

D
I
P
L
O
M
A
R
B
E
I
T

Untersuchung der Eignung von unterschiedlichen Verkehrsdatenerfassungs- systemen zur Reisezeitermittlung auf einem Streckenabschnitt

Verfasserin:

Marie-Sophie Marcinek

Diplomarbeit für das Fachgebiet
VERKEHRSWESEN

Betreuung:

Peter Maurer

Priv.- Doz. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn.



Institut für Verkehrswesen
Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur
Universität für Bodenkultur Wien

Danksagung

Besonderer Dank gilt Herrn Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Peter Maurer für seine kritische, geduldige und zuvorkommende Betreuung. Ebenso danke ich ihm und den Kollegen am Austrian Institute of Technology (AIT) für die Ermöglichung dieser Arbeit. Bei Herrn Ing. Alfred Paukerl MSc, MAS, meinem Vorgesetzten in der Firma EBE Solutions, bedanke ich mich für die Geräteausstattung und sein wie auch das von meinen Arbeitskollegen entgegengebrachte Verständnis. Nicht zuletzt danke ich jenen Personen, die sich an der Projektrealisierung beteiligten.

Mein größter Dank geht an Herrn Dipl.-Ing. Hannes Koller vom AIT für seine fachliche und moralische Unterstützung, unermüdliche Geduld, Gesprächs- und Hilfsbereitschaft. Dank der anregenden Diskussionen wurde letztendlich auch der Inhalt dieser Arbeit geprägt.

Mein herzlichster Dank richtet sich an meine Familie und Freunde, die mir fortwährend Zuspruch, Mut und Vertrauen entgegenbrachten und mir verständnisvoll in dieser nicht immer leichten Zeit stets zur Seite standen.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst, keine anderen, als die angeführten Quellen benutzt und mich sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe. Weiters versichere ich, dass diese Diplomarbeit weder im In- noch im Ausland als wissenschaftlicher Text veröffentlicht wurde.

Wien, September 2011

Wenn in der vorliegenden Arbeit die männliche Schreibweise gewählt wurde, dann aus Gründen der besseren Lesbarkeit. Sie bezieht sich auf die männliche und die weibliche Form gleichermaßen.

Kurzfassung

Verkehrsmanagementsysteme dienen zur Planung, Optimierung und Steuerung von Verkehrsströmen und bedienen sich verschiedener Verkehrsmodelle. Kombinationen der Daten aus unterschiedlichen Erfassungssystemen ermöglichen die Erstellung eines optimalen Verkehrsmodells sowie die Prognosen der zu erwartenden Verkehrsströme.

Einen wichtigen Parameter in einem Verkehrsmodell stellt neben der Verkehrsstärke die Reisezeit dar. Zur Herleitung der Reisezeit müssen Verkehrsdaten mithilfe von Sensorsystemen erfasst werden. Heutzutage befinden sich Verkehrsdatenerfassungssysteme basierend auf unterschiedlichen Technologien in Verwendung. Sie unterscheiden sich in der Güte der gelieferten Daten aufgrund ihrer unterschiedlichen Funktionsweisen oder ihrer Erfassungsgenauigkeiten.

Ziel der Diplomarbeit ist es, die Eignung von unterschiedlichen Verkehrsdatenerfassungssystemen in Hinblick auf die Ermittlung der Reisezeit auf einem Streckenabschnitt zu evaluieren. Dabei soll die Verkehrsdatenerfassung mittels stationärer als auch dynamischer Systeme in einer realen Testumgebung mit einer möglichst großen Datengrundlage realisiert werden.

Anhand eines automatisierten Kennzeichenerfassungssystems, welches als Referenz dient, werden mit anderen Technologien (Infrarot, Radar, FCD) arbeitende Systeme einem Benchmark unterzogen. Die Teststrecke wurde so gewählt, dass für den innerstädtischen Verkehr übliche Verkehrssituationen auftreten, anhand dieser die Eignung der unterschiedlichen Verkehrsdatenerfassungssysteme hinsichtlich der Ermittlung der Reisezeit beurteilt werden. Die erhobenen Daten werden in weiterer Folge einer statistischen Bewertung unterzogen.

Als Ergebnis werden Vorteile und Nachteile der untersuchten Systeme in Zusammenhang mit der Ermittlung der Reisezeit aufgezeigt. Des Weiteren werden Aussagen über die Anwendungsgrenzen (z.B. Aufstellungsort, Genauigkeit) der einzelnen Verkehrsdatenerfassungssysteme hinsichtlich der Ermittlung der Reisezeit getroffen.

Abstract

Traffic management systems are used to plan, optimize and control traffic flows and are based on various traffic models. A combination of data coming from different detection systems makes an optimized traffic model and precise forecasts of traffic flow possible. Better quality of traffic data and processing algorithms result in more accurate forecasts.

Besides traffic volume the travel time is an important parameter within a traffic model. Travel time is specified as the time from departure until arrival of a vehicle for a pre-defined route. Sensor detection systems are required to estimate travel time. Today's traffic detection systems are based on different technologies. They differ in quality of data due to different functionality and accuracy of data detection.

The objective of the thesis is to evaluate various traffic detection systems with regard to estimating travel time on a route. Therefore, traffic data is collected by means of static and dynamic systems within a realistic test site in order to obtain a representative data base.

A high-quality Automatic Number Plate Recognition system is used as ground truth. Other systems based on infrared, radar and floating car data technology are benchmarked against the reference system. A test site including typical traffic situations in urban areas was selected to evaluate traffic detection systems regarding travel time estimation. The acquired data is compared against the reference system and the detection quality is assessed using statistical methods and indicators.

The results of the thesis are advantages and disadvantages relating to travel time estimation of the investigated detection systems. They are based on the acquired data and statistical assessments against the reference system. In addition, results include statements about the limit of applicability (e.g. data consistency, accuracy or positioning of the systems) regarding travel time estimation of the corresponding traffic detection systems.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Problemstellung	1
1.3	Zielsetzung.....	2
2	Verkehrsdaterfassungssysteme zur Ermittlung der Reisezeit.....	3
2.1	Anwendungen der projektrelevanten Systeme	3
2.2	Datengrundlage der Reisezeitermittlung.....	9
2.2.1	Verkehrsparameter	9
2.2.2	Zustandsformen des Verkehrs	9
3	Erhebung von Verkehrsdaten	12
3.1	Empirische Datenerhebung	12
3.1.1	Automatic Number Plate Recognition	12
3.1.2	Radarsensor	15
3.1.3	Traffic Eye Universal	15
3.1.4	Floating Car Data.....	17
3.2	Kriterien zur Auswahl der Teststrecke und Messzeitraum	21
3.3	Beschreibung der Teststrecke	22
3.3.1	Gewählte Strecke	22
3.3.2	Messquerschnitt 1.....	24
3.3.3	Messquerschnitt 2.....	26
3.3.4	Messquerschnitt 3.....	28
3.4	Überblick der erhobenen Daten	29
3.4.1	Rahmenbedingungen bei der Datenerhebung	30
3.4.2	ANPR Daten	31
3.4.3	Radarsensor Daten	32
3.4.4	Traffic Eye Universal Daten.....	33
3.4.5	FCD Daten.....	34
4	Vergleich der ermittelten Reisezeiten	37
4.1	Allgemeines	37
4.1.1	Statistische Kenngrößen zur Qualitätsbeurteilung	37
4.1.2	Grafische Darstellungen	38
4.2	Vergleich der Daten des Radarsensors und ANPR	39
4.2.1	Abschnitt 1.....	40
4.2.2	Abschnitt 2.....	42
4.3	Vergleich der Daten von Traffic Eye Universal und ANPR	45
4.4	Vergleich der Daten von „FCD linkbezogen“ und ANPR für ein 15 Minuten-Intervall ..	48
4.4.1	Abschnitt 1.....	48
4.4.2	Abschnitt 2.....	51
4.5	Vergleich der Daten von „FCD linkbezogen“ und ANPR für ein 5 Minuten-Intervall ...	53
4.5.1	Abschnitt 1.....	53
4.5.2	Abschnitt 2.....	55
4.6	Vergleich der Daten von „FCD Durchfahrer“ mit ANPR für ein 15 Minuten-Intervall ...	58
4.6.1	Abschnitt 1.....	58
4.6.2	Abschnitt 2.....	60

4.7	Vergleich der Daten von „FCD Durchfahrer“ und ANPR für ein 5 Minuten-Intervall	62
4.7.1	Abschnitt 1	63
4.7.2	Abschnitt 2	65
5	Interpretation und Diskussion der Ergebnisse	68
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	68
5.1.1	Querschnittsbezogene Verkehrsdatenerfassungssysteme	69
5.1.1.1	Radarsensor	69
5.1.1.2	Traffic Eye Universal.....	70
5.1.2	Streckenbezogene Verkehrsdatenerfassungssysteme	70
5.1.2.1	FCD linkbezogen	71
5.1.2.2	FCD Durchfahrer	73
5.2	Vor- und Nachteile, Anwendungsgrenzen	74
5.2.1	Radarsensor	74
5.2.2	Traffic Eye Universal	74
5.2.3	FCD linkbezogen	75
5.2.4	FCD Durchfahrer	76
6	Exkurs: Vergleich der Daten von FCD linkbezogen in korrigierter Form und ANPR	78
6.1	Allgemeines	78
6.2	Datenvergleich	81
6.3	Interpretation und Diskussion der Ergebnisse	83
7	Zusammenfassung	85
8	Literaturverzeichnis.....	88
9	Anhang	90
9.1	Tabellarische Beschreibung der Teststrecke	90
9.2	Reisezeitdarstellung.....	92
9.2.1	Abschnitt 1	92
9.2.2	Abschnitt 2	95
10	Abbildungsverzeichnis	98
11	Tabellenverzeichnis	101
12	Abkürzungen	102

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die vorliegende Arbeit entstand begleitend zum Forschungsprojekt QM4ITS (Quality Management for Intelligent Transport Systems) in Kooperation mit dem Austrian Institute of Technology (AIT), EBE Solutions und ITS Vienna Region. Das Projekt befasste sich mit der Qualitätsbeurteilung und systematischen Verbesserung der Datenqualität von Verkehrsmanagementsystemen. Solche Systeme dienen der Steuerung und Beeinflussung von Verkehrsströmen und leisten einen wesentlichen Beitrag zur Optimierung der Verkehrsabläufe. Somit lassen sich z. B. durch Staus entstehende verkehrsbedingte Umweltbelastungen reduzieren, aber auch die Verkehrssicherheit erhöhen. Verkehrsmanagementsysteme gewinnen in der heutigen Zeit einen immer höher werdenden Stellenwert und sind für die Verkehrsplanung im urbanen Gebiet aufgrund des stetig steigenden Verkehrsaufkommens von besonderem Interesse. Da die städtischen Verkehrsflächen in ihrer Ausdehnung begrenzt sind, muss es ein Ziel sein, die Vorhandenen bestmöglich zu nutzen [SCHÄFER, 2002].

Verkehrsmanagementsysteme treffen Aussagen beruhend auf verschiedenen Verkehrsmodellen. Solche Modelle generieren ihre Daten u. a. basierend auf Verkehrsdaten und Reisezeit. Aussagen hinsichtlich der Reisezeit sind besonders dann präzise, wenn die verwendeten Algorithmen und die Güte der durch die Sensorik gewonnenen Daten von hoher Qualität sind. Heutzutage findet eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Erfassung von Verkehrsdaten Anwendung, die auf verschiedenen Technologien basieren. Diese können auf dem Prinzip der querschnittsbezogenen oder streckenbezogenen Datenerfassung beruhen [LINAUER, 2005]:

- Querschnittsbezogene Verkehrsdatenerfassungssysteme erheben Daten an einem definierten Standort, weswegen sie auch als stationär bezeichnet werden. Sie können dauerhaft oder temporär installiert werden. Allgemein bekannte Anwendungen sind z. B. die videobasierte Section Control oder der Radarsensor.
- Streckenbezogene Verkehrsdatenerfassungssysteme generieren Daten kontinuierlich sich im Verkehr mitbewegend. Da sie nicht vor Ort installiert werden, werden sie als dynamisch bezeichnet. Ein bekannter Vertreter solch eines Systems ist die Methode der Floating Car Data (FCD).

1.2 Problemstellung

Bewährte querschnittsbezogene Technologien sind beispielsweise Induktionsschleifen, Magnetfeld-, Infrarot-, Radarsensoren und videobasierte Systeme, wobei laufend Produkte am Markt angeboten werden. Diese werden von den Herstellern prinzipiell als „sehr gut“ beschrieben und durch den Ausbau der Technologien der Detektion und Datentransferanbindung gerne zur Verkehrsdatenerfassung verwendet. Jedoch stoßen die querschnittsbezogenen Systeme im Stadtgebiet auch an ihre Grenzen, um z. B. flächendeckende Reisezeitinformationen zu generieren, weshalb streckenbezogene Methoden als wesentliche Ergänzung zur Erfassung von Verkehrsdaten dienen [SCHÄFER, 2002]. Dabei bilden einzelne Fahrzeuge eine dynamische Messflotte, die im Verkehr „mitfließt“ und den aktuellen Verkehrszustand anhand von Position, Zeit und Geschwindigkeit an den abgefahrenen Routen erfasst. Basierend auf dieser Funktionsweise hat sich im Englischen u. a. der Begriff „Floating Car“ etabliert. Da für die erhobene Verkehrsinformation sich in der deutschsprachigen Literatur „Floating Car Data“ (FCD) durchgesetzt hat [LINAUER, 2005], wird auch in der vorliegenden Arbeit diese Bezeichnung verwendet.

Allen Technologien ist gemein, dass die Qualität der erhobenen Verkehrsdaten schwer zu überprüfen ist, da es sich bei jedem Wert um ein nicht reproduzierbares, kurz auftretendes Ereignis handelt, aus dem in Echtzeit die Reisezeit abgeleitet wird. Des Weiteren beruht die Datenqualität auf verschiedenen Aspekten wie Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Korrektheit, Vollständigkeit, Aktualität und Konsistenz.

Die Herausforderung liegt auch darin, dass systemimmanente Eigenschaften bei der Evaluierung der Genauigkeit der Reisezeitermittlung zu berücksichtigen sind. Als Beispiel können bei querschnittsbezogenen Verkehrsdatenerfassungssystemen die Problematik der Positionierung der Sensoren und bei streckenbezogenen Systemen die Größe des Stichproben genannt werden.

Auch wenn die Reisezeit eine weit verbreitete und durchaus nützliche Information über den Verkehrszustand darstellt, haben sich schlussendlich noch keine einheitlichen Methoden zur Bewertung der Qualität der Daten etabliert [MARGULICI, 2008].

1.3 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist, unterschiedliche Systeme, die Verkehrsdaten erfassen, hinsichtlich der Ermittlung der Reisezeit auf einem Streckenabschnitt zu evaluieren. Es soll eine Methode zur Bewertung der Zuverlässigkeit und Genauigkeit dieser Systeme hinsichtlich der Reisezeitschätzung präsentiert werden und in einem weiteren Schritt eine Bewertung der erfassten Daten anhand von Referenzdaten durchgeführt werden. Aus diesem Assessment sind letztendlich Vor- und Nachteile der Systeme sowie deren Anwendungsgrenzen darzulegen. Die Erkenntnisse daraus sollen in Zukunft einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Anwendung in Verkehrsmodellen leisten. Im Gegensatz zu vielen anderen Publikationen beschäftigt sich diese Arbeit nicht mit Algorithmen zur Aufbereitung von Verkehrsdaten für eine präzise Reisezeitschätzung.

Zur Erreichung der Ziele werden vier verschiedene in der Neuzeit gebräuchliche Technologien ausgewählt, wobei ein Kennzeichenerfassungssystem als Referenz dient und ein infrarotbasierendes System, ein Radarsensor und Floating Car Daten dagegen evaluiert werden. Des Weiteren wird eine Testumgebung unter realen Bedingungen definiert. Sie soll mit einer ausreichenden Sensor-Infrastruktur ausgestattet sein und die auf die Reisezeit einwirkenden Verkehrssituationen wie Stau oder freier Verkehr sollen häufig eintreten. Mithilfe der verschiedenen Sensortechnologien werden über den Messzeitraum von einer Woche Verkehrsdaten erhoben, so dass eine Heterogenität in der Verkehrssituation mit hoher Wahrscheinlichkeit gewährleistet ist. Die gewonnenen Daten werden miteinander in Bezug auf das Referenzsystem verglichen. Im Fokus steht die Beurteilung der Genauigkeit der ermittelten Reisezeit im Staufall. Die Vergleiche erfolgen mithilfe gängiger statistischer (Verkehrs-) Größen. Die Bewertung der Daten dient schließlich als Grundlage für die Diskussion der Vor- und Nachteile sowie der Anwendungsgrenzen der Systeme.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse der Arbeit sollen als Werkzeug für die Beurteilung unterschiedlicher Verkehrsdatenerfassungssysteme hinsichtlich der Eignung für eine genaue Reisezeitermittlung dienen. Sie zeigen auf, unter welchen Rahmenbedingungen querschnittsbezogene und streckenbezogene Systeme effizient angewendet werden können. Im Besonderen die Eignung der Systeme für die Stauerkennung bzw. die Bewertung der Güte der erhobenen Daten im Staufall lassen sich als wesentlicher Nutzen nennen.

2 Verkehrsdaterfassungssysteme zur Ermittlung der Reisezeit

ITS Vienna Region wurde von den Ländern Wien, Niederösterreich und Burgenland als eigenständiges Projekt im VOR (Verkehrsverbund Ostregion) 2006 gegründet. Auf Basis eines intermodalen Verkehrsdatenpools wird ein aktuelles Verkehrslagebild dieser Region in Echtzeit erstellt. Die Ausgangssituation stellt sich so dar, dass Verkehrsdaten durch unterschiedliche Systeme erhoben werden. Diese arbeiten jedoch alle eigenständig, bilden ein für sich geschlossenes System und haben unterschiedliche Erfassungsqualitäten. Wenn die Verkehrsdaten in einem zentralen Punkt, wie einem Verkehrsmodell zusammenlaufen, dann müssen sie auf Plausibilität überprüft werden. Es ist wichtig, dem Verkehrsmodell Informationen bezüglich der Datenqualität zuzuführen, damit jene mit hoher Aussagekraft stärker gewichtet ins Verkehrsmodell einfließen können als Daten mit geringerer Genauigkeit.

Wie MARGULIC et al. (2008) feststellt, interessiert letztendlich den Verkehrsteilnehmer nur, dass er eine gute, wahrheitsgetreue Information über den Verkehrszustand erhält. Die Reisezeit stellt dabei die verständlichste und im Allgemeinen eine einfach zu interpretierende Information dar. Deshalb wird der Beurteilung von Reisezeitprognosen in der heutigen Zeit ein hoher Stellenwert eingeräumt. Aus folgenden Gründen ist es nun von großer Bedeutung, aus der hohen Anzahl an unterschiedlichen intermodalen Verkehrsdaten, die Qualität vor allem der Reisezeitmessungen zu beurteilen:

- Die mögliche Schwankungsbreite der Reisezeitschätzung sollte untersucht und dem Fahrer zur Kenntnis gebracht werden, damit die Fahrer ihre Schlüsse daraus ziehen können.
- Validierung und Überprüfung von Reisezeitprognosen lässt Schlüsse zur Verbesserung der Verkehrsdaterfassung zu.
- Eine Metrik zur Bewertung der Qualität der Reisezeitschätzung kann ein geeignetes Kriterium für Service-Level-Agreements zwischen zwei oder mehreren Partnern sein.

In den nachfolgenden Kapiteln wird der Stand der Technik bezüglich eingesetzter Systeme für die Reisezeitermittlung dargestellt und ein grober Überblick über das Thema Mobilitäts- und Verkehrsmanagement gegeben. Darüber hinaus wird die zur Reisezeitermittlung notwendige Datengrundlage präsentiert sowie Verkehrsparameter und die Zustandsformen des Verkehrs erörtert.

