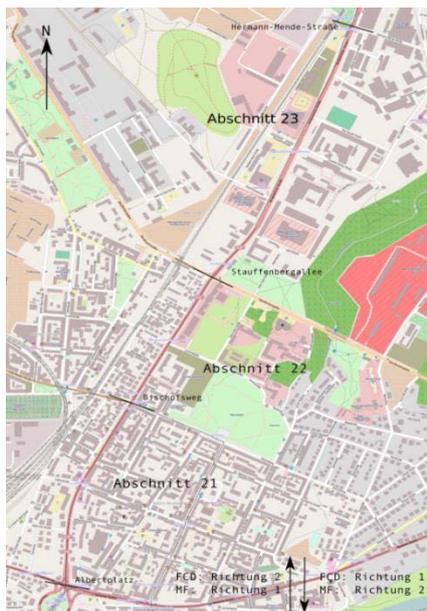


Abbildung 19: Abschnittsgliederung der Untersuchungsstrecke Dresden, Königsbrücker Straße

5.2 Auswertung der Floating Car Data

Basis für die Analyse sind die Fahrverhaltenskennwerte der FCD-Befahrungen, differenziert nach Abschnitt und Richtung. Insbesondere interessiert, inwiefern sich aus den Daten Unterschiede im Tages- und Wochenverlauf darstellen lassen. Dazu ist die Frage zu beantworten, welche Differenzierungen sinnvoll sind und sich mit der vorhandenen Datenlage realisieren lassen.

Hierzu soll zuerst die Anzahl der Fahrten im Tages- und Wochenverlauf betrachtet werden. Insgesamt gibt es 2.268 Befahrungen mit verwertbaren Fahrverhaltenskennwerten, die in Abbildung 20 und Abbildung 21 für die unterschiedlichen Abschnitte dargestellt sind. Es fällt auf, dass die Anzahl der Fahrten je Stunde nicht proportional zur Belegung der Straße ist. So gibt es in Zeiten mit allgemein niedrigerer Nachfrage, wie in den Nachtstunden, deutlich mehr Fahrten als in den Spitzenstunden am Tag. Dasselbe gilt für den Wochenverlauf, hier sind am Wochenende keinesfalls weniger, sondern eher mehr Fahrten als an einem durchschnittlichen Werktag gemessen worden. Trotz der insgesamt hohen Anzahl an Messungen erfordert dies eine vorsichtige Interpretation der Ergebnisse, weil insbesondere in den Spitzenstunden die Repräsentanz relativ gering ist. Des Weiteren fällt die große Streuung auf. So ist es nicht selten, dass sich die Anzahl der Fahrten zwischen zwei benachbarten Stunden bzw. der gleichen Stunde an zwei benachbarten Tagen mehr als verdoppelt.

Für die netzweite Anwendung stellt sich die Frage, inwiefern diese Aussagen auch für andere Teile des Hauptstraßennetzes gelten. Die Ursache für die Verteilung der Fahrten kann zwar in der Eigenschaft des Taxiverkehrs liegen, als hochpreisiges, aber auch hochverfügbares öffentliches Verkehrsmittel insbesondere in den Nebenstunden interessant zu sein, wenn Busse und Bahnen Angebotslücken aufweisen. Es können aber auch lokale Faktoren die Verteilung hervorrufen. Zum Beispiel kann die allgemein bekannte schlechte Verkehrsqualität der Königsbrücker Straße in den Spitzenstunden die Taxifahrer veranlassen, zu diesen Zeiten Ausweichrouten zu wählen.

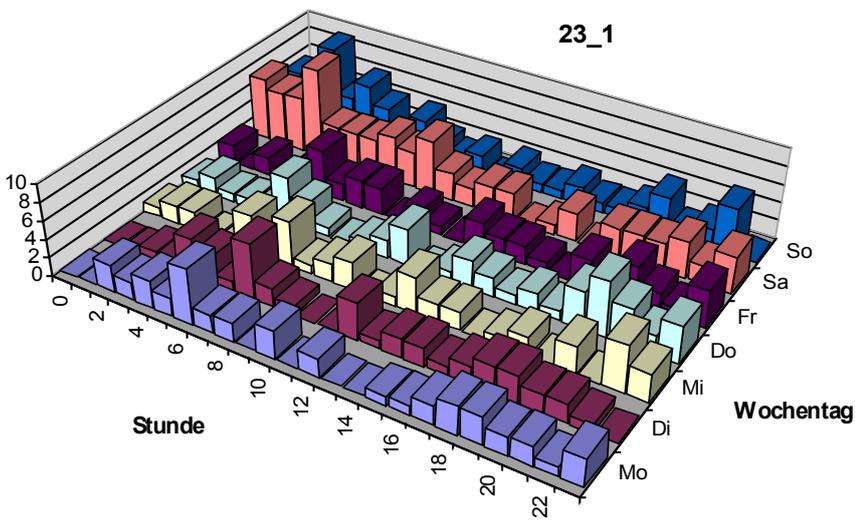
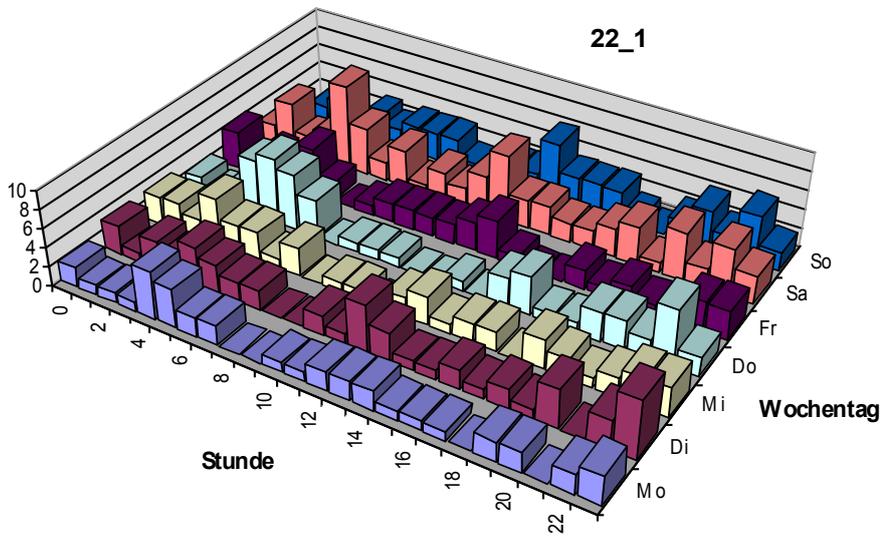
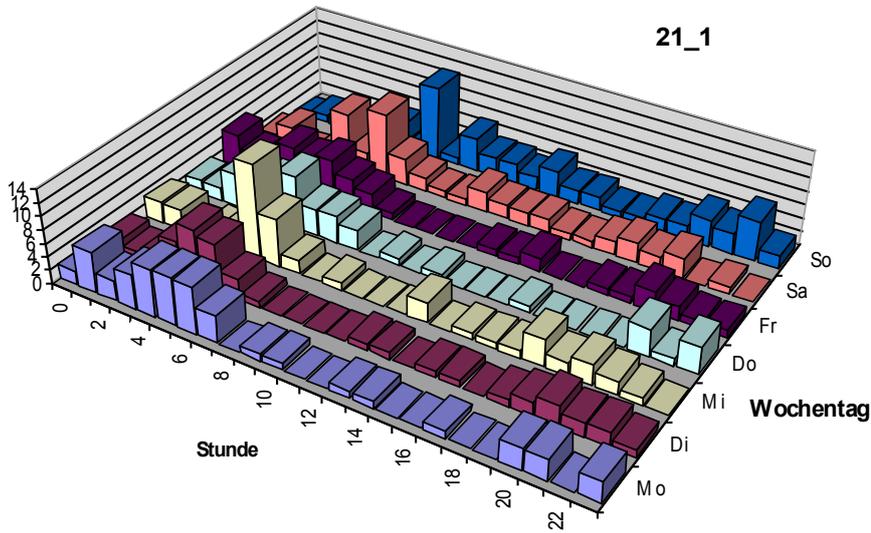


Abbildung 20: Anzahl Befahrungen FCD Richtung 1

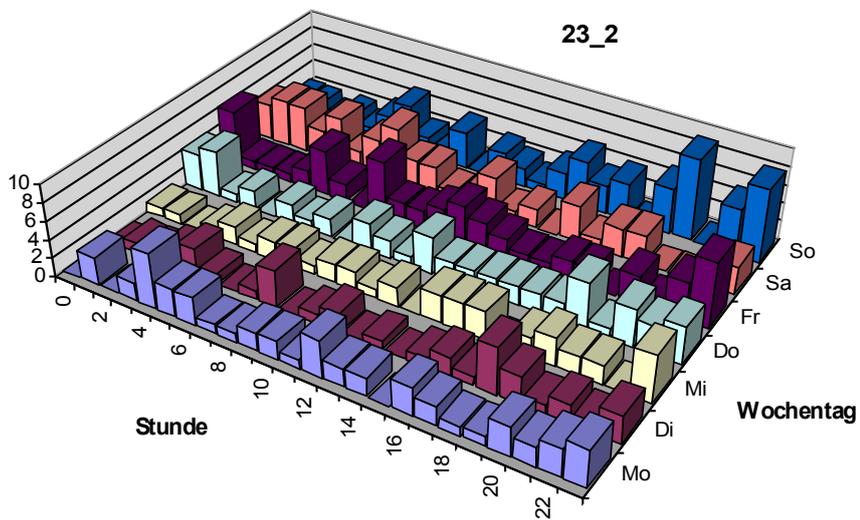
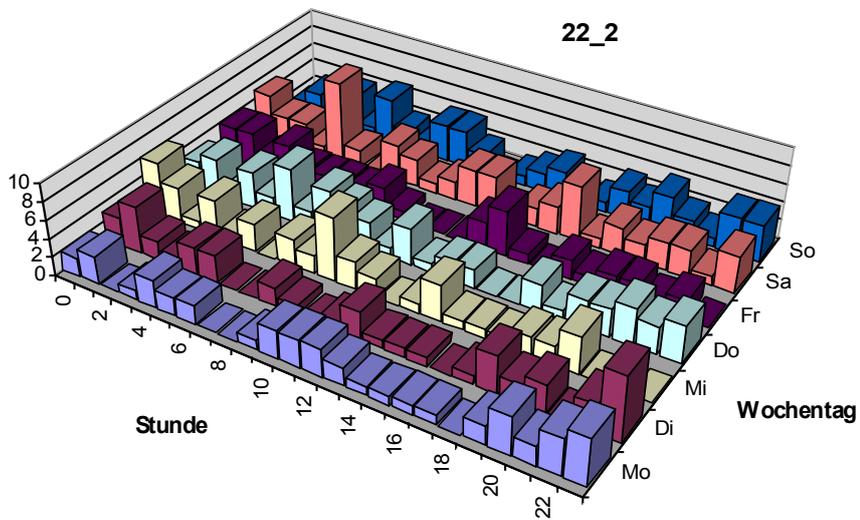
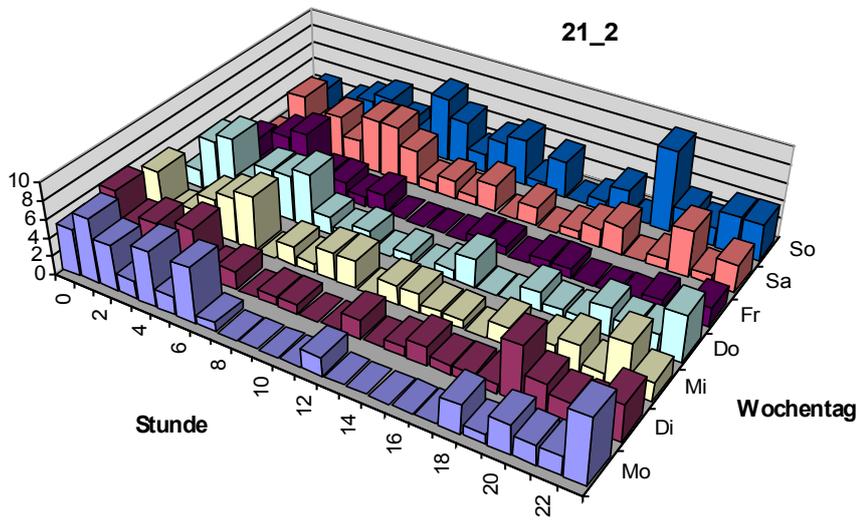


Abbildung 21: Anzahl Befahrungen FCD Richtung 2

Bei der Betrachtung aller Wochentage erlaubt die Datenlage problemlos eine Differenzierung nach Tagesstunden. Durch die relativ hohe Anzahl an Fahrten am Wochenende haben die Verkehrszustände am Samstag und Sonntag einen erhöhten Einfluss auf die Mittelwerte. Es findet praktisch bei allen beobachteten Abschnitten ein deutlicher Einbruch der Geschwindigkeit ab ca. 06:00 Uhr statt. Ausnahme ist dabei der Abschnitt 21 in auswärtiger Richtung, bei dem durchgängig eine niedrige Reisegeschwindigkeit gemessen wird. Der Anstieg der Geschwindigkeit zu den Nachtstunden geschieht deutlich langsamer im Intervall zwischen 18:00 Uhr und 21:00 Uhr. Der RPA und der Standanteil verlaufen weitestgehend parallel zueinander, jedoch entgegengesetzt zur Reisegeschwindigkeit. Zu erkennen sind auch Unterschiede zwischen den Abschnitten: So ist im Abschnitt 21, eng bebaut und mit vielen Querungsstellen, der RPA beinahe durchgängig höher als im Abschnitt 23, der eher den Charakter einer Ausfallstraße hat.

Bei Betrachtung des Wochenverlaufs ist deutlich ein Unterschied zwischen den Wochentagen Montag bis Freitag gegenüber Samstag und Sonntag festzustellen, der bei der reinen Betrachtung der Mittelwerte der Tagesstunden noch stärker auftritt. Dementsprechend erfolgte die Zusammenfassung der Wochentage zu den Gruppen Montag bis Freitag und Samstag bis Sonntag. Die Abbildung des Tagesverlaufes soll möglichst mit dem Intervall von einer Stunde aufgelöst bleiben, weil die Einbrüche in der Verkehrsqualität oft nicht länger dauern. Die Anzahl der Fahrten wird hierbei jedoch teilweise sehr gering, sodass zusätzlich die Parameter zu 2-Stunden-Intervallen zusammengefasst worden sind. Das Ergebnis dieser Differenzierung für die Werktage Montag bis Freitag ist in Abbildung 22 und Abbildung 23 dargestellt. Diese derart ermittelten Fahrverhaltenskennwerte der Taxi-FCD wurden für den Vergleich mit den Messfahrten herangezogen.

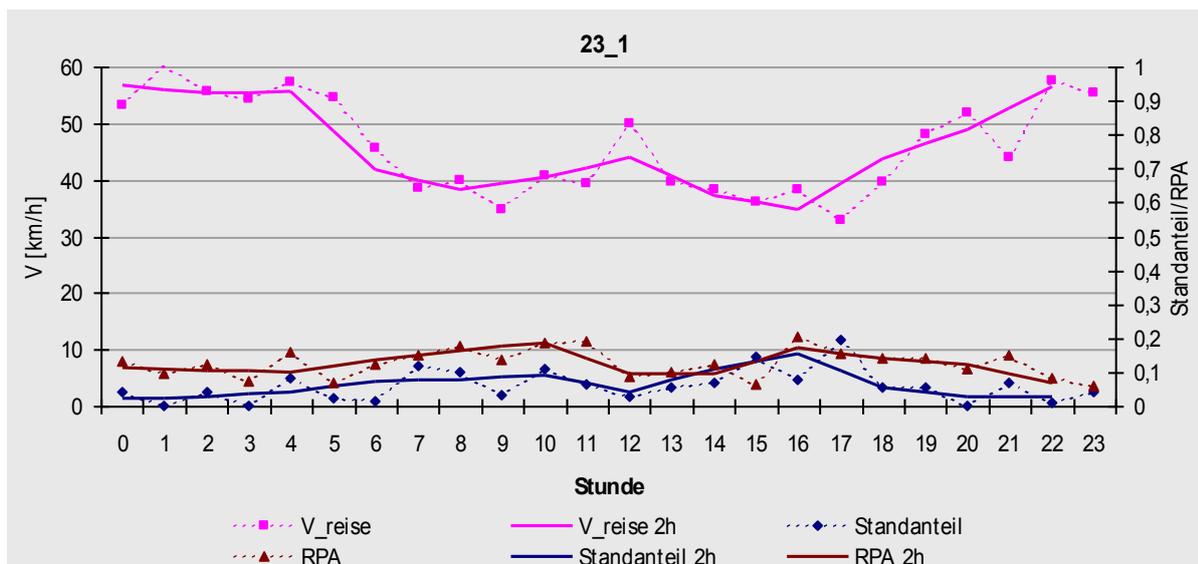
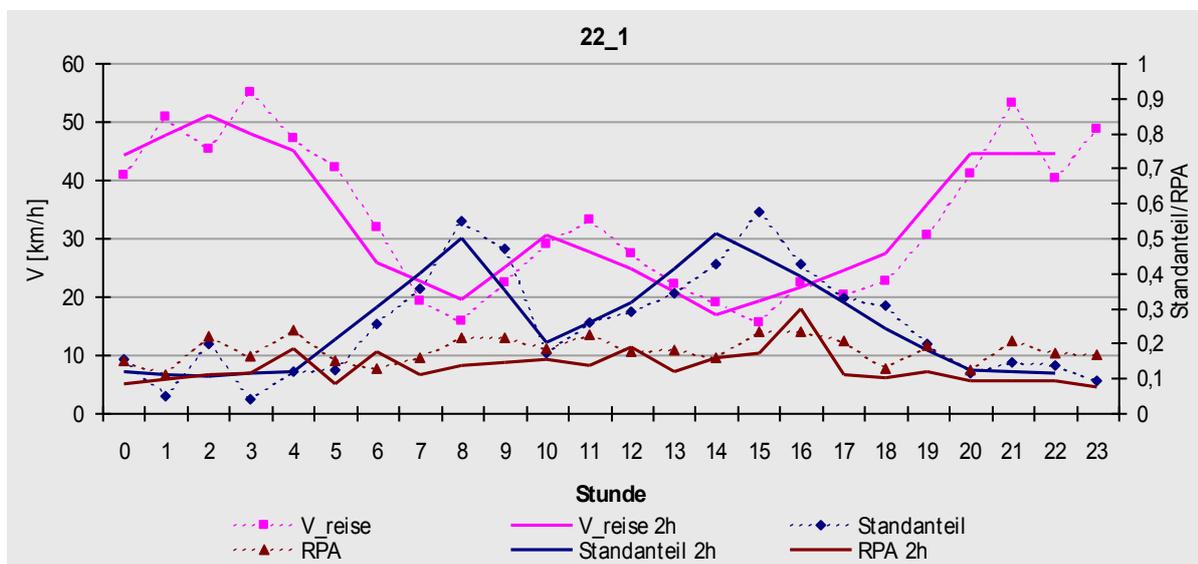
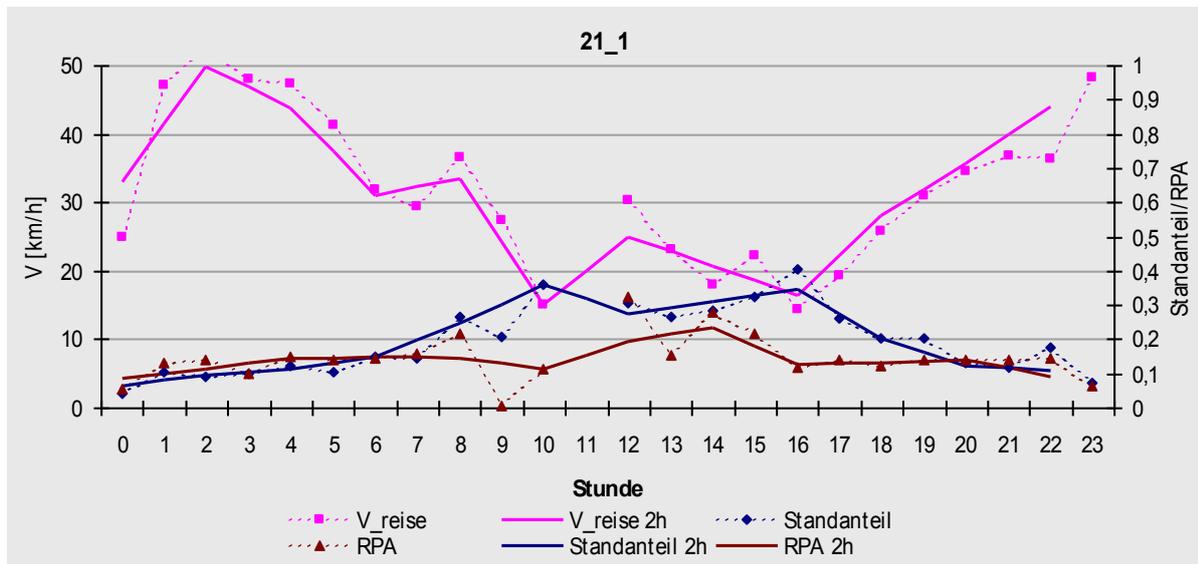


Abbildung 22: Fahrverhaltenskennwerte der FCD Montag bis Freitag nach Stunden, Richtung 1

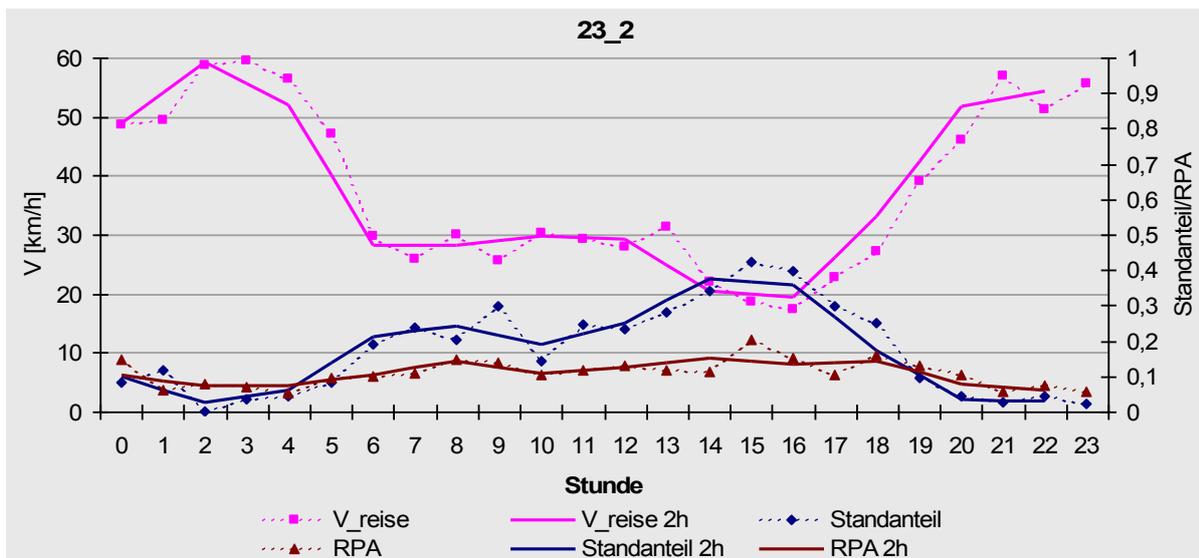
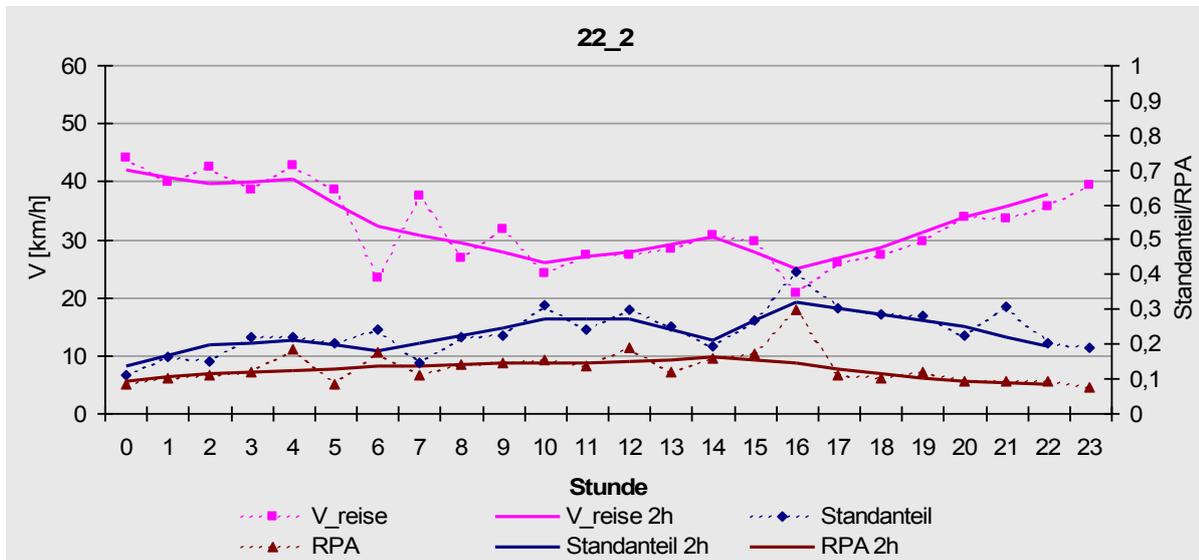
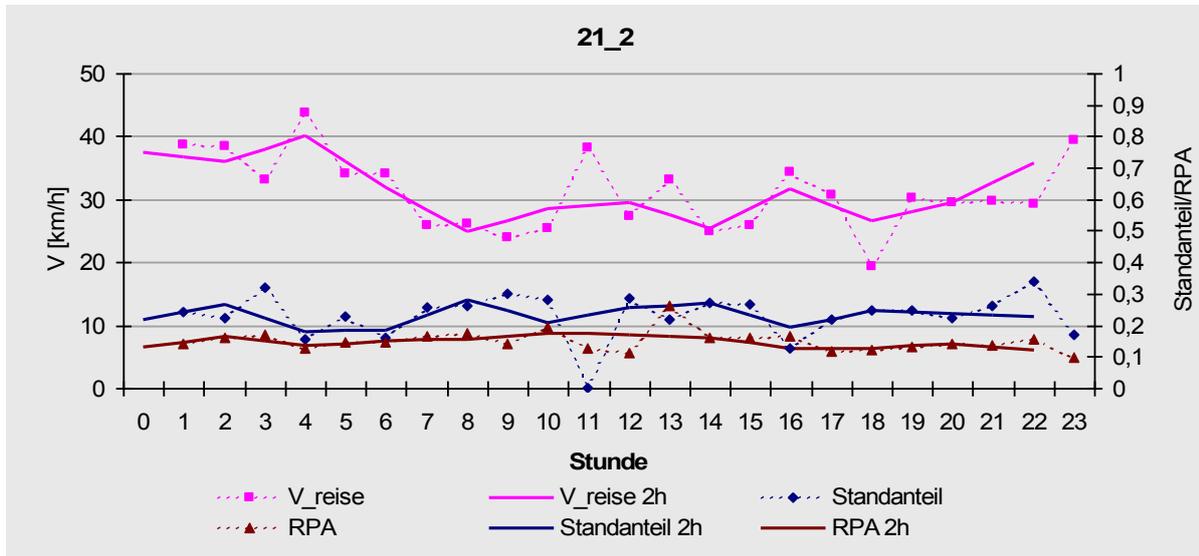


Abbildung 23: Fahrverhaltenskennwerte der FCD Montag bis Freitag nach Stunden, Richtung 2

5.3 Vergleich Taxi-FCD/Messfahrten

Nach Auswertung der bei den Messfahrten ermittelten Fahrverhaltenskennwerte nach HBEFA 3.1 wurden für die drei Abschnitte in den jeweiligen Richtungen die Tagesgänge der Verkehrssituationen ermittelt. Entsprechend des Erhebungszeitraumes der Messfahrten wurden für den Vergleich auch die Taxi-FCD für die Werktage Dienstag bis Donnerstag ausgewertet. Weil in diesem Zeitraum nicht genügend Fahrten für eine Betrachtung der Stundenintervalle zur Verfügung standen, fand eine Erweiterung des Intervalls auf zwei Stunden statt. Die Tagesgänge der Verkehrssituationen der Messfahrten und der Taxi-FCD für die richtungsgetrenten Untersuchungsabschnitte sind in den Tabellen im Anhang A2 dargestellt.

Nach dem Erstellen des Tagesganges der Verkehrssituationen aus den FCD wurde dieser mit dem der Messfahrten verglichen. Zur Darstellung, wie stark sich die Unterschiede in den Verkehrssituationen auf das Ergebnis der Emissionsberechnung auswirken, wurden die Emissionsfaktoren der zugeordneten Verkehrssituationen gegeneinander aufgetragen. In dieser Arbeit wurden dabei die Schadstoffe PM₁₀ und NO_x betrachtet.

Der Vergleich der in Abbildung 24 und Abbildung 25 dargestellten Emissionsfaktoren zeigt, dass die Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden sich zumeist in der gleichen Größenordnung befinden, die Emissionsfaktoren aus den Messfahrten jedoch tendenziell etwas höher sind. Die Ursache dieser systematisch erscheinenden Abweichung kann vielfältig sein, es ist somit vor allem schwer abzuleiten, welcher Wert repräsentativer ist. Die sehr starke Betonung der Morgen- und der Abendspitzen bei den Messfahrtdaten lässt sich aus der Methode zur Bildung der Cluster ableiten. Diese sucht gerade nach „scharfen“ Unterschieden, während die bei den FCD angewendete zeitliche Mittelwertbildung Spitzen eher dämpft. Dies gilt umso mehr, als dass für diese Betrachtung die fahrdynamischen Parameter über einem Intervall von zwei Stunden zusammengefasst worden sind. Diese Methode hat jedoch den Vorteil, dass sie stabil gegen Ausreißer ist. So wurde bei den Messfahrten in Richtung 2 aufgrund der Annahme einer ausgeprägten Spitze am Morgen und den wenigen vorhandenen Messungen auf eine deutlich schlechtere Verkehrssituation während dieser Zeit geschlossen. Dies kann durch die FCD-Messungen mit hoher Wahrscheinlichkeit widerlegt werden.

Eine weitere Ursache kann darin liegen, dass die Fahrverhaltenskennwerte der Messfahrten durch Mitschwimmen im Verkehr, also mit dem Ziel, möglichst repräsentative Werte für das allgemeine Verkehrsverhalten abzubilden, erhoben worden sind. Ein Taxi hingegen muss nicht zwangsläufig ein repräsentatives Fahrverhalten aufweisen, nicht zuletzt deshalb, weil dem Taxiverkehr als Bestandteil des ÖPNV-Systems im Straßenverkehr z. T. Sonderrechte wie beispielsweise die Benutzung von Busspuren eingeräumt werden.