2.1 Anwendungen der projektrelevanten Systeme

Seit Jahrzehnten beschäftigt sich die Verkehrswissenschaft mit der Beurteilung der Entwicklung des Verkehrsaufkommens, um der zunehmenden Mobilität mithilfe von Verkehrssteuerungsmaßnahmen entgegenzuwirken. Abbildung 2-1 zeigt eine strukturierte Abfolge von Möglichkeiten in den Verkehr strategisch einzugreifen.

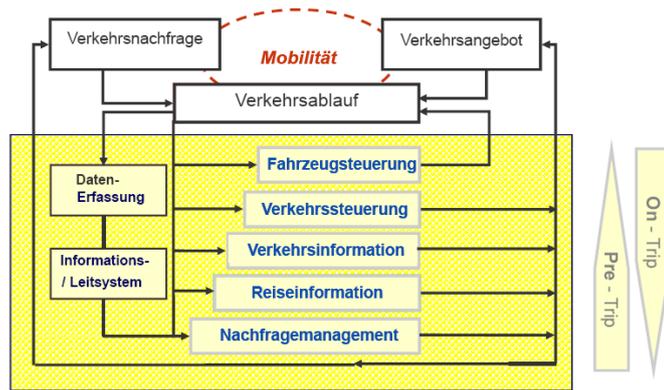


Abbildung 2-1: Handlungsfelder im Mobilitäts- und Verkehrsmanagement [BUSCH, 2009]

Das Mobilitäts- und Verkehrsmanagementsystem setzt in den Bereichen der Verkehrsvermeidung, Verkehrsverlagerung und der Verkehrsabwicklung durch Beeinflussung von Nachfrage und Angebot an. Es verfolgt u. a. das Ziel der Erhöhung der Sicherheit, Umweltverträglichkeit und Effizienz des Verkehrs. Mobilität wird durch eine Wechselwirkung von Verkehrsnachfrage und -angebot geprägt, welche in weiterer Folge den Verkehrsablauf beeinflusst. Einzelne Handlungsfelder zur Beeinflussung der Mobilität beinhalten unterschiedliche Maßnahmen und Systeme, die ein Aktionsfeld der klassischen Verkehrstechnik darstellen. Handlungsfelder wie z. B. Reiseinformation oder Verkehrssteuerung verfolgen Aktivitäten, welche auf Basis von erfassten und in einem Informations- oder Leitsystem verarbeiteten Verkehrsdaten der Regulierung des Verkehrsangebots dienen [BUSCH, 2009].

Die bei Mobilitäts- und Verkehrsmanagementsystemen zum Einsatz kommenden Verkehrsmodelle bedienen sich verschiedenartiger Verkehrsdaten mit dem vorrangigen Ziel der Verkehrsbeeinflussung, um das bestehende Straßennetz (und seine Leistungsfähigkeit) optimal zu nutzen. Reisezeitinformation als ein Handlungsfeld stellt einen integralen Bestandteil eines Verkehrsmodells dar und stützt sich auf die erhobenen Verkehrsdaten. Der Verkehrsablauf soll durch situationsgerechte und zielgerichtete Information wie die der Reisezeit der Verkehrsteilnehmer verbessert und so eine Steigerung des Reisekomforts erzielt werden. Im Wesentlichen ist der Verkehrsablauf in Hinblick auf die Reisezeit, aber auch Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und die Umweltbelastung zu verbessern [HOYER, 2007].

Wie zuvor erwähnt, bilden die Grundlage vieler Verkehrsmodelle und daraus resultierender Prognosen Verkehrsdaten, welche mit unterschiedlichen Technologien erhoben werden können. Im Allgemeinen gilt die Verwendung von effizienten Algorithmen zu einer Verarbeitung der Daten als anerkanntes Mittel für präzise Verkehrsprognosen. Z. B. werden in FABRITIIS et al. (2008) zwei Algorithmen präsentiert, die im Rahmen eines Verkehrsmanagementsystems zur Verkehrsprognose auf dynamisch erhobene Echtzeitdaten (Floating Car Data - FCD) angewendet werden. Aktuelle sowie nahe vergangene Geschwindigkeiten, welche durch ein FCD-System auf einem Streckenabschnitt generiert werden, dienen der Kurzzeit-Prognose von 15-30 Minuten für Reisegeschwindigkeiten auf demselben. KUHNS (2011) befasst sich mit der Verbesserung von Algorithmen, die auf FCD, welche aus der Übermittlung von GPS Positionen generiert werden, angewendet werden können. Um glaubwürdige Verkehrsinformationen zu erzielen und das FCD System und seine Algorithmen zu verbessern, ist erst deren Qualität zu evaluieren. In diesem Zusammenhang werden Reisezeiten aktuell durchgeführter Fahrten mit Reisezeiten verglichen, die sich durch den Algorithmus für diese Strecke ergeben. Der auf die FCD angewendete Algorithmus implementiert historische Reisezeiten, auf die zurückgegriffen werden kann, wenn keine Daten von Teilstrecken vorhanden sind. Auf diese Methode der Datenverbesserung greift auch SIMROTH (2011) zurück.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass Verkehrsdaten aus unterschiedlichsten Quellen für Verkehrsmodelle herangezogen werden. In einem nächsten Schritt werden aus diesen für Verkehrsteilnehmer verständliche Informationen herausgearbeitet. Um aus der vorhandenen

Datengrundlage eine möglichst genaue Reisezeitinformation zu generieren, werden zahlreiche Algorithmen entwickelt und angewendet. U. a. kann mithilfe von statistischen Methoden oder Plausibilitätschecks eine Verifikation der Daten erfolgen. Eine Validierung hinsichtlich der Eignung der Daten für Reisezeitinformationen erfolgt aber in den seltensten Fällen. Das begründet sich oftmals darin, dass heutzutage aus Kostengründen Bestandsysteme für neue Anwendungen herangezogen werden. Beispielhaft sei hier das Projekt GO-SMART erwähnt. Das Ziel des Projektes war, bestehende Mautdaten für weitere verkehrstelematische Anwendungen (Verkehrsinformationssystem mit inkludierter Reisezeitprognose) heranzuziehen. Dabei sollten keine zusätzlichen Kosten für Infrastruktur oder neue Sensortechnologien aufkommen [SCHNEIDER, 2009].

Im Folgenden werden nun Projekte angeführt, in denen die für die Arbeit relevanten Systeme zum Einsatz kommen. Der Fokus bei der Auswahl liegt auf dem Thema der Verkehrsdatenerfassung zur Ermittlung der Reisezeit. Ziel ist auch darzulegen, welche weiteren unterschiedlichen Anwendungen basierend auf ein und denselben Verkehrsdaten realisiert werden können. So lässt sich z. B. ANPR zur Reisezeitberechnung, aber auch durch das erfasste Kennzeichen zur Nachverfolgung von Mautprellern verwenden.

Anwendungen von videobasierter Kennzeichenerfassung (ANPR):

BMW

Ein Pilotprojekt wurde von BMW im Münchner Straßenraum zur Reisezeitermittlung realisiert. Bis Ende 2006 wurde ein Messstellennetz mit 12 Querschnitten installiert, um innerstädtische Reisezeiten mittels automatischer Fahrzeugwiedererkennung zu messen. An jedem Querschnitt wurden von einer Videokamera gelieferte Bilder kontinuierlich nach Kennzeichen abgesucht und anonymisiert mit Zeitstempel und Messquerschnittsnummer in eine Zentrale übertragen. In diesen Datensätzen von jedem Querschnitt ein, wurden in Hinblick auf Kennzeichenpaare analysiert und durch die Differenz der Zeitstempel eine Reisezeit ermittelt. Erkannte Ausreißer auf einem Streckenabschnitt wurden noch vor der Berechnung einer mittleren Reisezeit herausgefiltert. Als Erkenntnis präsentiert BMW nach einer Einteilung der Daten nach Wochentagen, dass die Ausprägung von Staus sich in Abhängigkeit dieser darstellt. Weiter wird der Einfluss von Signalprogrammen an Kreuzungspunkten ersichtlich. Die aus den Daten berechneten Informationen wurden in das BMW eigene Informationssystem basierend auf TMC eingebunden, um eine prinzipielle Verwendung für Verkehrswarndienste zu erproben. Im Rahmen des Pilotprojektes standen diese Dienste nur über das BMW Intranet zur Verfügung [GRÜBER, 2007]

Weitere Projekte im Zusammenhang mit Reisezeitermittlung basierend auf Videokennzeichenerfassung sind in HUEMER (2008) beschrieben. Sie führt einige Großprojekte wie ROMANSE, Highway Capacity oder Dmotion an. Nachstehend sind Projekte angeführt, die weitere Einsatzmöglichkeiten von ANPR darlegen, und einen Auszug aus dem breiten Anwendungsspektrum dieses Systems aufzeigen.

National ANPR Data Centre (NADC)

ANPR wird von der britischen Polizei seit über einem Jahrzehnt verwendet, um ursprünglich Verkehrsdelikte aufzudecken und jetzt Fahrzeugbewegungen in Echtzeit mitzuverfolgen. Durch technische Weiterentwicklung hat es sich zu einem Überwachungstool im „national intelligence-gathering Network“ etabliert. Dieses umfasst rund 3000 Kameras, die sich u. a. an Tankstellen oder in Fahrzeugen der Polizei befinden. Die zentrale Stelle ist dabei das „National

ANPR Date Centre“, welches alle Kennzeichendaten und Listen verdächtiger Fahrzeuge verwaltet. Die Auswertung der Datenbank ermöglicht festzustellen, wo sich ein Fahrzeug in der Vergangenheit aufhielt, wo es sich jetzt befindet und ob es Strecken zu oder von einem Tatort befuhr. Dabei werden die Kennzeichen mit einer Genauigkeit von etwa 95 % gelesen und Ort, Datum und Uhrzeit von jedem 5 Jahre lang im NADC gespeichert. Als Grundlage dienen Daten von 43 Polizeistellen in England und Wales, die mit deren eigenen ANPR-Servern Daten in das NADC einspeisen [EVANS-PUGHE, 2006].

Virtual Weighstations (VWS)

Virtuelle Gewichtskontrolle wird durch „weigh-in-motion“ (WIM) Systeme realisiert. Dabei werden in Bewegung befindliche Lastkraftwagen automatisch gewogen, anschließend nach ihrem Gewicht und Achsabstand klassifiziert. Festgestellt wird, ob Fahrzeuge Verkehrsübertretungen hinsichtlich des Gewichtslimits begehen und wird dem autorisierten Benutzer in übersichtlicher Weise angezeigt. Das System besteht aus WIM Sensoren, einem Prozessor und einer automatischen Fahrzeugerkennung. Die Identifikation der Fahrzeuge beruht auf ANPR. Dabei wird das Kennzeichen von vorne erfasst und in Textform in einer Datenbank abgelegt. Auf Basis dieser Informationen kann mit Hilfe eines Programms der Datensatz für das gewünschte Fahrzeug samt Angaben über Fahrzeughalter oder Betreiber abgerufen werden [MITCHELL, 2011].

Videobasierte Fahrzeugerkennung bei der Mauterhebung in Stockholm

Korrekte Mautüberwachung und Mauterhebung vertraut auf Bildverarbeitungssysteme, so auch die Realisierung in Stockholm. Seit 2007 ist das System vom schwedischen Verkehrsministerium auf Basis von ANPR in Verwendung. Es dient der Reduzierung des Verkehrsaufkommens untertags, indem eine von der Tageszeit abhängige Mautgebühr zwischen 6:30 und 18:30 eingehoben wird. Die Erfassungsrate liegt bei rund 95 % bei guten Sichtverhältnissen. In den Wintermonaten sinkt sie bei Schnee und Matsch aufgrund der reduzierten Lesbarkeit des Kennzeichens auf ca. 70 %. Die Einhebung der Maut erfolgt auf zwei unterschiedliche Varianten. Zum einen können Fahrzeuge mit einer Onboard-Unit ausgestattet sein, über die die Abrechnung erfolgt. Zum anderen werden Rechnungen an die Fahrzeughalter geschickt, nachdem das Kennzeichen ihres Fahrzeugs mit dem ANPR-System erfasst wurde [SMYTH, 2011].

Anwendungen von Floating Car Daten (FCD):

Taxi-FCD System in Berlin

Seit einigen Jahren ist nun das Taxis-FCD System in Berlin in Betrieb und speist seine Daten in die Verkehrsmanagementzentrale (VMZ) Berlin ein. Aktuell wurde das System mit neuen Technologien nach Stand der Technik aufgerüstet, um die Effizienz noch weiter zu steigern. Zur Datenerhebung des Individualverkehrs werden FCD aus Taxis, aber auch aus Bussen in die VMZ integriert. Dabei liefern mehr als 4 000 mit GPS oder GPRS ausgestattete Taxis ihre aktuelle Lage in einem Intervall von 30-60 Sekunden an eine Taxi-Zentrale. Die erhobenen aktuellen Positionen der Taxis werden an ein FCD System weitergeleitet und auf einem digitalen Straßennetz abgebildet. Letztendlich entsteht ein Verkehrslagebild für das gesamte Straßennetz mit generierten Reisezeiten für jene Teilstrecken mit aktuellen Datenverfügbarkeiten [KUHNS, 2011].

FLEET (Fleet Logistics Service Enhancement with Egnos & Galileo Satellite Technology)

Das Projekt begann 2003 in einem Feldversuch und hatte zum Ziel, ein integriertes, online arbeitendes Verkehrsinformationssystem für den Raum Wien zu entwickeln und über diverse Medien v. a. Reisezeitinformationen zur Verfügung zu stellen. Dabei wurde ein Reisezeit-Informationssdienst basierend auf FCD demonstriert. Eingebunden war eine Taxiflotte bestehend aus ca. 800 Taxis, deren streckenbezogene Daten periodisch durch das Leitsystem abgefragt und an einen Datenserver zur Reisezeitbestimmung übertragen wurden. Das FLEET System verortete auf Basis der übermittelten GPS Position das Fahrzeug auf einem digitalen Straßennetz (Map Matching) und ermittelte die zurückgelegte Strecke (Routing). Anhand dieser Informationen berechneten Geschwindigkeiten bzw. Reisezeiten, die je Zeitintervall und Straßenabschnitt aggregiert wurden, ergaben eine Aussage über den aktuellen Verkehrszustand. Die Echtzeitinformation der aktuellen Verkehrslage wurde dabei anhand historischer Ganglinien vervollständigt. Prognostizierte Reisezeiten wurden mit aktuellen Verkehrsmeldungen durch einen Rundfunksender verglichen [LABORCZI, 2004]

OCTOTElematics – Traffico Real Time

OCTOTElematics, ein italienisches Unternehmen, präsentiert eine von ihm entwickelte und betriebene Anwendungsmöglichkeit von einem FCD-System. Dieses liefert Geschwindigkeitsinformationen in Echtzeit für das italienische Autobahnnetz und einige Hauptverkehrsstraßen in ausgewählten Ballungszentren. Die angegebenen Geschwindigkeiten werden aus GPS-Positionen abgeleitet, welche alle 3 Minuten von mehr als 600.000 Privatfahrzeugen mit eingebautem GPS-Ortungsgerät in Echtzeit übertragen werden. Das betriebene System sammelt statistisch verwertbare Informationen z. B. über das Fahrverhalten, zurückgelegte Streckenlängen, Unfallerkennung, Verkehrserfassung oder Verkehrsprognose. Darüber hinaus werden die Daten der Privatfahrzeuge für versicherungstechnische Anwendungen verwendet, wie z. B. die Ermittlung des Schadenrisikos eines Fahrers aufgrund seiner Fahrgewohnheiten [FABRITIIS, 2008].

Projekte in Schweden

Das **ITS Laboratory** wurde in Stockholm entwickelt, um die Vielzahl an vorhandenen Daten aus unterschiedlichsten Quellen vorteilhaft für eine Vervollständigung eines Verkehrslagebildes zu integrieren. Weiters demonstriert es den Wert und den Nutzen derzeit verfügbarer Verkehrsdaten und kombiniert eine breit aufgestellte Dateninfrastruktur (z. B. aus GPS, öffentlichen Verkehrsmitteln, Reisezeiten aus ANPR), über eine EDV-Infrastruktur (z. B. Datenbanken) mit einer Informationsverarbeitungs-Infrastruktur (Algorithmen, Modelle, Simulationen). Beispielhaft werden FCD von 1500 Taxis geliefert, die ihre GPS Position samt Zeitstempel und deren Belegungsstatus übermitteln. Im ITS Laboratory werden diese auf ihre räumliche und zeitliche Abdeckung des Netzwerks analysiert (z. B. Übertragungsfrequenz der GPS-Signale, Anzahl an Messfahrzeugen pro Intervall oder Streckenabschnitt). [RAHMANI, 2010].

Um mit erfolgreichen und kosteneffektiven Methoden Verkehrsdaten zwecks guter Reiseinformation zu erfassen, wurde das schwedische Projekt **OPTIS** initiiert, wobei FCD in einem Feldversuch in Göteborg getestet wurde. 250 Fahrzeuge waren 6 Monate für die Studie im Einsatz und erwiesen sich als wesentlich kostengünstigere Methode zur Verkehrsdaterfassung als stationäre Detektionssysteme, mit zusätzlich hoher Qualität der erhobenen Reiseinformation [RAHMANI, 2010].

Zahlreiche in Projekten umgesetzte Anwendungen der Floating Car Data Technologie, die sowohl europaweit als auch in Japan oder der USA ausgeführt wurden, beschreibt LINAUER (2005) in einer internationalen Analyse in Kapitel 3.

Anwendungen von Traffic Eye Universal:

SIEMENS hat eine Verkehrsmanagementzentrale (VMZ), die SITRAFFIC Concert, entwickelt, die Verkehrsdaten von unterschiedlichsten intelligenten Verkehrssystemen bündelt, bewertet und an die Endnutzer in Form von Verkehrsinformation weitergibt. Projekte, in denen u. a. Traffic Eye Universal (TEU) oder videobasierte Systeme zum Einsatz kommen, wurden zahlreich in Deutschland sowie auf internationaler Ebene realisiert. In weiterer Folge wird ein Auszug aus dem Informationsblatt der SIEMENS AG (Stand 2006) über die Referenzprojekte gegeben.

Athen/Griechenland:

Damit dem Verkehr in Griechenlands Hauptstadt ein flüssiges Fortbewegen ermöglicht wird, wurde ein Verkehrsmanagementsystem eingerichtet. Es hat die Aufgabe die Verkehrsströme stadteinwärts und stadtauswärts zu erfassen, um eine optimale Führung des Individualverkehrs zu ermöglichen. Mit dem Ziel, den Verkehr auf schnellere, stauärmere Strecken zu lenken, werden diverse verkehrsrelevante Daten verknüpft, die Steuerung der Lichtsignalanlage optimiert und letztendlich die Verkehrsinformation an den Endnutzer übermittelt. An das Managementsystem sind sieben Subsysteme, mit unterschiedlichen Aufgaben in der Erfassung und Verarbeitung der Verkehrsinformation, angeschlossen. Die Ermittlung der Reisezeit wird im Gesamtsystem genutzt, um Tagesganglinien zu erstellen und um dem Verkehrsteilnehmer mittels dynamischer Informationstafeln eine Prognose der Reisezeit zu übermitteln.

VMZ Berlin/Deutschland:

Ziel dieses Projektes war die Realisierung einer VMZ in der Hauptstadt Deutschlands, die verkehrsrelevante Informationen aus unterschiedlichsten Quellen sammelt, verwaltet und für eine weitere Bearbeitung bereitstellt. Die Projektumsetzung besteht in der Echtzeit-Datenerfassung des Individualverkehrs und der Verarbeitung der Daten des öffentlichen Verkehrs. Eine Service-Plattform hat dabei die Aufgabe der Kombination und Ableitung von erhaltenen Informationen, wie z. B. Stau oder Reisezeiten für individuelle Routen und stellt sich als Informationsdienst dar. Ein Algorithmus errechnet zu diesem Zweck unter Verwendung aktueller Verkehrsdaten eine kurzfristige Prognose, die visualisiert werden kann. Hierbei werden Daten von Subsystemen, angeschlossenen Sensoren und weiteren Datenquellen genutzt, um Reisezeit informativ darzustellen. Die Verkehrsdaten werden im Berliner Straßennetz von mehr als 220 TEUs erfasst (Stand 2006). Die VMZ dient neben dem Anschluss von Verkehrssensoren, u. a. auch als Schnittstelle für Parkleitsysteme oder Baustelleninformationssysteme.

Köln/Deutschland:

Im Rahmen dieses Projektes wurde eine Verkehrsmanagementlösung für den gesamten Ballungsraum geschaffen, die ein flächendeckendes Verkehrs-System-Management (VSM) integrierte, um vorrangig Reisezeiten und Schadstoffemissionen zu verringern. Es wurden bestehende Einzelsysteme, wie Verkehrsrechner, Park- und Verkehrsleitsysteme sowie ein Baustellenmanagementsystem systematisch vernetzt, damit eine stadtweite und systemübergreifende Verkehrslage über Informationstafeln an die Verkehrsteilnehmer ausgegeben werden kann. Die dafür notwendigen Daten liefern bestehende Detektoren der Verkehrssteuerung sowie rund 100 zusätzlich installierte TEUs. Dank der Realisierung eines integrierten VSM kann gezielt Information über das gesamte Verkehrsgeschehen durch vielfältige Kanäle verbreitet werden.

2.2 Datengrundlage der Reisezeitermittlung

Die Reisezeit wird durch den Verkehrsablauf geprägt, der von diversen Faktoren beeinflusst wird. Die Kenngrößen können von der Straße (Straßenquerschnitt, Kreuzungen), vom Verkehr (Verkehrsstärke, Zusammensetzung), vom Fahrzeug und seinem Lenker (Fahrverhalten) und von sonstigen Faktoren (Witterung, Tageszeit, Wochentag) abhängen [SAMMER, 2011].

2.2.1 Verkehrsparameter

Reisezeit lässt sich auf verschiedenste Weise beschreiben. Eine anschauliche Definition liefert LIU (2008, Kapitel 2): Als Reisezeit wird jene Dauer beschrieben, die ein Fahrzeug von Fahrtantritt bis Fahrtende benötigt. Die Reisezeit TT wird mit

$$TT = t' - t$$

definiert, wobei t den Zeitpunkt des Fahrtbeginns beschreibt und t' den Zeitpunkt des Ankommens am Zielort bezeichnet. Für ein Einzelfahrzeug lässt sich die Reisezeit als *individuelle Reisezeit* angeben. Die *aggregierte Reisezeit* wird definiert durch das arithmetische Mittel der Reisezeit der Gesamtanzahl der Fahrzeuge, die die betrachteten Strecke durchfahren und kann als Durchschnitt der individuellen Reisezeit berechnet werden.

Als **Verkehrsstärke** wird jene Anzahl an Fahrzeugen definiert, die einen Straßenquerschnitt pro definierter Zeiteinheit passieren. Diese Kenngröße stellt eine lokale Beobachtung dar und wird auch Verkehrsmenge genannt.

$$Q = \frac{n}{t} = \frac{\text{Anzahl der Fahrzeuge}}{\text{Zeiteinheit}} \quad [\text{Kfz/h}] \text{ oder } [\text{Kfz/15 min}] \text{ als Beispiel}$$

Die **Verkehrsdichte** wird auch als Verkehrskonzentration bezeichnet und definiert damit die Anzahl der Fahrzeuge, die sich zu einem Zeitpunkt auf einer definierten Wegstrecke befinden.

$$D = \frac{n}{w} = \frac{\text{Anzahl der Fahrzeuge}}{\text{Wegstrecke}} \quad [\text{Kfz/km}] \text{ als Beispiel}$$

Die **Geschwindigkeit** kann als Abschnittsgeschwindigkeit oder als Querschnittsgeschwindigkeit beschrieben werden. Die Abschnittsgeschwindigkeit zeigt eine Verteilung der Fahrgeschwindigkeit von Fahrzeugen auf einem Streckenabschnitt zu einem bestimmten Zeitpunkt oder Zeitbereich. Die Querschnittsgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit von Fahrzeugen an einem Querschnitt zu einem bestimmten Zeitpunkt.

2.2.2 Zustandsformen des Verkehrs

Der Verkehrszustand ist über die zusammenhängenden Kenngrößen Verkehrsstärke Q , Verkehrsdichte D und Geschwindigkeit v bestimmbar und lässt sich mit der Zustandsgleichung

$$Q = D * v$$

beschreiben. Im Merkblatt des FG SV-Arbeitsausschusses [FGSV, 2004] werden zahlreiche Untersuchungen besprochen, den Verkehr in seinen verschiedenen Zuständen zu klassifizieren. U. a. werden die Definitionen der unterschiedlichen Zustandsformen des Verkehrs aus SCHNABEL (1997) angeführt:

Freier / nicht gebundener Verkehr : Bei geringer Verkehrsdichte kann der Verkehrsteilnehmer die Geschwindigkeit auf die baulichen Gegebenheiten abgestimmt frei wählen.

Teilgebundener Verkehr: Mit zunehmender Verkehrsdichte werden die Fahrzeugabstände und die Geschwindigkeit der Einzelfahrzeuge beeinflusst. Durch geringere Überholmöglichkeiten bilden sich einzelne Fahrzeuggruppen.

Gebundener Verkehr: Die große Verkehrsdichte lässt kaum Überholmöglichkeiten zu. Die Fahrzeuge fahren mit etwa gleicher Geschwindigkeit und gleichem Abstand, wodurch sie große Gruppen oder schon eine Kolonne bilden. Der bisher stabile Verkehrsfluss wird zunehmend instabil.

Überfüllung (Stau): Die hohe Verkehrsdichte lässt aufgrund kleiner Fahrzeugabstände keine Überholmöglichkeiten zu. Unstetige Geschwindigkeiten und ein ständiger Wechsel zwischen Fahren und Halten beeinflusst stark den Verkehrsablauf.

Um die Bewegungsabläufe des Verkehrsstroms zu charakterisieren, wird nach HCM 2000 zwischen „quality of service“ und „level of service“ unterschieden. Quality of service setzt quantitative Messungen voraus, Level of service (LOS) stellt eine qualitative Kenngröße dar, um Bewegungsabläufe im Verkehr, i. A. durch Angaben zu Geschwindigkeit, Reisezeit, Bewegungsfreiheit und Fahrkomfort, zu beschreiben. Sechs LOS werden definiert, die mit Buchstaben von A bis F gekennzeichnet werden. Level A repräsentiert dabei den besten Verkehrsablauf und Level F den schlechtesten.

In Kapitel 10 wird die Charakteristik des Verkehrsflusses explizit für urbane Straßen angeführt. Hierbei wird die Geschwindigkeit der Fahrzeuge von drei Hauptfaktoren beeinflusst: dem Straßenumfeld (z. B. Geschwindigkeitsbeschränkung), dem Verhalten zwischen den Fahrzeugen (z. B. Verkehrsdichte) und der Verkehrssteuerung (durch Lichtsignalanlagen oder Verkehrsschilder). Vor allem die Steuerung oder auch Verkehrskontrolle bewirkt eine Reduktion der Fahrgeschwindigkeit als auch eine Reisezeitverzögerung von Fahrzeugen.

Um den LOS für urbane Straßen zu definieren, wird die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit als Bestimmungsgröße herangezogen. Diese fängt den Effekt der Verkehrssteuerung auf und errechnet sich aus der Streckenlänge dividiert durch die durchschnittliche Reisezeit.

LOS A beschreibt hauptsächlich freien Verkehr mit durchschnittlicher Fahrgeschwindigkeit. Die Fahrzeuge haben eine absolut ungehinderte Bewegungsfreiheit und die Reisezeitverzögerung, bedingt durch Verkehrssteuerung an lichtsignalgeregelten Kreuzungen ist minimal.

LOS B beschreibt ein halbwegs ungehindertes Fortbewegen mit Durchschnittsgeschwindigkeit, üblicherweise mit 70 % der Geschwindigkeit bei freiem Verkehr (v_{IV}). Die Bewegungsfreiheit der Fahrzeuge ist nur leicht eingeschränkt, Verkehrssteuerung hat keine signifikante Auswirkung.

LOS C beschreibt eine stabile Blockfahrweise, jedoch können die Bewegungsfreiheit oder der Fahrstreifenwechsel eingeschränkter als bei LOS B sein. Größere Ausdehnung der wartenden Verkehrsströme vor Verkehrslichtsignalanlagen (VLSA) und ungünstige Koordinierung dieser können zu einer niedrigeren durchschnittlichen Geschwindigkeit von etwa 50 % der v_{IV} führen.

LOS D grenzt an den Bereich, wo geringe Erhöhungen im Verkehrsfluss wesentlich niedrigere Geschwindigkeiten und höhere Reisezeitverzögerungen verursachen können. Dies kann bedingt sein durch nachteilige VLSA-Reihung, Signaltaktung sowie hohe Verkehrsstärken. Die Geschwindigkeit beträgt ca. 40 % der v_{IV} .

LOS E wird durch signifikante Reisezeitverzögerungen und einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 33 % der v_{IV} beschrieben. Dieser Zustand ergibt sich aus dem Zusammenspiel verschiedener Faktoren. Die Beeinträchtigung erfolgt aufgrund nachteiliger VLSA-Reihung, hoher VLSA-Dichte, ungünstiger Signaltaktung, starkem Verkehrsaufkommen und hoher Reisezeitverzögerung an kritischen VLSA geregelten Kreuzungen.

LOS F charakterisiert den Stadtverkehr mit extrem niedriger Geschwindigkeit, die meist zwischen 33 % und 25 % der v_{IV} liegt. Stau an Kreuzungen ist an kritischen VLSA-

Positionierungen, in Verbindung mit hohen Verkehrsstärke n sowie erheblichen Reisezeitverzögerungen, wahrscheinlich. Dies hat lange Wartezeiten vor VLISA zur Folge.

Als funktionale Abhängigkeiten lassen sich die Zusammenhänge der drei Parameter Verkehrsstärke, Dichte und Geschwindigkeit im Fundamentaldiagramm wie in Abbildung 2-2 vereinfacht darstellen.

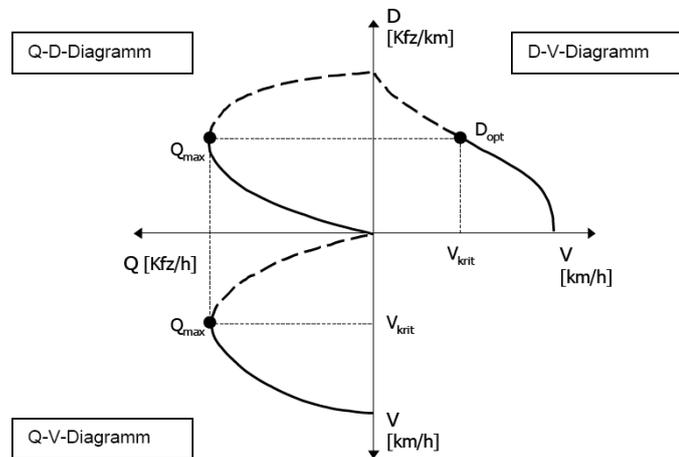


Abbildung 2-2: Fundamentaldiagramm [SAMMER, 2011]

Prinzipiell ist das Fundamentaldiagramm eine dreidimensionale Dichtenwolke, die in drei zweidimensionale Diagramme projiziert wird. Diese drei Teilbereiche geben Aussagen über die Charakteristik des Verkehrsflusses an einem Querschnitt und werden als Q-V-Diagramm, Q-D-Diagramm sowie D-V-Diagramm bezeichnet.

Folgende Randbedingungen prägen die Form des Fundamentaldiagramms und lassen die maximale Verkehrsstärke Q_{max} und optimale Verkehrsdichte D_{opt} bei bestimmter Geschwindigkeit (v_{krit}) erkennen. Im Bereich des freien Verkehrs ist die Geschwindigkeit frei wählbar und im stehenden Verkehr ergibt sich die maximale Dichte.

Dem Q-V-Diagramm wird besondere Bedeutung beigemessen, da es als Grundlage zur Dimensionierung von Straßenquerschnitten dient. Bei verkehrlich überlasteten Querschnitten weist es eine Parabel als idealisierte Darstellungsform auf, wodurch sich für eine Verkehrsstärke zwei Geschwindigkeitswerte ergeben. Die maximale Verkehrsstärke Q_{max} und die kritische Geschwindigkeit v_{krit} liegen am Scheitelpunkt der Parabel und teilen im Diagramm den Verkehrsfluss in einen stabilen und instabilen Bereich. An diesem Punkt kann v_{krit} auch als optimale Geschwindigkeit v_{opt} beschrieben werden. Von kritisch wird deshalb gesprochen, weil diese Geschwindigkeit den Grenzwert zwischen dem stabilen und instabilen Bereich des Verkehrszustandes darstellt. Als optimal kann die Geschwindigkeit bezeichnet werden, da sie die maximal mögliche Verkehrsstärke an einem Querschnitt durchbringt.

Die niedrigen Werte der Achsenbeschriftung im Q-V-Diagramm (s. Abbildung 2-2) grenzen den Bereich des instabilen, zusammengebrochenen Verkehrszustand ein, mit steigenden Werten den des stabilen, freien Verkehrs. Das Q-D-Diagramm ergibt sich aus dem Zusammenhang $Q=D \cdot V$ und wird in der Literatur als das Fundamentaldiagramm im eigentlichen Sinn bezeichnet [FGSV, 2004]. Es unterteilt sich ebenso in zwei Bereiche des Verkehrsflusses. Im unteren, stabilen Teil zeigt sich bei wachsender Verkehrsstärke Q eine auf der Strecke höher werdende Verkehrsdichte D . Im D-V-Diagramm lässt sich für diesen Bereich auch eine höhere Geschwindigkeit ablesen. Wie der obere, instabile Bereich erkennen lässt, hat die stetig steigende Verkehrsdichte zur Folge, dass nur noch eine geringere Verkehrsstärke als Q_{max} mit einer kontinuierlich sinkenden Geschwindigkeit abgewickelt werden kann.

3 Erhebung von Verkehrsdaten

In diesem Kapitel werden eingangs die im Rahmen der vorliegenden Arbeit eingesetzten Methoden der Verkehrsdatenerhebung erläutert. Weiters werden Anforderungen an eine geeignete Testumgebung spezifiziert, mit dem Ziel einen möglichst aussagekräftigen Vergleich der Verkehrsdatenerfassungssysteme zu gewährleisten. Entlang einer gewählten Teststrecke werden an mehreren Querschnitten mit unterschiedlichen Systemen Verkehrsdaten erhoben. Diese stellen eine Grundlage für die Ermittlung der Reisezeit auf einem Streckenabschnitt dar, um in weiterer Folge die Systeme auf ihre Eignung zur Reisezeitermittlung zu bewerten. Damit ein haltbarer Vergleich der ermittelten Reisezeiten möglich wird, gilt es ein System als Referenz einzusetzen, welches mit möglichst hoher Genauigkeit die Verkehrsstärke erhebt. Hierbei wird der allgemeine statistische Begriff „Stichprobe“ für erhobene Verkehrsstärken verwendet, da jedes technische System eine bestimmte Messgenauigkeit erfährt und daher nicht angenommen werden kann, dass auch jedes Fahrzeug erfasst wird, welches einen Messquerschnitt durchfährt.

Erhoben werden diese Referenzdaten mittels eines stationären, videobasierten Kennzeichenerfassungssystems (ANPR, siehe Kapitel 3.1.1). Weitere stationäre Systeme, die es zu evaluieren gilt, sind ein Radarsensor und das Traffic Eye Universal (TEU), die in den Kapiteln 3.1.2 und 3.1.3 näher beschrieben werden. Verkehrsdaten dynamischer Sensoren werden mittels der Floating Car Methode (FCD) erhoben (siehe Kapitel 3.1.4)

Als Teststrecke wird ein 4,9 km langer Abschnitt auf der Hadikgasse in Wien gewählt. Drei Querschnitte mit zwei Fahrstreifen werden ausgewählt, um Verkehrsdaten im Rahmen der Messung zu erheben. Dadurch wird eine Unterteilung der Teststrecke in zwei Abschnitte unterschiedlicher Charakteristik hinsichtlich maximal zulässiger Geschwindigkeit und Anzahl an Verkehrslichtsignalanlagen ermöglicht. Die Testmessung erfolgt in einem Zeitraum von einer Woche, in der Verkehrsdaten vom 26.04.2010 bis 03.05.2010 erfasst werden.

3.1 Empirische Datenerhebung

Dieser Abschnitt beschreibt die im Rahmen der Testdurchführung eingesetzten Systeme, welche zur Ermittlung der Reisezeit von Fahrzeugen verwendet wurden. Die automatisierte Kennzeichenerfassung (ANPR) stellt dabei eine videobasierte Methode mit einer im Vergleich hohen Erfassungsrate des Verkehrsstromes dar. Nach Angaben der Firma EBE Solutions GmbH (2011) und wie auch in EVANS-PUGHE (2006) und SMYTH (2011) erwähnt liegt die Erfassungsrate zwischen 90 % und 95 %. Die kontinuierliche Erfassung von Einzelfahrzeugen ermöglicht dabei eine realitätsnahe quantitative Information über die Verkehrslage. Diese bildet eine ausreichend zuverlässige Verkehrsdatengrundlage, weshalb das Kennzeichenerfassungssystem als Referenz für die weitere Auswertung der vorliegenden Arbeit herangezogen wird. HUEMER hat in diesem Zusammenhang eine Überprüfung der Systemgenauigkeit und der Erfassungsrate des ANPR-Systems durchgeführt und beschreibt die hohe Genauigkeit der erhobenen Verkehrsstärke [vgl. HUEMER, 2008, Kapitel 3.2].

Die auf Basis automatisierter Kennzeichenerfassung ermittelte Reisezeit stellt somit die „Ground Truth“ dar und dient als Vergleichswert für jene Reisezeiten, die sich aus den Verkehrsdaten der stationären sowie dynamischen Systeme ergeben.

3.1.1 Automatic Number Plate Recognition

Automatische Kennzeichenerfassung, kurz ANPR genannt, ist eine videobasierte Methode der Verkehrsdatenerfassung. Dabei wird ein Fahrzeug samt Kennzeichen beim Passieren eines Messquerschnitts von einer Videokamera gefilmt. Mittels einer Software wird das Kennzeichen

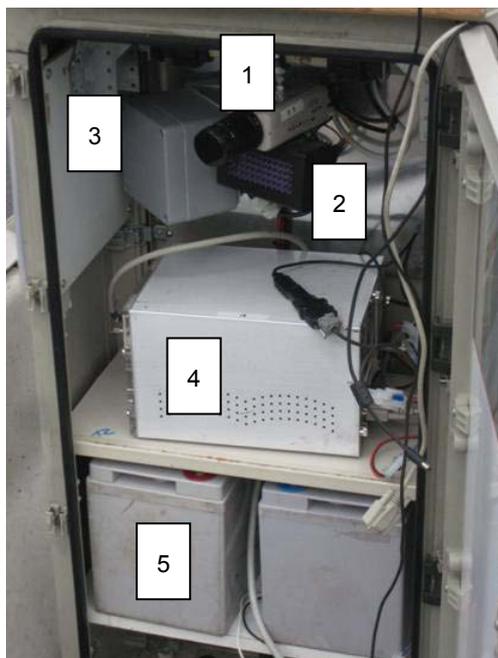
herausgelesen und gleichzeitig der Zeitpunkt festgehalten. Der automatisch generierte Eintrag mit Kennzeichen und Zeitstempel wird anonymisiert weiterverarbeitet.

Die Technologie der automatischen Kennzeichenerfassung kommt neben der Reisezeitermittlung in zahlreichen anderen Bereichen zum Einsatz (s. Kapitel 2). Die vielen Anwendungsaspekte der Verkehrsüberwachung zeigen sich u. a. in der Überwachung von Geschwindigkeiten bei gefahrenträchtigen Straßenabschnitten (z. B. Section Control der ASFINAG), in Zugangsbeschränkungen (z. B. bei Parkgaragen) und Gebührenerhebungen (z. B. Mautsysteme) sowie in diversen Sicherheitsanwendungen (z. B. Fahndung nach gestohlenen Fahrzeugen) [HUEMER, 2008].