Weiterhin ist es vorstellbar, dass die Taxi-Fahrten im unteren Geschwindigkeitsbereich bzw. mit hohen Standanteilen auf Grund der häufigeren Neuortung des GPS mit einer größeren Anzahl an Fehlwerten bei der Lokalisierung vertreten sind als Fahrten im oberen Geschwindigkeitsbereich. Diese langsameren Fahrten würden damit bei der Datenrecherche öfter als Datenausfall registriert und somit nicht in die Auswertung einbezogen werden, was wiederum den Mittelwert in Richtung der schnelleren Fahrten verschieben würde. Eine genaue Analyse dieser Vermutung wurde jedoch nicht vorgenommen.

Trotz der genannten Nachteile bzw. Unsicherheiten kann jedoch geschlossen werden, dass die Taxi-FCD in der vorliegenden Qualität, das heißt unter Einbeziehung der Fahrverhaltenskennwerte Reisegeschwindigkeit und RPA, zur Ermittlung der Verkehrssituation gut geeignet sind.

Bei einer netzweiten Auswertung der vorliegenden Taxi-FCD ist jedoch die Ermittlung der Fahrverhaltenskennwerte Reisegeschwindigkeit und RPA auf Grund der enormen Datenmengen mit vertretbarem Aufwand nicht praktikabel. Eine praktische Alternative liegt deshalb in der Verwendung mittlerer Reisezeiten der Fahrzeuge innerhalb eines Abschnitts. Diese Daten werden am Institut für Verkehrstelematik der Technischen Universität Dresden erfasst und quartalsweise archiviert. Im Weiteren wird deshalb ein praktikabler Ansatz zur Ermittlung der mittleren Verkehrssituationen für das gesamte Dresdner Hauptstraßennetz auf Basis der Reisezeiten der Taxi-FCD entwickelt und mit den Ergebnissen der Messfahrten verglichen.

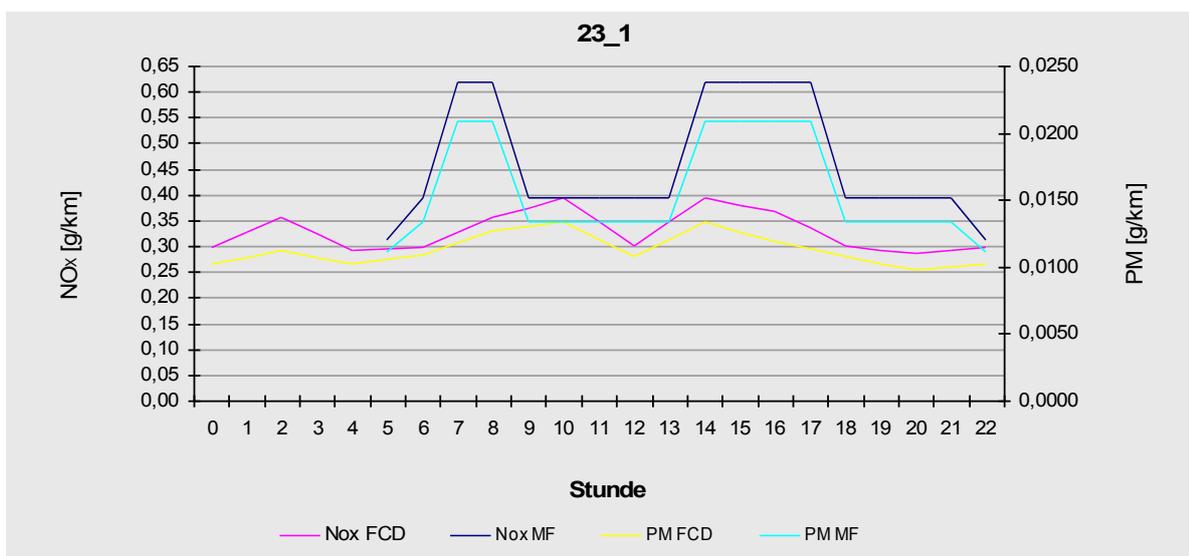
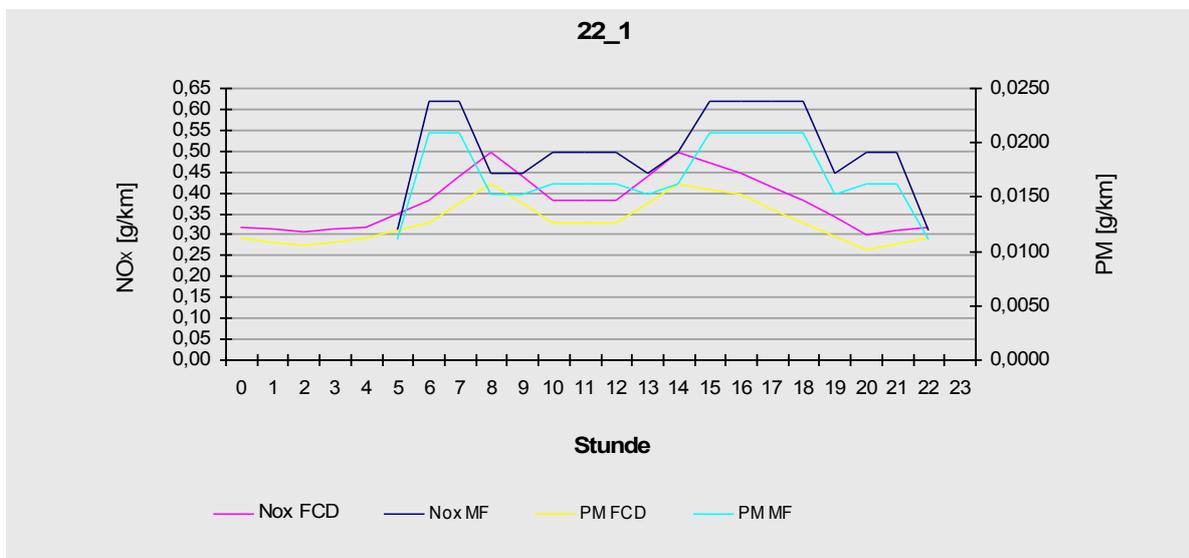
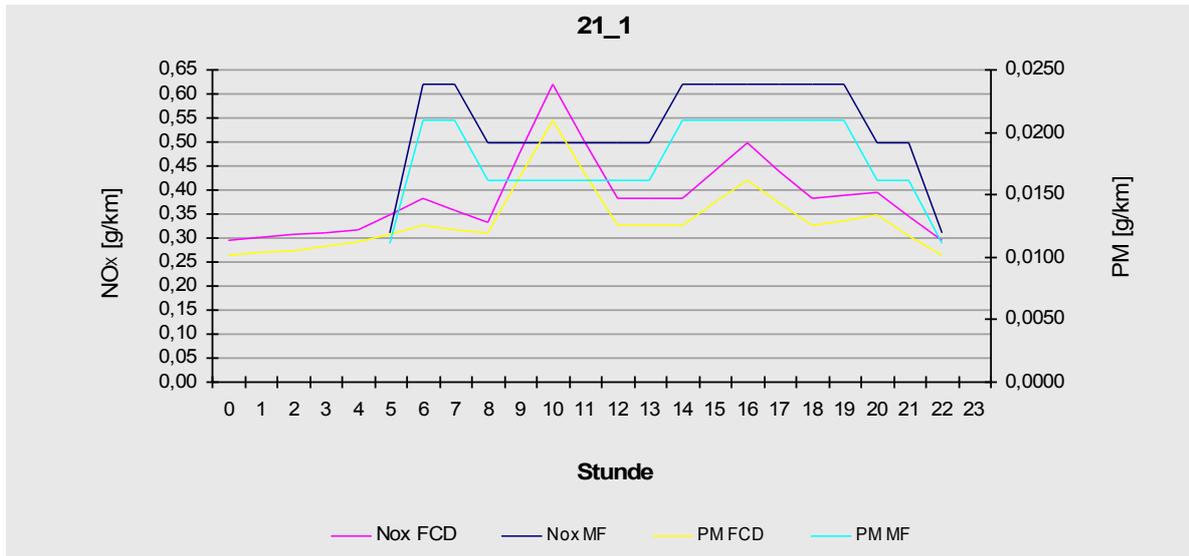


Abbildung 24: Vergleich der Emissionsfaktoren NO_x und motorbedingtes PM₁₀, Richtung 1

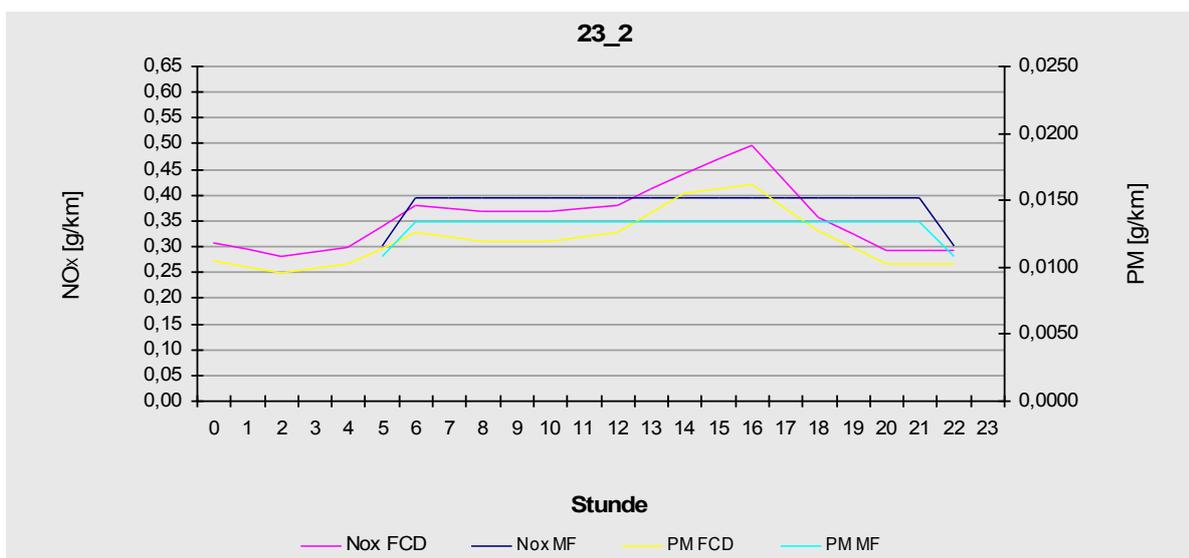
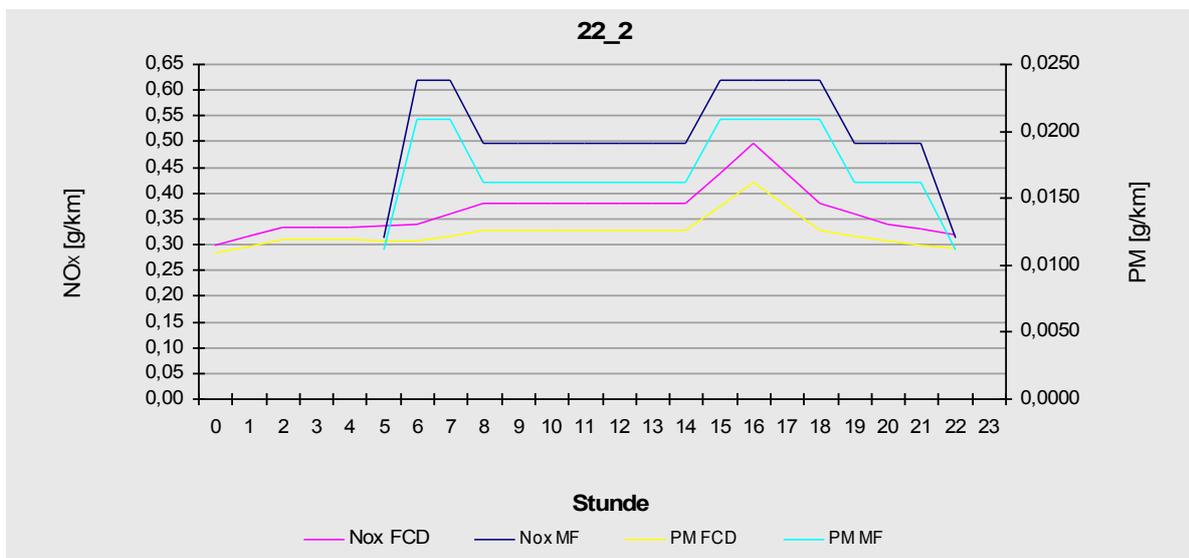
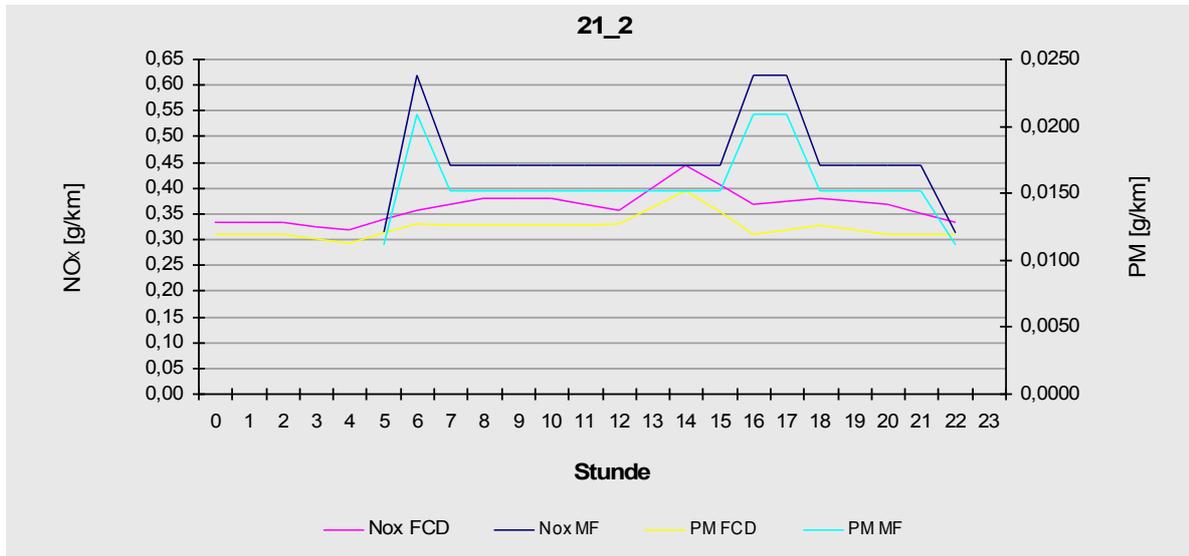


Abbildung 25: Vergleich der Emissionsfaktoren NO_x und motorbedingtes PM₁₀, Richtung 2

6 Entwicklung eines Ansatzes zur Bestimmung der mittleren Verkehrssituationen im Dresdner Hauptstraßennetz auf Basis der Taxi-FCD

Wie in Abschnitt 5 dargelegt, ist bei einer netzweiten Auswertung der vorliegenden Taxi-FCD die Ermittlung der Fahrverhaltenskennwerte Reisegeschwindigkeit und RPA auf Grund der enormen Datenmengen mit vertretbarem Aufwand nicht praktikabel. Eine Alternative liegt deshalb in der Verwendung mittlerer Reisezeiten der Taxi innerhalb eines Abschnitts. Diese Daten werden am Institut für Verkehrstelematik der Technischen Universität Dresden erfasst und quartalsweise archiviert. Es wird deshalb ein praktikabler Ansatz zur Ermittlung der mittleren Verkehrssituationen nach HBEFA 3.1 für das gesamte Dresdner Hauptstraßennetz auf Basis der Reisezeiten der Taxi-FCD entwickelt und mit den Ergebnissen der Messfahrten verglichen. Insbesondere werden Aussagen getroffen, inwieweit sich der „fehlende“ RPA auf die Ermittlung der Verkehrssituation und somit auf die Emissionsfaktoren auswirkt.

Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

- Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Abdeckung der Taxi-FCD des in Abbildung 26 dargestellten Untersuchungsnetzes im Innerortsbereich der Messfahrten Dresden 2009
- Entwicklung einer Methodik zur Ableitung der mittleren Verkehrssituation nach HBEFA 3.1 auf Basis der Reisegeschwindigkeit
- Erstellung einer Schlüsselbrücke zur Abschnitts- und Richtungszuordnung der Teilabschnitte der Taxi-FCD zu den Messfahrtabschnitten im GIS
- Abschnitts- und richtungsspezifischer Vergleich der Reisegeschwindigkeiten sowie der sich daraus ergebenden Emissionsfaktoren der Taxi-FCD mit denen der Messfahrten
- Diskussion der Ergebnisse und Bewertung der Eignung des entwickelten Ansatzes

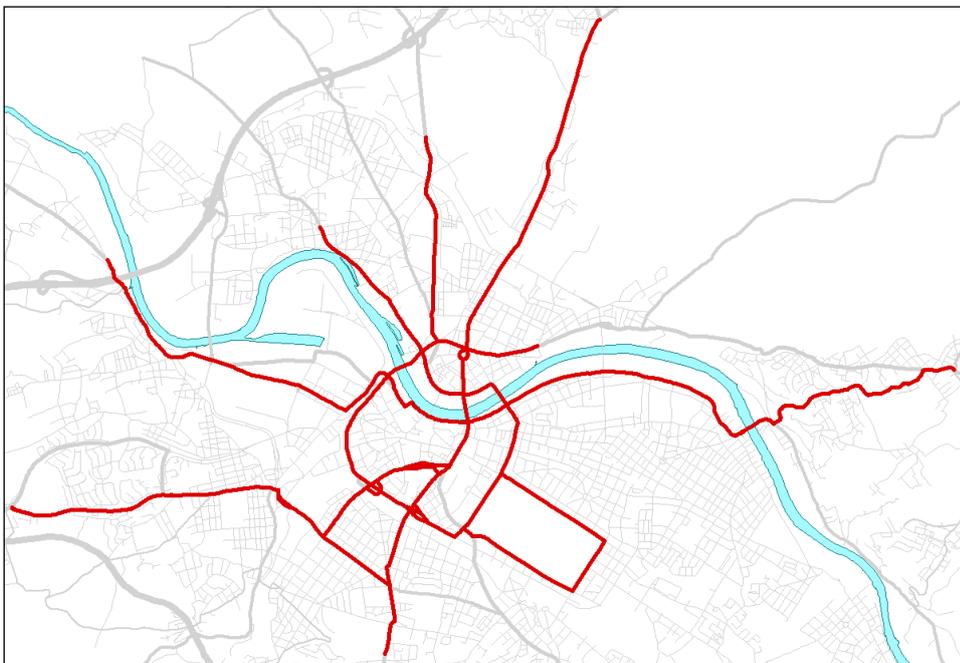


Abbildung 26: Streckenauswahl für die Ermittlung von Emissionsfaktoren

6.1 Datenlage

In die Untersuchung wurden die Taxi-FCD der Teilbefahrungen einbezogen. In diesen Datensätzen liegen die Reisezeiten für alle Netzabschnitte zwischen zwei Hauptknoten richtungsgetreunt vor. Dabei werden die Daten unabhängig davon erfasst, ob das Fahrzeug den kompletten Abschnitt befahren hat oder an Zwischenknoten in den Abschnitt eingefahren ist bzw. ihn bereits vor dem Hauptknoten wieder verlassen hat. Dies hat zur Folge, dass für die Teilabschnitte zwischen zwei Hauptknoten unterschiedlich viele Reisezeit-Stichproben zur Verfügung stehen können (siehe Abbildung 27).

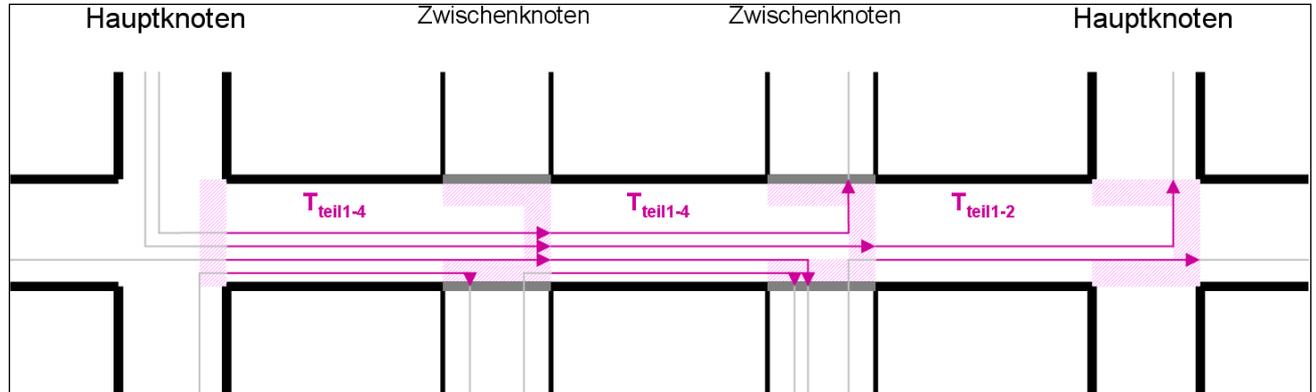


Abbildung 27: Prinzip der Teilbefahrungen

In der Untersuchung wurden die Reisezeitinformationen aller verfügbaren Befahrungen des in Abbildung 26 dargestellten Untersuchungsnetzes aus dem 3. Quartal 2011 einbezogen. Abbildung 28 zeigt exemplarisch die Struktur der Datensätze der Teilbefahrungen der Taxi-FCD.

ZEIT	ORI_ID_ABS	RI_ABS	T
2011-07-01 00:00:33	1010	1	10,27
2011-07-01 01:38:03	1010	1	9,1
2011-07-01 01:41:50	1010	1	18,51
2011-07-01 02:46:41	1010	1	11,11
2011-07-01 02:50:45	1010	1	11,39

Dabei bedeuten:

ZEIT	Zeitstempel
ORI_ID_ABS	Strecken-Identifikator
RI_ABS	Richtungssinn
T	Reisezeit in s

Abbildung 28: Datenstruktur der Teilbefahrungen der Taxi-FCD

Auf Basis des Zeitstempels der Teilbefahrungen wurden die Datensätze nach Wochentagen und Zeitscheibe sowie nach dem Kriterium, ob der Datensatz innerhalb der sächsischen Schulferien lag oder nicht, gefiltert. Zur zeitlichen Differenzierung wurde in die Zeitscheiben der Einzelstunden in der Zeit von 06:00 Uhr bis 21:00 Uhr sowie die des gesamten Nachtzeitraums zwischen 21:00 Uhr und 06:00 Uhr unterschieden.

In Abbildung 29 ist die Anzahl der vorliegenden Datensätze der Taxi-FCD auf dem Untersuchungsnetz aus dem 3. Quartal 2011, differenziert nach Wochentagen und nach Ferienzeit, dargestellt. Aus den insgesamt ca. 2,2 Mio. Datensätzen wurden alle Fahrten in die Untersuchung einbezogen, die an den Werktagen Dienstag bis Donnerstag außerhalb der sächsischen Schulferien absolviert wurden. Analog der Vorgehensweise der Messfahrten wurde dieser Zeitraum bzgl. der Verkehrszustände als repräsentativ angesehen.

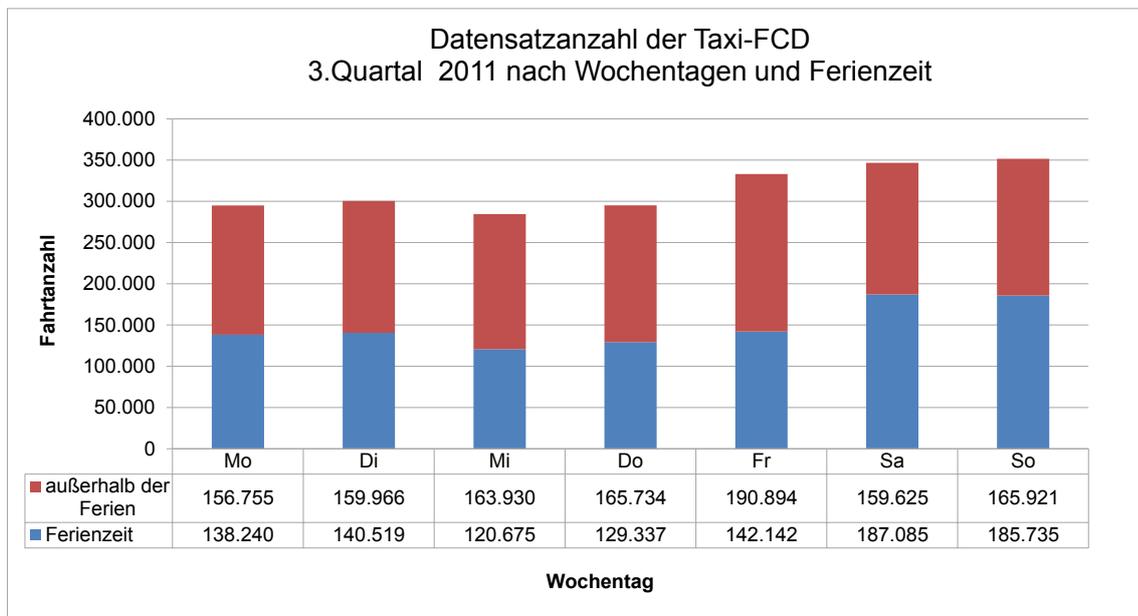


Abbildung 29: Datensatzanzahl der Taxi-FCD nach Wochentag und Ferienzeit

In Abbildung 30 ist die mittlere Fahrtanzahl pro Teilabschnitt für den in die Auswertung einbezogenen Zeitraum Dienstag-Donnerstag außerhalb der sächsischen Schulferien differenziert nach Zeitscheiben dargestellt. Danach zeigt sich, dass während der Tagesstunden zwischen 06.00 Uhr und 21.00 Uhr im Durchschnitt zwischen 28 und 33 Fahrten pro Abschnitt und Richtung vorliegen. Im Vergleich zu den Messfahrten, wo pro Abschnitt und Richtung lediglich 1 bis 2 Fahrten vorliegen, ist der Datensatz der Taxi-FCD deutlich umfangreicher. Bis auf wenige Abschnitte, auf denen nicht für jede Stunde des Tages eine Fahrt vorlag, ist eine räumliche und zeitliche Abdeckung der Taxi-FCD bzgl. des Untersuchungsnetzes der Messfahrten gegeben.

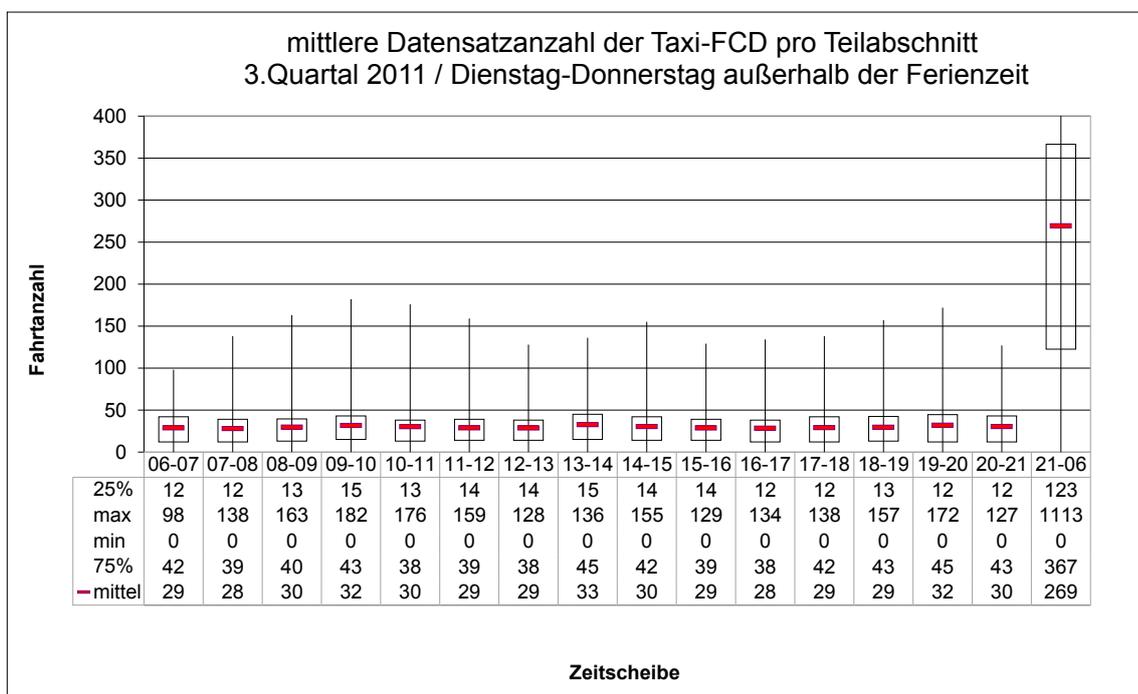


Abbildung 30: Mittlere Datensatzanzahl der Taxi-FCD pro Teilabschnitt im Zeitraum Dienstag bis Donnerstag außerhalb der sächsischen Schulferien

6.2 Ableitung der mittleren Verkehrssituation nach HBEFA 3.1 auf Basis der Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD

Wie in Abschnitt 3.1.1 erläutert, wird das Fahrverhalten der Verkehrssituationen in HBEFA 3.1 über die Fahrverhaltenskennwerte Reisegeschwindigkeit, RPA und Standanteil beschrieben. In Abhängigkeit vom betrachteten Schadstoff korrelieren die Fahrverhaltenskennwerte mit dem jeweiligen Emissionsfaktor.

Das Ziel des vorliegenden Projekts – die Ermittlung der Verkehrssituation auf der Basis vorhandener Datenquellen – erfolgt vor dem Hintergrund der Emissionsmodellierung im Rahmen der Luftreinhaltung. Darin liegt der Fokus auf der Reduzierung der NO₂- und PM₁₀-Emissionen. Die PM₁₀-Emissionen berechnen sich jedoch nur zum Teil aus den motorbedingten Emissionsfaktoren des HBEFA, der PM₁₀-Anteil aus Abrieb und Aufwirbelung wird über Emissionsfaktoren aus anderen Datenquellen abgebildet. Die PM₁₀-Emissionsfaktoren aus Abrieb und Aufwirbelung sind zwar auch an HBEFA-Verkehrssituationen gebunden, die Höhe der Emissionsfaktoren korreliert dabei jedoch sehr stark mit dem Verkehrsfluss (LOS) und weitaus weniger mit der Reisegeschwindigkeit (LOHMEYER 2011). Eine Korrelation der Fahrverhaltenskennwerte mit den Gesamt-PM₁₀-Emissionsfaktoren ist deshalb nicht bekannt. Die Zuordnung der Verkehrssituationen erfolgte deshalb auf Basis der Korrelation der Fahrverhaltenskennwerte mit dem NO_x-Emissionsfaktor.

In der Abbildung 31 ist die Korrelation der NO_x-Emissionsfaktoren der PKW (Flottenzusammensetzung 2012 nach HBEFA 3.1) aller HBEFA 3.1-Verkehrssituationen mit einer Reisegeschwindigkeit kleiner 70 km/h, das heißt aller Verkehrssituationen, die bzgl. ihres Fahrverhaltens im Innerortsbereich relevant sind, mit den Fahrverhaltenskennwerten RPA, Standanteil und Reisegeschwindigkeit dargestellt. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Emissionsfaktoren zu gewährleisten, wurden sämtliche Emissionsfaktoren, also auch die der Außerorts- und Autobahnverkehrssituationen, mit der HBEFA-Innerorts-Flottenzusammensetzung der PKW 2012 gewichtet.

Die Betrachtung der Korrelation zwischen NO_x-Emissionsfaktor und RPA lässt bei allen Verkehrssituationen im Reisegeschwindigkeitsbereich zwischen ca. 30 km/h und 70 km/h einen annähernd linearen Verlauf erkennen. Lediglich bei den Innerorts-, Außerorts- und Autobahn- Stop&Go-Verkehrssituationen ist diese Korrelation nicht mehr gegeben.

Eine Korrelation zwischen Standanteil und NO_x-Emissionsfaktor ist nicht erkennbar. Im unteren Geschwindigkeitsbereich korreliert der Standanteil tendenziell mit der Reisegeschwindigkeit (siehe Abbildung 32).

Bei der Darstellung des NO_x-Emissionsfaktors über der Reisegeschwindigkeit in Abbildung 31 zeigt sich eine relativ gute Korrelation. Im Bereich zwischen ca. 30 km/h und 70 km/h ist diese Korrelation annähernd linear, bei Betrachtung des gesamten Geschwindigkeitsspektrums zeigt sich durch den starken Anstieg des Emissionsfaktors im unteren Geschwindigkeitsbereich insbesondere durch die Emissionsfaktoren der Stop&Go-Verkehrssituationen ein tendenziell quadratischer Verlauf.

Die Streuung der Werte ist jedoch relativ stark. So liegen die Emissionsfaktoren der Verkehrssituationen mit einer Reisegeschwindigkeit von ca. 30 km/h zwischen 0,28 g/km und 0,44 g/km. Ursache für die unterschiedlichen Emissionsfaktoren bei relativ gleicher Reisegeschwindigkeit ist der Einfluss des RPA. In Abbildung 33 ist der Einfluss des RPA auf die NO_x-Emissionsfaktoren für ausgewählte Gruppen von Verkehrssituationen mit jeweils annähernd gleicher Reisegeschwindigkeit dargestellt. Darin zeigt sich deutlich der Einfluss des RPA.

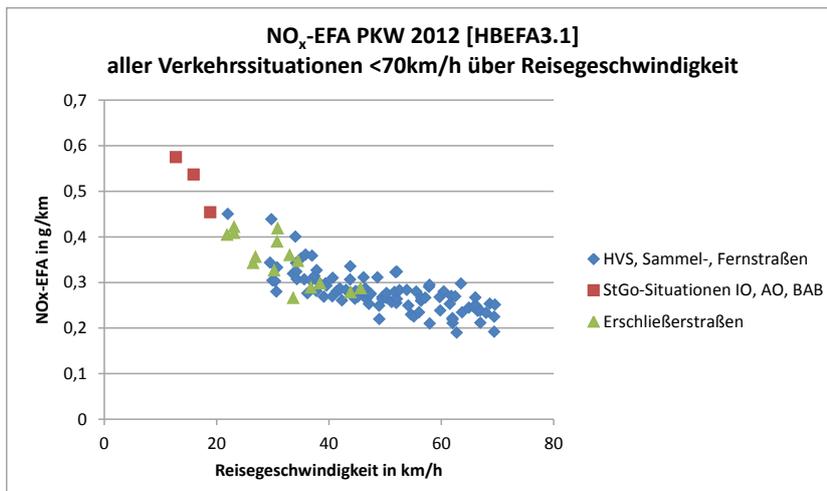
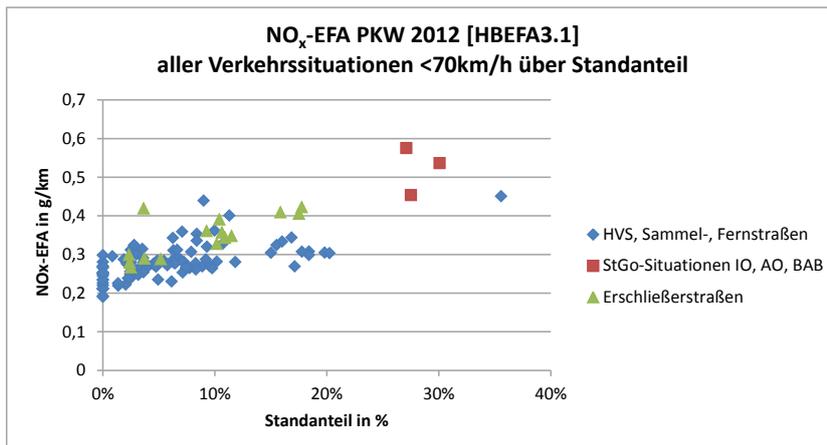
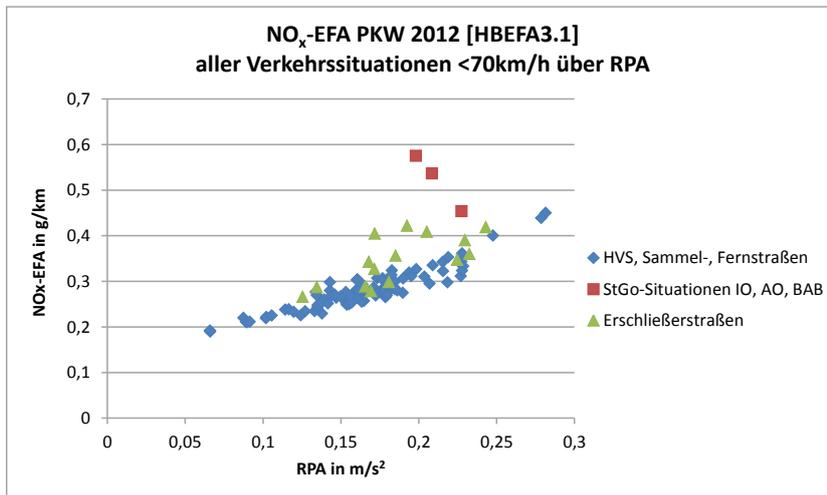


Abbildung 31: Korrelation der NO_x-Emissionsfaktoren PKW 2012 aller HBEFA 3.1-Verkehrssituationen mit einer Reisegeschwindigkeit kleiner 70 km/h mit den Fahrverhaltenskennwerten RPA (oben), Standanteil (Mitte) und Reisegeschwindigkeit (unten)

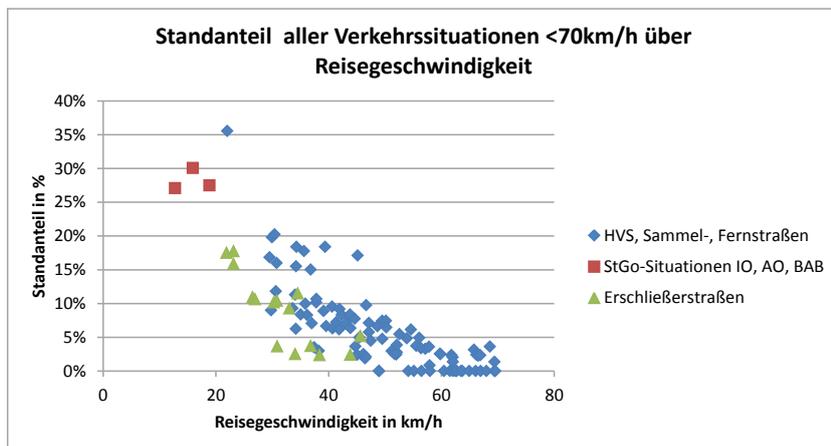


Abbildung 32: Korrelation des Standanteils mit der Reise-geschwindigkeit aller HBEFA 3.1-Verkehrssituationen mit einer Reise-geschwindigkeit kleiner 70 km/h

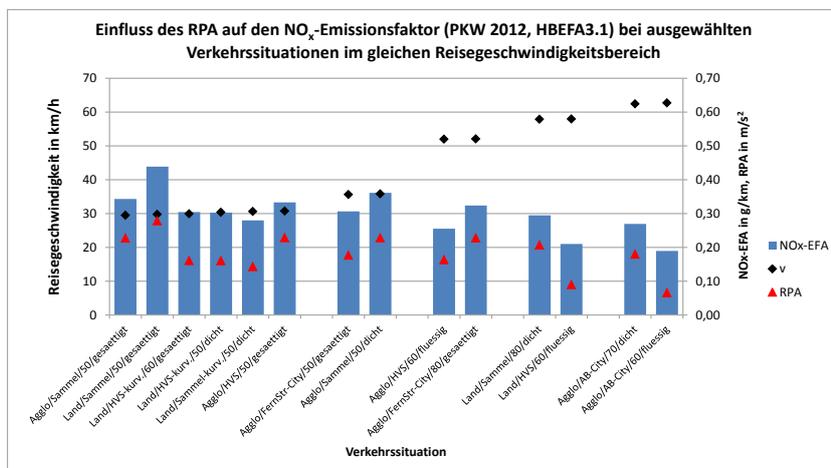


Abbildung 33: Einfluss des RPA auf den NO_x -Emissionsfaktor (PKW 2012, HBEFA 3.1) bei ausgewählten Verkehrssituationen im gleichen Reise-geschwindigkeitsbereich

Eine Ableitung der Verkehrssituation allein über die Reise-geschwindigkeit ohne Berücksichtigung des RPA ist somit mit Unsicherheiten verbunden. Die Zuordnung der Verkehrssituationen aus den Daten der Messfahrten in Dresden 2009 erfolgte deshalb auf Basis der Reise-geschwindigkeit und des RPA über eine nichtlineare Regressionsfunktion der Form

$$\text{NO}_x\text{-EFA} = a + b \cdot v + c \cdot v^2 + x \cdot \text{RPA} + y \cdot \text{RPA}^2.$$

Weil die Ableitung der Verkehrssituationen aus den Teilbefahrungen der Taxi-FCD jedoch ausschließlich über die Reise-geschwindigkeit erfolgt, wurde für die Zuordnung die Anzahl der verfügbaren Verkehrssituationen eingeschränkt. Es wurden deshalb nur solche Verkehrssituationen in die Regressionsfunktion eingebunden, die nach den formalen Kriterien „Gebiet“ und „Straßentyp“ prinzipiell in Frage kommen.

Weil im Messnetz Dresden 2009 keine Erschließungsstraßen befahren wurden, wurden diese aus dem Wertebereich der zuordenbaren Verkehrssituationen ausgeschlossen. Ebenfalls wurden Verkehrssituationen mit dem Gebietstyp „Land“ und Verkehrssituationen mit einem Tempolimit > 70 km/h nicht zugeordnet. Das bedeutet nicht, dass auf Dresdens Hauptstraßen bzgl. der Fahrverhaltenskennwerte keine Verkehrssituationen auftreten können, die in dieser Auswahl nicht enthalten sind. Diese Vereinfachung wurde lediglich auf Grund der mangelnden Differenzierungsmöglichkeit durch den fehlenden RPA getroffen. Die Auswahl der Verkehrssituationen, die zur Zuordnung der Reise-geschwindigkeiten der Taxi-FCD für das Dresdner Hauptstraßennetz getroffen wurde, ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Relevante Innerorts-Verkehrssituationen zu Zuordnung der Taxi-FCD

Gebiet	Straßentyp	LOS	Tempolimit 50	Tempolimit 60	Tempolimit 70
Agglo	FernStr-City	dicht	x	x	x
Agglo	FernStr-City	fluessig	x	x	x
Agglo	FernStr-City	gesaettigt	x	x	x
Agglo	HVS	dicht	x	x	x
Agglo	HVS	fluessig	x	x	x
Agglo	HVS	gesaettigt	x	x	x
Agglo	HVS	Stop&Go ¹⁾	x		
Agglo	Sammel	dicht	x	x	
Agglo	Sammel	fluessig	x	x	
Agglo	Sammel	gesaettigt	x	x	

¹⁾ Innerorts-Verkehrssituationen mit LOS Stop&Go unterscheiden sich im Fahrtverlauf und EFA nicht. Diese Verkehrssituation steht stellvertretend für alle Innerorts-Verkehrssituationen mit LOS Stop&Go.

Auf Basis der Reisegeschwindigkeiten der in Tabelle 3 aufgeführten Verkehrssituationen wurde eine Regressionsfunktion mit den NO_x-Emissionsfaktoren der PKW – gewichtet mit der mittleren deutschen Flottenzusammensetzung für das Jahr 2012 nach HBEFA 3.1 – abgeleitet (siehe Abbildung 34).

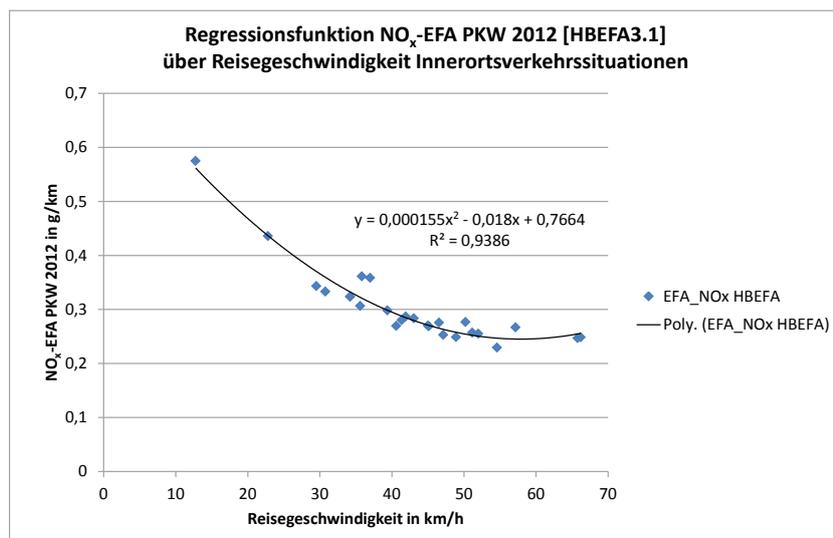


Abbildung 34: Regressionsfunktion Reisegeschwindigkeit aller relevanten Innerorts-Verkehrssituationen über NO_x-EFA PKW 2012 (HBEFA 3.1)

Mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,93 wird die Korrelation von Reisegeschwindigkeit und NO_x-Emissionsfaktor für die ausgewählten Verkehrssituationen über die dargestellte Regressionsfunktion sehr gut abgebildet. Die Korrelation und somit die Regressionsfunktion zwischen Reisegeschwindigkeit und NO_x-Emissionsfaktor ist jedoch bei den einzelnen PKW-Konzepten, insbesondere zwischen Benzin- und Diesel-PKW unterschiedlich (siehe Abbildung 35). Mit veränderter Flottenzusammensetzung ändert sich demnach auch die Korrelationsfunktion. Abbildung 36 zeigt den Vergleich der Regressionsfunktionen der NO_x-Emissionsfaktoren über der Reisegeschwindigkeit für die PKW der Flottenzusammensetzung 2012 und 2020.

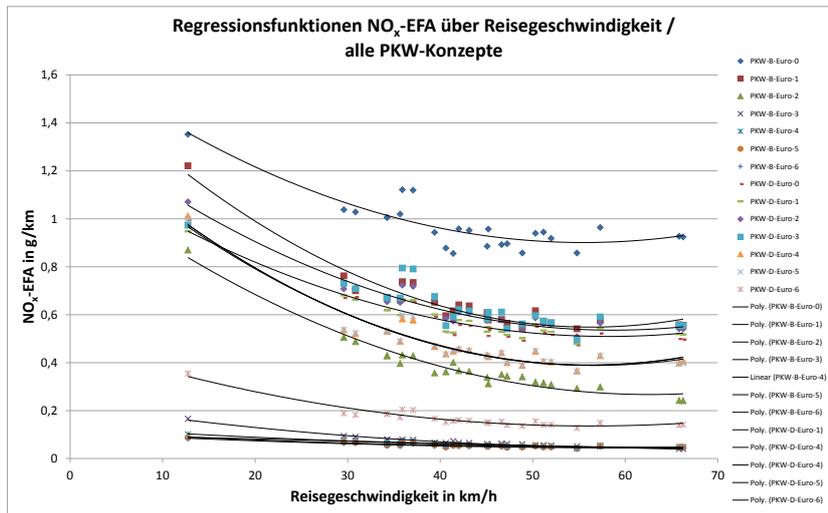


Abbildung 35: Regressionsfunktionen NO_x -EFA über Reisegeschwindigkeit, alle PKW-Konzepte

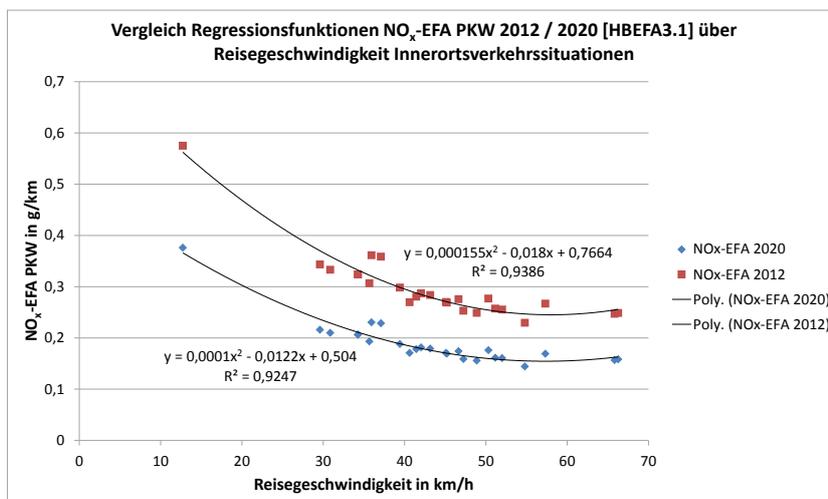


Abbildung 36: Vergleich Regressionsfunktionen NO_x -EFA PKW 2012/2020 über Reisegeschwindigkeit Innerortsverkehrssituationen (HBEFA 3.1)

Obwohl die Ermittlung der Verkehrssituation wie o. g. auf Basis der Regression von NO_x -Emissionsfaktor über Reisegeschwindigkeit erfolgt, wurde zur Einordnung eine Regressionsfunktion der motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren ermittelt (siehe Abbildung 37). Nach Zuordnung der Teilabschnitte der Taxi-FCD zu den Messfahrabschnitten (siehe Kapitel 6.3) erfolgte eine Betrachtung der Abweichungen der Emissionsfaktoren der mit unterschiedlichen Regressionsfunktionen zugeordneten Verkehrssituation (siehe Abbildung 38).

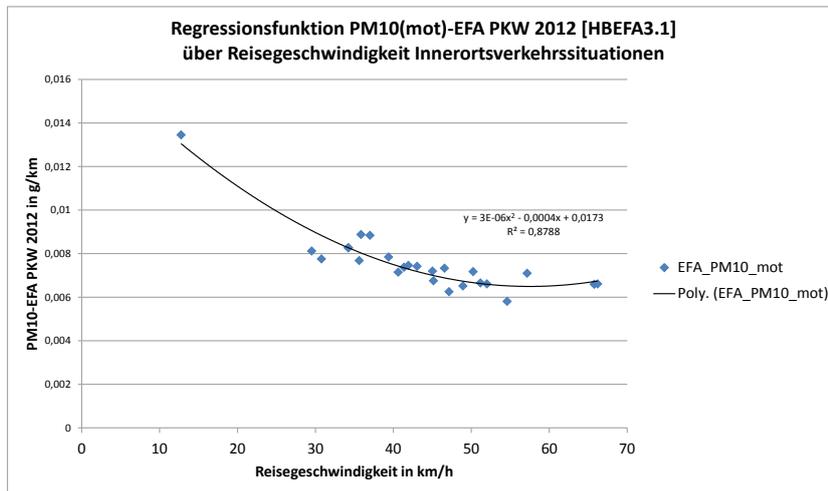


Abbildung 37: Regressionsfunktion PM10(mot)-EFA PKW 2012 (HBEFA 3.1) über Reisegeschwindigkeit Innerorts-Verkehrssituationen

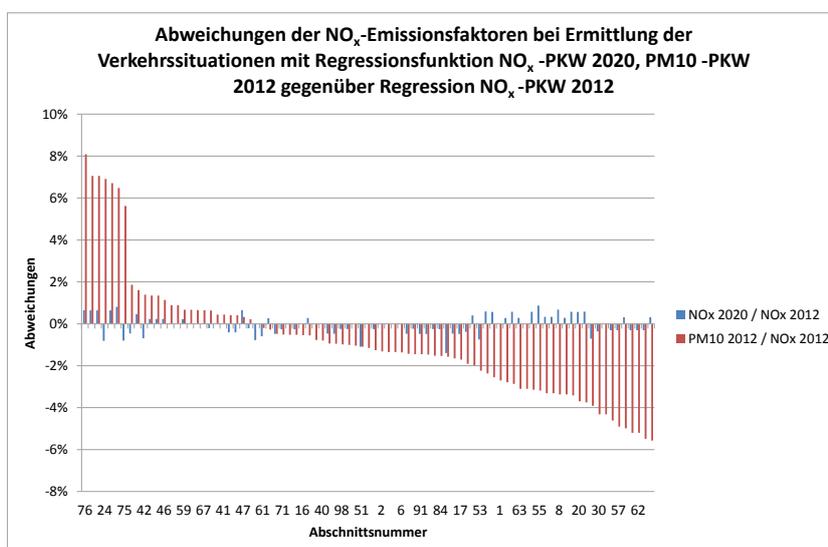


Abbildung 38: Abweichungen der NO_x-Emissionsfaktoren bei Ermittlung der Verkehrssituationen mit den Regressionsfunktionen NO_x – PKW 2020 und PM10 – PKW 2012 gegenüber Regression NO_x – PKW 2012

Die in Abbildung 38 dargestellten Abweichungen der Emissionsfaktoren der über die verschiedenen Regressionsfunktionen abgeleiteten Verkehrssituationen liegen beim Vergleich der Regressionsfunktionen über die NO_x-Emissionsfaktoren der PKW mit den Flottenzusammensetzungen 2012 und 2020 im 1 % - Bereich und sind somit vernachlässigbar. Bei Verwendung der PM10-Regression würden gegenüber der NO_x-Regression mit maximal 5 % tendenziell leicht geringere Emissionen abgeleitet werden. Der Grund dafür liegt in dem geringfügig steileren Anstieg der PM10-Regression-Funktion, was tendenziell zu geringeren Stop&Go-Anteilen führt.

Auf Grund des relativ geringen Einflusses des Bezugsjahres der Flottenzusammensetzung und des betrachteten Schadstoffs erfolgte die Zuordnung der Verkehrssituation über die in Abbildung 34 dargestellte Regressionsfunktion der NO_x-Emissionsfaktoren PKW 2012. Dazu wurde zunächst entsprechend der Reisegeschwindigkeit ein Emissionsfaktor berechnet. Ausgehend von diesem Emissionsfaktor wurde die Verkehrssituation mit dem nächstniedrigeren Emissionsfaktor als zutreffende Verkehrssituation ermittelt, wobei zunächst nur die Verkehrssituationen im LOS „flüssig“, „dicht“ oder „gesättigt“ betrachtet wurden. Zum Ausgleich der Differenz zwischen dem Emissionsfaktor der zugeordneten Verkehrssituation und dem berechneten Emissionsfaktor wurde ein Stop&Go-Anteil berechnet, sodass sich letztlich über die Kombination aus Verkehrssituation und Stop&Go-Anteil exakt der aus der Regressionsfunktion berechnete Wert ergab. Das Vorgehen ist exemplarisch in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Beispiel für Ableitung der Verkehrssituation und des Stop&Go-Anteils aus der Reisegeschwindigkeit unter Verwendung der Regressionsfunktion

Reise-geschwindigkeit Taxi-FCF	NO _x -EFA nach Regressi- ons- funktion	zugeordnete Verkehrssituation (mit nächstniedrigerem NO _x -EFA)	NO _x -EFA der zugeordneten Verkehrssituation (nach HBEFA 3.1)	NO _x -EFA StGo (nach HBEFA 3.1)	Stop&Go- Anteil
25 km/h	0,41 g/km	Agglo/Sammel/50/dicht	0,36 g/km	0,57 g/km	22,8 %

Bei diesem Vorgehen wird aus den als relevant erachteten Verkehrssituationen diejenige ausgewählt, deren Emissionsfaktor dem des durch die Regression berechneten am nächsten liegt. Das kann jedoch dazu führen, dass Verkehrssituationen ermittelt werden, die in den Kriterien „Straßentyp“ und „Tempolimit“ nicht dem tatsächlichen Charakter des Untersuchungsabschnitts entsprechen. Alternativ dazu kann deshalb für jeden Untersuchungsabschnitt eine Verkehrssituation auf Basis der Kriterien „Gebiet“, „Straßentyp“ und „Tempolimit“ vorausgewählt werden und die Differenz zu den berechneten Emissionsfaktoren mit entsprechend unterschiedlich hohen Stop&Go-Anteilen ausgeglichen werden (siehe Abbildung 39). Im dargestellten Beispiel wird der berechnete NO_x-Emissionsfaktor von 0,41 g/km durch die Verkehrssituation „Agglo/Sammelstraße/50/dicht“ am ehesten repräsentiert, dementsprechend ist hierbei der Stop&Go-Anteil mit ca. 23 % am geringsten. Würde der Charakter des Untersuchungsabschnitts jedoch einer Fernstraße entsprechen, die nach HBEFA 3.1 im LOS „gesättigt“ einen Emissionsfaktor von 0,31 g/km aufweist, müsste der Stop&Go-Anteil ca. 38 % betragen. Der Nachteil bei diesem Vorgehen ist, dass zwar die Charakteristik des Untersuchungsabschnittes berücksichtigt wird, bzgl. des Fahrverhaltens sich jedoch z. T. unrealistische Stop&Go-Anteile ergeben können.

Der berechnete Emissionsfaktor lässt sich demnach bei den PKW aus verschiedenen Kombinationen aus Verkehrssituationen im LOS „flüssig“, „dicht“, oder „gesättigt“ sowie einem Stop&Go-Anteil darstellen. Vergleicht man die Emissionsfaktoren, die sich für in Abbildung 39 betrachteten Kombinationen bei den Fahrzeugkategorie LNF und SNF ergeben, sind die Schwankungen relativ gering (siehe Abbildung 40), sodass dieses Vorgehen auch auf diese Fahrzeugkategorien übertragbar ist.

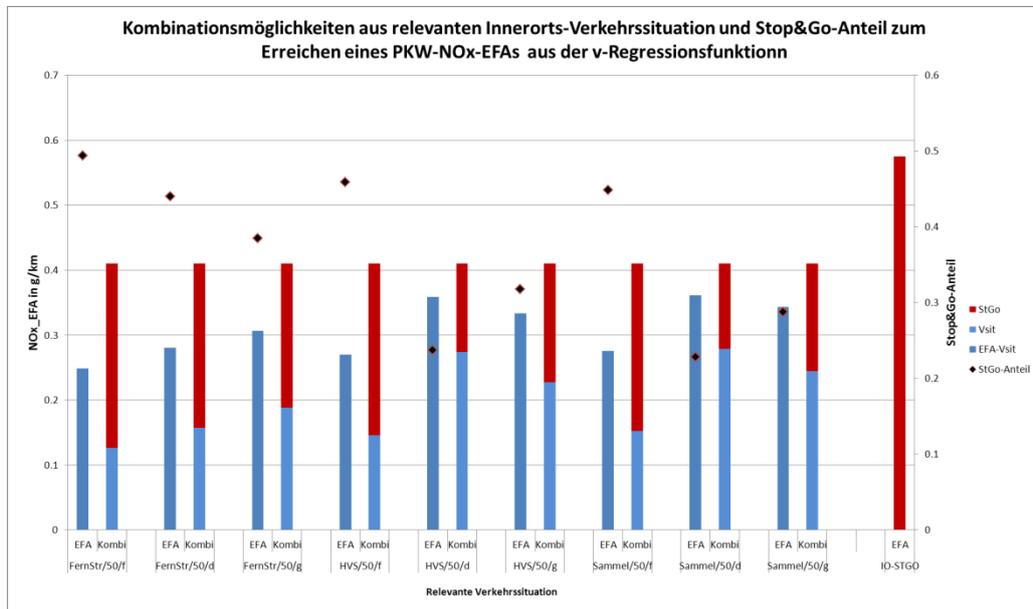


Abbildung 39: Kombinationsmöglichkeiten aus relevanten Innerorts-Verkehrssituationen und Stop&Go-Anteil

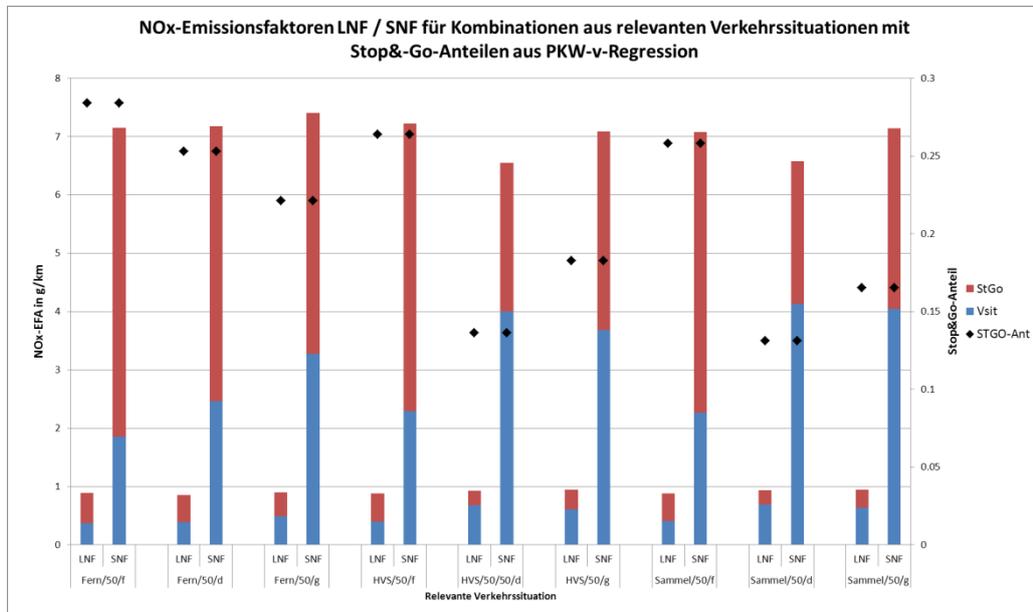


Abbildung 40: NO_x-Emissionsfaktoren LNF, SNF für Kombinationen aus relevanten Verkehrssituationen mit Stop&Go-Anteilen aus PKW-v-Regression

6.3 Zuordnung der Teilabschnitte zu den Messfahrtabschnitten im GIS

Um die Teilabschnitte der Taxi-FCD denen der Messfahrten zuordnen und somit die Ergebnisse im GIS für die Emissions- und Immissionsmodellierung nutzen zu können, wurde eine Schlüsselbrücke erstellt. Dabei wurden jedem Messfahrtabschnitt die Teilabschnitte unter Berücksichtigung der Fahrtrichtung zugeordnet (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Beispiel Zuordnung Teilabschnitte/Messfahrtabschnitte

ID	Straße	von	bis	ORI_ID_AB S_RI_Abs	von	bis	Länge	Länge gesamt
21/1	Königsbrücker Straße	Albertplatz	Bischofsweg	6001010/1	Albertplatz	Stetzscher Straße	255,4	914,9
21/1	Königsbrücker Straße	Albertplatz	Bischofsweg	6001020/1	Stetzscher Straße	Katharinenstraße	55,5	914,9
21/1	Königsbrücker Straße	Albertplatz	Bischofsweg	6001030/1	Katharinenstraße	Louisenstraße	171,1	914,9
21/1	Königsbrücker Straße	Albertplatz	Bischofsweg	6001040/1	Louisenstraße	Scheunenhofstraße	80,2	914,9
21/1	Königsbrücker Straße	Albertplatz	Bischofsweg	6001041/1	Scheunenhofstraße	Jordanstraße	36,8	914,9
21/1	Königsbrücker Straße	Albertplatz	Bischofsweg	6001070/1	Jordanstraße	Schwepnitzer Straße	31,2	914,9
21/1	Königsbrücker Straße	Albertplatz	Bischofsweg	6001071/1	Schwepnitzer Straße	Eschenstraße	67,3	914,9
21/1	Königsbrücker Straße	Albertplatz	Bischofsweg	6001080/1	Eschenstraße	Bischofsweg	217,3	914,9

Nach der Zuordnung wurden der Verlauf der mittleren Geschwindigkeiten der Teilabschnitte und die Anzahl der vorliegenden Datensätze aus den Taxi-FCD für jeden Teilabschnitt eines Messfahrtabschnitts grafisch dargestellt. Abbildung 41 zeigt diese Darstellung exemplarisch für den in Tabelle 5 dargestellten Messfahrtabschnitt Königsbrücker Straße von Albertplatz nach Bischofsweg. Anhand dieser Darstellungen wurden Datensätze mit unplausibel hohen oder niedrigen Geschwindigkeiten ermittelt und aus der Auswertung ausgeschlossen. Über den gesamten Datensatz wurde letztlich ein Filter gelegt, der alle Fahrten mit einer Reisegeschwindigkeit < 3 km/h und > 100 km/h von der Auswertung ausschließt.