Einen weiteren Einsatzbereich stellen Verkehrsstromanalysen anhand der Erhebung von Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr, dar. Ein System, welches Videokennzeichenerfassung zur Untersuchung von Verkehrsströmen einsetzt, wurde von der Firma EBE Solutions GmbH in Kooperation mit dem AIT entwickelt. Am Messquerschnitt wird der Verkehrsstrom aufgezeichnet und in weiterer Folge offline, d. h. nach beendeter Messung, ausgewertet. Die erhobenen Verkehrsdaten werden dabei als Datenpaket an einen Server übermittelt und im Anschluss teilweise automatisiert und anonymisiert weiterverarbeitet.

Die zur Erhebung der Verkehrsstärke dienenden ANPR-Systemkomponenten sind in einem Systemschrank integriert, der in Abhängigkeit der Standortanforderungen entsprechend individuell einsetzbar ist. Unabhängig von infrastrukturellen Einrichtungen kann das System seitlich am Fahrbahnrand aufgestellt werden und für einen gewissen Zeitraum an einem gewählten Querschnitt den Verkehr erfassen.

Im operablen Betrieb des Verkehrsstromanalyseystems wird ein Radarsensor als zusätzliche Komponente u. a. zur Erhebung von Geschwindigkeiten und Fahrzeuglängen in das Systemgehäuse integriert. Auch in einigen Systemen, die im Rahmen der Testdurchführung für diese Arbeit aufgestellt wurden, war ein Radarsensor eingebaut. Da in der vorliegenden Arbeit der Radarsensor als eigene Methode zur Reisezeiterfassung evaluiert wird, folgt in Kapitel 3.1.2 dessen Beschreibung. In Abbildung 3-1 sind nun in einem Systemschrank die Hardware-Komponenten eines Verkehrsstromanalyseystems inklusive einem Radarsensor (3) dargestellt.



1. Videokamera (schwarz/weiß)
2. IR Scheinwerfer
3. Radarsensor
4. Industrie-PC
5. Akku-Pack (Stromversorgung)

Abbildung 3-1: Komponenten eines ANPR-Systems mit integriertem Radarsensor

Bei der Offline-Variante der Verkehrsdatenerhebung wird das Verkehrsaufkommen über einen bestimmten Messzeitraum hindurch mittels der Videokamera (1) aufgezeichnet und das Video auf einem Industrie-PC (4) abgespeichert. Die Stromversorgung (5) wird durch zwei Akkus für einen begrenzten Zeitraum sichergestellt.

In einem weiteren Schritt wird in die aufgezeichneten Videos die Uhrzeit aus einer während der Messung mitgeloggten Datei eingelesen. Bei Aktivierung der ANPR-Systeme zum Messbeginn wurde bei jedem eine Zeitsynchronisation auf Basis der mitteleuropäischen Zeit durchgeführt. Damit wird sichergestellt, dass alle durch die Messsysteme erfassten Fahrzeuge einen gültigen Zeitstempel erhalten.

Die ANPR-Software der Firma PIPS Technology wertet nun automatisiert das Video aus, indem sie ein vorbeifahrendes Fahrzeug erkennt und einen Bildeintrag generiert. Gleichzeitig wird das Kennzeichen mittels Texterkennung herausgelesen. Ein Infrarot-Scheinwerfer (2) ermöglicht eine Kennzeichenerfassung auch bei Dunkelheit. Grundlegend stellt sich für die korrekte Erfassung des Kennzeichens, dessen Lesbarkeit dar. Die Offline arbeitende Variante bietet in diesem Zusammenhang den Vorteil der manuellen Einstellung der Videoparameter noch vor der direkten Auswertung. Beispielsweise kann das Kennzeichen bei starker Sonneneinstrahlung aufgrund hoher Reflexionen teilweise schlecht lesbar werden. Durch Kontrastregulierungen ist eine bessere Erkennbarkeit erzielbar. Nachteilige Lichtverhältnisse lassen sich aber auch durch Regulierung der Bildhelligkeit relativieren. Die Optimierung der Parameter Helligkeit und Bildkontrast ermöglicht i. A. eine genauere Erfassung der Kennzeichen durch die ANPR-Software bei ungünstigen Lichtverhältnissen.

Die nicht in Echtzeit betrieb erfolgte Verkehrsdatenverarbeitung war für die durchgeführte Messung von bedeuten dem Vorteil, denn dies ermöglichte die Überprüfung der durch ANPR erhobenen Verkehrsstärke. Die automatisch generierten Bildeinträge der Fahrzeuge werden dabei mit den kurzfristig offline zur Verfügung stehenden Videoaufzeichnungen verglichen. Geht aus dem Vergleich hervor, dass ein Fahrzeug von der Software nicht erfasst wurde, wird dieses manuell aus dem Video als Bildeintrag erhoben. Durch den genauen Zeitstempel der vorhandenen Aufzeichnungen kann der Eintrag in die bestehende Datengrundlage integriert werden und ist für die weitere Auswertung verfügbar. Auf diese Weise ist die Vervollständigung der automatisch erfassten Datengrundlage bei auffällig niedrigen Verkehrsstärken möglich.

Für die weitere Verwendung stehen nun anonymisierte Kennzeichen zur Verfügung, welche stationär an einem Messquerschnitt erhoben wurden. Durchfährt ein Fahrzeug zwei aufeinander folgende Querschnitte, ergibt sich aus der Differenz der gesetzten Zeitstempeln dessen Reisezeit. D. h. wenn ein Kennzeichen bei Einfahrt in den Streckenabschnitt und auch bei der Ausfahrt erfasst wird, wird es vom ANPR-System zu einem Fahrzeug zugeordnet. Aus den Zeitstempeln, die beim Durchfahren des Messquerschnitts gesetzt wurden, wird die Differenz gebildet und als Reisezeit des jeweiligen Fahrzeuges dargestellt.

Die sich aus Einzeldaten zusammensetzende Stichprobe soll dabei nur jene Werte von Fahrzeugen enthalten, welche eine plausible Reisezeit für eine bestimmte Strecke benötigen. Um mögliche Ausreißer aus den ermittelten Rohdaten ausschließen zu können, müssen diese nach gültigen und ungültigen Werten differenziert werden. In diesem Zusammenhang beschreibt KASPER (2010) in Kapitel 4 den Umgang mit Rohdaten aus ANPR-Messungen und die Anwendung von Reisezeitfiltern, um damit ungültige Reisezeiteinträge aus der Stichprobe entfernen zu können. Dabei bezieht er sich auf eine modifizierte Overtaking Rule nach ROBINSON und POLAK (2006) und auf einen Plausibilitätsfilter nach SCHNEIDER et al. (2009).

3.1.2 Radarsensor

Der Radarsensor detektiert ein Fahrzeug durch Aussendung elektromagnetischer Mikrowellen mithilfe des Dopplereffekts. Es wird zu jedem Einzelfahrzeug, welches den Radarstrahl durchfährt, ein Datensatz generiert. Der Eintrag wird bei der Fahrzeugdetektion mit einem Zeitstempel versehen und beinhaltet u. a. Angaben zur Geschwindigkeit.

Zum Einsatz kommen Radarsensoren neben der Verkehrsdatenerfassung u. a. bei der Tunnelüberwachung, intelligenten Warnschildern oder Displays zur numerischen Geschwindigkeitsangabe und finden auch Anwendung bei Verkehrsdichte- und Reisezeitermittlungen [FALCON, 2011].

Im Rahmen der durchgeführten Messung kam ein Radarsensor der Type FALCON Plus der Firma traffic controlling GmbH zum Einsatz und wurde in das ANPR-Systemgehäuse integriert (s. Abbildung 3-1, Position 3). Dieser mikroprozessor-gesteuerter Radardetektor arbeitet auf dem Prinzip der „Continuous Wave (CW)“ Methode. Dabei werden elektromagnetische Mikrowellen konstanter Frequenz kontinuierlich von einem Sender erzeugt und von einer Antenne zum Zielort abgestrahlt. Treffen die Wellen auf einen elektrisch leitenden Körper, werden sie reflektiert und von der Antenne wieder registriert. Treffen sie nun auf ein bewegtes Ziel, erfahren die Wellen eine Frequenzverschiebung, welche ein Maß für die Zielgeschwindigkeit darstellt. Dieser Effekt wird als Doppler-Effekt bezeichnet. Von KUTTELWASCHER (2003) wird die technische Funktionsweise des Radarsensors noch weiter vertieft.

Der Radarsensor detektiert ein Fahrzeug, welches sich in seinem Erfassungsbereich befindet. Zu jedem detektierten Fahrzeug wird ein Datensatz erstellt. Es werden beim Durchfahren des Radarstrahls pro Fahrzeug jeweils ein Wert für die Geschwindigkeit, die Nettozeitlücke zum vorherigen Fahrzeug und ein Profilwert zur Fahrzeugklassifizierung ermittelt. Dabei werden bei einer Geräteinstallation vorab die Längen vorbeifahrender Fahrzeuge als Testwerte den jeweiligen Fahrzeugklassen zugeordnet, wodurch später eine automatische Klassenzuordnung für jeden erstellten Eintrag erfolgen kann.

Aus den ausgegebenen Geschwindigkeitswerten (v) lässt sich die Reisezeit (t) für eine bekannte Streckenlänge (s) aufgrund des mathematischen Zusammenhanges $t = s/v$ berechnen. Für die Ermittlung der Reisezeit aus den im Rahmen der Testdurchführung erfassten Geschwindigkeiten, wurden jeweils die Daten am Beginn eines Streckenabschnittes herangezogen. In Kapitel 3.4.3 werden die durch den Radarsensor erhobenen Daten genauer behandelt.

3.1.3 Traffic Eye Universal

Das von SIEMENS entwickelte optische Detektionssystem Traffic Eye Universal (TEU) basiert auf passiver Infrarot (IR)-Technologie [ROTH, 2006]. Die Erfassung des Verkehrs erfolgt dabei aufgrund der unterschiedlichen Temperaturen, welche die Fahrzeuge zu deren Umgebung aufweisen. Die Verkehrsdaten werden in einem gesammelten Datensatz für ein Zeitintervall an einen Server übertragen und enthalten Angaben u. a. zur Verkehrsstärke und Geschwindigkeit je Intervall.

Sensoren auf passiver IR-Technologie basierend kommen vielfältig zum Einsatz und werden vor allem zur Detektion von Fahrzeugbewegungen zum Sensor hin verwendet. Typische Anwendungen finden sich bei einer Überkopf-Montage des Sensors einerseits im Straßenbereich zur Verkehrsdetektion, und andererseits an Schutzwegen zur Fußgängerdetektion um Ampelschaltungen zu regulieren [CLARK, 1990]. Zahlreiche Projekte, in denen das System TEU zum Einsatz kommt, wurden von SIEMENS europaweit realisiert. Ein Auszug aus diesen findet sich in Kapitel 2.1.

In Abhängigkeit von Temperatur, Oberflächenbeschaffenheit und Größe strahlen Objekte und ihre Umgebung IR-Strahlung aus. Das Prinzip der IR-Sensoren beruht auf der Registrierung der Strahlungsänderung, wenn ein Fahrzeug das Messfeld durchfährt. Diese ergibt sich aus der Differenz der Emissionsstärken von Fahrbahndecke und Fahrzeug. Die Beschreibung der Funktionsweise von IR-Sensoren zur Verkehrsdatenerfassung wird von KUTTELWASCHER (2003) in Kapitel 4.4 vertieft.

Das Erfassungssystem TEU verwendet pro Fahrstreifen einen Detektor, welcher überkopf an Masten oder Brücken installiert werden kann. An dem für die Testdurchführung relevanten Standort waren somit zwei Detektoren auf einem Lichtmast am Kragarm montiert. Die Energieanspeisung erfolgt durch die Anbindung an den Strom der Straßenbeleuchtung. Im Allgemeinen arbeitet nach Angaben von SIEMENS das System autark, ohne aufwändige Verkabelung für die Stromversorgung oder Datenübertragung. Mittels eines Solarpanels kann die Stromversorgung sichergestellt werden und die Datenkommunikation zur Verkehrszentrale mittels eines GSM-Moduls erfolgen. Durch ein TEU werden relevante Verkehrsgrößen, wie Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, Belegung (in %) und eine Fahrzeugklassifizierung in Pkw und Lkw-ähnliche für ein Messintervall erfasst. Aufgrund diffuser Infrarotsignale kann die Fahrzeuggeschwindigkeit nicht genau festgestellt werden, weshalb die Genauigkeit der Geschwindigkeitserfassung durch vier Detektionszonen erreicht wird, wie in Abbildung 3-2 dargestellt.

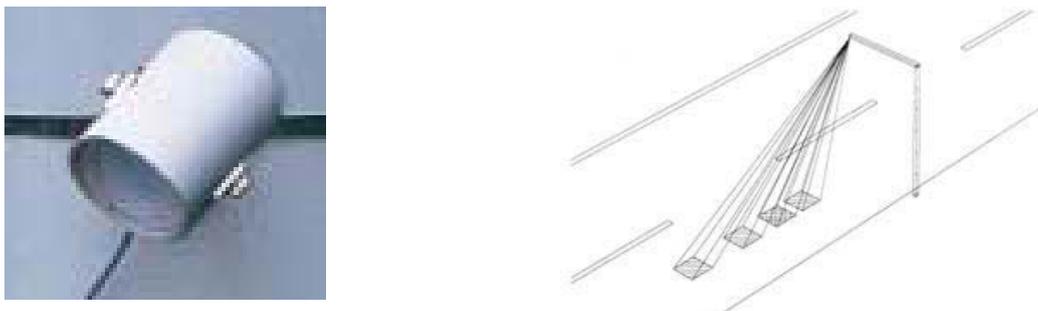


Abbildung 3-2: Passiver Infrarot-Sensor Traffic Eye Universal (TEU) [SIEMENS] mit 4 Detektionszonen [<http://www.fhwa.dot.gov>]

Basierend auf den Einzelfahrzeugwerten der IR-Detektoren werden die Daten im TEU verarbeitet und ein interner Level of Service (LOS) berechnet. Jeder LOS-Wechsel führt zu einer Meldung an die Zentrale, das Meldeverhalten ist dabei anwendungsspezifisch einstellbar. Mit dem ereignisorientierten Verhalten werden nur bei einer Änderung der Verkehrssituation Daten übertragen. Die Grenzwerte für Geschwindigkeit oder Verkehrsstärke sind dabei variabel einstellbar. Bei einem zyklischen Verhalten werden Verkehrsdaten in regelmäßigen Abständen gesendet. Weiters kann eine Meldung auf Anfrage der Zentrale abgesetzt werden oder wenn eine voreingestellte Zeit überschritten wird [ROTH, 2006].

Die Kommunikation des hier betrachteten Systems erfolgt zyklisch für ein Zeitintervall von einer Minute. Ein Auszug eines übertragenen Datensatzes ist in Tabelle 3-1 dargestellt. Zu einem bestimmten Zeitpunkt werden durch einen TEU-Sensor, dem eine Identifikationsnummer (Name_ID) zugeordnet wird, Verkehrsdaten für eine gewisse Intervalldauer (z. B. 60 Sekunden) übertragen. Dabei gibt der Status die Gültigkeit dieser Werte an (1=gültig, 2=ungültig). Die Zähltyp-ID stellt die Klassifizierung des Verkehrs dar (10=Gesamtverkehr, 4=Pkw, 6=Lkw-ähnliche), der Zählwert steht für die Anzahl der Fahrzeuge in einem Zeitintervall und der Wert für die Geschwindigkeit wird in km/h angegeben.

Tabelle 3-1: Darstellung der übertragenen TEU Daten

ZEITPUNKT	NAME_ID	STATUS_ID	INTERVALLDAUER	ZAEHLTYP_ID	ZAEHLWERT	GESCHWINDIGKEIT
26.04.10 16:00:00,000000000 +00:00	594	1	60	10	840	48
26.04.10 16:00:00,000000000 +00:00	594	1	60	4	780	48
26.04.10 16:00:00,000000000 +00:00	594	1	60	6	60	52
26.04.10 16:00:00,000000000 +00:00	596	1	60	10	780	45
26.04.10 16:00:00,000000000 +00:00	596	1	60	4	660	45
26.04.10 16:00:00,000000000 +00:00	596	1	60	6	120	46
26.04.10 16:01:00,000000000 +00:00	594	1	60	10	1860	39
26.04.10 16:01:00,000000000 +00:00	594	1	60	4	1860	39
26.04.10 16:01:00,000000000 +00:00	594	1	60	6	0	0
26.04.10 16:01:00,000000000 +00:00	596	1	60	10	1440	41
26.04.10 16:01:00,000000000 +00:00	596	1	60	4	1320	41
26.04.10 16:01:00,000000000 +00:00	596	1	60	6	120	40
26.04.10 16:05:00,000000000 +00:00	594	1	60	10	1200	44
26.04.10 16:05:00,000000000 +00:00	594	1	60	4	1200	44
26.04.10 16:05:00,000000000 +00:00	594	1	60	6	0	0

3.1.4 Floating Car Data

In Wien werden Floating Car Daten (FCD) aus einer Flotte von etwa 2500 Taxis erhoben. Dabei senden Messfahrzeuge (Probe Vehicles), welche im Verkehr mitfließen, im Mittel alle 40 Sekunden ihre aktuelle GPS-Position zusammen mit einem Zeitstempel an einen zentralen Server der Firma Austrosoft. Das von AIT entwickelte System FLEET [WIDHALM, 2011] fragt diese Fahrzeugtrajektorien periodisch ab und errechnet daraus eine aktuelle Verkehrslage. Dabei wird jede einzelne GPS-Positionsmeldung eines Taxis zunächst einem Straßensegment (Map Link) zugeordnet (Map-Matching). Dann wird durch einen Routing Algorithmus (Dijkstra Algorithmus) die genaue Streckenlänge zwischen zwei aufeinanderfolgenden Positionsmeldungen bestimmt. In Kombination mit der Zeitdifferenz zwischen zwei Positionsmeldungen ergeben sich daraus Geschwindigkeitsmessungen einzelner Taxis auf der berechneten Strecke. Die Einzelmessungen auf einem Straßensegment werden über ein Zeitintervall (typischerweise 15 Minuten) aggregiert. Daraus ergibt sich für jedes Zeitintervall ein harmonisierter Geschwindigkeitswert für jeden Link des Straßengraphen auf dem zumindest ein Taxi gemessen werden konnte [LABORCZI, 2004]. Die Funktionsweise ist in Abbildung 3-3 schematisch dargestellt.

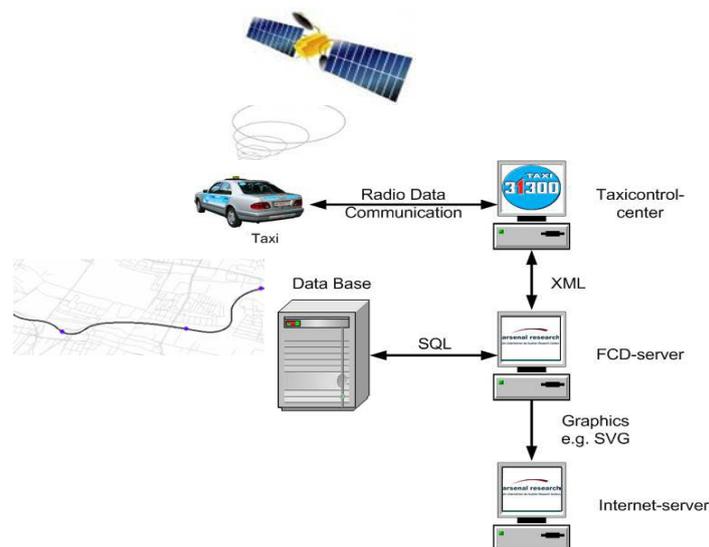


Abbildung 3-3: Funktionsweise des Floating Car Data Systems [LINAUER, 2004]

Um aus den von FLEET gelieferten Geschwindigkeitsmessungen für längere Strecken (wie die in dieser Arbeit untersuchten Routen) Reisezeiten abzuleiten, muss eine geeignete Berechnungsmethode herangezogen werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden dabei zwei unterschiedliche Herangehensweisen betrachtet von denen erwartet wird, dass sie sich in Bezug auf ihre Anwendbarkeit und Genauigkeit unterscheiden. Diese Methoden werden im Folgenden genauer definiert:

Linkbezogene Reisezeiten

Wird eine beliebige Route auf einen typischen Straßengraphen abgebildet, ist das Resultat eine Folge von kurzen Routensegmenten („Links“). Im Standard Betriebsmodus von FLEET wird für jeden solchen Link eine Geschwindigkeits- bzw. Reisezeitinformation geliefert. In Abbildung 3-4 ist die Funktionsweise skizzenhaft dargestellt.