Über die Summe der mittleren Reisezeiten der Teilabschnitte und der Gesamtlänge des Messfahrtabschnitts erfolgte die Berechnung der mittleren Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD pro Messfahrtabschnitt.

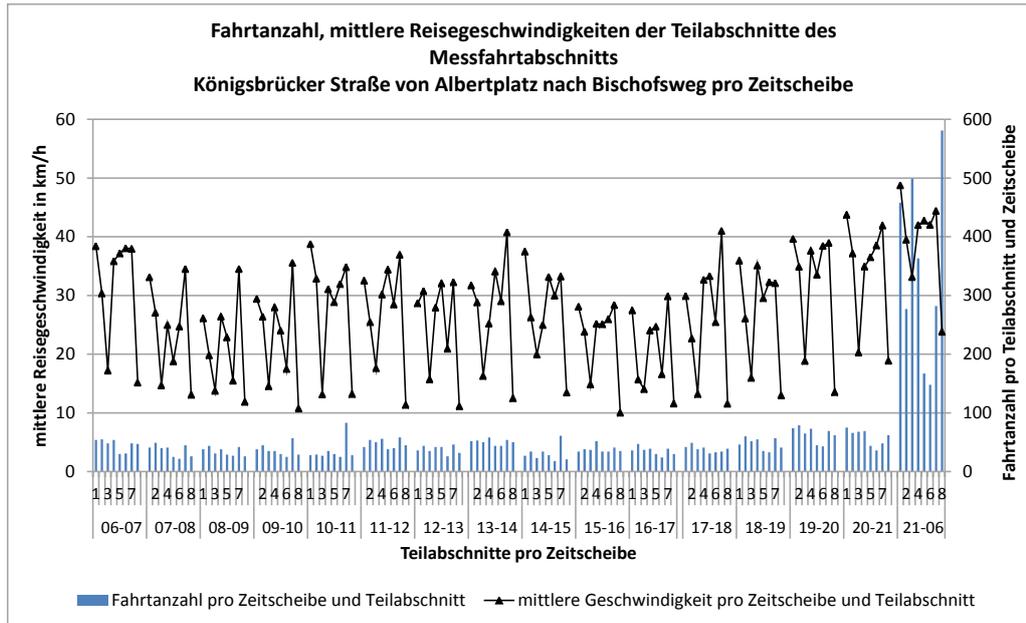


Abbildung 41: Fahrtaanzahl, mittlere Reisegeschwindigkeiten der Teilabschnitte des Messfahrtabschnitts Königsbrücker Straße von Albertplatz nach Bischofsweg pro Zeitscheibe

6.4 Vergleich der Reisegeschwindigkeiten und Emissionsfaktoren Taxi-FCD/Messfahrten

Die mittleren Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD sowie der Messfahrten der einzelnen Zeitscheiben wurden über Tagesganglinien zu einer mittleren Reisegeschwindigkeit über den Tag gewichtet. Für alle Abschnitte innerhalb des 26er-Ringes wurde die standardisierte Tagesganglinie für Innerortsstraßen aus HBEFA 3.1 verwendet. Für die Radialstraßen wurde für die Bergstraße eine spezifische Tagesganglinie aus der dortigen Pegelzählstelle verwendet. Für die übrigen Radialstraßen wurde die Tagesganglinie aus der Pegelzählstelle der Leipziger Straße verwendet.

Nach der Berechnung der Tagesmittelwerte der Reisegeschwindigkeiten erfolgte richtungsgetreunt für jeden Messfahrtabschnitt grafisch ein Vergleich der Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD mit denen der Messfahrten (exemplarisch dargestellt in Abbildung 42).

Es zeigte sich, dass die Geschwindigkeiten in den meisten Fällen relativ gut übereinstimmten. Abschnitte, auf denen größere Abweichungen auftraten, wurden detailliert untersucht. So gab es sowohl Abschnitte, auf denen die Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD deutlich über denen der Messfahrten (siehe Abbildung 43) als auch Abschnitte, auf denen sie deutlich unter denen der Messfahrten lagen (siehe Abbildung 44).

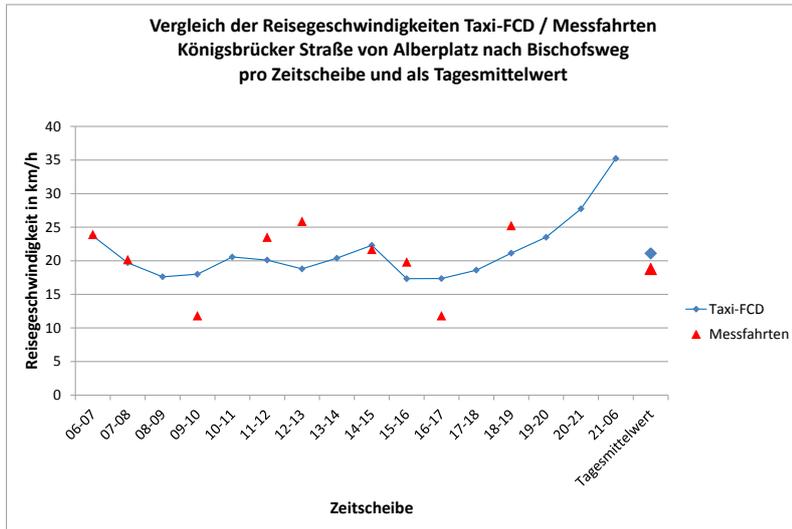


Abbildung 42: Vergleich der Reisegeschwindigkeiten Taxi-FCD/Messfahrten Königsbrücker Straße von Albertplatz nach Bischofsweg pro Zeitscheibe und als Tagesmittelwert

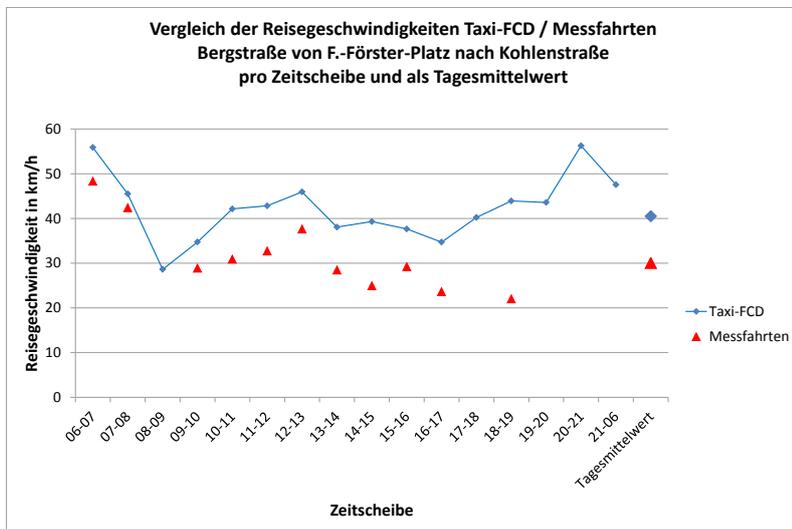


Abbildung 43: Wesentliche Abweichungen der Reisegeschwindigkeiten Taxi-FCD/Messfahrten, Bsp. 1

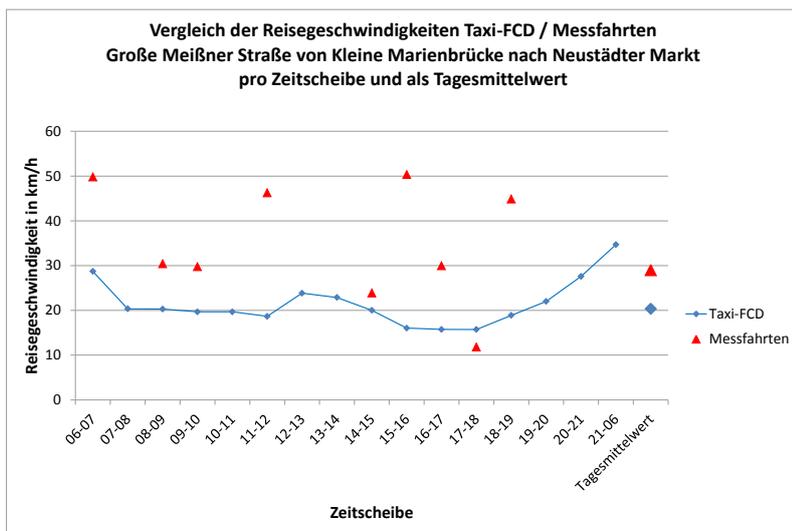


Abbildung 44: Wesentliche Abweichungen der Reisegeschwindigkeiten Taxi-FCD/Messfahrten, Bsp. 2

Ein Großteil der Abweichungen, bei denen die Reisegeschwindigkeiten der Messfahrten niedriger waren als die der Taxi-FCD, lag in der Fahrtbeziehung der Messfahrten begründet. So wurde bei den Runden der Messfahrten der in Abbildung 43 dargestellte Abschnitt Bergstraße von Fritz-Foerster-Platz nach Kohlenstraße befahren, indem aus der Nürnberger Straße kommend rechts in den Abschnitt eingebogen wurde. Die Beschleunigungsphase beim Anfahren wirkt sich mindernd auf die Reisegeschwindigkeit aus. Der Hauptstrom auf diesem Abschnitt fährt jedoch direkt vom Hauptbahnhof kommend in den Abschnitt und hat bereits am Abschnittsbeginn eine relativ hohe Fahrgeschwindigkeit. Des Weiteren fährt der Hauptstrom in einer LSA-Koordinierung vom Hauptbahnhof in Richtung Norden. Der von der Nürnberger Straße in den Abschnitt einbiegende Strom fährt dagegen außerhalb dieser Koordinierung. Durch die große Fahrtanzahl der Taxi-FCD werden diese systematischen Fehler, die bei Einzelbefahrungen auftreten, kompensiert. Hierin liegt ein großer Vorteil der Taxi-FCD.

Ein weiterer Grund für höhere Geschwindigkeiten der Taxi-FCD liegt, wie bereits in Kapitel 5 dargelegt, in den Privilegien, die den Taxis als Teil des öffentlichen Verkehrs im Straßenverkehr teilweise eingeräumt wird, wie z. B. das Benutzungsrecht von Busspuren.

Die Darstellung in Abbildung 44 zeigt im Gegenzug am Beispiel des Abschnitts Große Meißner Straße zwischen Kleiner Marienbrücke und Neustädter Markt den Effekt, dass die Taxi-FCD auch deutlich geringere Reisegeschwindigkeiten als die Messfahrten aufweisen können. Der Grund hierfür liegt bei diesem Beispiel an dem Taxistellplatz vor dem in diesem Abschnitt befindlichen Hotel Bellevue. Der Effekt, dass das langsame Anfahren der Stellplätze in geringeren Reisegeschwindigkeiten sichtbar wird, lässt sich auch in anderen Abschnitten mit Taxistellplätzen wie z. B. am Hauptbahnhof oder am Sachsenplatz erkennen. In diesem teilweise nicht repräsentativen Fahrverhalten liegt ein Nachteil der Taxi-FCD.

In Abbildung 45 sind die Abweichungen, die sich beim Vergleich der NO_x -Emissionsfaktoren der Taxi-FCD mit denen der Messfahrten, die sich jeweils mit der Regressionsfunktion über die mittleren Reisegeschwindigkeiten ergeben, dargestellt. Darin zeigt sich, dass die Reisegeschwindigkeiten relativ gut übereinstimmen. So liegen die Abweichungen der NO_x -Emissionsfaktoren bei 60 % aller Abschnitte im 10 %-Bereich und bei ca. 90 % aller Abschnitte im 20 %-Bereich. Die vereinzelt auftretenden größeren Abweichungen sind durch die o. g. Effekte erklärbar und plausibel.

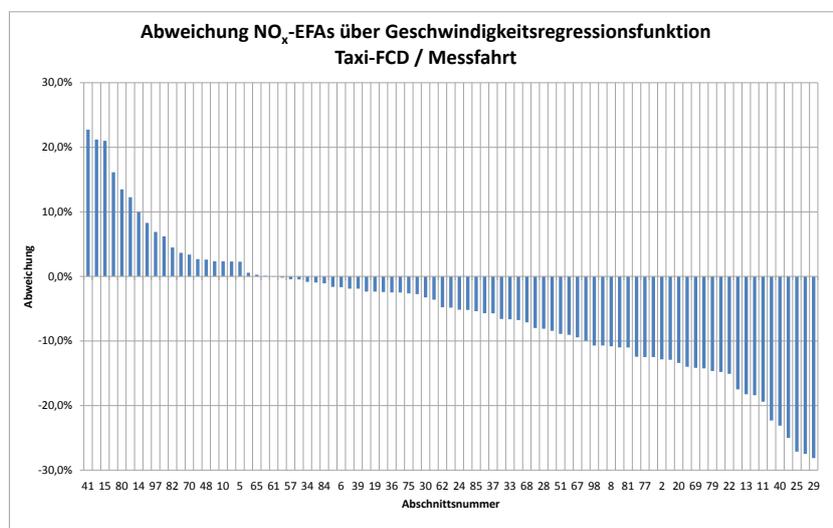


Abbildung 45: Abweichung NO_x -EFA über Geschwindigkeitsregressionsfunktion Taxi-FCD/Messfahrt

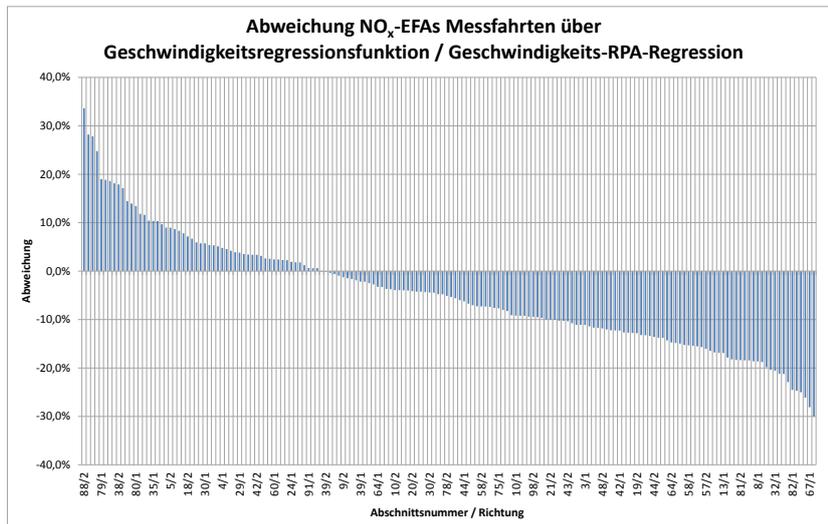


Abbildung 46: Abweichung NO_x-EFA Messfahrten über Geschwindigkeitsregressionsfunktion/Geschwindigkeits-RPA-Regression

Der in Abbildung 46 dargestellte Vergleich der NO_x-Emissionsfaktoren, die sich bei Auswertung der Messfahrtdaten unter Verwendung der beiden Regressionsfunktionen zur Ableitung der Verkehrssituation ergeben, zeigt, dass zwar die Abweichungen bei ca. 90 % aller Messfahrtschnitte im 20 %-Bereich liegen, in Einzelfällen jedoch auch größere Abweichungen auftreten. So liegen die Emissionen bei der Ableitung der Verkehrssituation allein auf Basis der Reisegeschwindigkeit (Geschwindigkeitsregression) tendenziell unter denen mit Einbeziehung des RPA (Geschwindigkeits-RPA-Regression).

Im Folgenden wird anhand von zwei Beispielen erläutert, worin die Abweichungen, sowohl nach oben als auch nach unten, begründet liegen.

So liegt im Abschnitt Schäferstraße von LSA Löbtauer Straße nach LSA Behringstraße der NO_x-Emissionsfaktor bei Ableitung der Verkehrssituation unter Einbeziehung der Reisegeschwindigkeit und des RPA ca. 25 % über dem, der sich bei ausschließlicher Berücksichtigung der Reisegeschwindigkeit ergibt. Das v-s-Diagramm in Abbildung 47 zeigt, dass sich der Fahrverlauf nahezu auf dem gesamten Abschnitt durch z. T. starke Beschleunigungsvorgänge auszeichnet, was mit einem relativ hohen RPA verbunden ist. Die mittlere Reisegeschwindigkeit liegt hier bei ca. 31 km/h.

Die Zuordnung der Verkehrssituation auf Basis der Reisegeschwindigkeit ergibt die Verkehrssituation „Agglo/Sammel/50/gesaettigt“ mit einem Stop&Go-Anteil von 3 %. Dass der RPA dieser Verkehrssituation mit 0,23 deutlich unter dem gemessenen von 0,36 liegt, wird bei diesem Vorgehen nicht berücksichtigt. Bei Einbeziehung des RPA ergibt sich durch die nicht lineare Regressionsanalyse die Verkehrssituation „Land/Sammel/50/gesaettigt“, die zwar mit 0,28 den gemessenen RPA noch nicht erreicht, ihm aber deutlich näher liegt. Auf Grund des in Abbildung 31 gezeigten Einflusses des RPA ist der Emissionsfaktor dieser Verkehrssituation höher (siehe Abbildung 48).

Im Abschnitt Albertstraße von LSA Carolaplatz nach LSA Albertplatz hingegen liegt der NO_x-Emissionsfaktor bei Ableitung der Verkehrssituation unter Einbeziehung der Reisegeschwindigkeit und des RPA ca. 25 % unter dem, der sich bei ausschließlicher Berücksichtigung der Reisegeschwindigkeit ergibt. Das v-s-Diagramm in Abbildung 49 zeigt, dass der Fahrverlauf auf dem Großteil des Abschnitts relativ konstant ist, positive Beschleunigungen treten nur kurz beim Anfahren an der LSA auf. Der RPA ist demzufolge relativ niedrig, die mittlere Reisegeschwindigkeit liegt bei ca. 25 km/h.

Die Zuordnung der Verkehrssituation auf Basis der Reisegeschwindigkeit ergibt die Verkehrssituation „Agglo/Sammel/50/dicht“ mit einem Stop&Go-Anteil von 20 %. Dass der RPA dieser Verkehrssituation mit 0,22 deutlich über dem gemessenen von 0,12 liegt, wird bei diesem Vorgehen nicht berücksichtigt. Bei Einbeziehung des RPA ergibt sich die Verkehrssituation „Land/HVS-kurv./50/dicht“. Der Emissionsfaktor dieser Verkehrssituation ist um ca. 25 % niedriger (siehe Abbildung 50).

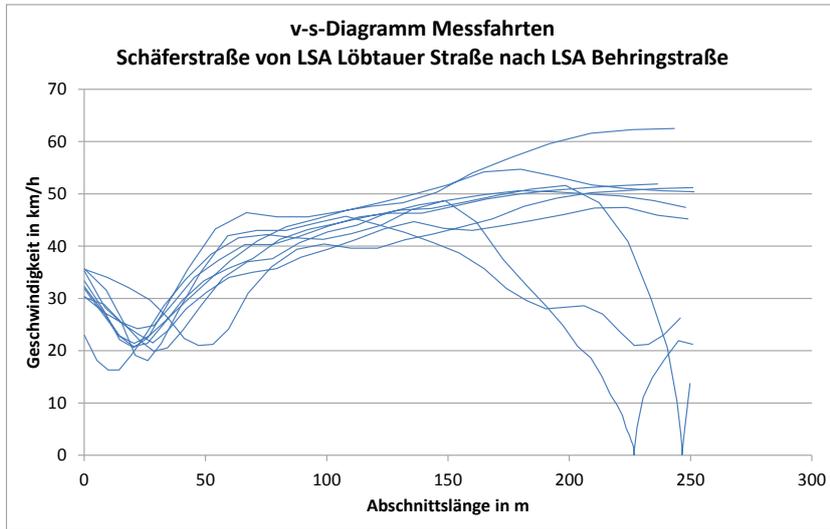


Abbildung 47: v-s-Diagramm Schäferstraße von LSA Löbtauer Straße nach LSA Behringstraße

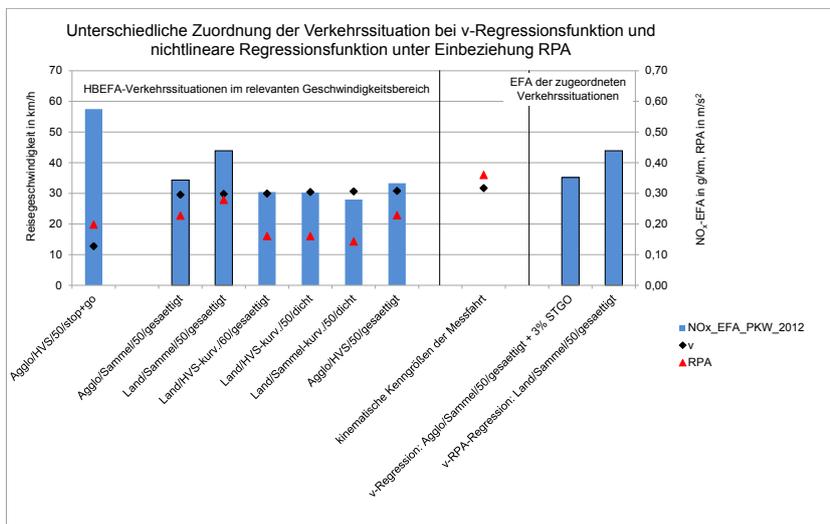


Abbildung 48: Unterschiedliche Zuordnung der Verkehrssituation bei v-Regressionen und nicht linearer Regressionsfunktion unter Einbeziehung v und RPA am Bsp. LSA Löbtauer Straße nach LSA Behringstraße

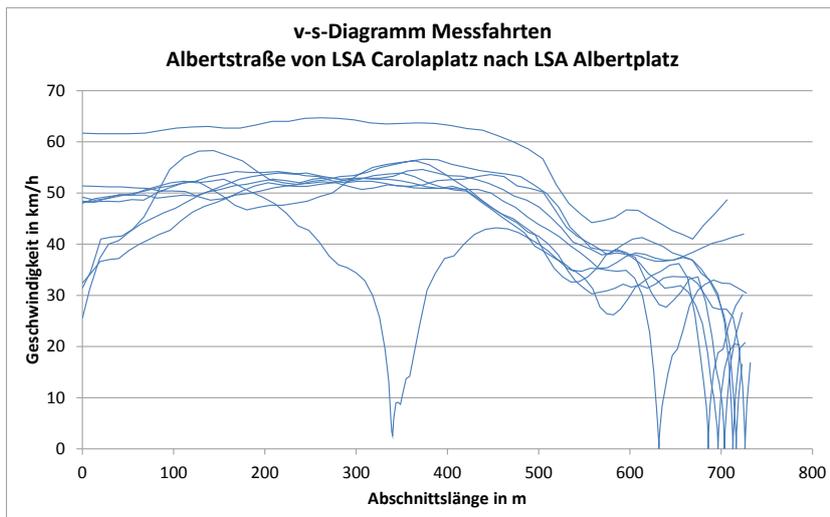


Abbildung 49: v-s-Diagramm Albertstraße von LSA Carolaplatz nach LSA Albertplatz

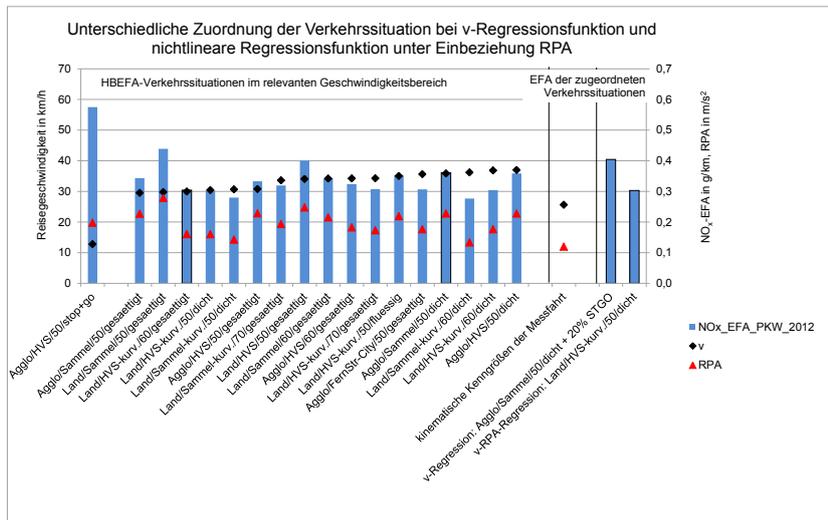


Abbildung 50: Unterschiedliche Zuordnung der Verkehrssituation bei v-Regressionen und nicht linearer Regressionsfunktion unter Einbeziehung v und RPA am Bsp. Albertstraße von LSA Carolaplatz nach LSA Albertplatz

6.5 Fazit

Bei Betrachtung der Abweichungen der NO_x-Emissionsfaktoren, die sich unter Verwendung der Geschwindigkeits-Regressionen auf Basis der Taxi-FCD und denen, die sich unter Einbeziehung des RPA aus den Messfahrten ergeben, zeigt sich, dass über 90 % der Abschnitte im 20 %-Bereich liegen (siehe Abbildung 51). Die Verteilung zeigt weiterhin, dass es bei ausschließlicher Betrachtung der Reisegeschwindigkeit gegenüber den Ergebnissen unter Verwendung der Geschwindigkeits-RPA-Regression tendenziell zu einer leichten Unterschätzung der Emissionen kommt. Die Datensätze der Taxi-FCD sind zur Ableitung der Verkehrssituation für ein qualitativ hochwertiges Emissions-Screeningmodell jedoch gut geeignet.

Der Vorteil gegenüber den Messfahrten liegt in der deutlich höher Fahrtanzahl, wodurch eine größere Abdeckung der Fahrtbeziehungen auf den Einzelabschnitten und die Kompensation zufälliger Ereignisse erreicht werden. Der Nachteil liegt in der nicht immer gegebenen Repräsentanz des Fahrverhaltens der Taxi-Flotte. Außerdem kommt es durch die ausschließliche Betrachtung der Reisegeschwindigkeit in Einzelfällen zu unplausiblen Zuordnungen der Verkehrssituation und somit zu Abweichungen in den Emissionsfaktoren. Für Detailuntersuchungen sind deshalb Messfahrten unerlässlich. Für Netzbetrachtungen sind die Abweichungen, die sich bei Verwendung der Taxi-FCD ergeben, tolerabel, weil die Datenmenge, die durch die Taxi-FCD zur Verfügung steht, kaum durch Messfahrten erzeugt werden kann.

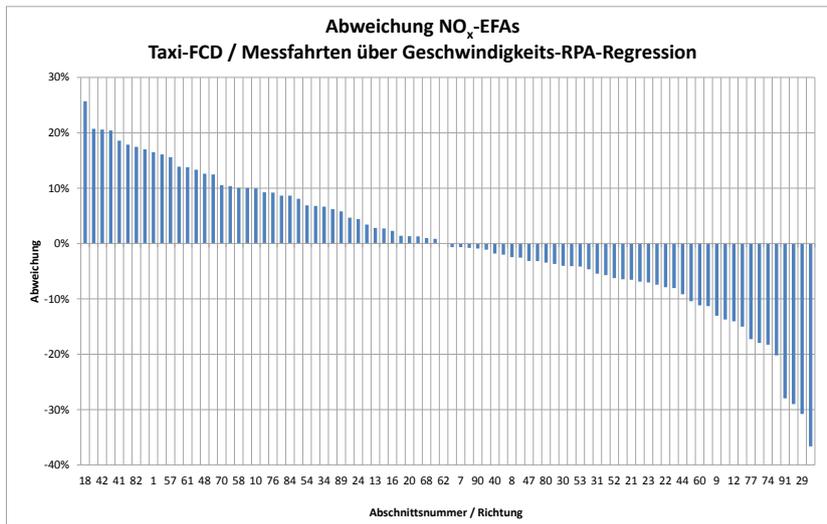


Abbildung 51: Abweichung NO_x-EFA Taxi-FCD/Messfahrten über Geschwindigkeits-RPA-Regression

Bei entsprechender zeitlicher Abdeckung könnten die Taxi-FCD auch für Abschnitte angewendet werden, für die keine Messfahrten vorliegen. Dazu müsste eine Schlüsselbrücke im GIS zwischen den Teilabschnitten der Taxi-FCD und den Abschnitten des Dresdner Netzes für die Emissions- bzw. Immissionsmodellierung erstellt werden.

Im Rahmen des Projektes wurde exemplarisch der oben beschriebene Datensatz der Taxi-FCD vom 3. Quartal 2011 mit dem des 3. Quartals 2013 verglichen (siehe Abbildung 52). Die Ergebnisse sind plausibel, die eingetretenen Geschwindigkeitsänderungen sind durch Baumaßnahmen oder Umleitungsverkehre weitestgehend erklärbar.