Zur Berechnung einer Reisezeit auf Basis dieser feingranularen Information wird in der Literatur zwischen mehreren Methoden unterschieden [BOVY, 2000]: Bei der **Instantaneous Network Level Travel Time** wird zum Zeitpunkt des Betretens der Route die aktuelle Reisezeit auf allen Abschnitten der Route aufsummiert. Angenommen die Route r besteht aus der Linkfolge (l_1, l_2, \dots, l_n) und die Reisezeit auf einem Link l_i zu einem beliebigen Zeitpunkt t ist definiert als tt_{it} . Dann berechnet sich die Instantaneous Network Level Travel Time für Route r zum Zeitpunkt t als

$$r_t = tt_{1t} + tt_{2t} + \dots + tt_{nt}$$

Diese Berechnungsmethode geht davon aus, dass sich die Verkehrslage während einer Durchfahrung der Strecke nicht wesentlich ändert. Wird von einer entsprechend langen Strecke ausgegangen, scheint diese Annahme nicht haltbar. Um diesen Fall abzubilden wird die **Dynamic Network Level Travel Time** verwendet. Bei dieser Berechnungsmethode wird der Zeitpunkt des Betretens jedes einzelnen Links unter Berücksichtigung der Reisezeiten aller vorhergehenden Links ermittelt und die für diesen Zeitpunkt berechnete Reisezeit verwendet (im Echtzeitbetrieb ist demnach eine Reisezeitprognose für jeden Link erforderlich). Für jeden Link der Route wird also der Befahrungszeitpunkt berechnet indem der Startzeitpunkt und die erwartete Reisezeit auf allen vorhergehenden Links einbezogen werden. Während diese Methode auf sehr langen Strecken genauere Ergebnisse verspricht, konnte auf kurzen bis mittleren Strecken kaum ein relevanter Unterschied zwischen den beiden Berechnungsmethoden festgestellt werden. Dies scheint vor allem auf die zuvor angesprochene Beobachtung zurückzuführen sein, dass sich der Verkehrszustand nicht schnell genug ändert um bei kurzen Strecken durch die dynamische Berechnung der Reisezeit auf Linkbasis einen entscheidenden Vorteil zu erhalten [MARGULICI, 2008].

Da die für diese Arbeit ausgewählten Strecken in Hinblick auf die Berechnung der Network Level Travel Time als kurz eingestuft werden können, und sich die Reisezeit bei freiem Verkehr weit unter den geplanten Aggregierungsintervallen bewegt, wurde auf die wesentlich einfachere und bessere echtzeittaugliche Instantaneous Network Level Travel Time zurückgegriffen.

Reisezeiten auf Basis von Durchfahrern

Im Gegensatz zu den linkbezogenen Reisezeiten werden bei diesem Ansatz nur Taxis betrachtet, welche die Strecke Q1-Q2 oder Q2-Q3 vollständig befahren (s. Abbildung 3-4). Dies geschieht dabei analog zu den Messungen mit ANPR: wenn ein Fahrzeug die Strecke Q1-Q2 (oder Q2-Q3) vollständig befährt, wird über den Zeitpunkt beim Passieren von Q1 und dem Zeitpunkt beim Passieren von Q2 eine Reisezeit errechnet (die Unschärfen durch das 40 Sekunden Reporting Intervall der FCD Flotte werden dabei durch das FLEET System entsprechend korrigiert).

Die Logik des FLEET Systems garantiert dabei, dass nur Fahrzeuge berücksichtigt werden, welche die Routen Q1-Q2 bzw. Q2-Q3 exakt durchfahren. Wenn ein Fahrzeug von der definierten Route abweicht, wird es nicht als „Durchfahrer“ erkannt und im Weiteren nicht berücksichtigt.

Diese Methode unterscheidet sich von der zuvor beschriebenen „linkbezogenen“ Methode durch die Datengrundlage. Es werden nur Messfahrzeuge berücksichtigt welche exakt die vorgegebene Route befahren. Anders als bei der linkbezogenen Berechnungsvariante kann die Reisezeit dementsprechend nicht durch Teilbefahrungen und Effekte, welche durch das Ein- und Ausbiegen an Verkehrslichtsignalanlagen (VLSA) gegebenen Kreuzungen entstehen können, verfälscht werden. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Qualität der einzelnen Reisezeitmessungen höher ist. Gleichzeitig beschränkt das rigorose Auswahlverfahren allerdings die Größe der vorhandenen Stichprobe: es werden nur Fahrzeuge berücksichtigt, welche sich exakt an die vorgegebene Route hielten. Es ist zu erwarten, dass dadurch nur ein geringer Teil der vorhandenen Messwerte zur Verfügung stehen wird. In Extremsituationen könnte es passieren, dass die Route über längere Zeit von keinem einzigen Taxi vollständig befahren wird. Dementsprechend ist zu erwarten, dass verglichen mit der linkbezogenen Methode für wesentlich weniger Zeitintervalle ein FCD Messwert zur Verfügung stehen wird.

Abschließend sei noch erwähnt dass für die Verwendung der „Durchfahrer“ Methode die Untersuchungsstrecken a priori bekannt sein müssen, da das FLEET System die Taxifahrten basierend auf den Routendefinitionen filtern muss. Dementsprechend ist diese Methode mit einem zusätzlichen Aufwand für Modellierung und Konfiguration verbunden. Das bedeutet einen beträchtlichen Mehraufwand wenn beliebige Strecken ex post analysiert werden müssen und limitiert die Flexibilität dieser Analyseart im Echtzeitbetrieb.

In Abbildung 3-4 sind die unterschiedlichen Funktionsweisen der beiden FCD Varianten „Durchfahrer“ und „linkbezogen“ schematisch dargestellt. Fahrzeug A, welches die linkbezogene Methode der Reisezeitermittlung repräsentieren soll, befindet sich in der Skizze auf dem rechten Fahrstreifen, das Straßensegment zwischen den beiden Quergassen stellt einen Link dar. Fahrzeug A befährt die Teststrecke erst nach dem Messquerschnitt 1 und verlässt die Strecke vor dem Messquerschnitt 2. Dabei werden die GPS-Positionen des Fahrzeuges, aus welchen die Reisezeiten ermittelt werden, nur auf einem Link der gesamten Strecke gesetzt. Befahren mehrere Fahrzeuge diesen Link, werden in einem Zeitintervall (z. B. 15 Minuten) alle Überfahrungen gesammelt. Dies geschieht für jeden Link einer Strecke. Es wird nun eine mittlere Reisezeit für einen Link berechnet. Aus der Aufsummierung der Link-Reisezeiten ergibt sich eine Reisezeit für die gesamte Strecke. Wenn einzelne Links von Fahrzeugen nicht befahren werden, wie beispielsweise in Abbildung 3-4 dargestellt, wird die Reisezeit auf diesen Links interpoliert.

Das Fahrzeug B auf dem linken Fahrstreifen, repräsentiert den FCD Durchfahrer. Es durchfährt den ersten Messquerschnitt 1, befährt die vorab zu definierende Teststrecke und verlässt diese am Messquerschnitt 2, kurz gesagt: Fahrzeug B hat die Strecke exakt von 1 nach 2 durchfahren. Die Reisezeit wird aus der Differenz der Zeitstempel ermittelt, welche mit der GPS Position der Fahrzeuge beim Passieren der Querschnitte abgesetzt werden.

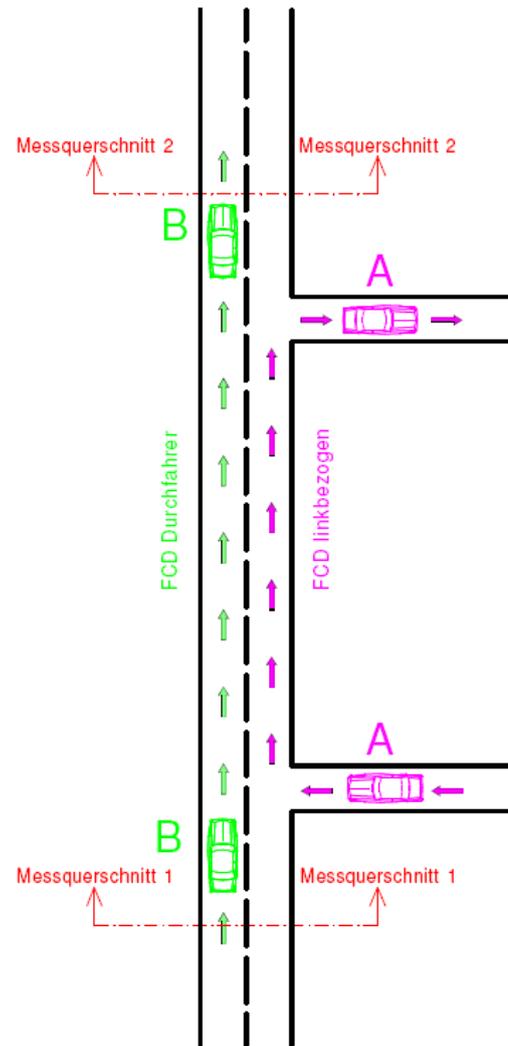


Abbildung 3-4: Skizze der Funktionsweisen von FCD linkbezogen (A) und FCD Durchfahrer (B)

3.2 Kriterien zur Auswahl der Teststrecke und Messzeitraum

Nach einer Zieldefinition und einer Untersuchung der Anwendungen von Verkehrsdaterfassungssystemen im Zusammenhang mit der Ermittlung der Reisezeit ist der nächste Schritt, eine geeignete Testumgebung zu finden. Zu diesem Zweck müssen Überlegungen zur geografischen Lage, Beschaffenheit der Teststrecke und zum Messzeitraum getroffen werden wie in FHWA (1998) vorgeschlagen wird.

1. Bestand stationärer und dynamischer Sensoren:

Die Anforderungen der Teststrecke ergeben sich in erster Linie aus dem Bestand der vorhandenen stationären und dynamischen Verkehrsdaterfassungssensoren. Ziel der Arbeit ist, an einer Versuchstrecke die Vor- aber auch die Nachteile sowie die Anwendungsgrenzen der unterschiedlichen Methoden aufzuzeigen. Daher ist einerseits eine Strecke zu wählen, wo stationäre Sensoren vorhanden sind und die Abdeckung durch das dynamische Erfassungssystem der Floating Cars möglichst hoch ist. Als Richtwerte können eine durchschnittliche Anzahl an Messwerten in 15 Minuten für den Wiener Gürtel mit 10 Messungen oder ein Abschnitt am Wiener Ring mit 14 Messungen angegeben werden. Andererseits hat ein Abschnitt der Teststrecke auch eine geringere Dichte von statischen und dynamischen Sensoren aufzuweisen. Somit hat die Strecke sich möglichst innerstädtisch, gleichzeitig aber auch außerstädtisch zu charakterisieren. Diese Anforderungen beinhalten einen gewissen Widerspruch in sich. Aufgrund finanziell einschränkender Rahmenbedingungen kann auch nur eine begrenzte Anzahl an Referenzsystemen zum Einsatz kommen, um Verkehrsdaten unter den geforderten Kriterien zu erheben. Die gewählte Strecke wird einen Kompromiss darstellen müssen.

2. Anzahl der Fahrstreifen:

Ein wesentliches Kriterium zur Auswahl der Teststrecke ist auch die Einschränkung der Fahrstreifenanzahl. Die Aufstellung der Referenzsysteme ist lediglich seitlich der Fahrbahn möglich, weshalb je System nur der Verkehr eines Fahrstreifens erfasst werden kann. Da nach Möglichkeit das Verkehrsaufkommen eines gesamten Querschnittes zu erfassen ist, ergibt sich daraus die Einschränkung auf maximal zwei Fahrstreifen.

3. Länge der Strecke:

Ein weiteres Auswahlkriterium ist die Streckenlänge. Um eine repräsentative Reisezeit zu ermitteln, hat die Datenerfassung auf einem ausreichend langen Streckenabschnitt zu erfolgen. Im Stadtgebiet beeinflussen einzelne VLSA die Erfassung des Verkehrszustandes zu sehr, wodurch die Streckenlänge nicht zu kurz gewählt werden darf. Befinden sich mehrere VLSA auf einem Streckenabschnitt verwischt sich dieser Effekt der Beeinflussung. Doch dieser Umstand kann sich auch negativ auswirken, bedeuten doch VLSA meist Kreuzungen, wo der Verkehr auf die Teststrecke ein- oder abbiegen kann. Dabei ist die Anzahl der detektierten Fahrzeuge, die einen Abschnitt in seiner gesamten Länge ohne Unterbrechung durchfahren, von wesentlicher Bedeutung. Ein ausreichend großer Stichprobenumfang stellt nämlich die Grundlage für die Ermittlung und weiteren Verwendung einer repräsentativen Abschnittsreisezeit dar, wie in HUEMER (2008) und KASPER (2010) untersucht wurde.

HUEMER (2008) kam zu dem Erkenntnis, dass an einer zu lang gewählten Strecke viele Störfaktoren die Reisezeitprognose beeinflussen können. Ein weiteres Kriterium war eine nicht ausreichende Stichprobengröße an Fahrzeugen, die die Strecke komplett durchfahren haben. Für eine ausreichende Reisezeitprognose hätte die 14,4 km lange Strecke in mehrere Teilabschnitte unterteilt werden müssen, um auf diesen einzelne Reisezeiten zu erfassen und daraus einen Gesamtwert bilden zu können [vgl. HUEMER, 2008 S.82]

KASPER (2010) vertieft diesen Ansatz und bekräftigt, dass vor allem der Stichprobenumfang ausschlaggebend für eine verlässliche Ermittlung einer durchschnittlichen Reisezeit ist. [vgl. KASPER, 2010, S.96]

4. Geschwindigkeitsbeschränkung:

Nach Möglichkeit hat eine einheitliche Geschwindigkeitsbeschränkung vorzuliegen, da auf Basis der Querschnittsmessungen eine Aussage über die Strecke abgeleitet werden soll. Weiters erleichtert dies die Unterscheidung zwischen freiem Verkehr und Stau.

5. Verkehrssituation:

Die Erfassung von unterschiedlichen Verkehrssituationen, hier unterschieden nach freiem Verkehr und Stau, ist für das Aufzeigen der Anwendungsgrenzen und die Beurteilung der Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme wesentlich.

6. Messdauer:

Für die später durchzuführende Analyse hat die zur Verfügung stehende Stichprobengröße einen wesentlichen Einfluss. Auch die Güte der mit statistischen Methoden zu treffenden Aussagen ist davon abhängig. Relevant ist ebenso die Forderung, unterschiedliche Verkehrssituationen zu erheben (s. Punkt 5), wobei mit erhöhtem Verkehrsaufkommen in einem Messzeitraum von beispielsweise einer Woche gerechnet werden kann. Der genaue Messzeitpunkt wird unabhängig von den Witterungsbedingungen gewählt, da diese in der vorliegenden Arbeit nicht als Auswertekriterium der Daten gelten.

Unter diesen Gesichtspunkten ist eine möglichst lange Messdauer wünschenswert. Der mit der folgenden Aufbereitung der Referenzdaten verbundenen Arbeitsaufwand wird nicht minder als limitierender Faktor gesehen, wie auch die finanziellen Aspekte.

7. Örtliche Gegebenheiten:

Letztendlich sind die örtlichen Gegebenheiten für die Aufstellung der Messsysteme ausschlaggebend, um die Teststrecke als solche zu wählen. Sollten die ANPR-Schranke auf Gehwegen aufgestellt werden, ist der verbleibende Raum für Fußgänger passierbar zu halten. Weiters ist allgemein keine Beeinträchtigung des Verkehrsraums, aber auch der Sichtraum für die Erfassungseinheit des ANPR-Systems zu gewährleisten. Denn nur, wenn die Referenzsysteme an geeigneten Standorten aufgestellt werden können, ist die Erhebung der Verkehrsdaten in guter Qualität möglich.

3.3 Beschreibung der Teststrecke

Die oben angeführten Faktoren in einer optimal gewählten Teststrecke wieder zu finden, erwies sich als besondere Herausforderung, da sie in einem Spannungsfeld einerseits zueinander und andererseits zu einem finanziell vertretbaren Rahmen stehen. Da das Testdesign für eine Datenanalyse, wie sie in dieser Projektarbeit durchzuführen ist, große Bedeutung hat, war es wichtig die Kriterien bestmöglich mit den finanziellen Rahmenbedingungen zu erfüllen.

3.3.1 Gewählte Strecke

Aufgrund der definierten Kriterien wurde die Haupteinfahrtsroute nach Wien im 14. Wiener Gemeindebezirk als Testumgebung in Betracht gezogen. Jeweils entlang der stadteinwärts führenden Wientalstraße (Westeinfahrt) als auch auf der stadtauswärts führenden Hadikgasse (Westausfahrt) sind TEUs installiert und auch die FCD Abdeckung in diesem Bereich kann als ausreichend angesehen werden. Die hohe FCD Abdeckungsrate wie sie auf Hauptverkehrsadern wie dem Wiener Gürtel typisch ist wird dabei zwar nicht erreicht, dafür zeichnet sich die Strecke aber durch eine stadtauswärts graduell abnehmende FCD Abdeckungsrate aus, was der Anforderung, die Einsatzgrenzen von FCD zu untersuchen, entgegen kommt.

Als Teststrecke wurde schließlich ein 4,9 km langer Streckenabschnitt auf der Hadikgasse in Wien zwischen dem Badhaussteg und der Ausfahrt auf die B1 als geeignet befunden. Drei Messquerschnitte wurden aufgrund der in Kapitel 3.2 genannten Kriterien ausgewählt, um die Referenzsysteme zu positionieren. Diese Standorte teilen die Strecke in einen 1,8 km langen ersten Abschnitt und einen 3 km langen zweiten Abschnitt. Bei dieser Streckenaufteilung sind die gewollt unterschiedlichen Geometrien vorhanden und stellen eine gute Möglichkeit dar, die oben angeführten Anforderungen an eine mehr und weniger urbane Umgebung zu vereinheitlichen.

Die erste Teilstrecke wird durch ein vorhandenes stationäres TEU System und durch genügend hohe FCD Abdeckung, sowie zahlreiche VLSA und Kreuzungen, gekennzeichnet. Entlang der zweiten Teilstrecke ist kein stationäres System mehr vorhanden, zudem wird erwartet, dass die Anzahl der Taxis, die den zweiten Abschnitt befahren, wesentlich geringer im Vergleich zum ersten Abschnitt ist. Außerdem wird der Verkehr durch weniger VLSA und Kreuzungen beeinflusst.

Die Lage der Messquerschnitte auf der Teststrecke ist aus Abbildung 3-5 zu entnehmen. Eine tabellarische Streckenbeschreibung mit ihren Quergassen wird in Tabelle 9-1 und Tabelle 9-2 im Anhang 9.1 angeführt.



Abbildung 3-5: Übersicht der Teststrecke mit ANPR Messquerschnitten und TEU Standort [Quelle: Google Maps, 2011, verändert]

3.3.2 Messquerschnitt 1

Der Messquerschnitt 1 (Q1) (Abbildung 3-6) befand sich zwischen der Einwanggasse und Ameisgasse auf der Höhe des Badhausstegs. Damit eine gültige Reisezeit von Fahrzeugen, die sich in Fahrt befinden, erfasst werden konnte, wurden die ANPR-Systeme etwa 30 m nach der VLSA aufgestellt. Der Querschnitt umfasste zwei Fahrstreifen, wo jeweils ein ANPR-System pro Fahrstreifen aufgestellt wurde. Im System, welches sich rechts der Teststrecke befand und den Verkehr des rechten Fahrstreifens aufzeichnete, wurde ein Radarsensor montiert. Der Radarsensor konnte aus einbautechnischen Gründen im linken System nicht installiert werden, da er nicht auf den Fahrstreifen ausgerichtet werden konnte.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt an diesem Standort 50 km/h.



Abbildung 3-6: Messquerschnitt 1, links – Blickrichtung in Fahrtrichtung; mitte – Erfassung des linken Fahrstreifens; rechts – Erfassung des rechten Fahrstreifens

Die an diesem Standort erhobenen Verkehrsstärken, bilden einen ersten Teil der Datengrundlage. Um die Verkehrsstärke darzustellen, wurden die Einzeldaten als Median für ein Aggregationsintervall von 15 Minuten gebildet.

In Abbildung 3-7 wird das Verkehrsaufkommen am Messquerschnitt 1 ersichtlich. Die Daten werden im Tagesverlauf von jeweils 0-24 Uhr für jeden Wochentag dargestellt.

In erster Linie weisen die Tagesgänge ein variierendes Verkehrsaufkommen auf, was die Erfüllung eines Auswahlkriteriums dieser Teststrecke bestätigt. Es ist gut zu erkennen, dass die Tage Montag bis Donnerstag einen ähnlichen Verlauf haben, wobei sich Montag, der 03.05.2010 mit einem Einbruch der Verkehrsstärke ab 9 Uhr hervorhebt. Hier kann bei der späteren Auswertung mit hohen Reisezeiten gerechnet werden. Ein typischer Pendlerverkehr ist am Freitag zu erkennen. Hierbei zeigt sich ein höheres Verkehrsaufkommen schon ab Mittag im Vergleich zu den vorigen Tagen. Samstag und Sonntag zeichnen sich gut als Wochenendverkehr ab.

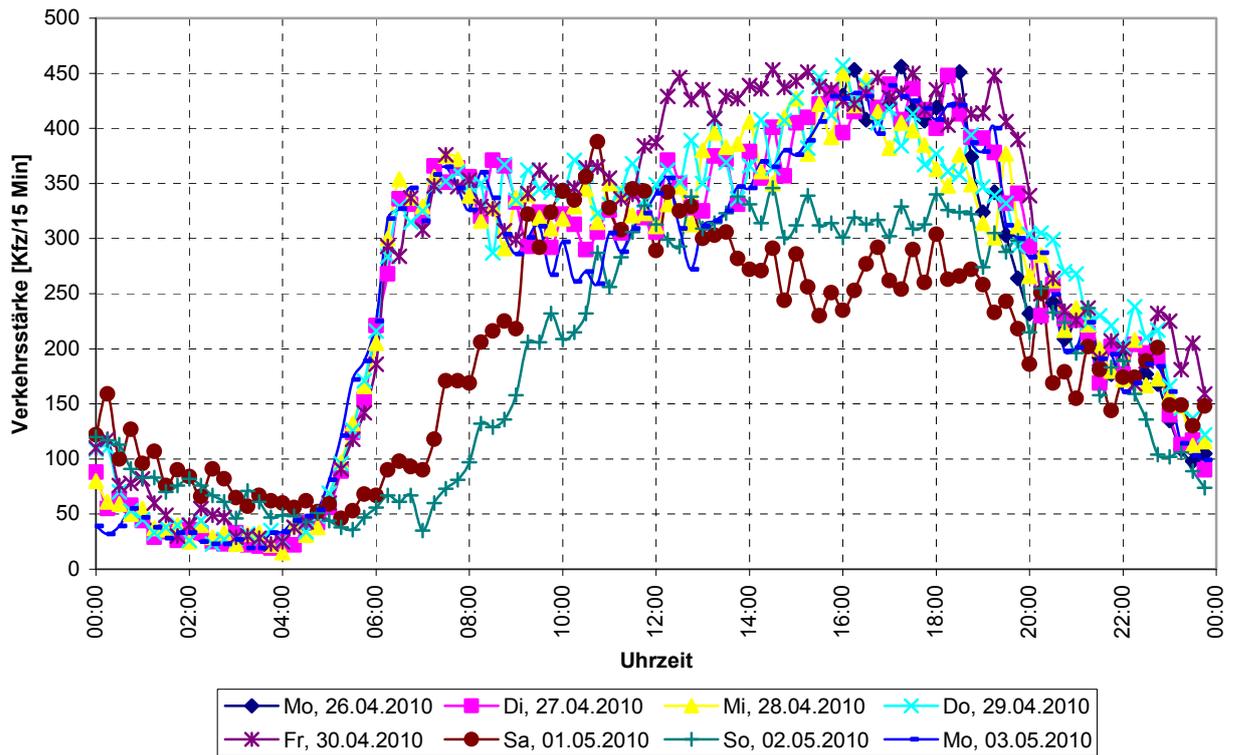


Abbildung 3-7: Tagesgang aller Wochentage am Messquerschnitt 1 (26.04.2010 – 03.05.2010)

Der Verlauf der Tagesganglinien deutet darauf hin, dass vorwiegend Berufsverkehr den Messquerschnitt 1 passiert bzw. den Streckenabschnitt befährt. Geprägt wird die stadtauswärts führende Strecke durch ein starkes Verkehrsaufkommen in den Morgenstunden und wesentlich höhere Verkehrsspitzen zu den Abendstunden hin, die den Rückreiseverkehr an Werktagen charakterisieren. Freitag hebt sich dabei durch ein früher auftretendes höheres Verkehrsaufkommen ab. Samstag und Sonntag zeigen sich durch deutlich geringere Verkehrsstärken aus mit höheren Verkehrsspitzen am Vormittag.

3.3.3 Messquerschnitt 2

Der Messquerschnitt 2 (Q2) in Abbildung 3-8 befand sich unmittelbar vor der Kreuzung mit der Johann-Gundacker Gasse. Die ANPR-Systeme wurden auf der Höhe der Hadikgasse Nr. 254 aufgestellt und auch an diesem Standort befand sich der Radarsensor nur im rechten ANPR-System in Fahrtrichtung gesehen. Etwa 130 m nach dem Messstandort regelte eine VLSA die Kreuzung mit der Hochsatzengasse. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt 50 km/h.

Das in Fahrtrichtung rechte System (rechts in Abbildung 3-8) wurde auf dem Gehsteig aufgestellt, wodurch die Gefahr der Beeinträchtigung der Messung durch Vandalismus bestand. Während der Testdurchführung wurde das Systemgehäuse willkürlich beschädigt und weitere auch ein Datenausfall von knapp elf Stunden verzeichnet, da das Sichtfenster der Kamera durch ein Blatt Papier verdeckt wurde. Dies hatte zur Folge, dass am Dienstag, den 27.05.2010 in dem Zeitraum zwischen Mitternacht und ca. 10.30 Uhr vormittags keine Fahrzeuge durch ein Messsystem auf diesem Querschnitt erfasst werden konnten.



Abbildung 3-8: Messquerschnitt 2, links – Blickrichtung entgegen der Fahrtrichtung; mitte – Erfassung des linken Fahrstreifens; rechts – Erfassung des rechten Fahrstreifens

In Abbildung 3-9 sind die am Q2 erhobenen Verkehrsstärken im Tagesverlauf dargestellt. Für den Messzeitraum zeigt sich auch hier die Verteilung des Verkehrsaufkommens nach einem ähnlichen Muster wie am Q1.

Am Montag ist eine Abnahme der Verkehrsstärke erkennbar, die basierend auf den in Kapitel 2 beschriebenen Zusammenhängen auf hohe Verkehrsdichten schließen lässt. Es kann hier mit erhöhter Reisezeit auf diesem Streckenabschnitt gerechnet werden. Die Wochentage Mittwoch und Donnerstag weisen im Vergleich zueinander ähnliche Verkehrsstärken auf. Für Dienstag kann ein ähnlicher Verlauf vermutet werden, jedoch sticht dieser durch einen deutlichen Einbruch in der Verkehrsstärke hervor. Die durch äußere Umstände nicht erfolgte Verkehrserfassung eines Fahrstreifens zwischen 0.00 und 10.30 Uhr bedingt eine wesentlich geringere Anzahl an Fahrzeugen auf diesem Querschnitt, die Tagesganglinie weist allerdings im Ansatz die Charakteristik der beiden anderen Tage auf. Der Freitag hebt sich durch ein ab Mittag erhöhtes Verkehrsaufkommen, welches auf den Pendlerverkehr zurückzuführen ist, von den anderen Wochentagen hervor. Der Samstag zeichnet sich durch eine später auftretende Morgenspitze als unter der Woche und, sowie auch der Sonntag, ein deutlich geringeres Verkehrsaufkommen als an den Tagen unter der Woche aus. Beide Tage zeigen einen für das Wochenende charakteristischen Verlauf der Tagesganglinien.

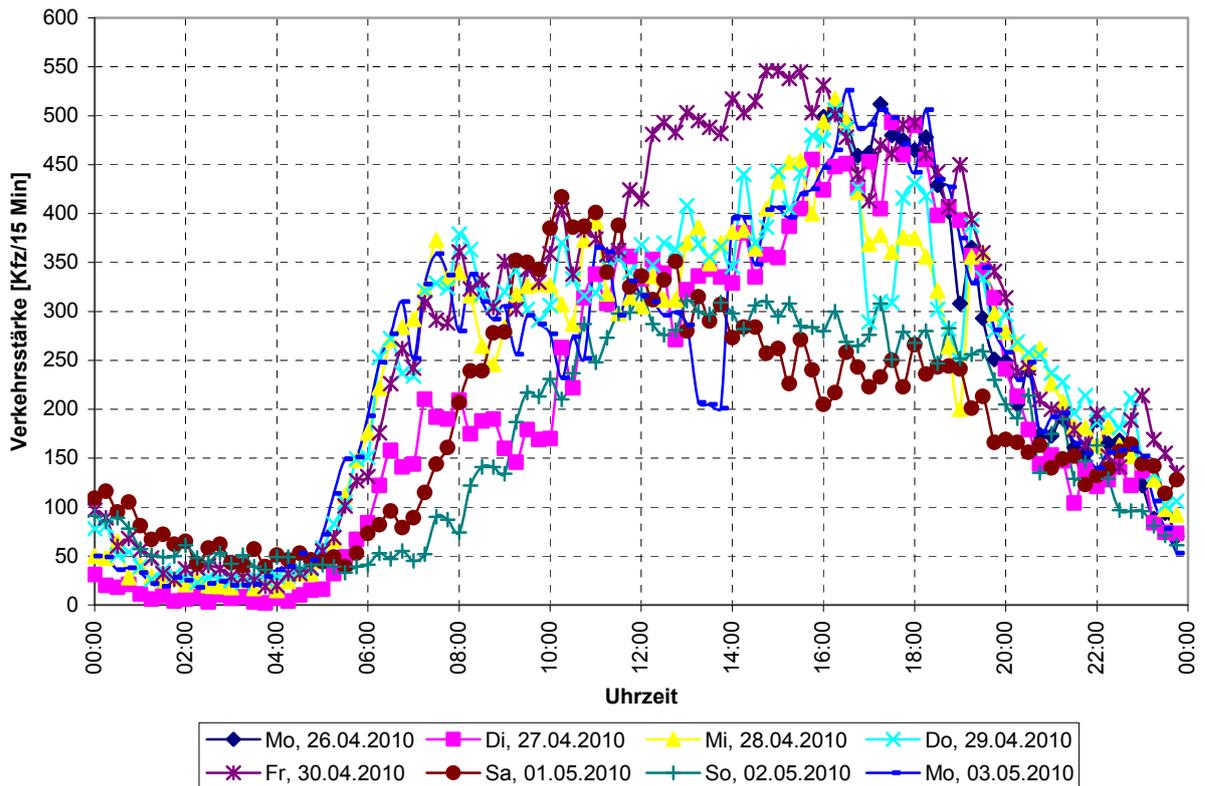


Abbildung 3-9: Tagesgang aller Wochentage am Messquerschnitt 2 (26.04.2010 – 03.05.2010)

Auch an diesem Standort lassen die Tagesganglinien erkennen, dass der Messquerschnitt 2 durch den Berufsverkehr geprägt ist. Von Montag bis Freitag (mit Ausnahme von Dienstag, wie oben erwähnt) ist eine Morgenspitze erkennbar. Der abendliche Rückreiseverkehr zeigt sich deutlich ebenfalls von Montag bis Freitag. Gegenüber dem Q1 zeigt sich am Freitag eine höhere Anzahl an Fahrzeugen, die verstärkt am Nachmittag stadtauswärts fahren. Der Wochenendverkehr weist eine etwas höhere Verkehrsstärke und eine stärker ausgeprägte Spitze am Samstagvormittag auf. Hingegen ist ein niedrigerer und stetig fallender Verkehrsstärke im restlichen Tagesverlauf für Samstag und Sonntag charakteristisch.

3.3.4 Messquerschnitt 3

In Abbildung 3-10 ist der dritte Messstandort (Q3) abgebildet, der sich an der Teststrecke rund 500 Meter vor der Stadtgrenze, an der Ausfahrt zur B1, befindet. Der gesamte Querschnitt besteht aus drei Fahrstreifen, denn etwa 350 m vor dem Messstandort erfolgt die Erweiterung um einen Fahrstreifen. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten konnte nur ein ANPR-System mit inkludiertem Radarsensor an diesem Messstandort aufgestellt werden, wodurch die Verkehrserfassung auf den rechten Fahrstreifen des Querschnitt beschränkt ist (Video- und Radarmessung). Die zulässige Höchstgeschwindigkeit ändert sich ca. 1,7 km vor dem Messquerschnitt auf 70 km/h, was zu einem ungleichmäßigeren Geschwindigkeitsprofil auf diesem Streckenabschnitt führt.



Abbildung 3-10: Messquerschnitt 3, Blickrichtung entgegen der Fahrtrichtung

Die in Abbildung 3-11 dargestellten Tagesganglinien am Q3 beziehen sich auf den rechten der drei vorhandenen Fahrstreifen, weshalb die Höhe des Verkehrsaufkommens nicht direkt mit jenen der anderen Querschnitte verglichen werden kann. Weiters kann die Charakteristik der Tagesgänge nicht mit Bestimmtheit interpretiert werden.

Die erhobene Verkehrsstärke an diesem Querschnitt lässt jedoch einen Trend ähnlich des erfassten Verkehrsaufkommens an den vorigen Messquerschnitten Q1 und Q2 erkennen. Montag bis Mittwoch zeigt der Verlauf der Verkehrsstärken einen Anstieg beim Einsetzen des Morgenverkehrs und eine ausgeprägte Spitze im Nachmittagsverkehr auf. Die Verkehrsstärke am Donnerstag ist in einer bestimmten Zeitspanne untertags jener des Wochenendverkehrs ähnlich oder sogar geringer. Samstag und Sonntag zeigt sich der Verlauf des typischen Wochenendverkehrs, mit einem Anstieg der Verkehrsstärke gegen 10 Uhr vormittags und einem stetigen Abklingen im restlichen Tagesverlauf.

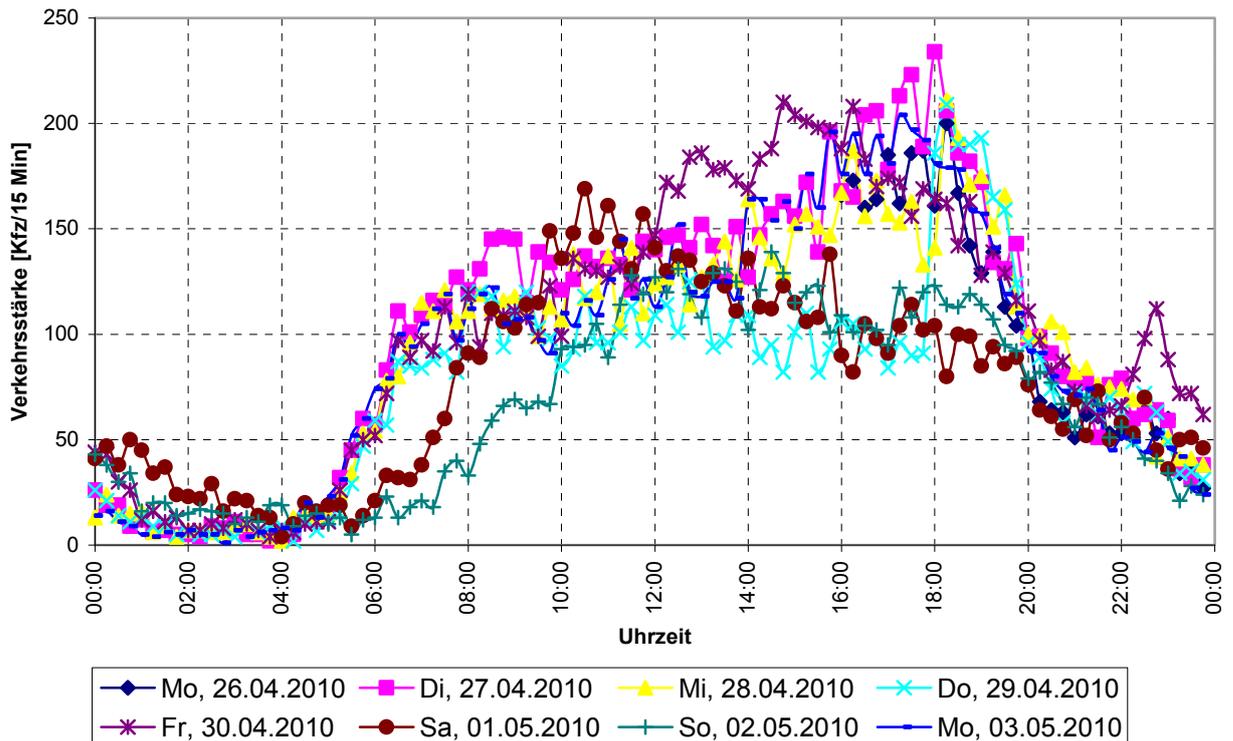


Abbildung 3-11: Tagesgang aller Wochentage am Messquerschnitt 3 (26.04.2010 – 03.05.2010)

Es lässt sich die Tendenz erkennen, dass die Tage unter der Woche prinzipiell einen ähnlich typischen Tagesverlauf aufweisen und sich differenziert zum Wochenende zeigen. Der abendliche Rückreiseverkehr unter der Woche ist bei diesem nahe der Stadtgrenze liegenden Querschnitt gut zu erkennen, Samstag weist auch hier ein erhöhtes Verkehrsaufkommen am Vormittag auf.

3.4 Überblick der erhobenen Daten

Die mittels einer videobasierten Kennzeichenerfassung (ANPR) erhobenen Verkehrsdaten sind Querschnittsdaten, und bilden das reale Verkehrsgeschehen mit einer „echten“ Reisezeit ab. Aufgrund der hohen Erfassungsqualität des Systems wird dieses als Referenz verwendet.

Die stationären Traffic Eye Universals (TEU) befinden sich nicht am gleichen Messstandort wie das Referenzsystem. Sie sind innerhalb des ersten Abschnitts der Teststrecke montiert und befinden sich 550 Meter vor dem zweiten Messstandort. Aufgrund kreuzender Straßen kann sich das Verkehrsaufkommen durch abbiegende und einbiegende Fahrzeuge ändern, weshalb die Verkehrsstärken nicht eindeutig mit den ANPR-Einzeldaten verglichen werden können. Die Reisezeit wird über die bekannte Wegstrecke und die von den TEUs gemessene Geschwindigkeit berechnet.

In je ein ANPR-System, welches den Verkehr des rechten Fahrstreifens erfasst, wurde ein Radarsensor eingebaut. Der Radarsensor detektiert aufgrund von Reflexionen alle Objekte in seinem Erfassungswinkel, kann dabei aber nicht unterscheiden, ob beispielsweise ein Fahrzeug nun auf dem näheren rechten Fahrstreifen oder auf dem weiter entfernten linken Fahrstreifen gefahren ist. Aufgrund dieser situationsbedingten Einschränkung werden nicht alle Fahrzeuge detektiert. Damit keine verfälschten Ergebnisse bezüglich des Verkehrsaufkommens beurteilt

werden, fließt in die weitere Evaluierung nur die Geschwindigkeit ein, welche vom Radarsensor gemessen wurde (s. Kapitel 3.1.2).