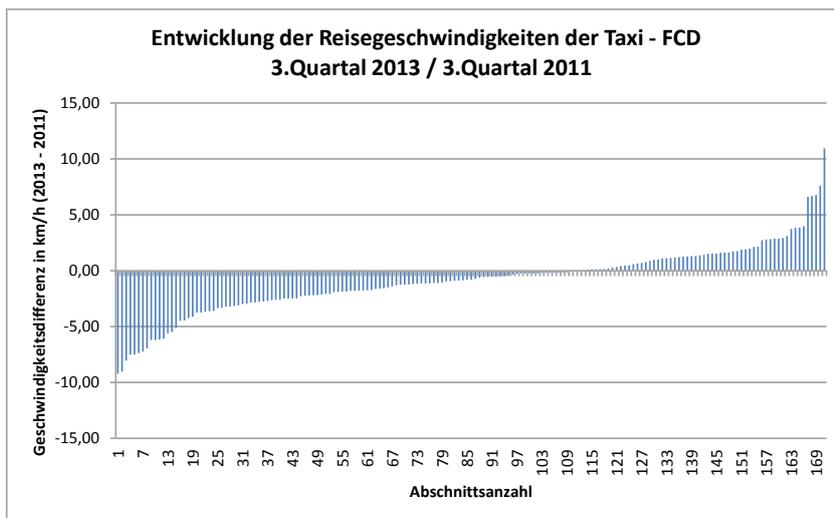


Abbildung 52: Entwicklung der Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD 3. Quartal 2013/3. Quartal 2011

Durch die Entwicklung eines Programms zur automatischen Aufbereitung der Taxi-FCD könnten die Daten in turnusmäßigen Abständen für das Dresdner Netz aktualisiert werden. Dieses Vorgehen wird als sinnvoll erachtet, weil dadurch mit relativ geringem Aufwand auf die große Menge der vorliegenden bzw. weiterhin kontinuierlich erfassten FCD zugegriffen werden kann und sich die hohen Aufwände bei der Installation und zur Unterhaltung des Erfassungssystems der FCD breiter nutzen lassen.

7 Kapazitätsuntersuchungen an ausgewählten Straßenabschnitten im Bereich der Dresdner Waldschlösschenbrücke

7.1 Allgemeine Betrachtungen

Auch wenn die direkte Ableitung der Verkehrssituation aus der Querschnittsgeschwindigkeit nicht möglich ist, ist dennoch durch die hohe Anzahl an Messungen sowie deren zeitliche Verfügbarkeit ein Informationsgewinn zu verzeichnen. So können über den Verlauf von Geschwindigkeit und Verkehrsstärke Abschätzungen zur Kapazitätsgrenze des Abschnitts getroffen werden. Die Kapazität stellt die größtmögliche Verkehrsstärke dar, die von einem Abschnitt aufgenommen werden kann. Der Verkehrsfluss auf einem Abschnitt ist demnach abhängig von der vorhandenen Verkehrsstärke und der Kapazität, das heißt der maximal möglichen Verkehrsstärke. Das Verhältnis aus vorhandener und maximal möglicher Verkehrsstärke wird als Sättigungsgrad bezeichnet (SCHNABEL & LOHSE 1997).

Die Kapazität eines Straßenabschnitts ist im Innerortsbereich im Wesentlichen durch Einflüsse entlang der Strecke wie

- Abbiegevorgänge an Einmündungen nachgeordneter Straßen oder Grundstückszufahrten,
- Ein- und Ausparkvorgängen,
- Einrichtungen des ÖPNV oder
- Fußgängerquerungen

sowie Einflüsse am Knotenpunkt wie

- Vorfahrtsregelung,
- Abbiegemöglichkeiten und
- LSA-Steuerung

abhängig (BAST 2009).

Im Gegensatz zu möglichen Berechnungsansätzen der Kapazität auf Autobahnabschnitten oder zweispurigen Landstraßen ist eine Berechnung der Kapazität für Innerortsstraßen somit nicht exakt möglich (SCHNABEL & LOHSE 1997).

Nach der in Abbildung 53 dargestellten M-v-Beziehung lässt sich die Kapazität C als maximal aufnehmbare Verkehrsstärke M aus dem Bereich ableiten, in dem die Geschwindigkeit v so weit sinkt, dass die Verkehrsstärke M ebenfalls sinkt.

Der Verkehrsfluss verändert sich demnach mit zunehmender Verkehrsstärke zunächst von flüssigem über dichten Verkehr, bis sich bei Erreichen der Kapazitätsgrenze ein gesättigter Verkehrsfluss einstellt. Bei Überschreitung der Kapazitätsgrenze wird der Verkehr instabil (Stop&Go) und sowohl Geschwindigkeit als auch Verkehrsstärke nehmen ab. Bei genauer Kenntnis der Kapazität könnte somit der Verkehrsfluss in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke ermittelt werden.

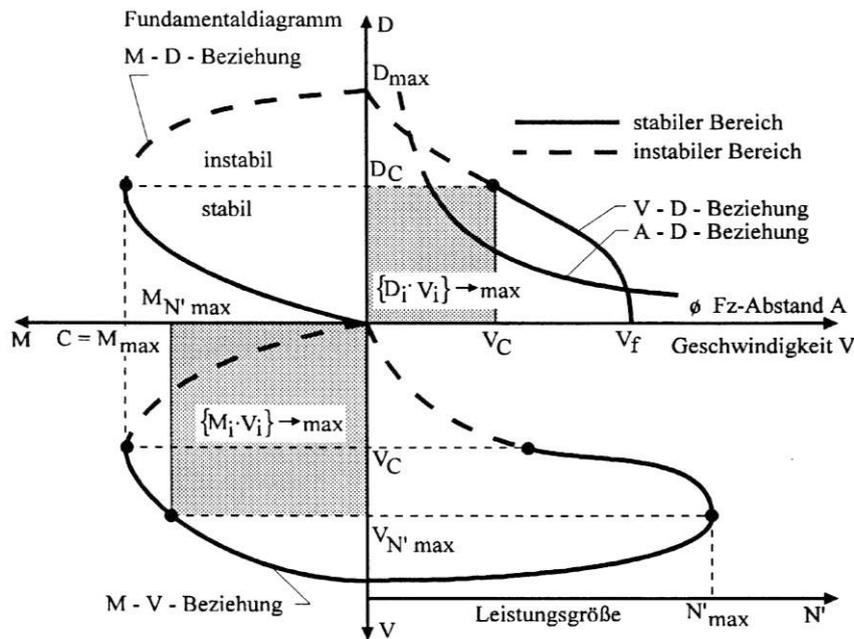


Abbildung 53: Beziehungen zwischen den Verkehrskenngrößen (SCHNABEL & LOHSE 1997)

Die Auswertungen der grafischen Analyse in Abschnitt 4.1 zeigen jedoch, dass nur an einigen wenigen Querschnitten ein Einbruch der Verkehrsstärke auf Grund gesunkener Geschwindigkeiten zu verzeichnen ist und somit die Kapazitätsgrenze erreicht bzw. überschritten wurde. Abbildung 54 zeigt am Beispiel der Carolabrücke in Richtung Neustadt einen solchen Querschnitt. Während die Verkehrsstärke während der Morgenspitze noch nicht zu einer ausgeprägten Geschwindigkeitsreduzierung führt, ist in der Nachmittagspitze ein deutlicher Geschwindigkeitseinbruch zu verzeichnen, in Folge dessen es zu einem Rückgang der Verkehrsstärke kommt. Die in Abbildung 55 dargestellte M-v-Beziehung für diesen Abschnitt zeigt den typischen Verlauf des Verkehrsverhaltens nach Überschreitung der Kapazitätsgrenze.

Bei dem überwiegenden Teil der Querschnitte ist dieser Effekt jedoch nicht klar ersichtlich und somit die Kapazität nicht mit Sicherheit zu bestimmen. Abbildung 56 zeigt mit dem Querschnitt an der Wiener Straße Richtung Zentrum ein Beispiel für einen Abschnitt ohne erkennbare Kapazitätsgrenze, die M-v-Beziehung in Abbildung 57 zeigt, dass es zu keiner wesentlichen Veränderung des Verkehrsflusses in Folge einer Zunahme der Verkehrsstärke kommt. Das Ergebnis der Messfahrten bestätigt dies, weil im gesamten Abschnitt über den Tag eine gute Verkehrssituation gemessen wurde.

Die M-v-Beziehungen sind somit für alle Querschnitte, an denen es zu einer erkennbaren Reduzierung der Geschwindigkeit in Folge steigender Verkehrsstärke kommt, ein Indikator für den Verkehrsfluss am Detektorquerschnitt. Weil die Fahrgeschwindigkeiten am Querschnitt, wie in Abschnitt 4.2 dargelegt, jedoch nur unzureichend repräsentativ für den Verkehrsfluss im gesamten Abschnitt sind, müssen die aus den M-v-Beziehungen getroffenen Aussagen zu Verkehrsfluss am Querschnitt mit Daten zur Reisegeschwindigkeit im Abschnitt, das heißt mit Messfahrtdaten oder Taxi-FCD, verglichen werden. Es geht dabei vor allem um die Frage, wie sich die qualitative Beschreibung der Änderung des Verkehrsflusses (flüssig/dicht/gesättigt/Stop&Go) aus der M-v-Beziehung am Querschnitt in den Fahrverhaltenskennwerten und somit in der konkreten HBEFA-Verkehrssituation im Abschnitt widerspiegelt. Im Weiteren soll dies am Beispiel ausgewählter Detektoren, die sich im Einflussbereich der Dresdner Waldschlösschenbrücke befinden, untersucht werden.

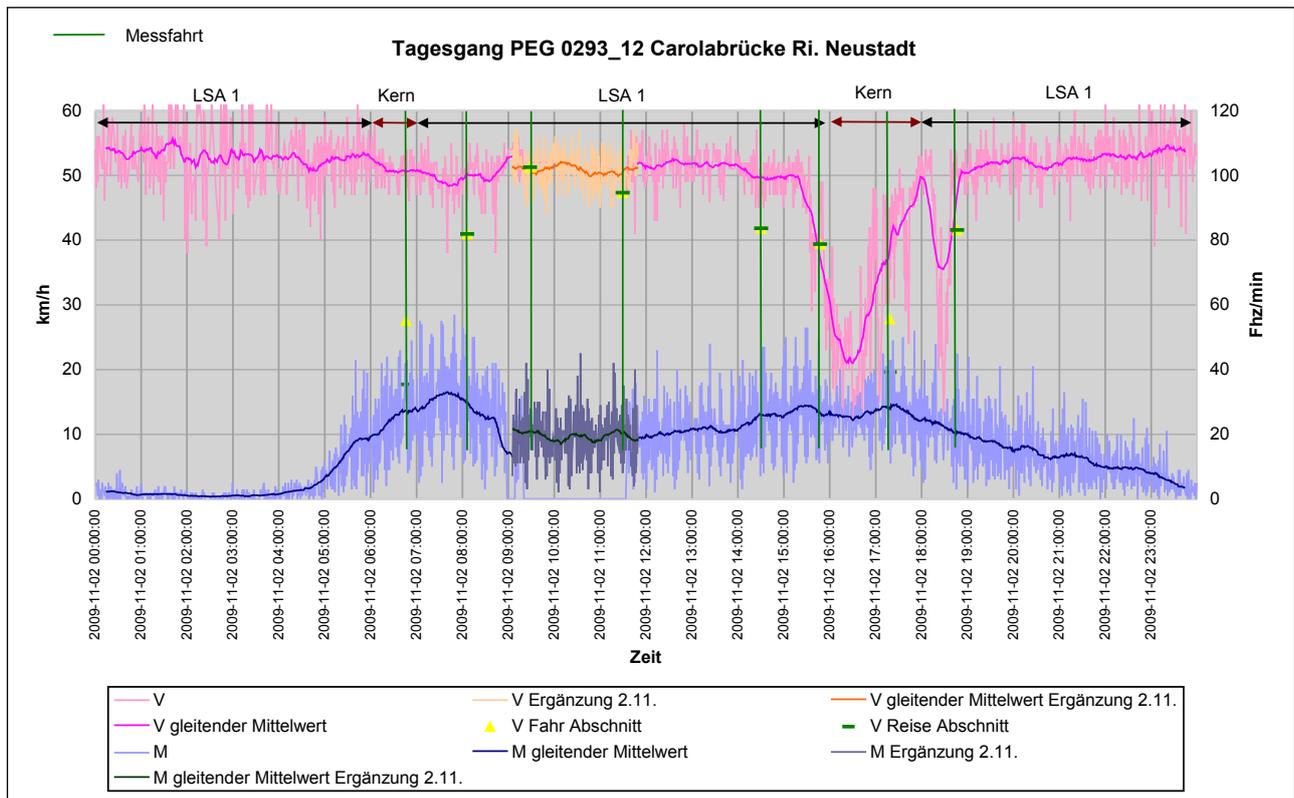


Abbildung 54: Beispiel für Querschnitte mit teilweise instabilem Verkehrsfluss

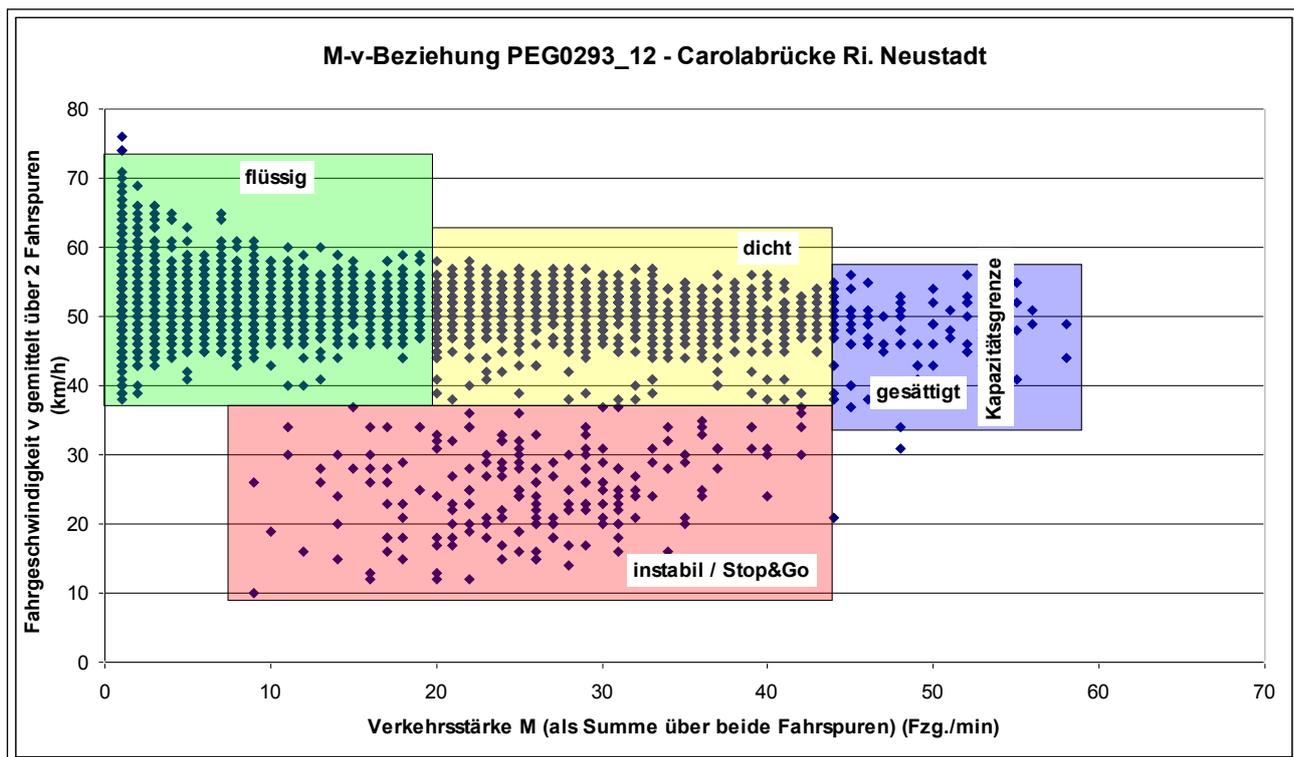


Abbildung 55: M-v-Beziehung am Beispielquerschnitt mit instabilem Verkehrsfluss

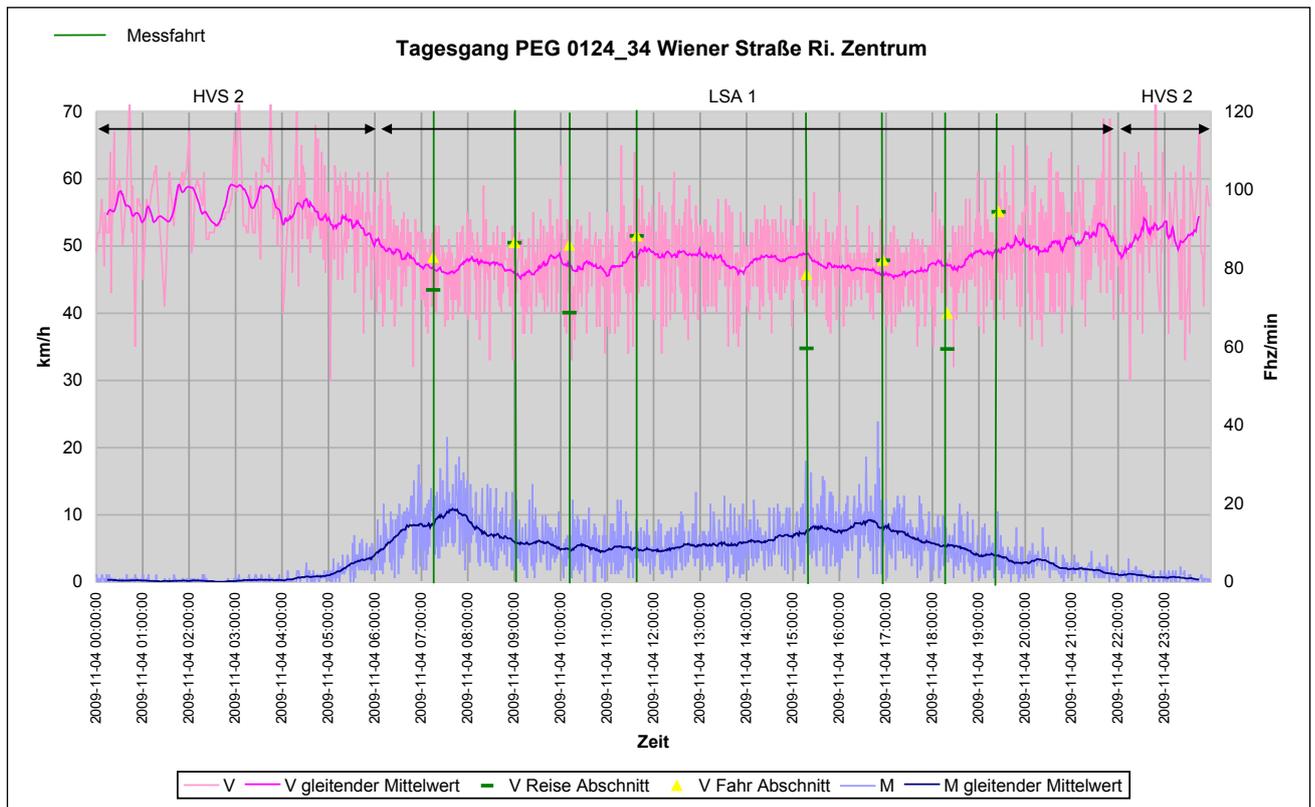


Abbildung 56: Beispiel für Querschnitte ohne erkennbare Kapazitätsgrenze

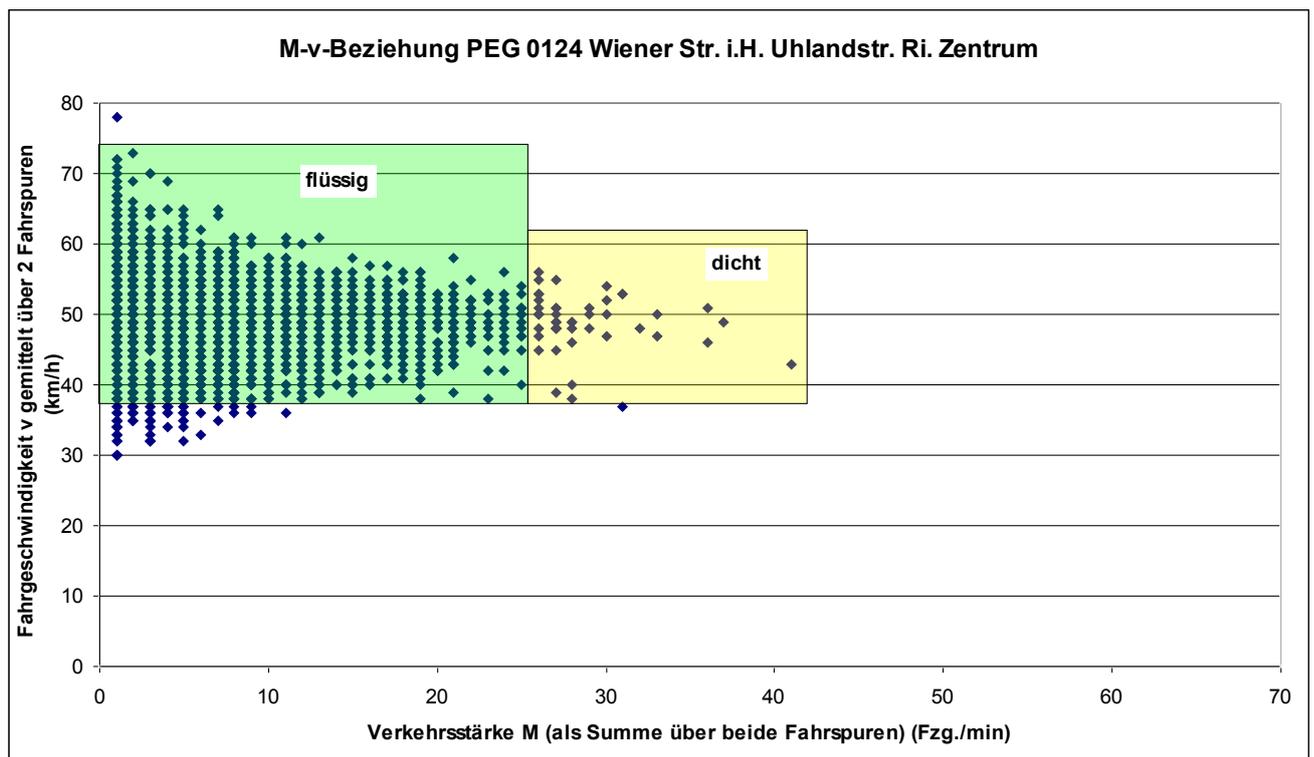


Abbildung 57: M-v-Beziehung am Beispielquerschnitt ohne erkennbare Kapazitätsgrenze

7.2 Datenlage

Für die Untersuchung der Fragestellung, welche Aussagen sich aus den ermittelten M-v-Beziehungen der detektierten Querschnitte für das Fahrverhalten bzw. für konkrete HBEFA-Verkehrssituationen im betreffenden Abschnitt treffen lassen, wurden Detektoren, die sich im Einflussbereich der Dresdner Waldschlösschenbrücke befinden, ausgewählt. Der Grund für diese Auswahl lag darin, dass mit der Öffnung der Dresdner Waldschlösschenbrücke während der Projektlaufzeit (Eröffnung im September 2013) umfangreiche Änderungen der Verkehrsmengen und somit auch des Verkehrsflusses an vielen Straßen im Einflussbereich der Brücke erwartet wurden. Es wurde deshalb in einer Vorher-Nachher-Betrachtung untersucht, inwieweit sich Aussagen zum Zusammenhang zwischen detektierter Verkehrsmenge und Fahrverhalten übertragen lassen. Hierzu werden ausgewählte Detektionswerte aus der VAMOS-Datenbasis herangezogen. Das Fahrverhalten wird hierbei auf Basis der Taxi-FCD bestimmt. Zur Verifizierung wurden an den betreffenden Abschnitten Messfahrten durchgeführt.

Bei den ausgewählten Strecken und zugeordneten stationären Detektoren handelt es sich um:

- ① Hansastraße zwischen Fritz-Reuter-Straße und Großenhainer Straße (TEU3)
- ② Große Meißner Straße zwischen Hainstraße und Neustädter Markt (TEU4)
- ③ Carolabrücke zwischen Carolaplatz und Rathenauplatz (PEG0293 Spuren 3+4)
- ④ Carolabrücke zwischen Rathenauplatz und Carolaplatz (PEG0293 Spuren 1+2)
- ⑤ Karcherallee zwischen Stübelallee und Winterbergstraße (TEU22_2)
- ⑥ Karcherallee zwischen Winterbergstraße und Stübelallee (TEU22_1)
- ⑦ Grundstraße zwischen Steglichstraße und Körnerplatz (TEU10)

Die Lage der Detektoren ist in Abbildung 58 dargestellt.

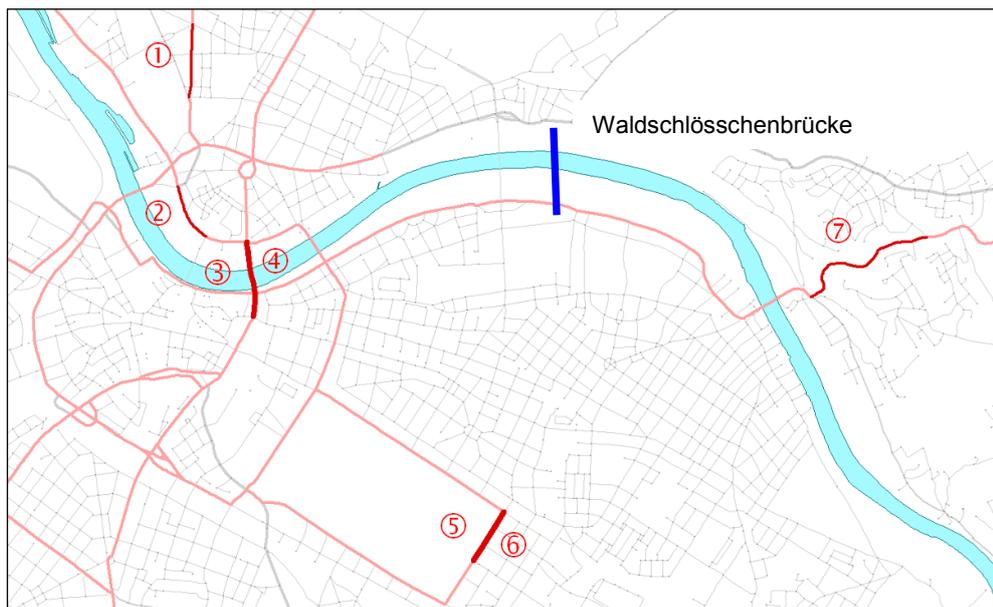


Abbildung 58: Streckenauswahl für Ermittlung streckenbezogener Verkehrssituationen

Für die Strecken werden die Taxi-FCD aus der Teilbefahrung des gesamten 3. Quartals 2011 für die Vorher-Betrachtung sowie des 3. Quartals 2013 für die Nachher-Betrachtung ausgewertet, für die Pegelzählstellen und Traffic Eye werden die Verkehrsmenge und mittlere Geschwindigkeit für den jeweiligen Richtungsquerschnitt ebenfalls für die o. g. Zeiträume einbezogen.

7.3 Ableitung der Kapazitätsgrenzen der untersuchten Abschnitte

Die Auswertung der Detektordaten an den untersuchten Querschnitten erfolgte mit dem Ziel, anhand der M-v-Beziehung die Kapazitätsgrenze des Abschnitts zu ermitteln und somit die unterschiedlichen Verkehrszustände den LOS des HBEFA 3.1 (flüssig, dicht, gesättigt, Stop&Go) zuzuordnen. Der qualitative Verlauf des Verkehrsflusses wird mittels der Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD (siehe Abschnitt 6) verglichen und darüber mit einer Verkehrssituation nach HBEFA hinterlegt.

Im ersten Schritt wurden dazu auf Basis der Detektordaten die M-v-Beziehungen an den untersuchten Abschnitt abgeleitet und, soweit diese erreicht wird, die Kapazität des Abschnitts abgeschätzt. Um Aussagen zu einem Tagesgang der Verkehrszustände treffen zu können, wurden die Werte nach Zeitscheibe ausgewertet. Die Einteilung der Zeitscheiben erfolgte dabei analog dem Vorgehen zur Auswertung der Taxi-FCD.

In Abbildung 59 bis Abbildung 63 sind die M-v-Diagramme der untersuchten Abschnitte dargestellt. Danach zeigt sich, dass die Kapazitätsgrenze an den einzelnen Abschnitten unterschiedlich stark erreicht wird und der Verlauf des Verkehrsflusses dementsprechend unterschiedlich stark ausgeprägt ist.

So ist auf den Abschnitten Grundstraße von Steglichstraße nach Körnerplatz und Karcherallee von Winterbergstraße nach Stübelallee in den Morgenstunden von 07:00 Uhr bis 08:00 Uhr und in den Nachmittagsstunden von 15:00 Uhr bis 17:00 Uhr eine deutliche Verschlechterung des Verkehrsflusses zu erkennen. Auf diesen Abschnitten ist in dieser Zeit bei der Mehrzahl der Fahrzeuge ein Geschwindigkeitseinbruch zu beobachten.

Deutlich weniger ausgeprägt ist die Kapazitätsgrenze im Abschnitt Karcherallee von Stübelallee nach Winterbergstraße. Hier kommt es mit zunehmender Verkehrsmenge nur vereinzelt zu einem Rückgang der Geschwindigkeit. Prinzipiell geht der Verkehrsfluss auf allen drei Abschnitten bei einer Verkehrsmenge von ca. 17 Fzg/min in einen instabilen Bereich über. Die Kapazitätsgrenze liegt demnach in diesen Abschnitten bei ca. 1.000 Fzg/h. Die Kapazität wird hierbei stark durch die Grünzeitanteile der LSA beeinflusst. Die maximale Kapazität, das heißt die Kapazität, die ohne Störeinflüsse ausschließlich durch die Anbausituation und die Spurbreite beeinflusst wird, wird für Straßen dieses Typs (ein- oder zweibahnige Hauptverkehrsstraße) in der Literatur mit Werten von 1.350 bis 1.500 Fzg/h angegeben (BANGERT 1996).