Betont sei an dieser Stelle, dass die Auswertung der erhobenen Verkehrsdaten mittels der Floating Cars sich auf die ursprüngliche Messmethode ohne jegliche Korrekturen der Daten bezieht. Der weiteren Auswertung liegen somit die Verkehrsdaten einer rohen FCD Erhebung vor, die nicht durch Glättungsmethoden oder andere im Alltag gebräuchlichen Methoden, verbessert wurden.

3.4.1 Rahmenbedingungen bei der Datenerhebung

In diesem Kapitel wird auf die Rahmenbedingungen eingegangen, die bei der videobasierten Datenerhebung mittels automatisierter Kennzeichenerfassung (ANPR) in dem Messzeitraum vorhanden waren.

Untersuchungszeitraum:

Die Erhebung der Referenzdaten mithilfe der ANPR-Methode erfolgte über einen Zeitraum von einer Woche. Die Systeme wurden am Montag, den 26.04.2010 aufgestellt und lieferten Daten ab 16 Uhr bis einschließlich Montag, den 03.05.2010. Basierend auf den Kriterien in Kapitel 3.2 wurde in diesem Zeitraum der Verkehr unter der Woche und am Wochenende erfasst. Der Feiertag am 01.05.2010 fiel auf einen Samstag.

Erhobene Verkehrszustände:

Die erhobenen Verkehrsdaten weisen eine typische Wochenganglinie auf. Im durchschnittlichen Wochenverlauf zeigte sich am ersten Abschnitt der Teststrecke ein erhöhtes Verkehrsaufkommen mit Reisezeitspitzen zwischen 8 und 9 Uhr, oder zwischen 16 und 17 Uhr. Am Montag, den 03.05.2010 konnten sogar zwei Ereignisse mit einer bis zu 6-fach erhöhten Reisezeit erfasst werden. Diese Staufälle bilden für die weitere Betrachtung der Daten eine gute Grundlage, damit die Systeme hinsichtlich der Reisezeitermittlung in unterschiedlichen Verkehrszuständen evaluiert werden können.

Datenausfall:

Bei einem System musste ein Datenausfall von knapp elf Stunden verzeichnet werden. Das Sichtfenster des ANPR-Systems am Messquerschnitt 2, welches am Gehsteig aufgestellt war, wurde durch ein Blatt Papier verdeckt. Dadurch sind zwischen Dienstag, 27.04.2010 Mitternacht bis 10.45 Uhr von diesem System keine Verkehrsdaten aufgezeichnet worden.

Wetterbedingungen:

Für die Erhebung der Verkehrsdaten war die Wetterlage meist optimal. Teils heftige Regenschauer traten jedoch sporadisch auf, wodurch die Datenqualität im Sinne der Kennzeichenerkennung zu leiden hatte.

In den Morgenstunden schien die Sonne manchmal in einem gewissen Einstrahlwinkel direkt in die Linse der Kamera mancher ANPR-Systeme, wodurch der Bildkontrast beeinträchtigt wurde. Sonneneinstrahlung beeinträchtigte die Erfassungsqualität teilweise auch in den Abendstunden, da die Fahrzeuge Richtung Westen fuhren. Die Kennzeichen reflektierten dabei die Sonne so stark, dass sie unlesbar wurden.

Zusätzlich ist zu erwähnen, dass ein Klebestreifen (ein Restbestand des vorgeklebten Papiers) in weiterer Folge die Datenqualität wesentlich beeinflusst hat, da bei Sonneneinstrahlung die Folie stark gespiegelt hat.

Um jedoch möglichst hohe Erfassungsrate n der Fahrzeuge zu erzielen, wurde eine arbeitsintensive manuelle Korrektur durchgeführt. Die dafür notwendigen Arbeitsschritte wurden in Kapitel 3.1.1 beschrieben. In Tabelle 3-2 sind nachträglich korrigierten Stunden dargestellt, wobei z. B. Q1 für den ersten Messquerschnitt steht. Der nachfolgende Buchstabe r oder l definiert, ob das ANPR-System den Verkehr des rechten oder linken Fahrstreifens erhoben hat.

Tabelle 3-2: Auflistung der manuell nachkorrigierten Videosequenzen

Querschnitt	Datum	Uhrzeit ¹
Q1_l	28.4.	19
Q1_l	29.4.	10.30
Q1_l	29.4.	19
Q2_r	27.4.	11
Q2_r	28.4.	9
Q2_r	28.4.	10
Q2_r	02.5.	17
Q2_r	03.5.	9
Q2_r	03.5.	13
Q2_l	27.4.	11
Q2_l	03.5.	9
Q2_l	03.5.	13
Q3_r	28.4.	18.30
Q3_r	28.4.	19
Q3_r	29.4.	18
Q3_r	29.4.	19
Q3_r	02.5.	16
Q3_r	02.5.	17
Q3_r	03.5.	9
Q3_r	03.5.	13

¹In der Spalte Uhrzeit stellen die angegebenen Werte den Start des bis zur nächsten vollen Stunde dauernden Bearbeitungsintervalls dar.

Die von Hand durchgeführte Korrektur bestand darin, dass das aufgezeichnete Video mit den von der Software bereits erhobenen Fahrzeugen verglichen wurde. Gängig aus dem Vergleich hervor, dass ein Fahrzeug von der ANPR-Software nicht erkannt wurde, erfolgte eine manuelle Erfassung und Integration in die Datenbank.

3.4.2 ANPR Daten

Die ANPR-Daten folgen aus der Erhebung von Einzelfahrzeugen an einem Querschnitt mittels automatisierter videobasierter Kennzeichenerfassung. Es wurden fünf Systeme an insgesamt drei Querschnitten für einen Messzeitraum von einer Woche installiert. Hierbei wurden an den ersten beiden Standorten Verkehrsdaten von zwei Fahrstreifen erhoben. Am dritten Messquerschnitt wurde der Verkehr am rechten von drei Fahrstreifen erfasst, da wegen den örtlichen Gegebenheiten und der technischen Machbarkeit eine Überwachung aller drei Fahrstreifen nicht möglich war.

Die Erhebung des Verkehrsgeschehens beruhte auf der Detektion von Einzelfahrzeugen. Wie in Kapitel 3.1.1 erwähnt, gehen nur Fahrzeuge in die Stichprobe ein, die Einfahrts- und Ausfahrtsquerschnitt passierten. Bei Eintritt in den Streckenabschnitt wird ein Eintrag in die Datenbank versehen mit einem Zeitstempel generiert. Ein gültiger Datenwert für die darauf folgende Reisezeiterhebung ist dann gegeben, wenn das Fahrzeug den nächsten Querschnitt durchfährt. Im Anhang 9.2 befinden sich die Darstellungen der Reisezeitverläufe für jeden Wochentag des Messzeitraums, nach den Teilstrecken Abschnitt 1 und Abschnitt 2

unterschieden. Die Grafiken beinhalten Messwerte der Einzelfahrzeuge, die in gültige und ungültige Werte unterteilt werden. Diese Zuordnung erfolgt aufgrund der Beurteilung der Plausibilität der erhobenen Reisezeit für jedes Fahrzeug mittels einem Plausibilitätsfilters nach SCHNEIDER et al. (2008). Vereinfacht gesagt wird die Reisezeit eines Fahrzeuges auf einer Strecke mit der Reisezeit des restlichen Verkehrsaufkommens verglichen. Benötigte nun dieses Fahrzeug deutlich länger für die Strecke als die Mehrheit der Fahrzeuge in dem Zeitraum, wird es als ungültiger Eintrag gekennzeichnet und fließt für die weitere Auswertung der Reisezeit nicht ein. Wurde erhöhte Reisezeit im Kollektiv erfasst, ist dies ein Indiz für einen Staufall.

Um eine höchstmögliche Erfassungsrate des Verkehrsaufkommens in dem Messzeitraum zu gewährleisten, wurden die ermittelten Verkehrsstärken auf Plausibilität überprüft, indem der Verlauf der Tagesganglinien qualitativ betrachtet wurde. Bei vermeintlichen Unregelmäßigkeiten wurde auf eine nicht ausreichend erhobene Verkehrsstärke geschlossen und diese manuell korrigiert. Mit der in Kapitel 3.1.1 beschriebenen Methode, wurden dabei die durch die ANPR-Software automatisch erstellten Bildeinträge der Fahrzeuge mit der dazugehörigen Videoaufzeichnung verglichen. Erkannte die Software ein Fahrzeug nicht, wurde dieses von Hand aus der Aufzeichnung als Bild extrahiert. Durch den exakten dem Bild zugeordneten Zeitstempel konnte der Eintrag in der Datenbank integriert werden und war für die weitere Verarbeitung verfügbar. Die manuell bearbeiteten Videosequenzen sind in Tabelle 3-2 angeführt.

Die Reisezeit wurde aus der Differenz der Zeitstempel berechnet, die bei Ein- und Ausfahrt ein und desselben Fahrzeuges aus dem Streckenabschnitt gesetzt wurden. Auch hier kamen Plausibilitätskriterien zum Einsatz, die die berechnete Reisezeit der Einzelfahrzeugdaten als gültig oder ungültig bewerteten. Hielt ein Verkehrsteilnehmer sich auf dem Streckenabschnitt deutlich länger als erwartet auf, so ging diese Reisezeit nicht in die weitere Auswertung ein.

Der sorgsame Umgang mit den ANPR-Daten und der daraus abgeleiteten Reisezeit begründet sich aus der Motivation heraus, dass das ANPR-System als Basis für die Untersuchung der Eignung von unterschiedlichen Verkehrsdaten erfassungssystemen herangezogen wird. Trotz der hohen Stichprobengröße und Erfassungsrate von ANPR sind dennoch Lücken in der Verkehrsdatenerfassung nicht auszuschließen. Grund dafür können vom System nicht erkennbare Kennzeichen, z. B. wegen ungünstiger Wetterbedingungen sein.

3.4.3 Radarsensor Daten

Aus einbautechnischen Gründen wurden Radarsensoren nur in den ANPR-Systemen des rechten Fahrstreifens montiert. Bedingt durch die Funktionsweise des Radars (s. Kapitel 3.1.2), können deshalb die Verkehrsstärken nicht als vollständige und gültige Messwerte herangezogen werden. Befinden sich zur gleichen Zeit auf selber Höhe einer Straße zwei Fahrzeuge, wird nur das direkt im Erfassungsbereich des Radarsensors liegende Fahrzeug detektiert, in dem Fall jenes am rechten Fahrstreifen. Das dahinter liegende Fahrzeug kann aufgrund der Abschattung vom Radarsensor nicht erfasst werden. Diese möglichen Verdeckungen führen in weiterer Folge zu keiner genauen Angabe über die Verkehrsstärke, weshalb diese Kenngröße keine aussagekräftige Bewertungsgrundlage in der weiteren Auswertung darstellt.

Die vom Radarsensor erfassten Einzelfahrzeugdaten wurden als 1 Minuten Werte manuell aufbereitet, damit sie nach dem erforderlichen Aggregierungsintervall zusammengefasst werden können. Für die weitere Auswertung liegen die Radarsensordaten als Intervallwerte für 5 und 15 Minuten vor. In betrachtetem Testzeitraum lag eine vollständige Datenverfügbarkeit vor.

Über die erhobene Geschwindigkeit wurde der Bezug zur Reisezeit hergestellt. Dabei wurde die durchschnittliche Geschwindigkeit am Beginn eines Streckenabschnitts über dessen Länge in eine Reisezeit umgerechnet. Anzumerken ist, dass mittels dieser Methode eine lokale auf den Querschnitt bezogene Kenngröße für eine gewisse Streckenlänge als konstant angesehen wird.

Da dieser Umstand mit Bestimmtheit nicht den realen Bedingungen auf der gewählten Teststrecke entspricht, ist mit Fehlinterpretationen der Reisezeit zu rechnen.

3.4.4 Traffic Eye Universal Daten

Das Traffic Eye Universal (TEU) ist über Kopf auf Lichtmasten montiert und generiert Verkehrsinformationen als Datensätze für 1 Minuten Intervalle für einen Fahrstreifen. Mit einem Zeitstempel versehen, werden diese Datensätze des Gerätes an einen zentralen Server übermittelt.

Die genau enthaltenen Informationen je Datensatz wurden in Kapitel 3.1.3 näher erläutert. Im folgenden Kapitel wird auf die im Messzeitraum erhobenen Daten näher eingegangen. Die Messung wurde am Montag, 26.04. 2010 um 16 Uhr gestartet, erhob das Verkehrsaufkommen des gesamten Montags, 03.05.2010 und endete somit um Mitternacht des nächsten Tages.

Die abgefragten Daten der TEUs wurden in einem ersten Schritt auf ihre Vollständigkeit und Plausibilität überprüft. Nach eingehender Datenanalyse konnte ein Ausfall der Einzeldaten von 30,34 % verzeichnet werden. Auffällig dabei war die Systematik, mit der Datensätze nicht an die Zentrale übertragen wurden. Regelmäßig wurden jene mit Zeitstempeln, die in ihrer Minutenangabe eine bestimmte Zahl enthielten, nicht gesendet. Beispielsweise wurden Minutenwerte mit einer Zahlenkombination, die eine 2 enthielt (Datensätze mit Minuten 2, 12, 22, 32, 42, 52), nicht übertragen. Dies wurde über den gesamten Zeitraum hindurch mit unterschiedlichen Zahlenkombinationen beobachtet.

Die in Kapitel 4.3 folgende Auswertung der Daten basiert auf den berechneten Reisezeiten, die sich aus den von TEU erfassten Geschwindigkeiten und der Streckenlänge des Abschnitts 1 ergeben. Ein Vergleich der TEU-Daten in Bezug zu den ANPR-Daten wird anhand der vorhandenen Datensätze durchgeführt. Fehlende Messwerte werden nicht mit Null gleichgesetzt und gehen nicht in die weitere Auswertung, z. B. bei der Ermittlung der Reisezeitabweichungen, ein. In Abhängigkeit des auszuwertenden Aggregierungsintervalls ergeben sich durch die Datenausfälle gewisse Lücken in der Messreihe, die aber aufgrund der Fehlertoleranz in einem Intervall einen vernachlässigbaren Einfluss haben. In diesem Zusammenhang wurde eine sogenannte Datenverfügbarkeit für das betrachtete System berechnet. Sie stellt jenen Prozentsatz des gesamten Zeitraumes dar, in dem TEU einen Messwert geliefert hat. Analog erfolgt eine Angabe der Datenverfügbarkeit für den Staufall über den Messzeitraum betrachtet. Für ein Aggregierungsintervall von 15 Minuten-Intervall kann eine Verfügbarkeit von 99,43 % angegeben werden, im Staufall waren 98,90 % der TEU-Daten verfügbar. Für ein Intervall von 5 Minuten konnte eine Datenverfügbarkeit von 98,71 % des Gesamtzeitraumes und 96,54 % im Staufall berechnet werden.

Die von TEU generierten Daten weisen ein weiteres Merkmal auf. Es konnte neben der fehlenden Übertragung, auch eine mehrfache Erfassung von gleichen Datensätzen beobachtet werden. Dabei wurde der gesamte Datensatz mit gleichem Zeitstempel und enthaltener Information öfters an den Server gesendet, wo dieser nicht das Duplikat erkannt, sondern als neues Ereignis gespeichert wurde. Es konnten 5,27 % der Datensätze als Mehrfachnennung beobachtet werden.

In einem weiteren Schritt wurden die von TEU gelieferten Verkehrsstärken anhand der Referenzdaten auf Plausibilität geprüft. Anzumerken sind die unterschiedlichen Positionierungen von TEU und ANPR, da sich die TEU Sensoren in 550 m Entfernung zu den ANPR-Systemen befinden. Zwischen den beiden Systemstandorten liegen zwei Kreuzungen (Guldengasse, Kefergasse), an denen der Verkehr zu- und abfließen kann. Aufgrund dessen ergibt sich ein Unterschied beim Vergleich der Verkehrsstärken, der durch die systematischen Datenausfälle bestärkt wird. Jedoch zeigen sich trotz der Datenausfälle bei den Rohdaten von 30 % überschätzte Verkehrsstärken durch die TEU Systeme. Diese Tatsache wird hier angeführt, war aber für den weiteren Vergleich in Bezug zur Reisezeitermittlung nicht maßgeblich.

3.4.5 FCD Daten

Floating Car Daten (FCD) werden von Taxis dynamisch auf einer Strecke für ein Zeitintervall von 5 oder 15 Minuten erhoben. Dabei übertragen die Fahrzeuge regelmäßig ihre GPS-Position samt einem Zeitstempel. Die Reisezeit wird im Rahmen dieser Arbeit mit zwei unterschiedlichen Herangehensweisen ermittelt wie in Kapitel 3.1.4 erläutert. Bei der linkbezogenen Variante wird die Reisezeit für jeweils ein Straßensegment („Link“) ermittelt und für den gesamten Streckenabschnitt aufsummiert. Für die Variante der Durchfahrer gehen nur die Reisezeiten jener Taxis ein, welche den Streckenabschnitt zwischen dem Einfahrts- und Ausfahrtsquerschnitt vollständig durchfahren. Aus diesen Gegebenheiten stellt die Stichprobengröße keinen vergleichbaren Kennwert zwischen den beiden Varianten dar.

Da FCD Messfahrzeuge bei den linkbezogenen Daten auch Teile der Strecke befahren können, lässt sich keine eindeutige Maßzahl finden, welche die Anzahl der absoluten Überfahrten widerspiegelt. Als Kennwert wird die Stichprobengröße daher als die absolute Anzahl von Einzelmessungen auf der Route angegeben. Sie bildet sich aus der Summe aller von Taxis produzierten Einzelmessungen auf allen Links der Strecke.

Bei den Durchfahrern entspricht die Stichprobengröße der tatsächlichen Anzahl an Taxis, die den jeweiligen Abschnitt der Teststrecke vom einen Messquerschnitt zum anderen passierten. Der zugrunde liegende Algorithmus in FLEET garantiert dabei, dass das Taxi exakt die vorgesehene Strecke fuhr. Wenn das Taxi z. B. nur bei Q1 und Q2 vorbeikam, aber dazwischen eine andere Route fuhr, dann wird es nicht als Durchfahrer erkannt und geht nicht in die Stichprobe ein.