Auf den Abschnitten Große Meißner Straße von Kleine Marienbrücke nach Neustädter Markt und HansasträÙe von Fritz-Reuter-StraÙe nach Lößnitzstraße geht der Verkehrsfluss bei einer Verkehrsmenge von ca. 24 bis 26 Fzg/min in einen instabilen Bereich über. Wie auch bei den o. g. Abschnitten auf der Karcherallee und auf der Grundstraße treten diese hohen Verkehrsmengen in den Morgen- und Nachmittagsstunden auf. Im Gegensatz dazu ist jedoch bei den Abschnitten auf der GroÙen Meißner Straße, der Carolabrücke und der HansasträÙe während dieser Zeit nur ein geringer Teil der Fahrzeuge von dem Geschwindigkeitseinbruch betroffen. Die Kapazitätsgrenze liegt in diesen Abschnitten bei ca. 1.450 bis 1.550 Fzg/h. Die maximale Kapazität wird für Straßen dieses Typs (ein- oder zweibahnige Hauptverkehrsstraße bzw. zufahrtsbeschränkte Hauptverkehrsstraße) in der Literatur mit Werten von 1.500 bis 1.800 Fzg/h angegeben (BANGERT 1996). Die tatsächliche Kapazität wird hierbei, ebenso wie in den Abschnitten auf der Karcherallee und auf der Grundstraße, durch den Grünzeitanteil der LSA bestimmt.

Auf der Carolabrücke kommt es verkehrsmengenbedingt ab einer Belegung von ca. 35 Fzg/min zu einem Rückgang der Geschwindigkeit und dementsprechend zu einer Reduzierung der Verkehrsmenge. Im Gegensatz zu den anderen betrachteten Detektoren ist dieser Einbruch jedoch nicht allmählich zu beobachten, die Geschwindigkeit bleibt hier vielmehr relativ lange auf einem konstanten Niveau von ca. 50 km/h, bevor sie dann ziemlich abrupt zurück geht. Die mittlere Kapazität pro Spur liegt damit bei ca. 2.100 Fzg/h, was im Vergleich zu anderen Netzabschnitten hoch ist. Die Ursache hierfür liegt darin, dass die Verkehrsorganisation im Bereich der Brücke so gestaltet ist, dass evtl. Stauzustände tendenziell an die Brückenköpfe bzw. -zufahrten gelegt werden und weniger auf die Brückenabschnitte selbst. Diese Beobachtungen wurden bereits in TU Dresden (1998) diskutiert.

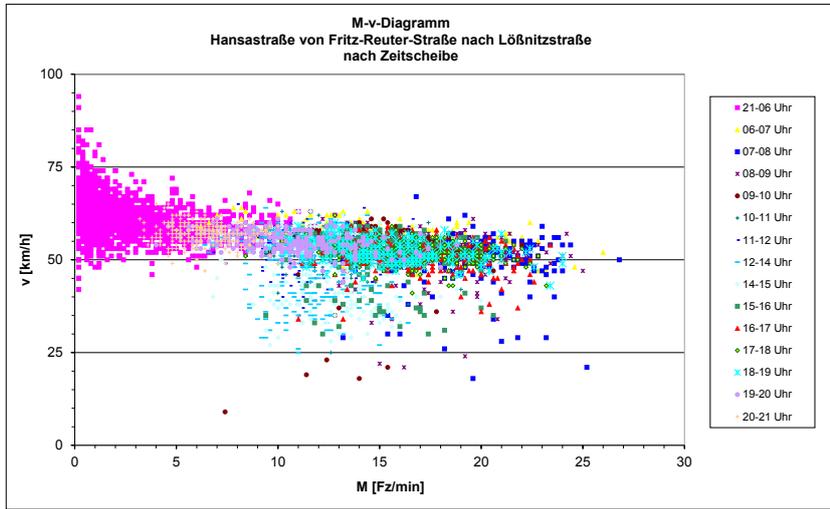


Abbildung 59: M-v-Diagramm HansasträÙe von Fritz-Reuter-StraÙe nach LößnitzstraÙe nach Zeitscheibe

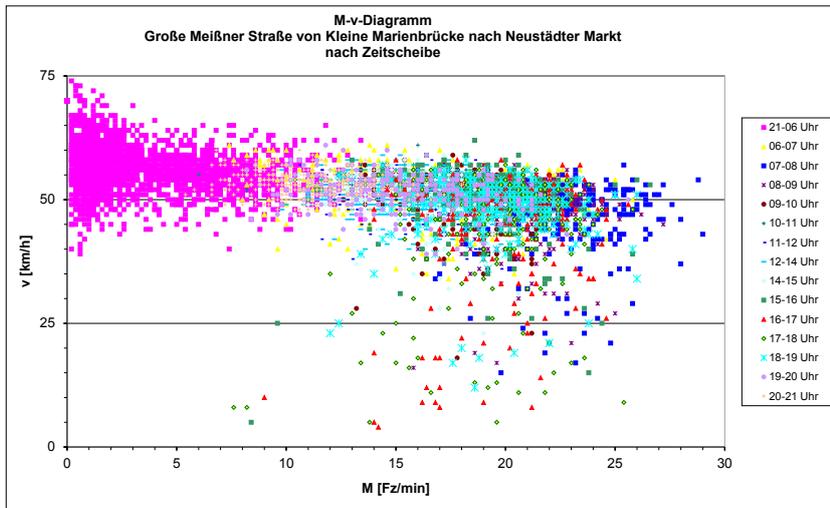


Abbildung 60: M-v-Diagramm Große Meißner Straße von Kleine Marienbrücke nach Neustädter Markt nach Zeitscheibe

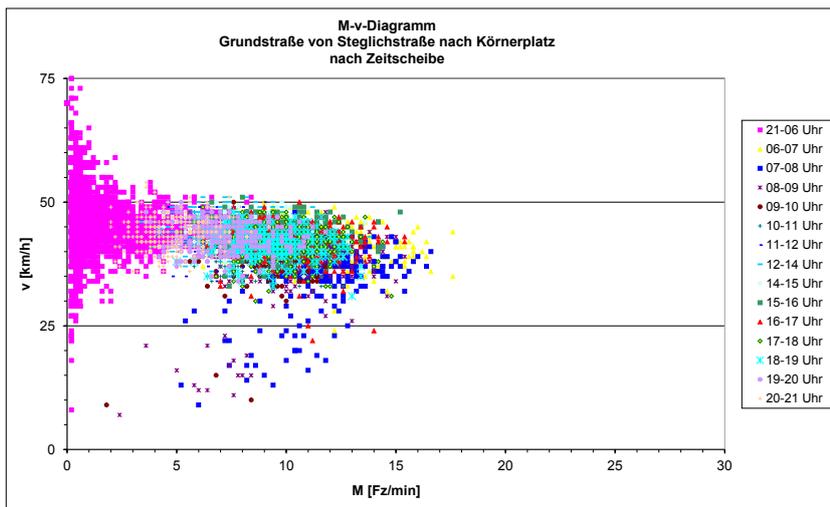


Abbildung 61: M-v-Diagramm Grundstraße von Steglichstraße nach Körnerplatz nach Zeitscheibe

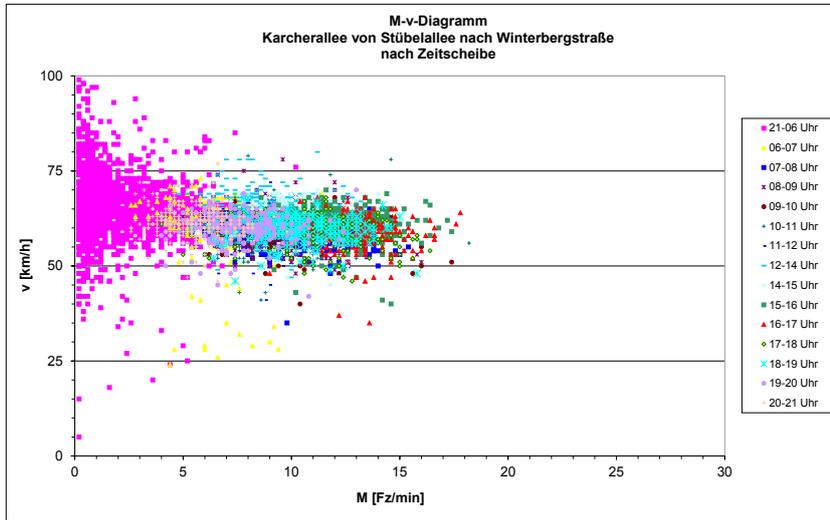


Abbildung 62: M-v-Diagramm Karcherallee von Stübelallee nach Winterbergstraße nach Zeitscheibe

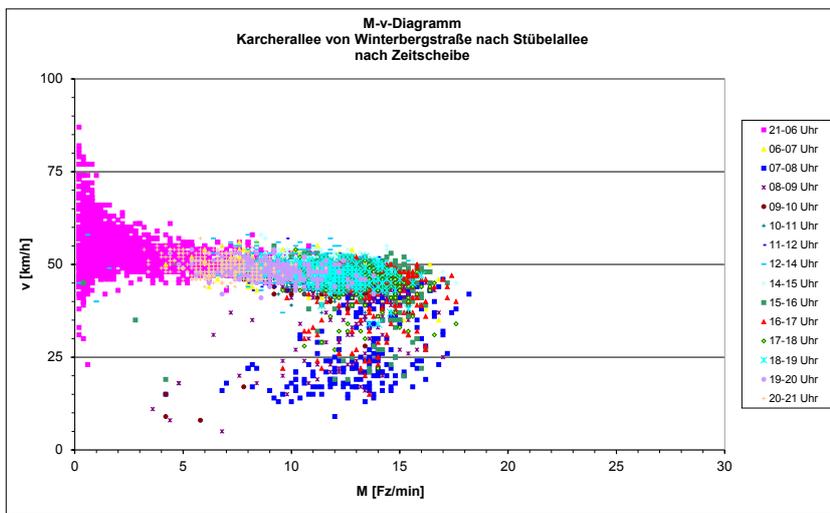


Abbildung 63: M-v-Diagramm Karcherallee von Winterbergstraße nach Stübelallee nach Zeitscheibe

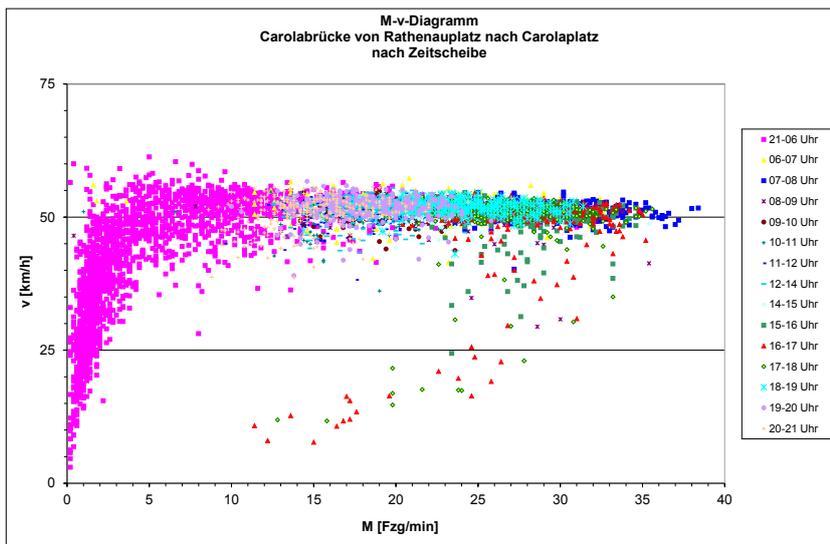


Abbildung 64: M-v-Diagramm Carolabrücke von Rathenauplatz nach Carolaplatz nach Zeitscheibe

7.4 Vergleich der Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD mit den Verkehrsmengen an den Detektoren

Um Aussagen über die Verkehrssituation im Abschnitt aus den erfassten Verkehrsmengen treffen zu können, wurden die Detektordaten und die Taxi-FCD der betrachteten Abschnitte auf eine Korrelation zwischen Verkehrsmenge und Reisegeschwindigkeit untersucht. In den Diagrammen der Abbildung 65 bis Abbildung 70 ist der Vergleich der mittleren Verkehrsmenge (Mittelwert der 5-Minuten-Werte) an den Detektoren der einzelnen Abschnitte mit den entsprechenden Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD aus den Teilbefahrungen nach Zeitscheiben dargestellt.

Danach zeigt sich bei fast allen Abschnitten eine gute Korrelation zwischen Verkehrsmenge und Reisegeschwindigkeit. Einzig im Abschnitt Große Meißner Straße von Kleine Marienbrücke nach Neustädter Markt ist dies nicht gegeben. Die Ursache hierfür liegt darin, dass die Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD in diesem Abschnitt nicht repräsentativ sind, weil sie durch den innerhalb des Abschnitts befindlichen Taxi-Stellplatz beeinflusst werden.

In den übrigen Abschnitten können aus den Verkehrsmengen innerhalb einer Zeitscheibe Aussagen zur Reisegeschwindigkeit und somit zur Verkehrssituation in dieser Zeit getroffen werden. Die qualitative Bewertung des Verkehrsflusses (flüssig, dicht, gesättigt, Stop&Go) aus der M-v-Beziehung kann somit quantitativ mit einer Verkehrssituation und einem Stop&Go-Anteil untersetzt werden.

Die Reisegeschwindigkeiten und dementsprechend auch die Verkehrssituationen können jedoch zwischen den einzelnen Abschnitten bei gleichem LOS stark variieren. So liegen die Reisegeschwindigkeiten in den Nachtstunden, in denen an allen betrachteten Abschnitten am Detektor mit einer mittleren Verkehrsmenge von 2 bis 4 Fzg/min ein flüssiger Verkehrsfluss zu erwarten ist, zwischen 33 km/h im Abschnitt Karcherallee von Winterbergstraße nach Stübelallee und 53 km/h im Abschnitt Carolabrücke. Die NO_x-Emissionsfaktoren, die sich aus diesen Reisegeschwindigkeiten ergeben, liegen somit im Abschnitt Karcherallee fast 40 % über denen im Abschnitt Carolabrücke.

In den meisten Stunden des Tages, in denen dichter oder gesättigter Verkehr herrscht, unterscheiden sich die Reisegeschwindigkeiten mit Werten zwischen 23 km/h und ca. 45 km/h in den einzelnen Abschnitten ebenfalls deutlich voneinander. In den Zeiten, in denen der Verkehrsfluss auf Grund der Verkehrsmengen instabil wird und sich dementsprechend Stop&Go-Zustände einstellen, sinken die mittleren Reisegeschwindigkeiten im Abschnitt Grundstraße und Karcherallee von Winterbergstraße nach Stübelallee auf Werte zwischen 14 bis 15 km/h. Damit werden auch dort die Reisegeschwindigkeiten des LOS Stop&Go nach HBEFA 3.1 (12,7 km/h) nahezu erreicht.

In den übrigen Abschnitten ergibt sich entsprechend der mittleren Reisegeschwindigkeit auch in den Spitzenstunden keine 100%ige Stop&Go-Verkehrssituation.

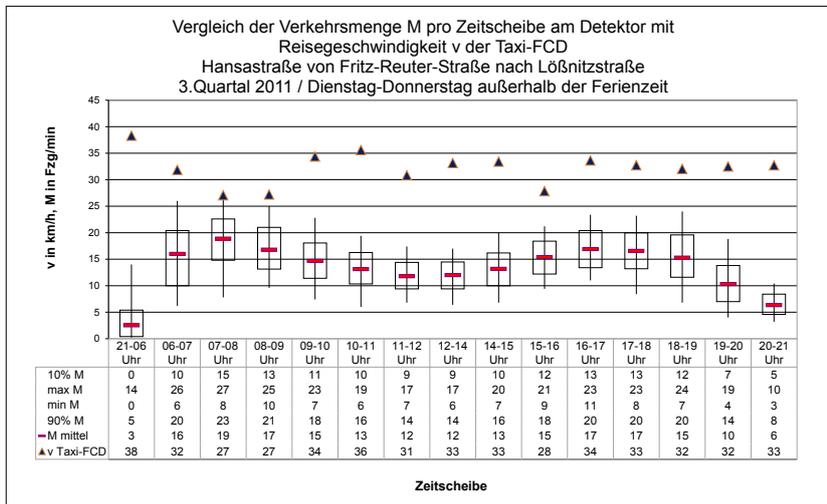


Abbildung 65: Vergleich der Verkehrsmenge M pro Zeitscheibe am Detektor mit Reisegeschwindigkeit v der Taxi-FCD im Abschnitt Hansastraße von Fritz-Reuter-Straße nach Löbnitzstraße

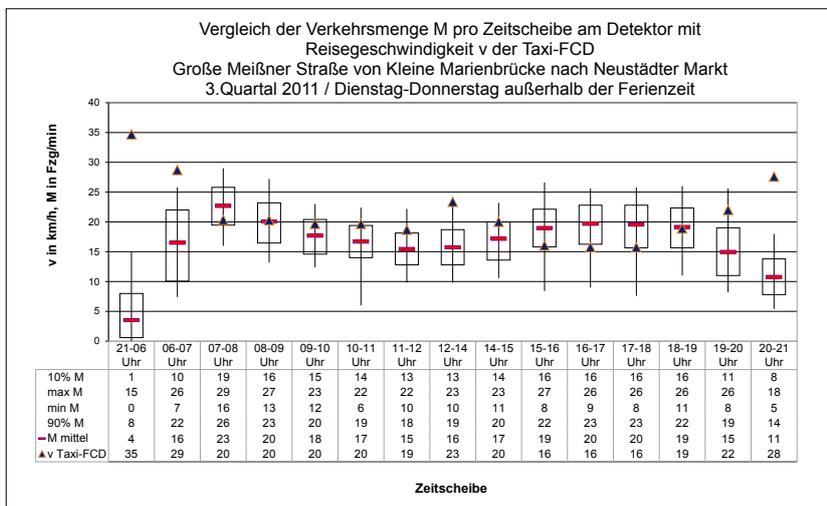


Abbildung 66: Vergleich der Verkehrsmenge M pro Zeitscheibe am Detektor mit Reisegeschwindigkeit v der Taxi-FCD im Abschnitt Große Meißner Straße von Kleine Marienbrücke nach Neustädter Markt

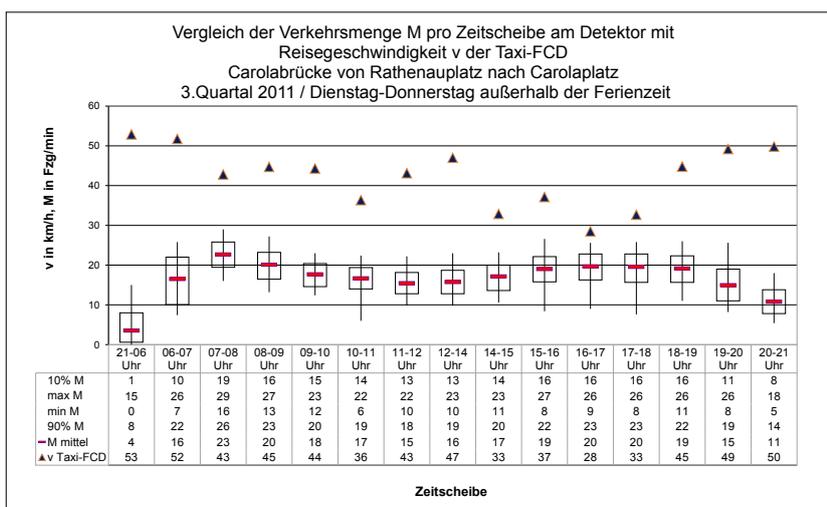


Abbildung 67: Vergleich der Verkehrsmenge M pro Zeitscheibe am Detektor mit Reisegeschwindigkeit v der Taxi-FCD im Abschnitt Carolabrücke von Rathenauplatz nach Carolaplatz

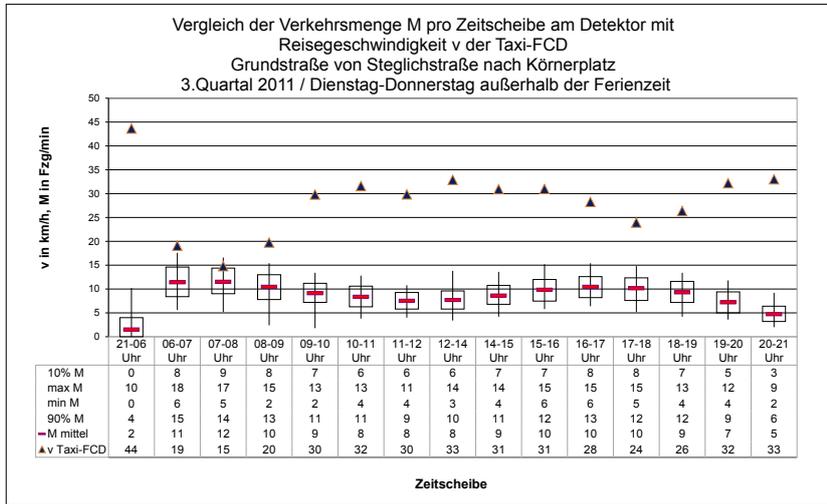


Abbildung 68: Vergleich der Verkehrsmenge M pro Zeitscheibe am Detektor mit Reisegeschwindigkeit v der Taxi-FCD im Abschnitt Grundstraße von Steglichstraße nach Körnerplatz

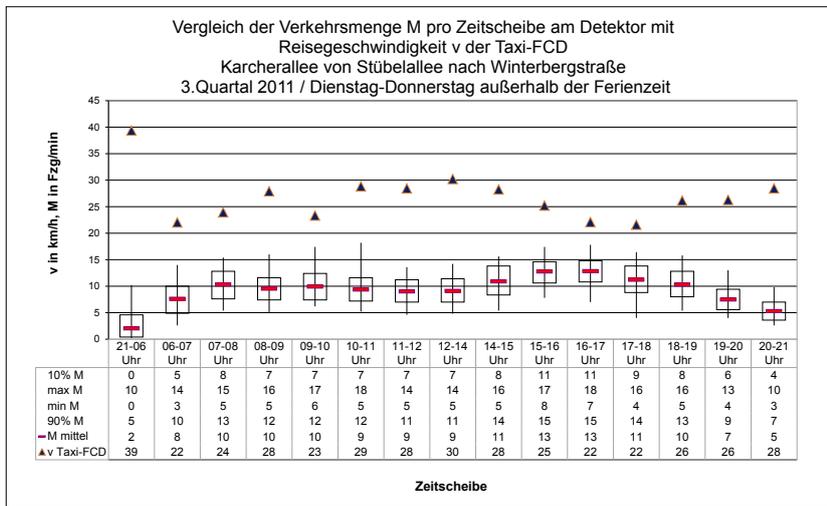


Abbildung 69: Vergleich der Verkehrsmenge M pro Zeitscheibe am Detektor mit Reisegeschwindigkeit v der Taxi-FCD im Abschnitt Karcherallee von Stübelallee nach Winterbergstraße

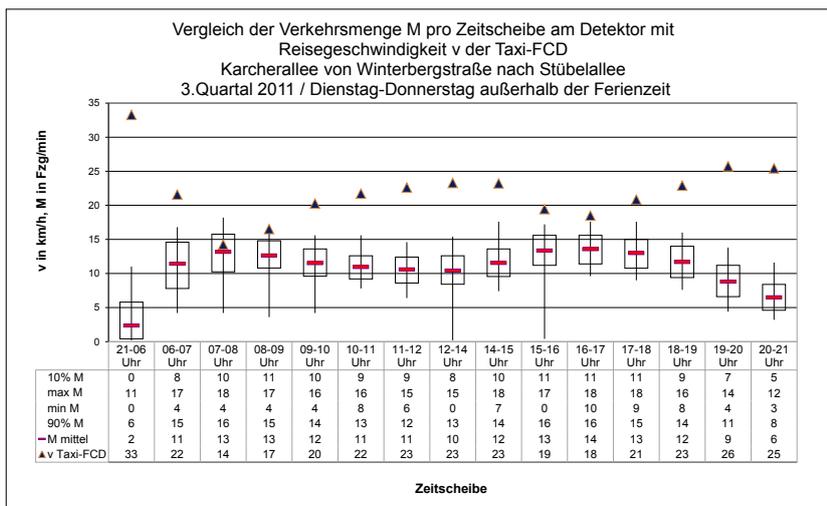


Abbildung 70: Vergleich der Verkehrsmenge M pro Zeitscheibe am Detektor mit Reisegeschwindigkeit v der Taxi-FCD im Abschnitt Karcherallee von Winterbergstraße nach Stübelallee

7.5 Fazit

Die Auswertung zeigte, dass an den untersuchten Abschnitten eine gute Korrelation zwischen den Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD und den erfassten Verkehrsmengen in den einzelnen Stunden des Tages zu beobachten ist. Die qualitative Bewertung des Verkehrsflusses (flüssig, dicht, gesättigt, Sto&Go) aus der M-v-Beziehung kann somit quantitativ mit einer Verkehrssituation und ggf. einem Stop&Go-Anteil unteretzt werden.

Auf Grund der relativ starken Schwankungen der Reisegeschwindigkeiten, die zwischen den einzelnen Abschnitten bei gleichem LOS auftreten, sind jedoch keine pauschalen Zuordnungen möglich. Die Beurteilung muss vielmehr spezifisch für jeden Einzelabschnitt erfolgen. In Verbindung mit entsprechenden Reisegeschwindigkeiten sind prinzipiell jedoch Aussagen zur Verkehrssituation auf Basis der an den Detektoren erfassten Verkehrsmengen möglich.

Eine Validierung der aufgezeigten Korrelationen kann bei veränderten Verkehrsmengen, wie sie nach der Eröffnung der Dresdner Waldschlösschenbrücke erwartet werden, unter Auswertung der entsprechenden Taxi-FCD und durch zusätzlichen Messfahrten erfolgen.

8 Entwicklung eines Ansatzes zur Ermittlung der stundenfeinen Verkehrssituation im Bereich detektierter Straßenabschnitte

Auf Basis der Kapazitätsuntersuchungen wurde ein Ansatz entwickelt, der es ermöglicht, in Abhängigkeit von den stundenfein vorliegenden Verkehrsmengen Aussagen zum Tagesgang der Verkehrssituation im Bereich der detektierten Straßenabschnitte zu treffen. Dazu wurde zunächst die Verkehrsentwicklung, die sich an den in Abschnitt 7 betrachteten Querschnitten auf Grund der Eröffnung der Waldschlösschenbrücke ergeben hat, untersucht. Anschließend wurden die Korrelationsfunktionen zwischen detektierter Verkehrsmenge und Reisegeschwindigkeit der Taxi-FCD aus den Daten des 3. Quartals 2011 mit denen des 3. Quartals 2013 verglichen. Die Taxi-FCD des Jahres 2013 wurden im Bereich der Detektoren durch Messfahrten validiert.

8.1 Entwicklung der Verkehrsmenge

In Abbildung 71 sind die an den ausgewählten Abschnitten detektierten Verkehrsmengen an den Wochentagen Dienstag bis Donnerstag außerhalb der sächsischen Schulferien im Zeitraum des 3. Quartals der Jahre 2011 und 2013 gegenübergestellt. Um die unmittelbaren Veränderungen nach Eröffnung der Waldschlösschenbrücke zu untersuchen, wurden die Daten des 3. Quartals 2013 noch einmal differenziert in die Zeiträume vor bzw. nach Eröffnung der Brücke dargestellt.

Danach zeigt sich, dass gegenüber 2011 an keinem der betrachteten Querschnitte nach Eröffnung der Brücke eine Erhöhung der Verkehrsmenge zu beobachten war. Die Gründe dafür können einerseits darin liegen, dass im Zeitraum 3. Quartal 2013 nach Eröffnung der Brücke lediglich der Monat September in die Auswertung einbezogen wurde, sodass davon ausgegangen werden kann, dass sich in dieser relativ kurzen Zeit noch keine repräsentativen Verkehrsströme eingestellt haben. Andererseits könnten die Baumaßnahmen auf der Stauffenbergallee und die dadurch bedingten Behinderungen dazu geführt haben, dass der von bzw. in Richtung Autobahn führende Verkehr noch nicht in dem Maße über die Waldschlösschenbrücke geflossen ist wie ursprünglich angenommen. Eine Auswertung über einen längeren Zeitraum bzw. mit einem längeren zeitlichen Abstand von der Brückeneröffnung konnte jedoch auf Grund der Projektlaufzeit nicht durchgeführt werden.

Im Zeitraum 3. Quartal 2013 zeigt der Vergleich „vor Eröffnung WSB“ mit „nach Eröffnung WSB“ nur unwesentliche Erhöhungen bzw. z. T. sogar Rückgänge in den Verkehrsbelegungen. Wie in Abbildung 72 dargestellt, liegen die Ursachen für diese Verkehrszunahme eher darin, dass die Verkehrsmengen im Zeitraum „vor Eröffnung WSB“ tendenziell zu niedrig angenommen werden, weil dieser Zeitraum lediglich drei Wochen umfasst, wobei zwei Wochen vor und eine Woche nach den sächsischen Schulferien in die Auswertung einbezogen wurden. Die geringe mittlere Verkehrsmenge liegt demnach offensichtlich in der geringen Verkehrsmenge während der letzten Woche vor Beginn der Schulferien begründet. Die Verkehrsmengen in der Woche unmittelbar vor Eröffnung der Brücke weisen nahezu identische Verkehrsmengen auf wie nach der Eröffnung.

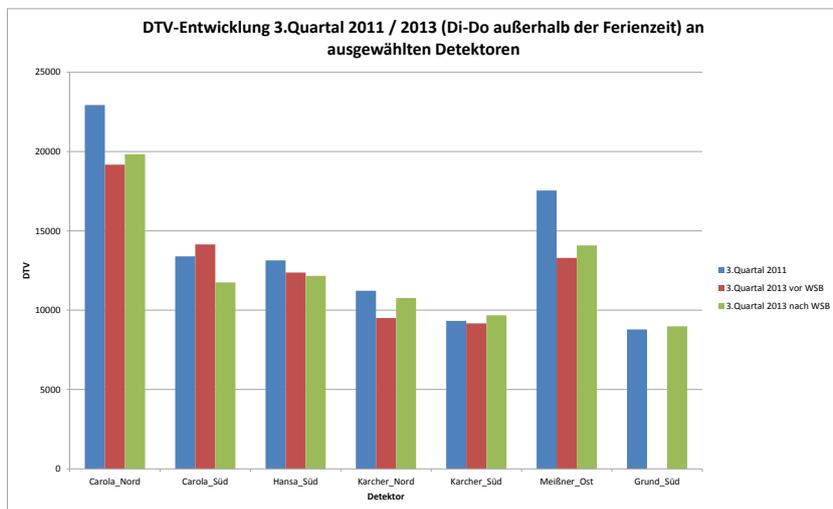


Abbildung 71: DTV-Entwicklung 3. Quartal 2011/3. Quartal 2013 an ausgewählten Detektoren im Bereich der Dresdner Waldschlösschenbrücke (WSB)

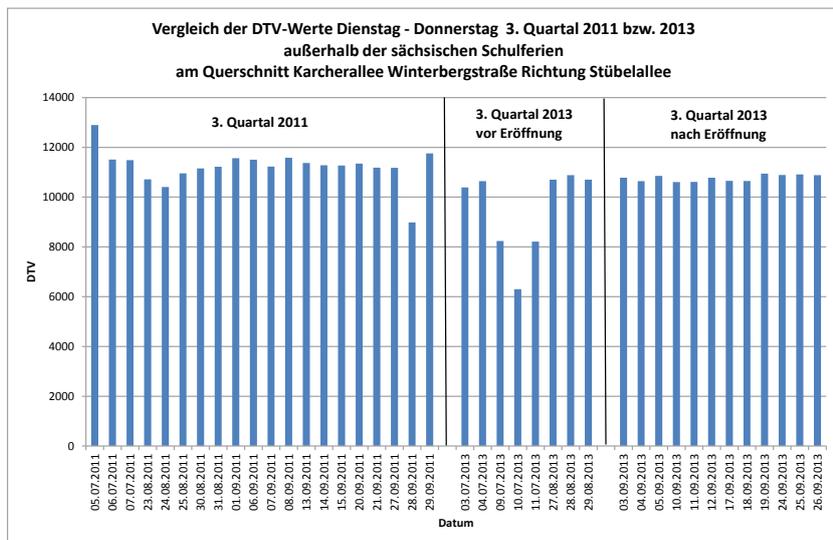


Abbildung 72: Vergleich der DTV-Werte am Querschnitt Karcherallee Winterbergstraße Richtung Stübelallee

8.2 Auswertung der Messfahrten

In Auswertung der Taxi-FCD für die betrachteten Abschnitte im Bereich der Waldschlösschenbrücke wurden zur Validierung der Daten Messfahrten durchgeführt. Dabei wurde nach der in Abschnitt 3.1.2 beschriebenen Methodik vorgegangen. Abbildung 73 zeigt die befahrenen Messstrecken.

Wesentliche Störungen wurden auf der Stauffenbergallee (baustellenbedingt zwischen Radeburger Straße und Königsbrücker Straße sowie im Zufahrtsbereich zur Königsbrücker Straße) sowie auf der Fetscherstraße und der Stübellaallee erfasst. Beim Befahren der Ost-West-Messstrecke wurden größere Störungen lediglich im Bereich zwischen Naumannstraße und Schillerplatz in Richtung Schillerplatz erfasst. Die übrigen Abschnitte wiesen keine außergewöhnlichen Verkehrszustände auf.

Die Ergebnisse der Befahrung sind im Anhang A3 in Form der v-s-Diagramme der befahrenen Messstrecken und tabellarisch als Angabe der Verkehrssituation mit entsprechendem Stop&Go-Anteil richtungsgetrennt sowie als Mittelwert über beide Fahrrichtungen enthalten.

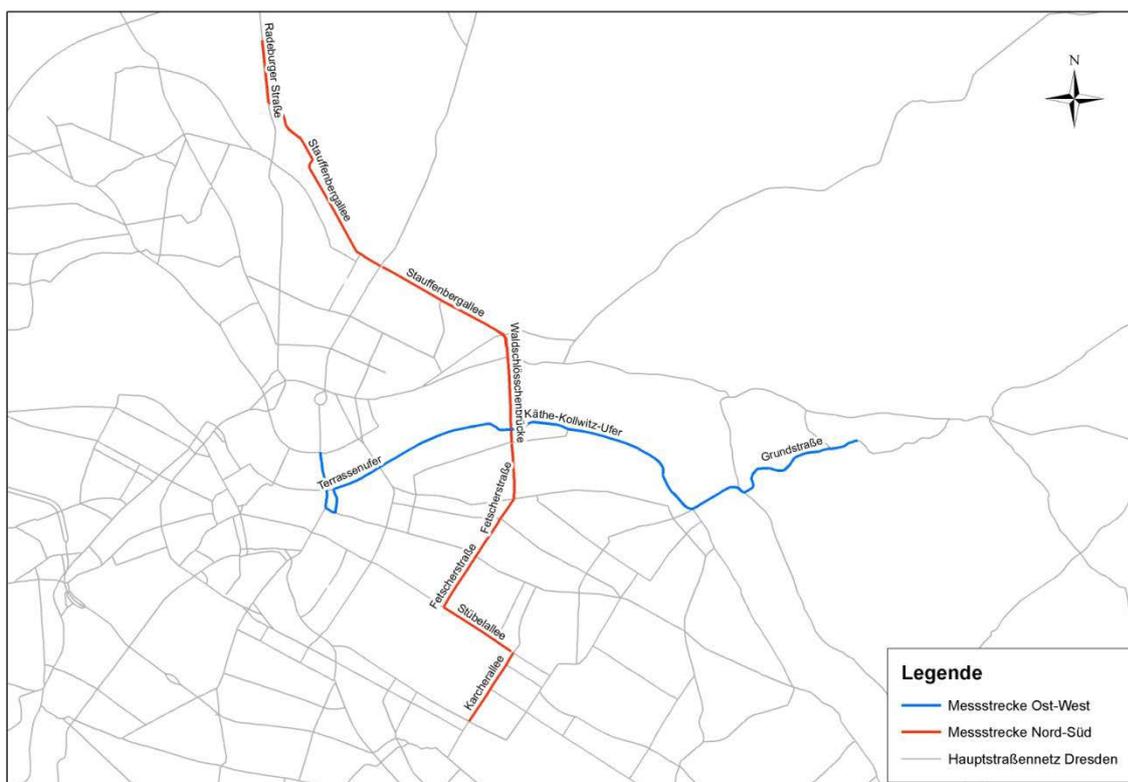


Abbildung 73: Lageplan der Messstrecken im Bereich der Dresdner Waldschlösschenbrücke

8.3 Vergleich der Regressionsfunktionen

Auf Basis der Detektordaten und der Taxi-FCD des 3. Quartals 2011 bzw. 2013 wurden die in Abschnitt 7.4 aufgezeigten Korrelationen über Regressionsfunktionen beschrieben. In Abbildung 74 bis Abbildung 79 sind für die betrachteten Abschnitte die mittleren Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD in den verschiedenen Zeitscheiben über den entsprechenden Verkehrsmengen der Detektoren aufgetragen und mit einer quadratischen Regressionsfunktion versehen. Zur Einordnung der Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD sind darüber hinaus die detektierten Fahrgeschwindigkeiten angegeben. Weil bei den Verkehrsstärken, wie in Abschnitt 8.1 beschrieben, keine wesentlichen Änderungen zu verzeichnen waren und auch die Kapazitätsgrenzen im Wesentlichen unverändert blieben, sind auch die Regressionsfunktionen der Jahre 2011

und 2013 an den einzelnen Abschnitten relativ unverändert. Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktionen ist dabei mit Werten zwischen 0,4 und 0,8 relativ gut.

In Abbildung 80 ist exemplarisch für den Abschnitt Karcherallee von Winterbergstraße nach Stübelallee der Tagesgang der NO_x-Emissionsfaktoren dargestellt, der sich bei Betrachtung der Messfahrtdaten, der Taxi-FCD und der Regressionsfunktion – jeweils für die Jahre 2011 und 2013 – ergibt, dargestellt. Die Regressionsfunktionen weisen mit 0,6 bzw. 0,8 ein relativ hohes Bestimmtheitsmaß auf. Dementsprechend liegen die mit der Regressionsfunktion berechneten Werte nur in der Frühspitze in der Zeit von 07:00 bis 09:00 Uhr leicht unter dem Wert, der sich aus den Geschwindigkeiten der Taxi-FCD ergibt. Im übrigen Tagesverlauf wird der aus den Taxi-FCD resultierende Tagesgang durch die Regressionsfunktion relativ gut repräsentiert. Der Tagesgang der NO_x-Emissionsfaktoren, der sich auf Basis der Reisegeschwindigkeiten und des RPA aus den Messfahrten ergibt, ist durch die im Vergleich zu den Taxi-FCD geringe Stichprobe und dem dementsprechend größeren Einfluss zufälliger Störungen zwar nicht so gleichmäßig ausgeprägt wie der der Taxi-FCD, aber doch gut erkennbar. Die Tagesmittelwerte der NO_x-Emissionsfaktoren sind bei allen sechs betrachteten Datenquellen nahezu identisch.

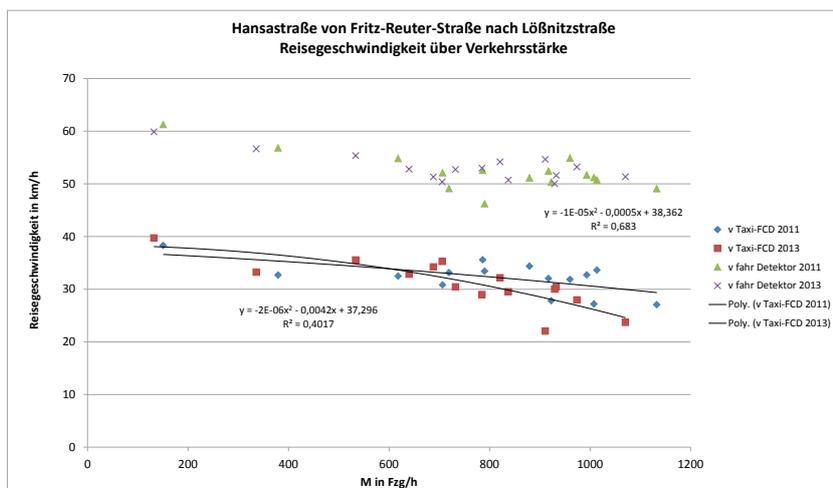


Abbildung 74: Regressionsfunktion der Reisegeschwindigkeit über Verkehrsstärke, HansasträÙe von Fritz-Reuter-StraÙe nach LößnitzstraÙe

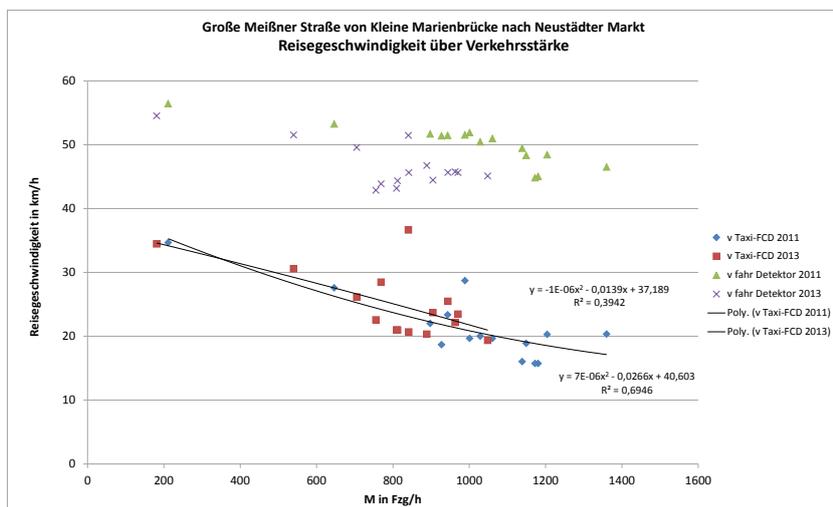


Abbildung 75: Regressionsfunktion der Reisegeschwindigkeit über Verkehrsstärke, Große Meißner StraÙe von Kleine Marienbrücke nach Neustädter Markt

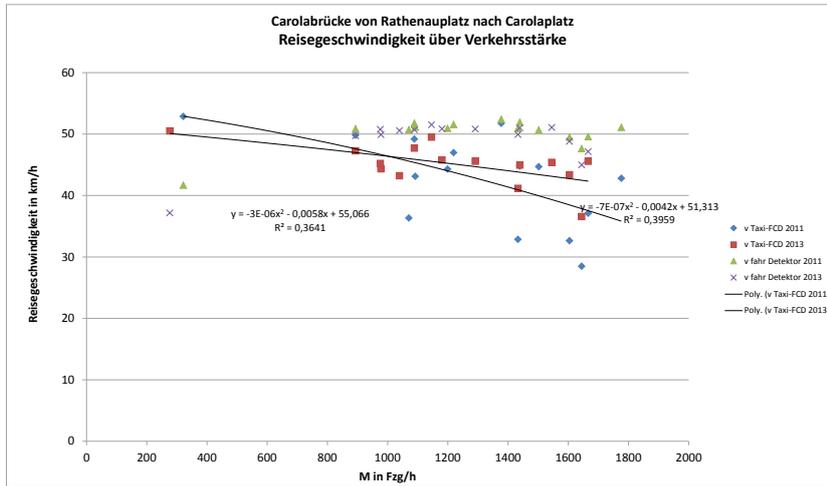


Abbildung 76: Regressionsfunktion der Reisegeschwindigkeit über Verkehrsstärke, Carolabrücke von Rathenauplatz nach Carolaplatz

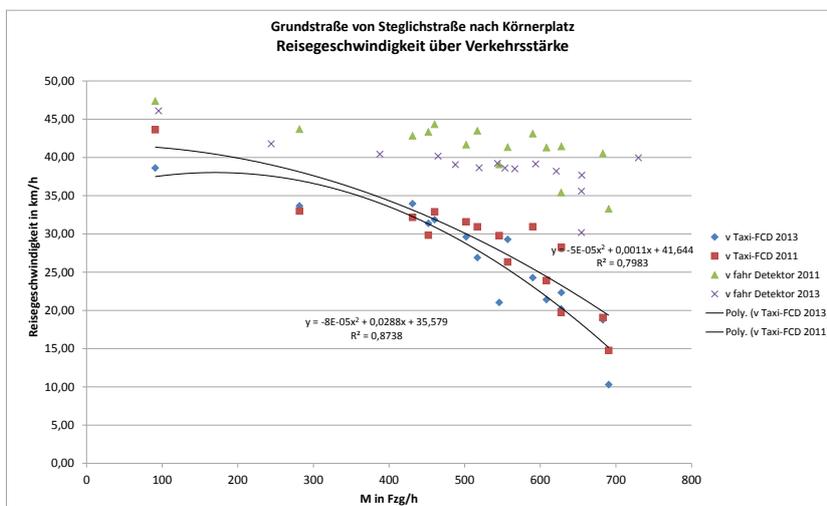


Abbildung 77: Regressionsfunktion der Reisegeschwindigkeit über Verkehrsstärke, Grundstraße von Steglichstraße nach Körnerplatz

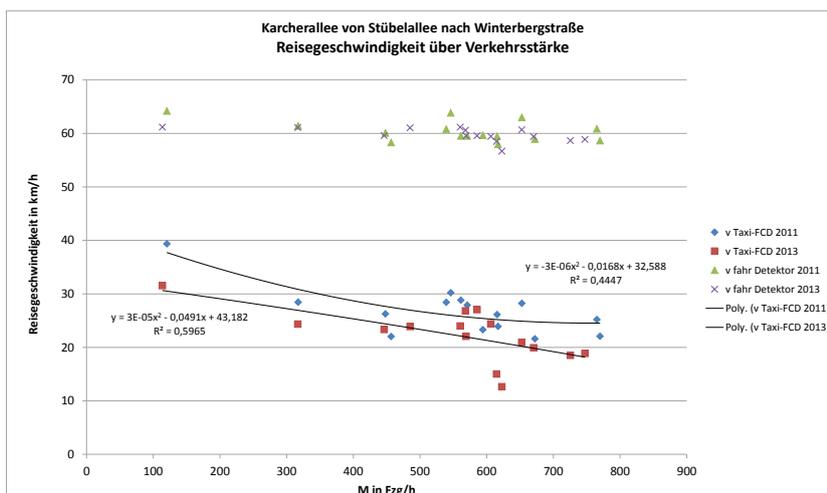


Abbildung 78: Regressionsfunktion der Reisegeschwindigkeit über Verkehrsstärke, Karcherallee von Stübelallee nach Winterbergstraße

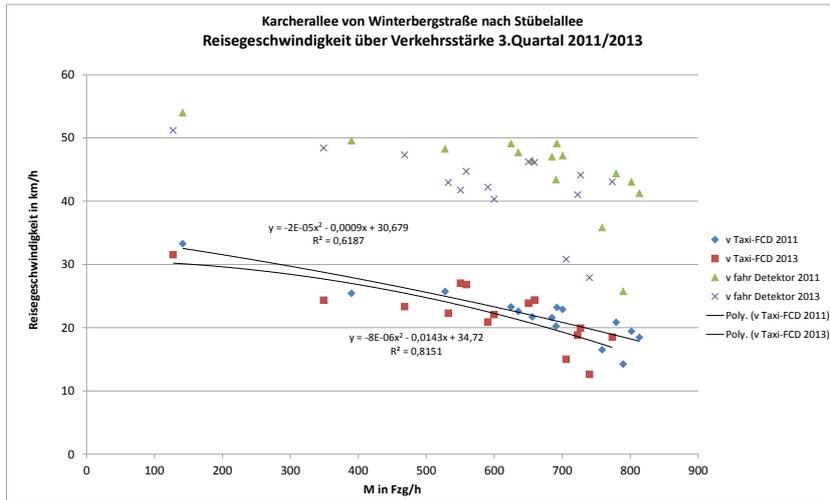


Abbildung 79: Regressionsfunktion der Reisegeschwindigkeit über Verkehrsstärke, Karcherallee von Winterbergstraße nach Stübelallee

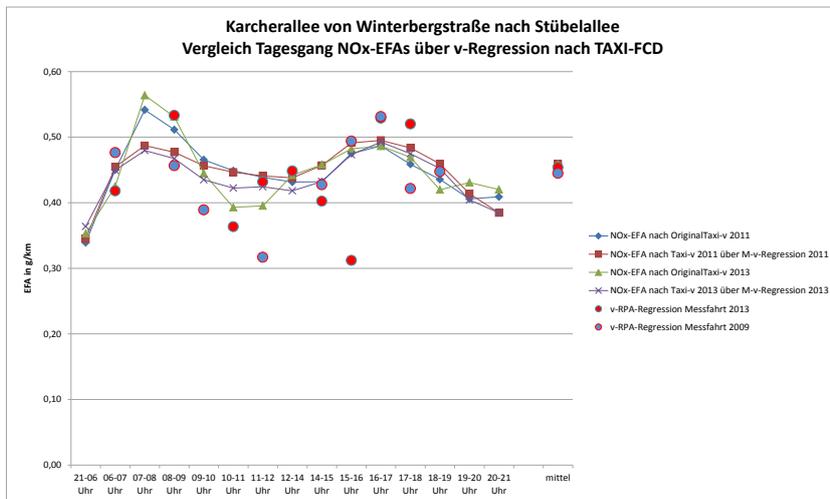


Abbildung 80: Vergleich Tagesgang NO_x-EFAs über v-Regression nach Taxi-FCD, Karcherallee von Winterbergstraße nach Stübelallee

8.4 Fazit

Durch die abgeleiteten Regressionsfunktionen lassen sich auf Basis der stundenfein detektierten Verkehrsmengen für jeden betrachteten Abschnitt die mittleren stündlichen Reisegeschwindigkeiten und über das in Abschnitt 6.2 beschriebene Vorgehen eine Verkehrssituation bestimmen. Auf Grund der z. T. sehr unterschiedlichen Verläufe der Regressionsfunktionen – nicht nur bei Betrachtung verschiedener Querschnitte, sondern auch bei Betrachtung desselben Querschnitts bei unterschiedlichen Richtungen – gelten die ermittelten Werte jedoch nur für den Abschnitt und die Richtung in unmittelbarer Umgebung des Detektors. Eine netzweite Ermittlung der Verkehrssituationen allein auf den Daten der Regressionsfunktionen ist demnach nicht möglich. Ein Einsatz ist jedoch in der Umgebung von Hotspots denkbar.

Die Regressionsfunktionen hängen stark von der Kapazität des Streckenabschnitts ab. Deshalb sollten diese bei Verwendung regelmäßig, insbesondere wenn durch bauliche Veränderungen oder Änderungen in der LSA-Steuerung angrenzender Knotenpunkte Kapazitätsänderungen zu erwarten sind, überprüft werden.

9 Zusammenfassung

Ziel des Projektes ist die Entwicklung und Verifizierung einer Methodik zur Ermittlung von Fahrmusterdaten aus den vorliegenden Verkehrsmessdaten, um einen verlässlichen Dateninput für eine qualifizierte Emissions- und Immissionsprognose zu erhalten. Entsprechend der Datenlage und der Zielstellung ergaben sich folgende Teilaufgaben:

- Geschwindigkeitsvergleich Detektoren – Messfahrten
- Analyse der Taxi-FCD
- Entwicklung eines Ansatzes zur Ermittlung der mittleren Verkehrssituationen im Dresdner Hauptstraßennetz auf Basis der Taxi-FCD
- Kapazitätsuntersuchungen an ausgewählten detektierten Straßenabschnitten im Bereich der Dresdner Waldschlösschenbrücke
- Entwicklung eines Ansatzes zur Ermittlung der stundenfeinen Verkehrssituation im unmittelbaren Bereich detektierter Straßenabschnitte

Der Vergleich der an den Detektoren erfassten Fahrgeschwindigkeiten am Querschnitt mit den entsprechenden messtechnisch erfassten Fahr- bzw. Reisegeschwindigkeiten im zugehörigen Abschnitt wies qualitativ unterschiedlich gute Korrelationen auf. Es zeigte sich zunächst, dass bei störungsärmeren Verkehrssituationen, das heißt Verkehrssituationen ohne oder mit einem geringen Standanteil, die Korrelation zwischen Querschnitts- und Abschnittsfahrgeschwindigkeit relativ gut ist, weil hierbei meist ein homogenes Fahrverhalten im gesamten Abschnitt auftritt.

Die Repräsentanz der Querschnittsgeschwindigkeit bzgl. des Abschnitts hängt zudem stark von der Gesamtlänge des Abschnitts und vor allem von der Lage des Detektors innerhalb des Abschnitts ab. Die vorhandenen Detektoren wurden primär mit dem Ziel der Verkehrsstärkemessung installiert. Werden die Detektoren (wie z. B. die Induktionsschleifen) überstaut – das heißt, kommen Fahrzeuge darauf zum Stehen – oder sind die Abstände zwischen den Fahrzeugen zu gering, kommt es zu fehlerhaften Messungen. Um diese Messfehler möglichst zu vermeiden, sind die Detektoren bzgl. der Fahrtrichtung tendenziell am Abschnittsbeginn installiert. Die Störungen im Verkehrsfluss, die einen relevanten Einfluss auf die Fahrverhaltenskennwerte nach HBEFA haben, treten jedoch bzgl. der Fahrtrichtung tendenziell im hinteren Teil des Abschnitts –meist vor dem nächsten Knotenpunkt – auf. Die Länge dieses störungsanfälligen Bereiches kann je nach Verkehrsaufkommen und Knotendurchlassfähigkeit zwischen 50 m und mehreren hundert Metern betragen. In längeren Abschnitten, in denen der Detektor zudem noch relativ weit am Abschnittsbeginn installiert ist, werden somit Störungen am Ende des Abschnitts nur selten am Detektor abgebildet.

Der Vergleich der detektierten Fahrgeschwindigkeiten am Querschnitt mit den bei den Messfahrten ermittelten Geschwindigkeiten im Abschnitt zeigte demnach, dass die Querschnittsfahrgeschwindigkeit allein kein verlässlicher Indikator für die Verkehrssituation im Abschnitt ist.

Zur Untersuchung der Eignung der vorhandenen Taxi-FCD bzgl. Aussagen zur Verkehrssituation nach HBEFA 3.1 wurden an einem ausgewählten Straßenzug des Dresdner Hauptstraßennetzes die bei den Messfahrten erhobenen Fahrverhaltenskennwerte mit denen der Taxi-FCD verglichen. Dazu wurden über die Zuordnung der Fahrverhaltenskennwerte zu den Verkehrssituationen des HBEFA 3.1 die sich daraus ergebenden Emissionsfaktoren verglichen.

Der Vergleich der Emissionsfaktoren der Taxi-FCD mit denen der Messfahrten, die sich jeweils nach Zuordnung der Reisegeschwindigkeit und des RPA zu den Verkehrssituationen des HBEFA 3.1 ergaben, zeigte, dass die Ergebnisse sich zumeist in der gleichen Größenordnung befinden, die Emissionsfaktoren aus den Messfahrten jedoch tendenziell etwas höher sind. Die Ursache dieser systematisch erscheinenden Abweichung kann vielfältig sein. Eine Ursache kann darin liegen, dass die Fahrverhaltenskennwerte der Messfahrten durch Mitschwimmen im Verkehr, also mit dem Ziel, möglichst repräsentative Werte für das allgemeine Verkehrsverhalten abzubilden, erhoben worden sind. Ein Taxi hingegen muss nicht zwangsläufig ein repräsentatives Fahrverhalten aufweisen, nicht zuletzt deshalb, weil dem Taxiverkehr als Bestand-

teil des ÖPNV-Systems im Straßenverkehr z. T. Sonderrechte wie beispielsweise die Benutzung von Busspuren eingeräumt werden.

Weiterhin ist es vorstellbar, dass die Taxi-Fahrten im unteren Geschwindigkeitsbereich bzw. mit hohen Standanteilen auf Grund der häufigeren Neuortung des GPS mit einer größeren Anzahl an Fehlwerten bei der Lokalisierung vertreten sind als Fahrten im oberen Geschwindigkeitsbereich. Diese langsameren Fahrten würden damit bei der Datenrecherche öfter als Datenausfall registriert und somit nicht in die Auswertung einbezogen werden, was wiederum den Mittelwert in Richtung der schnelleren Fahrten verschieben würde. Eine genaue Analyse dieser Vermutung wurde jedoch nicht vorgenommen.

Trotz der genannten Nachteile bzw. Unsicherheiten kann jedoch geschlussfolgert werden, dass die Taxi-FCD in der vorliegenden Qualität, das heißt unter Einbeziehung der Fahrverhaltenskennwerte Reisegeschwindigkeit und RPA, zur Ermittlung der Verkehrssituation gut geeignet sind.

Bei einer netzweiten Auswertung der vorliegenden Taxi-FCD ist jedoch die Ermittlung der Fahrverhaltenskennwerte Reisegeschwindigkeit und RPA auf Grund der enormen Datenmengen mit vertretbarem Aufwand nicht praktikabel. Eine Alternative liegt deshalb in der Verwendung mittlerer Reisezeiten der Fahrzeuge innerhalb eines Abschnitts. Diese Daten werden am Institut für Verkehrstelematik der Technischen Universität Dresden erfasst und quartalsweise archiviert. Es wurde deshalb ein praktikabler Ansatz zur Ermittlung der mittleren Verkehrssituationen nach HBEFA 3.1 für das gesamte Dresdner Hauptstraßennetz auf Basis der Reisezeiten der Taxi-FCD entwickelt.

Die Taxi-FCD liegen für das gesamte Dresdner Hauptstraßennetz, in dem die Messfahrten durchgeführt wurden, vor. In dem Datensatz 3. Quartal 2011 lagen für die in die Auswertung einbezogenen Werktage Montag bis Donnerstag außerhalb der sächsischen Schulferien während der Tagesstunden zwischen 06:00 Uhr und 21:00 Uhr im Durchschnitt zwischen 28 und 33 Fahrten, für die Nachtstunden zwischen 21:00 Uhr und 06:00 Uhr ca. 270 Fahrten pro Abschnitt und Richtung vor.

Ein Vergleich der mittleren Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD mit denen der Messfahrten zeigte in den einzelnen Abschnitten eine gute bis sehr gute Übereinstimmung.

Für die Ableitung der Verkehrssituation wurden die Korrelationen der Fahrverhaltenskennwerte der HBEFA 3.1-Verkehrssituationen mit den NO_x-Emissionsfaktoren betrachtet. Danach zeigte sich bei den Parametern Reisegeschwindigkeit und RPA eine gute bis sehr gute Korrelation, eine Korrelation zwischen Standanteil und Emissionsfaktor war nicht ausgeprägt.

Auf Basis der Korrelationsfunktionen zwischen Reisegeschwindigkeit und Emissionsfaktor wurden für die Einzelabschnitte richtungsgetreunt Emissionsfaktoren ermittelt. Ausgehend von diesem Emissionsfaktor wurde die Verkehrssituation mit dem nächstniedrigeren Emissionsfaktor als zutreffende Verkehrssituation ermittelt, wobei zunächst nur die Verkehrssituationen im LOS „flüssig“, „dicht“ oder „gesättigt“ betrachtet wurden. Zum Ausgleich der Differenz zwischen dem Emissionsfaktor der zugeordneten Verkehrssituation und dem berechneten Emissionsfaktor wurde ein Stop&Go-Anteil berechnet, sodass sich letztlich über die Kombination aus Verkehrssituation und Stop&Go-Anteil exakt der aus der Regressionsfunktion berechnete Wert ergab.

Ein Vergleich der berechneten Emissionsfaktoren der Taxi-FCD, die ausschließlich auf Basis der Korrelation mit der Reisegeschwindigkeit ermittelt wurden, gegenüber denen der Messfahrten, bei deren Berechnung neben der Reisegeschwindigkeit auch der RPA in die Korrelationsfunktion einbezogen wurde, zeigte, dass die Abweichungen bei ca. 90 % aller Messfahrtschnitte im 20 %-Bereich lagen.

Die Datensätze der Taxi-FCD sind demnach zur Ableitung der Verkehrssituation prinzipiell geeignet. Der Vorteil gegenüber den Messfahrten liegt in der deutlich höher Fahrtanzahl, wodurch eine größere Abdeckung der Fahrtbeziehungen auf den Einzelabschnitten und die Kompensation zufälliger Ereignisse erreicht werden.

Der Nachteil liegt in der nicht immer gegebenen Repräsentanz des Fahrverhaltens der Taxi-Flotte. Außerdem kommt es durch die ausschließliche Betrachtung der Reisegeschwindigkeit in Einzelfällen zu unplausiblen Zuordnungen der Verkehrssituation und somit zu Abweichungen in den Emissionsfaktoren. Für Detailuntersuchungen sind deshalb Messfahrten unerlässlich. Für Netzbetrachtungen sind die Abweichungen, die sich bei Verwendung der Taxi-FCD ergeben, tolerabel, weil die Datenmenge, die durch die Taxi-FCD zur Verfügung steht, kaum durch Messfahrten erzeugt werden kann. Bei entsprechender zeitlicher Abdeckung könnten die Taxi-FCD auch für Abschnitte angewendet werden, für die keine Messfahrten vorliegen.

Durch die Entwicklung eines Programms zur automatischen Aufbereitung der Taxi-FCD könnten die Daten in turnusmäßigen Abständen für das Dresdner Netz aktualisiert werden. Dieses Vorgehen wird als sinnvoll erachtet, weil dadurch mit relativ geringem Aufwand auf die große Menge der vorliegenden bzw. weiterhin kontinuierlich erfassten FCD zugegriffen werden kann und sich die hohen Aufwände bei der Installation und zur Unterhaltung des Erfassungssystems der FCD breiter nutzen lassen.

Für die Untersuchung der Fragestellung, welche Aussagen sich aus den ermittelten M-v-Beziehungen der detektierten Querschnitte für das Fahrverhalten bzw. für konkrete HBEFA-Verkehrssituationen treffen lassen, wurden Detektoren, die sich im Einflussbereich der Dresdner Waldschlösschenbrücke befinden, ausgewählt. Der Grund für diese Auswahl lag darin, dass mit der Öffnung der Dresdner Waldschlösschenbrücke während der Projektlaufzeit (Eröffnung im September 2013) umfängliche Änderungen der Verkehrsmengen und somit auch des Verkehrsflusses an vielen Straßen im Einflussbereich der Brücke erwartet wurden. Es wurde deshalb in einer Vorher-Nachher-Betrachtung untersucht, inwieweit sich Aussagen zum Zusammenhang zwischen detektierter Verkehrsmenge und Fahrverhalten übertragen lassen. Hierzu wurden ausgewählte Detektionswerte aus der VAMOS-Datenbasis herangezogen. Das Fahrverhalten wurde hierbei auf Basis der Taxi-FCD bestimmt. Zur Verifizierung wurden an den betreffenden Abschnitten Messfahrten durchgeführt.

Die Auswertung zeigte, dass an den untersuchten Abschnitten eine gute Korrelation zwischen den Reisegeschwindigkeiten der Taxi-FCD und den erfassten Verkehrsmengen in den einzelnen Stunden des Tages zu beobachten ist. Die qualitative Bewertung des Verkehrsflusses (flüssig, dicht, gesättigt, Stop&Go) aus der M-v-Beziehung kann somit quantitativ mit einer Verkehrssituation und ggf. einem Stop&Go-Anteil unteretzt werden.

Auf Grund der relativ starken Schwankungen der Reisegeschwindigkeiten, die zwischen den einzelnen Abschnitten bei gleichem LOS auftreten, sind jedoch keine pauschalen Zuordnungen möglich. Die Beurteilung muss vielmehr spezifisch für jeden Einzelabschnitt und richtungsgetreuen erfolgen. In Verbindung mit entsprechenden Reisegeschwindigkeiten sind prinzipiell jedoch Aussagen zur Verkehrssituation auf Basis der an den Detektoren erfassten Verkehrsmengen möglich.

Durch die abgeleiteten Regressionsfunktionen lassen sich auf Basis der stundenfein detektierten Verkehrsmengen für jeden betrachteten Abschnitt die mittleren stündlichen Reisegeschwindigkeiten und darüber eine Verkehrssituation bestimmen. Auf Grund der z. T. sehr unterschiedlichen Verläufe der Regressionsfunktionen – nicht nur bei Betrachtung verschiedener Querschnitte, sondern auch bei Betrachtung desselben Querschnitts bei unterschiedlichen Richtungen – gelten die ermittelten Werte jedoch nur für den Abschnitt und die Richtung in unmittelbarer Umgebung des Detektors. Eine netzweite Ermittlung der Verkehrssituationen allein auf den Daten der Regressionsfunktionen ist demnach nicht möglich. Ein Einsatz ist jedoch in der Umgebung von Hotspots denkbar.

10 Literaturverzeichnis

- BANGERT, M.; BECKRÖGE, W.; BRUSE M. (1996): Immissions-Simulation in Straßen (ISIS). Büro für Umweltmeteorologie, Paderborn, Studie im Auftrag des LfUG Sachsen, Dresden, 1996
- BAST (2009): Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 183/2009
- Heusch/Boesefeldt Beratende Ingenieure für Verkehrstechnik und Datenverarbeitung GmbH (1993): Untersuchungen des repräsentativen Fahrverhaltens von PKW auf Stadt- und Landstraßen; Aachen und TÜV Rheinland, Köln; im Auftrag des Umweltbundesamtes; Berlin, 1993
- INFRAS (2010): Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (CD-ROM), Version 3.1; INFRAS A, Bern; im Auftrag des Umweltbundesamtes; Bern 2010
- ISUP (2001): Umsetzungsstrategie für ein Verkehrsmanagementsystem in der Region Dresden: 1. Aufgabenkomplex "Strategieansatz und Zielkonzept", Schlussbericht zur Machbarkeitsuntersuchung im Auftrag der Landeshauptstadt Dresden; ISUP Ingenieurbüro für Systemberatung und Planung GmbH/TU Dresden, Institut für Verkehrstelematik, Lehrstuhl für Verkehrsleitsysteme und -prozessautomatisierung/Fraunhofer Institut Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI/Schlothauer und Partner Ingenieurbüro für Straßenverkehr; Dresden, März 2001
- LOHMEYER (2011): Einbindung des HBEFA 3.1 in das FIS Umwelt und Verkehr sowie Neufassung der Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb des Straßenverkehrs; Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul unter Mitarbeit der TU Dresden sowie der BEAK Consultants GmbH, Gutachten im Auftrag des LfULG Sachsen, Dresden, Juni 2011
- SCHNABEL, W.; LOHSE, D. (1997): Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung; Verlag für Bauwesen, 1997
- TU Dresden (1998): Auswertung empirisch bestimmter Fahrmusterdaten; Eignungsprüfung und Vergleich von Ansätzen zur Fahrmusterberechnung im Dresdner Hauptstraßennetz; TU Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie, Studie im Auftrag des Amtes für Umweltschutz der Stadt Dresden; Dresden, Dezember 1998
- TU Dresden (2005): Das BMBF-Leitprojekt intermobil Region Dresden, Schlussbericht des Zuwendungsempfängers zur Forschungsinitiative "Mobilität in Ballungsräumen" des Bundesministeriums für Bildung und Forschung; Dresden; TU Dresden, Institut für Verkehrstelematik, Lehrstuhl für Verkehrsleitsysteme und -prozessautomatisierung; Dresden, Mai 2005
- TU Dresden (2009): Bestimmung der Verkehrssituationen auf ausgewählten Hauptstraßen der Stadt Dresden; TU Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie, Studie im Auftrag des Amtes für Umweltschutz der Stadt Dresden; Dresden, 2009
- TU Dresden (2010): Bestimmung der Verkehrssituationen auf ausgewählten Hauptstraßen der Stadt Chemnitz; TU Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie, Studie im Auftrag des Amtes für Umweltschutz der Stadt Dresden; Dresden, 2010
- TU Dresden (2011): Erarbeitung einer plausiblen Übertragung der Verkehrssituationen aus HBEFA 2.1 zu HBEFA 3.1; TU Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie, Studie im Auftrag des LfULG Sachsen, Dresden, 2011

11 Anhang

- Anhang A1: In die Untersuchung einbezogene Detektoren
- Anhang A2: Tagesgang der Verkehrssituationen (Messfahrten/Taxi-FCD) im Untersuchungsabschnitt Königsbrücker Straße
- Anhang A3: Ergebnisse der Messfahrten im Bereich der Dresdener Waldschlösschenbrücke

11.1 Anhang A1

Messstrecke	Abschnitt	Netz	NAME	LOKATION	RICHTUNG	ID	Datum Messfahrten				
							02.11.2009	03.11.2009	04.11.2009	05.11.2009	06.11.2009
1	19	PEG 0293	Carolabrücke i.H. brückenführender Rampen	Ri. Neustadt	289, 290	x	x				
1	19	PEG 0293	Carolabrücke i.H. brückenführender Rampen	Ri. Altstadt	291, 292	x	x				
1	11	PEG 0506	Nürnberger Str. i.H. F.-Foerster-Platz	Ri. Strehlen	501, 502	x	x				
1	11	PEG 0506	Nürnberger Str. i.H. F.-Foerster-Platz	Ri. Südvorstadt	499, 500	x	x				
1	28	PEG 0507	Bergstr. i.H. Mommsenstr.	Ri. BAB AS DD-Südvorstadt	491, 492	x		x			
1	28	PEG 0507	Bergstr. i.H. Mommsenstr.	Ri. Zentrum	493, 494	x		x			
1	1	PEG 0808	Kesselsdorfer Str. i.H. Baumarkt	Ri. BAB AS DD-Gorbitz	1076	x	x				
1	1	PEG 0808	Kesselsdorfer Str. i.H. Baumarkt	Ri. Zentrum	1077	x	x				
1	14	DDL 110	F.-List-Platz	Abfluss Süd	1017, 1019	x	x				
1	14	DDL 421	F.-Löffler-Platz	Abfluss Nord	1037, 1035	x	x				
1	13	DDL 421	F.-Löffler-Platz	Abfluss Süd	1039, 1041	x	x				
1	18	TEU 5	St. Petersburger Str. i.H. LZB	Ri. Zentrum	416	x	x				
1	16	TEU 9	St. Petersburger Str. i.H. F-LSA Kristallpalast	Ri. Zentrum	929	x	x				
1	16	TEU 9.2	St. Petersburger Str. i.H. F-LSA Kristallpalast	Ri. Südvorstadt	1096	x	x				
1	20	TEU 11	Albertstr. i.H. Ritterstr.	Ri. Zentrum	1097	x	x				
1	17	TEU 15	St. Petersburger Str. i.H. Lingnerallee	Ri. Zentrum	1102	x	x			x	
2	31	PEG 0124	Wiener Str. i.H. Umlandstr.	Ri. Strehlen	420, 421	x		x			
2	30	PEG 0124	Wiener Str. i.H. Umlandstr.	Ri. Zentrum	422, 423	x		x			
2	47	PEG 1002	Leipziger Str. i.H. Alter Schlachthof	Ri. Pieschen	1091	x		x			
2	47	PEG 1002	Leipziger Str. i.H. Alter Schlachthof	Ri. Zentrum	1092	x		x			
2	45	TEU 4	Gr. Meissner Str. i.H. Königstr.	Ri. Zentrum	415	x		x			
2	35	TEU 22.1	Karcherallee zw. Herkulesallee u. Bodenbacher Str.	Ri. Stübelallee	1109	x		x			
2	35	TEU 22.2	Karcherallee zw. Bodenbacher Str. u. Herkulesallee	Ri. Winterbergstr.	1110	x		x			
3	66	PEG 0342	K.-Kollwitz-Ufer i.H. Th.-Müntzer-Platz	Ri. Blasewitz	513	x			x		
3	66	PEG 0342	K.-Kollwitz-Ufer i.H. Th.-Müntzer-Platz	Ri. Zentrum	514	x			x		
3	67	PEG 0346	Loschwitzer Brücke i.H. Schillerplatz	Ri. Loschwitz	368	x			x		
3	67	PEG 0346	Loschwitzer Brücke i.H. Schillerplatz	Ri. Blasewitz	369, 370, 371	x			x		
3	55	PEG 0906	Hamburger Str. i.H. Flügelweg	Ri. BAB-AS DD-Altstadt	921, 922	x			x		
3	55	PEG 0906	Hamburger Str. i.H. Flügelweg	Ri. Zentrum	923, 924	x			x		
3	54	PEG 0909	Meißner Landstr. i.H. Schnuckstr.	Ri. BAB-AS DD-Altstadt	509, 510	x			x		
3	54	PEG 0909	Meißner Landstr. i.H. Schnuckstr.	Ri. Zentrum	511, 512	x			x		
3	72	PEG 1214	Bautzner Landstr. i.H. Rossendorfer Str.	Ri. Weißig	417	x			x		
3	72	PEG 1214	Bautzner Landstr. i.H. Rossendorfer Str.	Ri. Bühlau	418	x			x		
3	59	TEU 8	Schäferstr. i.H. Beringstr.	Ri. Zentrum	928	x			x		
3	69	TEU 10	Grundstr. i.H. Steglichstr.	Ri. Zentrum	930	x			x		
4	85	PEG 0132	Ammonstr. i.H. Rosenstr.	Ri. Könnernitzstr.	909, 910	x				x	
4	86	PEG 0132	Ammonstr. i.H. Rosenstr.	Ri. Budapest Str.	911, 912	x				x	
4	82	DDL 012	Könnernitzstr./Maxstr.	Abfluss Nord	1013	x				x	
4	83	DDL 012	Könnernitzstr./Maxstr.	Abfluss Süd	1015	x				x	
4	83	DDL 449	Könnernitzstr./Jahnstr.	Abfluss Nord	1029	x				x	
4	83	DDL 449	Könnernitzstr./Jahnstr.	Abfluss Süd	1031	x				x	
4	76	TEU 3	Hansastr. zw. Conradstr. u. Großenhainer Str.	Ri. Neustadt	414	x				x	
4	44	TEU 6	Bautzner Str. i.H. Pulsnitzer Str.	Ri. Zentrum	631	x		x			
4	93	TEU 13	Freiberger Str. i.H. Postplatz	Ri. Zentrum	1011	x				x	
4	89	TEU 17	Budapester Str. i.H. Vitzthumstr.	Ri. Zentrum	1012	x				x	
4	74	TEU 18.1	Radeburger Str. i.H. Weinbergstr.	Ri. Zentrum	1099	x				x	
4	74	TEU 18.2	Radeburger Str. i.H. Weinbergstr.	Ri. BAB AS DD-Hellerau	1100	x				x	

11.2 Anhang A2

A2.1: Tagesgang der Verkehrssituationen Abschnitt 21 (Messfahrten)

Stunde	Abs_21/Richtung 1	Abs_21/Richtung 2
<6	Agglo/FernStr-City/50/dicht	Agglo/FernStr-City/50/dicht
06 - 07	Agglo/ Erschliessung/40/Stop&Go	Agglo/ Erschliessung/40/Stop&Go
07 - 08	Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt	
08 - 09		Agglo/AB-City/100/Stop&Go
09 - 10		
10 - 11		
11 - 12		
12 - 13		
13 - 14		
14 - 15		Agglo/ Erschliessung/40/Stop&Go
15 - 16		
16 - 17	Agglo/AB-City/60/Stop&Go	Agglo/AB-City/100/Stop&Go
17 - 18		
18 - 19	Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt	
19 - 20		Agglo/AB-City/100/Stop&Go
20 - 21		
21 - 22		
>22	Agglo/FernStr-City/50/dicht	Agglo/FernStr-City/50/dicht

A2.2: Tagesgang der Verkehrssituationen Abschnitt 22 (Messfahrten)

Stunde	Abs_22/Richtung 1	Abs_22/Richtung 2
<6	Agglo/FernStr-City/50/dicht	Agglo/FernStr-City/50/dicht
06 - 07	Agglo/ Erschliessung/40/Stop&Go	Agglo/ Erschliessung/40/Stop&Go
07 - 08		
08 - 09	Agglo/AB-City/100/Stop&Go	Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt
09 - 10		
10 - 11		Agglo/AB-City/100/Stop&Go
11 - 12		
12 - 13		
13 - 14		Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt
14 - 15		Agglo/AB-City/100/Stop&Go
15 - 16	Agglo/ Erschliessung/40/Stop&Go	Agglo/ Erschliessung/40/Stop&Go
16 - 17		
17 - 18		
18 - 19		
19 - 20	Agglo/AB-City/100/Stop&Go	Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt
20 - 21		Agglo/AB-City/100/Stop&Go
21 - 22		
>22	Agglo/FernStr-City/50/dicht	Agglo/FernStr-City/50/dicht

A2.3: Tagesgang der Verkehrssituationen Abschnitt 23 (Messfahrten)

Stunde	Abs_23/Richtung 1	Abs_23/Richtung 2
<6	Agglo/HVS/50/flüssig	Agglo/FernStr-City/50/dicht
06 - 07	Agglo/Sammel/50/dicht	Agglo/Sammel/50/dicht
07 - 08		Agglo/ Erschliessung/40/Stop&Go
08 - 09		
09 - 10		Agglo/Sammel/50/dicht
10 - 11		
11 - 12		
12 - 13		
13 - 14		
14 - 15		Agglo/ Erschliessung/40/Stop&Go
15 - 16		
16 - 17		
17 - 18		
18 - 19		Agglo/Sammel/50/dicht
19 - 20		
20 - 21		
21 - 22		
>22	Agglo/HVS/50/flüssig	Agglo/FernStr-City/50/dicht

A2.4: Verkehrssituation Abschnitt 21 Richtung 1 (FCD)

Stunde	Anzahl	v_Reise	Standanteil	RPA	Verkehrssituation
0	12	45,62	10,52%	0,13	Agglo/HVS/80/gesaettigt
2	16	50,91	8,97%	0,11	Agglo/HVS/70/dicht
4	28	43,36	10,76%	0,14	Agglo/HVS/60/dicht
6	27	28,43	16,62%	0,15	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
8	7	39,48	25,07%	0,17	Agglo/FernStr-City/60/gesaettigt
10	3	10,77	54,92%	0,11	Agglo/AB-City/60/ Stop&Go
12	7	23,50	23,72%	0,21	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
14	5	26,08	21,20%	0,17	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
16	3	16,10	37,56%	0,13	Agglo/AB-City/100/stop+go
18	5	27,96	19,93%	0,13	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
20	12	36,74	14,99%	0,19	Agglo/HVS/50/dicht
22	8	45,23	10,97%	0,11	Agglo/HVS/80/gesaettigt

A2.5: Verkehrssituation Abschnitt 22 Richtung 1 (FCD)

Stunde	Anzahl	v_Reise	Standanteil	RPA	Verkehrssituation
0	10	43,85	12,07%	0,13	Agglo/HVS/60/dicht
2	11	51,00	12,83%	0,18	Agglo/HVS/70/dicht
4	18	43,59	12,50%	0,18	Agglo/HVS/60/dicht
6	7	26,40	30,15%	0,14	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
8	3	22,82	54,56%	0,30	Agglo/AB-City/100/Stop&Go
10	8	30,94	19,01%	0,23	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
12	15	30,80	21,50%	0,17	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
14	11	18,03	48,44%	0,22	Agglo/AB-City/100/Stop&Go
16	10	23,22	40,69%	0,24	Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt
18	7	25,49	30,54%	0,17	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
20	11	43,74	15,14%	0,16	Agglo/FernStr-City/70/gesaettigt
22	22	45,00	10,43%	0,15	Agglo/HVS/60/dicht

A2.6: Verkehrssituation Abschnitt 23 Richtung 1 (FCD)

Stunde	Anzahl	v_Reise	Standanteil	RPA	Verkehrssituation
0	10	57,40	0,00%	0,10	Agglo/FernStr-City/60/fluessig
2	15	52,33	6,08%	0,12	Agglo/FernStr-City/80/gesaettigt
4	19	56,11	5,05%	0,09	Agglo/HVS/80/dicht
6	14	38,82	9,64%	0,13	Agglo/HVS/70/gesaettigt
8	9	33,43	10,66%	0,17	Agglo/HVS/60/gesaettigt
10	7	38,94	12,03%	0,23	Agglo/HVS/50/dicht
12	7	44,88	4,59%	0,11	Agglo/HVS/50/fluessig
14	6	37,32	8,24%	0,09	Agglo/HVS/50/dicht
16	5	30,03	20,22%	0,18	Agglo/HVS/50/gesaettigt
18	10	45,17	6,42%	0,13	Agglo/HVS/50/fluessig
20	19	51,94	2,26%	0,13	Agglo/HVS/60/fluessig
22	12	58,39	1,29%	0,08	Agglo/FernStr-City/60/fluessig

A2.7: Verkehrssituation Abschnitt 21 Richtung 2 (FCD)

Stunde	Anzahl	v_Reise	Standanteil	RPA	Verkehrssituation
0	13	40,76	17,36%	0,13	Agglo/FernStr-City/60/gesaettigt
2	16	38,02	23,06%	0,17	Agglo/FernStr-City/60/gesaettigt
4	13	41,25	15,84%	0,13	Agglo/Sammel/60/dicht
6	18	33,76	19,39%	0,13	Agglo/HVS/60/gesaettigt
8	7	25,24	24,89%	0,14	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
10	4	28,49	20,97%	0,18	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
12	10	32,37	23,93%	0,18	Agglo/HVS/60/gesaettigt
14	5	22,62	30,26%	0,16	Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt
16	7	31,22	19,30%	0,10	Agglo/HVS/50/gesaettigt
18	13	27,47	24,47%	0,14	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
20	12	29,79	22,36%	0,13	Agglo/HVS/50/gesaettigt
22	15	35,58	23,33%	0,11	Agglo/FernStr-City/60/gesaettigt

A2.8: Verkehrssituation Abschnitt 22 Richtung 2 (FCD)

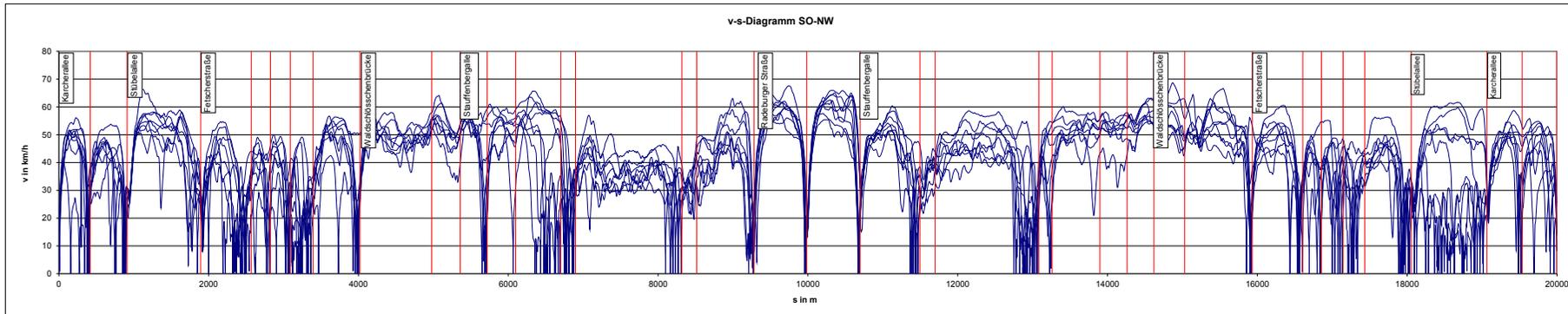
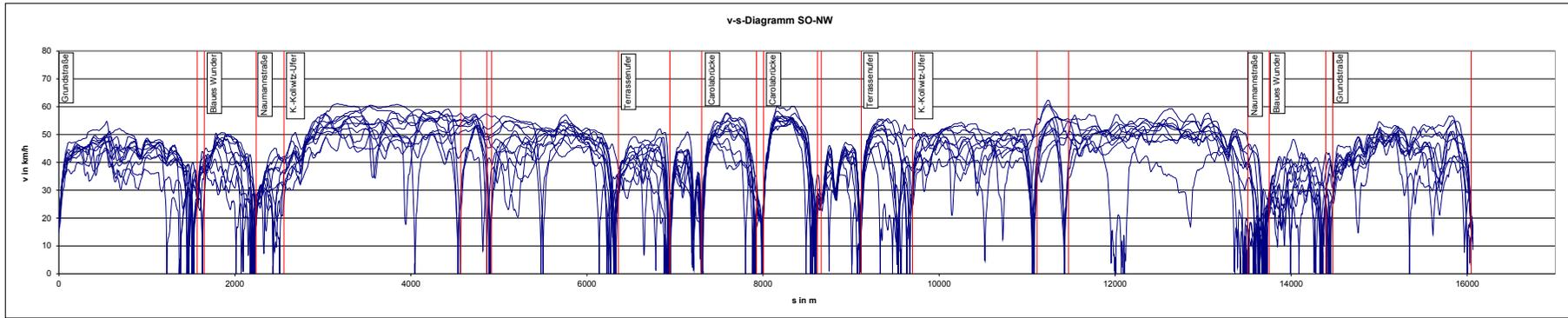
Stunde	Anzahl	v_Reise	Standanteil	RPA	Verkehrssituation
0	20	41,11	14,31%	0,09	Agglo/HVS/70/gesaettigt
2	11	38,51	21,09%	0,12	Agglo/FernStr-City/60/gesaettigt
4	15	40,21	20,51%	0,08	Agglo/FernStr-City/60/gesaettigt
6	9	33,66	20,63%	0,12	Agglo/FernStr-City/50/gesaettigt
8	14	29,69	20,74%	0,12	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
10	11	27,06	27,25%	0,13	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
12	6	30,25	22,27%	0,17	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
14	9	28,29	22,77%	0,14	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
16	8	22,51	38,14%	0,19	Agglo/AB-City/100/Stop&Go
18	9	27,28	29,54%	0,11	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
20	8	35,11	25,83%	0,09	Agglo/FernStr-City/50/gesaettigt
22	13	41,61	14,08%	0,07	Agglo/Sammel/60/dicht

A2.9: Verkehrssituation Abschnitt 23 Richtung 2 (FCD)

Stunde	Anzahl	v_Reise	Standanteil	RPA	Verkehrssituation
0	12	49,33	7,12%	0,07	Agglo/HVS/70/dicht
2	7	62,37	0,00%	0,05	Agglo/AB-City/80/gesaettigt
4	9	55,87	5,42%	0,06	Agglo/FernStr-City/60/fluessig
6	8	28,28	22,21%	0,11	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
8	10	31,80	22,43%	0,14	Agglo/HVS/50/gesaettigt
10	9	30,00	18,94%	0,12	Agglo/HVS/50/gesaettigt
12	9	25,56	31,50%	0,12	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
14	11	23,39	32,02%	0,16	Agglo/Erschliessung/30/gesaettigt
16	10	18,13	36,01%	0,14	Agglo/AB-City/100/Stop&Go
18	20	33,36	15,73%	0,14	Agglo/HVS/60/gesaettigt
20	12	54,93	3,37%	0,08	Agglo/HVS/80/dicht
22	16	54,77	1,46%	0,06	Agglo/HVS/80/dicht

11.3 Anhang A3

Anhang A3.1: v-s-Diagramme der Messfahrten im Bereich der Dresdner Waldschlösschenbrücke



Anhang A3.2: Ermittelte Verkehrssituationen im Bereich der Dresdner Waldschlösschenbrücke

Straße	von	bis	Abs_Länge (m)	Tempolimit	StrTyp	VSit_HBEFA	StGo-Anteil
Karcherallee	Tiergartenstraße	Winterbergstraße	417,4	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	89,1%
Karcherallee	Winterbergstraße	Tiergartenstraße	460,3	50	HVS	Agglo/HVS/50/gesaettigt	2,2%
Karcherallee	Winterbergstraße	Tiergartenstraße	438,9	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	37,3%
Karcherallee	Winterbergstraße	Stübelallee	492,8	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	43,9%
Karcherallee	Stübelallee	Winterbergstraße	468,2	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	5,2%
Karcherallee	Stübelallee	Winterbergstraße	480,5	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	22,2%
Stübelallee	Karcherallee	Fetscherstraße	982,9	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	7,9%
Stübelallee	Fetscherstraße	Karcherallee	1012,5	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	35,9%
Stübelallee	Fetscherstraße	Karcherallee	997,7	50	HVS	Agglo/HVS/50/gesaettigt	8,3%
Fetscherstraße	Stübelallee	Pfotenhauer Straße	2126,5	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	54,9%
Fetscherstraße	Pfotenhauer Straße	Stübelallee	2120,3	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	31,0%
Fetscherstraße	Pfotenhauer Straße	Stübelallee	2123,4	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	42,7%
Waldschlösschenbrücke	Pfotenhauer Straße	Tunnel Einfahrt	958,4	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	0,0%
Waldschlösschenbrücke	Tunnel Einfahrt	Pfotenhauer Straße	902,9	50	HVS	Agglo/HVS/50/gesaettigt	4,5%
Waldschlösschenbrücke	Tunnel Einfahrt	Pfotenhauer Straße	930,7	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	0,8%
Waldschlösschenbrücke	Tunnel Einfahrt	Tunnel Ausfahrt	381,3	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	0,0%
Waldschlösschenbrücke	Tunnel Ausfahrt	Tunnel Einfahrt	412,0	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	0,0%
Waldschlösschenbrücke	Tunnel Ausfahrt	Tunnel Einfahrt	396,7	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	0,0%
Stauffenbergallee	Tunnel Ausfahrt	Landesdirektion	358,6	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	5,0%
Stauffenbergallee	Landesdirektion	Tunnel Ausfahrt	357,5	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	0,0%
Stauffenbergallee	Landesdirektion	Tunnel Ausfahrt	358,1	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	0,0%
Stauffenbergallee	Landesdirektion	Königsbrücker Landstraße	1177,6	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	45,2%
Stauffenbergallee	Königsbrücker Landstraße	Landesdirektion	1179,4	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	0,0%
Stauffenbergallee	Königsbrücker Landstraße	Landesdirektion	1178,5	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	17,4%
Radeburger Straße	Stauffenbergallee	Meinholdstraße	700,9	50	FernStr-City	Agglo/FernStr-City/50/gesaettigt	19,5%
Radeburger Straße	Meinholdstraße	Stauffenbergallee	714,4	50	FernStr-City	Agglo/FernStr-City/50/gesaettigt	29,5%
Radeburger Straße	Meinholdstraße	Stauffenbergallee	707,7	50	FernStr-City	Agglo/FernStr-City/50/gesaettigt	24,4%
Grundstraße	Tännichtweg	LSA Steglichstraße	349,0	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	16,2%
Grundstraße	LSA Steglichstraße	Tännichtweg	349,0	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	15,6%
Grundstraße	LSA Steglichstraße	Tännichtweg	349,0	50	HVS	Agglo/HVS/50/gesaettigt	10,0%
Grundstraße	LSA Steglichstraße	Körnerplatz	1222,5	50	HVS	Agglo/HVS/50/gesaettigt	1,1%
Grundstraße	Körnerplatz	LSA Steglichstraße	1225,0	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	9,4%
Grundstraße	Körnerplatz	LSA Steglichstraße	1223,8	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	13,3%
Blaues Wunder	Körnerplatz	Schillerplatz2	669,6	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	31,9%
Blaues Wunder	Schillerplatz2	Körnerplatz	722,5	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	46,9%
Blaues Wunder	Schillerplatz2	Körnerplatz	696,1	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	39,7%
Naumannstraße	Schillerplatz	Batheldesplatz	315,9	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	30,4%
Naumannstraße	Batheldesplatz	Schillerplatz	243,4	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	139,8%
Naumannstraße	Batheldesplatz	Schillerplatz	279,7	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	77,8%
Käthe-Kollwitz-Ufer	Batheldesplatz	Sachsenplatz	3799,0	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	0,0%
Käthe-Kollwitz-Ufer	Sachsenplatz	Batheldesplatz	3807,8	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	1,4%
Käthe-Kollwitz-Ufer	Sachsenplatz	Batheldesplatz	3803,4	50	HVS	Agglo/HVS/50/fluessig	0,2%
Carolabrücke	Rathenauplatz	Carolaplatz	622,5	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	38,4%
Carolabrücke	Carolaplatz	Rathenauplatz	612,1	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	73,9%
Carolabrücke	Carolaplatz	Rathenauplatz	617,3	50	HVS	Agglo/HVS/50/dicht	56,5%

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Matthias Körner, Dr. Falk Richter, Wolfram Schmidt
Technische Universität Dresden, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr
Lehrstuhl für Verkehrsökologie
Lehrstuhl für Verkehrsleitsysteme und -prozessautomatisierung
Gerhart-Potthoff-Bau, Hettnerstraße 1, 01069 Dresden
Telefon: +49 351 463-36563
Telefax: +49 351 463-37718
E-Mail: Wolfram.Schmidt@tu-dresden.de

Redaktion:

Uwe Wolf
Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen/Referat Klima, Luftqualität
Söbrigener Str. 3a, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-5106
Telefax: +49 351 2612-5199
E-Mail: uwe.wolf@smul.sachsen.de

Fotos:

Matthias Körner

Redaktionsschluss:

13.06.2014

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.