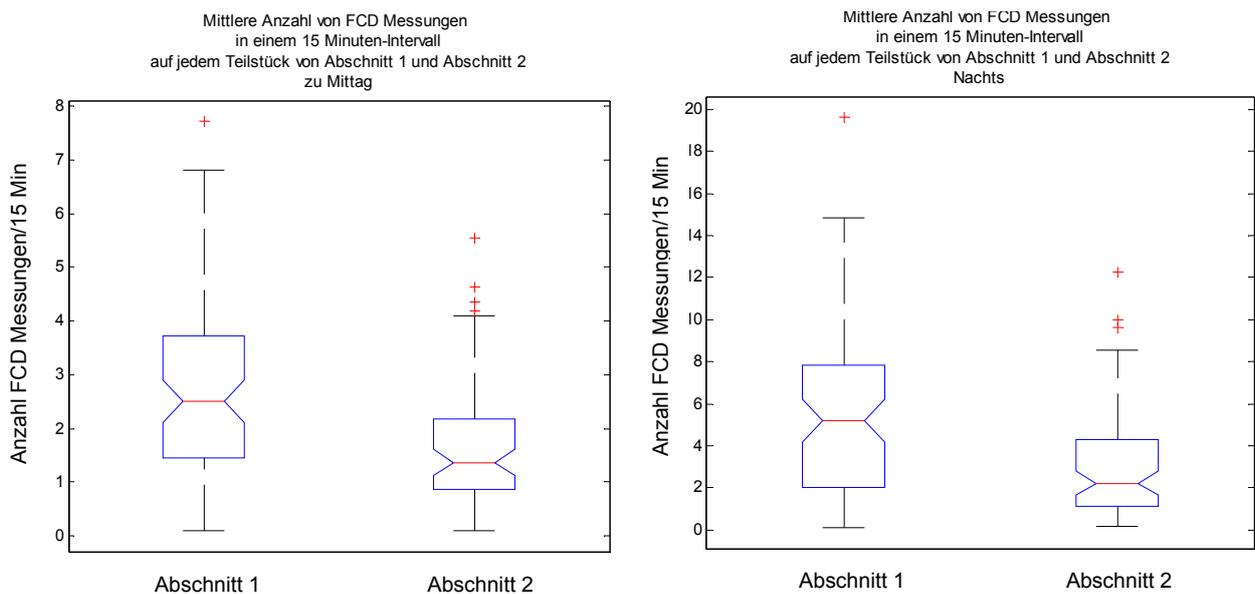


Abbildung 3-12: Mittlere Anzahl an FCD Messungen in 15 Minuten

Hinsichtlich der Anzahl an Messwerten je Zeitintervall wurden nicht die Größenordnungen einer durch FCD stark frequentierten Route erreicht. Hohe FCD Abdeckungen je Zeitintervall sind z. B. auf Streckenabschnitten des Wiener Gürtels oder des Ringes messbar. Dabei werden durchschnittlich Werte erreicht, die zwischen 10 und 14 Messungen je Link in einem Zeitintervall von 15 Minuten liegen. Trotz der Annahme, dass eine stadtauswärts führende Straße von Taxis stark frequentiert ist, liegen die mittleren Werte nicht im erwarteten Bereich, wie aus Abbildung 3-12 hervorgeht. In der Darstellung der mittleren Anzahl von FCD

Messungen je Link ist zu erkennen, dass maxi mal 6 Messungen auf dem ersten Abschnitt der Teststrecke durchschnittlich in einem Zeitintervall von 15 Minuten zustande kamen. Maximal 2 Messungen je Link und 15 Minuten konnten auf dem zweiten Abschnitt erhoben werden. Diese Werte gelten für die Nacht, für die Mittagszeit ergeben sich deutlich geringere Werte für Abschnitt 1. Somit geht aus Abbildung 3-12 hervor, dass nachts mit einer höheren Taxidichte als untertags zu rechnen ist.

Die Verteilung der Anzahl der Messwerte ist als Boxplot grafisch dargestellt. Die oben genannten Werte stellen dabei den Zentralwert dar. Umgeben wird dieser durch die Box, in welcher 50 % der Daten liegen. Die senkrechten Linien stellen den außerhalb der Box liegenden Datenbereich dar und grenzen zusätzlich die Ausreißer der Messwerte ab.

Aufgrund der niedrigen Anzahl an Messungen je Intervall kann die Annahme getroffen werden, dass bei der durch FCD erhobenen Datenreihen nicht jedes Zeitintervall mit einem Messwert belegt ist. Die Anzahl der Taxis, welche die Teststrecke befahren, scheint zu gering zu sein, um eine vollständige Datenreihe zu liefern, weswegen Messlücken auftreten. Ein Maß für die Anzahl der belegten Intervalle im Verhältnis zur Gesamtanzahl stellt die Datenverfügbarkeit dar, welche für den Messzeitraum von einer Woche ermittelt wurde. Die Betrachtung der Datenverfügbarkeit stellt sich in Abhängigkeit des Streckenabschnitts, der Art der Reisezeitberechnung und letztendlich des Zeitintervalls, in dem Messwerte erhoben werden, als inhomogen dar.

Tabelle 3-3 zeigt für Abschnitt 1, dass die linkbezogenen FCD eine hohe Datenverfügbarkeit von über 95 % für ein 15 Minuten Messintervall aufweisen. Auch im Staufall sind ausreichend viele Messwerte vorhanden. Im Gegensatz dazu ist bei einem kürzeren Messintervall die Datenverfügbarkeit deutlich geringer. Das bedeutet, dass zu wenig Taxis die Teststrecke befahren, damit in jedem 5 Minuten-Intervall Daten erhoben werden können. Bei FCD Durchfahrer zeigt sich schon bei 15 Minuten eine recht geringe Datenverfügbarkeit, die bei 5 Minuten Ausmaße annimmt, die keine haltbaren Aussagen über die erhobenen Werte zulässt.

Tabelle 3-3: Datenverfügbarkeit der FCD-Daten für Abschnitt 1 der Teststrecke

Streckenabschnitt 1				
	FCD linkbezogen		FCD Durchfahrer	
Intervall	Gesamt	Staubelegung	Gesamt	Staubelegung
15 Minuten	95,01 %	96,70 %	60,97 %	52,75 %
5 Minuten	42,16 %	42,56 %	28,78 %	19,03 %

Tabelle 3-4 stellt die Datenverfügbarkeit am Abschnitt 2 dar. Es ergeben sich bei der Betrachtung der Messwerte für ein 15 Minuten-Intervall unterschiedliche Datenverfügbarkeiten in Abhängigkeit der Reisezeitermittlung durch FCD. Sind bei FCD linkbezogen noch ausreichend Messwerte je Intervall vorhanden, zeigt sich für FCD Durchfahrer, dass eine ungenügende Anzahl an Taxis die Strecke durchfuhr. Für eine Datenerhebung in einem Intervall von 5 Minuten befanden sich auf dem Streckenabschnitt allgemein zu wenig Taxis, weswegen nur eine sehr geringe Datenverfügbarkeit bei beiden FCD Methoden zustande kommt.

Tabelle 3-4: Datenverfügbarkeit der FCD-Daten für Abschnitt 2 der Teststrecke

Streckenabschnitt 2		
	FCD linkbezogen	FCD Durchfahrer
Intervall	Gesamt	Gesamt
15 Minuten	86,50 %	28,64 %
5 Minuten	26,76 %	10,44 %

Die unterschiedlich hohe Datenverfügbarkeit bedingt eine inhomogene Datengrundlage, aufgrund dessen die Methoden anhand quantitativer Kenngrößen nicht direkt vergleichbar sind. Betont sei an dieser Stelle, dass die betrachteten FCD Methoden Rohformen der Reisezeitgenerierung darstellen. Für den operablen Betrieb des FLEET Systems werden die Rohdaten mit diversen Algorithmen bearbeitet, um bestmöglich die Reisezeit angeben zu können.

4 Vergleich der ermittelten Reisezeiten

Ein Überblick über die erhobenen Daten wurde in Kapitel 3.4 gegeben. Ziel dieses Kapitels ist die ermittelten Reisezeiten in Bezug auf das ANPR-System zu vergleichen. Die zu vergleichenden Reisezeiten ergeben sich aus den erhobenen Verkehrsdaten der querschnittsbezogenen (TEU und Radarsensor) und des streckenbezogenen FCD Systems.

4.1 Allgemeines

Die Methode der Untersuchung von unterschiedlichen Verkehrsdatenerfassungssystemen auf Eignung zur Reisezeitermittlung basiert auf einem Datenvergleich. Es werden die zu vergleichenden Daten in zwei unterschiedlich lange Zeitintervalle von 15 und 5 Minuten aggregiert.

Zu diesem Zweck wurde eine Teststrecke gewählt und in zwei Abschnitte untergliedert. Wie in Kapitel 3 beschrieben, erfasst das stationäre System Radarsensor Verkehrsdaten an denselben Standorten wie das Referenzsystem ANPR. Das stationäre System Traffic Eye Universal (TEU) ist an einem Standort platziert, welcher zwischen den ersten beiden Messquerschnitten liegt.

Während der Radarsensor kontinuierlich Daten als Einzelfahrzeugwerte und TEU in einem 1 Minuten-Intervall an einem Standort erfasst, werden bei der Floating Car Methode (FCD) Verkehrsdaten auf dynamischem Weg erhoben. Dabei übermitteln Taxis ihre GPS-Positionen in regelmäßigen Abständen, aus denen in weiterer Folge für bestimmte Zeitintervalle Reisezeiten generiert werden. Somit ist die betrachtete FCD Methode auf die Anzahl der Taxis angewiesen, die in einem bestimmten Zeitraum die Teststrecke befahren. Diese dynamische Methode hat jedoch gegebenenfalls den Nachteil, dass sich nicht zu jedem Zeitintervall ein Taxi auf einem Straßensegment befindet und Messwerte liefert. Es ergibt sich in Abhängigkeit der Art der Reisezeitberechnung (s. Kapitel 3.1.4) und der Höhe des Messintervalls teilweise eine nicht repräsentative Stichprobengröße, die der Grundgesamtheit der Referenzdaten gegenübergestellt wird.

4.1.1 Statistische Kenngrößen zur Qualitätsbeurteilung

In diesem Abschnitt wird aus der großen Anzahl an statistischen Kenngrößen nur ein Auszug präsentiert. Es werden jene Parameter beschrieben, welche zur Beurteilung der erhobenen Daten von Relevanz waren.

Nach der Deutschen Norm DIN ISO 3534-1 (2009) stellt die **Grundgesamtheit** die Gesamtheit der betrachteten Einheiten dar. Sie kann real und endlich, real und unendlich oder vollständig theoretisch sein. Die Benennung „endliche Grundgesamtheit“ wird insbesondere bei Stichprobenerhebungen verwendet, eine „unendliche Grundgesamtheit“ wird im Zusammenhang mit der Stichprobenentnahme aus einem Kontinuum beschrieben. Eine theoretische Grundgesamtheit zieht die Beschaffenheit weiterer Daten unter diversen Annahmen in Erwägung. TIMISCHL (1996) versteht unter einer Grundgesamtheit allgemein eine Menge von Einheiten, die ein oder mehrere Merkmale besitzen. Durch eine Vollerhebung oder eine entnommene Stichprobe wird versucht, Kenntnis über die Grundgesamtheit zu erlangen. Wird von einer Stichprobe auf eine unbekannte Grundgesamtheit geschlossen, stellt dies einen „indirekten Schluss“ dar.

In der vorliegenden Arbeit wurden Einzelfahrzeuge auf videobasierter Kennzeichenerfassung erhoben und die Daten als Referenz für die weitere Auswertung herangezogen. Zwar weist diese Methode eine hohe Erfassungsrate auf, stellt allerdings die tatsächliche Verkehrssituation mit Erfassungsraten von 90 % - 95 % (s. Kapitel 3.1) nicht zur Gänze dar. Jedoch kann die erhobene Verkehrsstärke als repräsentative **Stichprobe** angesehen werden. Auch unter einem anderen Gesichtspunkt kann die mittels ANPR erfasste Verkehrsstärke als Stichprobe betrachtet

werden. Aus einem kontinuierlichen Verkehrsaufkommen, einem ständigen Verkehrsfluss, wurden Verkehrsdaten für einen Zeitraum von einer Woche erfasst. Die Anzahl der erhobenen Fahrzeuge kann als eine Teilmenge der Grundgesamtheit, also eine Stichprobe der Verkehrsstärke dargestellt werden.

Folgende Stichprobenkennwerte werden nun herangezogen, um mittels Zahlenwerten eine Stichprobe zu beschreiben [TIMISCHL, 1996]:

- Das **arithmetische Mittel** \bar{x} , auch Mittelwert genannt, berechnet sich aus der Summe aller Merkmalswerte x_i geteilt durch den Stichprobenumfang n und stellt einen Lageparameter einer Häufigkeitsverteilung dar.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

- Ein Streuungskennwert ist die **Standardabweichung** s . Sie ist ein Maß, wie sehr Stichprobenwerte um ihren Mittelwert streuen. Da der Mittelwert die Bezuggröße darstellt, wird die Standardabweichung stark von Ausreißern beeinflusst.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

4.1.2 Grafische Darstellungen

Diskrete Darstellung der Reisezeiten

In den Grafiken (s. beispielsweise Abbildung 4-1) werden Reisezeiten des zu evaluierenden Systems im Vergleich zu jenen dargestellt, die das Referenzsystem ANPR ergab. Dabei werden nur Werte angezeigt (grün markiert), wo Daten des zu vergleichenden Systems in einem Aggregierungsintervall vorliegen. Daher ist die Darstellung der Reisezeiten eine Aneinanderreihung diskreter Werte und keine kontinuierliche Datenreihe. Die Reisezeitvisualisierung trägt auf der x-Achse Datum und Uhrzeit des Messzeitraums, die y-Achse stellt die erhobene Reisezeit in Sekunden dar. Im Fall von TEU und FCD sind zusätzlich auf der x-Achse jene Intervalle rot markiert, in denen keine Daten vorliegen. Bei den Radardaten konnte in jedem betrachteten Intervall ein Datenwert erhoben werden, weshalb hier nur gültige Werte vorhanden sind. Zu beachten ist weiters, dass sich in Abhängigkeit des Aggregierungsintervalls unterschiedlich hohe Reisezeitspitzen ergeben. Bei dem 5 Minuten-Intervall zeigt sich diese ausgeprägter mit 900 Sekunden. Bei einem Zeitfenster von 15 Minuten fallen niedrigere Reisezeiten ins Gewicht, weswegen die durchschnittliche Höhe der Reisezeit auf 600 Sekunden gesenkt wird.

Differenz der Reisezeiten

In den Diagrammen (s. beispielsweise Abbildung 4-2) werden die Differenzen der Reisezeiten aus der diskreten Darstellung der Einzelwerte gezeigt. Auf der x-Achse sind Datum und Uhrzeit, auf der y-Achse ist die Differenz vom Referenzwert in Prozent dargestellt. Da die zeitliche Skalierung auf der x-Achse im Diagramm der dargestellten Reisezeit und der Reisezeitdifferenz identisch ist, lässt sich jeder Abweichungswert zeitlich der diskreten Darstellung zuordnen. Hier gilt es anzumerken, dass besonders bei Reisezeitspitzen es zu einer geringfügig zeitlichen

Verschiebung in der Erkennung des Maximums kommen kann. Das ist darin begründet, dass Einzeldaten miteinander verglichen werden und die Systeme unterschiedlich rasch das Maximum ausweisen. Die dargestellten Differenzen der Reisezeiten beider Systeme können als höher ausgewiesen werden, als wenn ein Zeitfenster über das zu betrachtete Ereignis gelegt würde. In den weiteren Kapiteln 4.2 bis 4.7 wird auf diese Charakteristik mit dem Begriff „Zeitfensterbetrachtung“ hingewiesen.

Im Fall von positiven Differenzwerten wird von einem Überschätzen der Reisezeit durch das zu evaluierende System gesprochen. Wenn negative Differenzwerte vorliegen, wird diese Tatsache mit einem Unterschätzen der Reisezeit bezeichnet, d. h. der durch das Referenzsystem erhobene Wert liegt oberhalb jenes des zu untersuchenden Systems.

Histogramm der Reisezeitdifferenzen

Von Vorteil sind grafische Darstellungen einer Stichprobe in einem Histogramm (s. beispielsweise Abbildung 4-3). Dabei werden über den Klassen einer Stichprobe Datenwerte aufgetragen, deren Höhe gleich der zugehörigen absoluten Häufigkeit ist [TIMISCHL, 1996]. In der vorliegenden Arbeit wird für den weiteren Datenvergleich die Häufigkeitsverteilung der Reisezeitdifferenzen dargestellt.

In den Diagrammen wird auf der x-Achse die Differenz der Reisezeiten in Prozent aufgetragen. Positive Werte bedeuten, dass die Reisezeit gegenüber der durch das Referenzsystem ermittelten Reisezeit überschätzt wird. Negative Werte geben ein Unterschätzen der Reisezeit an. Auf der y-Achse werden die Häufigkeiten der auf der x-Achse aufgetragenen Reisezeitdifferenzen dargestellt. Der Mittelwert wird durch die Bezeichnung „Mean“ ausgewiesen und zeigt sich als hervorgehobene Linie in der Grafik. Mit „Stddev“ wird die Standardabweichung angegeben. Des Weiteren gibt die Bezeichnung „Count“ die Anzahl der Intervalle an, in denen Daten verfügbar sind. Diese Zahl repräsentiert jedoch nicht die Stichprobengröße.

Reisezeitdifferenz in Abhängigkeit von der Stichprobe

Diese Grafik stellt die Werte der Reisezeitdifferenzen von beiden Systemen in Zusammenhang mit der Stichprobengröße dar. Hierbei sollen eventuelle Abhängigkeiten der beiden Kenngrößen von einander erkannt werden. Auf der x-Achse ist die Stichprobengröße des zu evaluierenden Systems aufgetragen, die y-Achse wird durch die Differenz der Reisezeiten geprägt. Liegen die Werte im positiven Bereich, wird eine Überschätzung der Reisezeit angezeigt. Der negative Bereich der Reisezeitdifferenzen stellt eine Unterschätzung der Reisezeit dar.

Im folgenden Kapitel werden diese Grafiken als Beurteilungsgrundlage hinsichtlich der Güte der erfassten Reisezeit herangezogen. Die Darstellung der Reisezeit und der Reisezeitdifferenz zeigen die Güte der Daten bezogen auf die einzelnen Werte in den Intervallen des Messzeitraums.

4.2 Vergleich der Daten des Radarsensors und ANPR

In diesem Kapitel werden die vom Radarsensor und ANPR erfassten Daten zur Reisezeitermittlung verglichen. Dabei werden die vom Radarsensor gemessenen Geschwindigkeiten der Einzelfahrzeuge als Vergleichsgrundlage herangezogen. In Erinnerung gerufen sei an dieser Stelle, dass aufgrund der Messinstallation des Radars, wie in Kapitel 3.3 beschrieben, die Verkehrsstärke nicht vollständig erfasst werden konnte und die damit verbundenen Ergebnisse somit nur bedingt aussagekräftig sind.

Als Grundlage für die Berechnung der Reisezeit dient die lokal am Einfahrtsquerschnitt erfasste Geschwindigkeit der Einzelfahrzeuge in Verbindung mit der Länge des Streckenabschnitts. Für das betrachtete Aggregationsintervall ergibt sich daraus eine mittlere Querschnittsgeschwindigkeit. Dafür wird die mittlere Geschwindigkeit jeweils des Anfangsquerschnitts einer Teilstrecke herangezogen. Für den Abschnitt 1 wird somit der erste Messquerschnitt (Q1), für den Abschnitt 2 der zweite Messquerschnitt (Q2) als Ausgangspunkt verwendet.

Es konnten keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Daten der 15 Minuten und der 5 Minuten Aggregation festgestellt werden wie nachstehend aus der Abbildung 4-3 für Abschnitt 1 und aus Abbildung 4-7 für Abschnitt 2 hervorgeht. Sowohl das arithmetische Mittel (Mean) als auch die Standardabweichung (Stddev) weisen nur geringfügige Abweichungen voneinander auf. Repräsentativ werden daher in den Kapiteln 4.2.1 und 4.2.2 die Daten des 5 Minuten-Intervalls diskutiert.

4.2.1 Abschnitt 1

Miteinander verglichen werden Reisezeiten der ANPR-Einzeldaten und die Reisezeiten, die auf Hochrechnung der Radardaten am lokalen Querschnitt basieren. Letztere wurden über die Streckenlänge des Abschnitts 1 und der vom Radarsensor erhobenen Geschwindigkeit am Einfahrtsquerschnitt berechnet.

Die diskrete Darstellung der aus den Radardaten ermittelten Reisezeiten in Abbildung 4-1 lässt zwar die Tendenz der Abschnittsreisezeit erkennen, sichtbare Reisezeiterhöhungen werden jedoch durch den Radarsensor nicht erfasst. Verändert sich nun wesentlich das Geschwindigkeitsniveau im Laufe der Strecke, wird die durch den Radarsensor nicht erhoben. Staus im Einzugsbereich des Radars werden aber durchaus wahrgenommen, wie am Montag, 03.05.2010 zu erkennen ist. Es gilt, dass abhängig davon, wo der Stau entsteht, dieser vom Radarsensor ansatzweise erkannt und eine höhere Reisezeit angegeben wird. Die Datengrundlage dabei bildet die vom Radarsensor gemessene Geschwindigkeit der Einzelfahrzeuge am Q1, dem Messquerschnitt des Abschnittsbeginns.

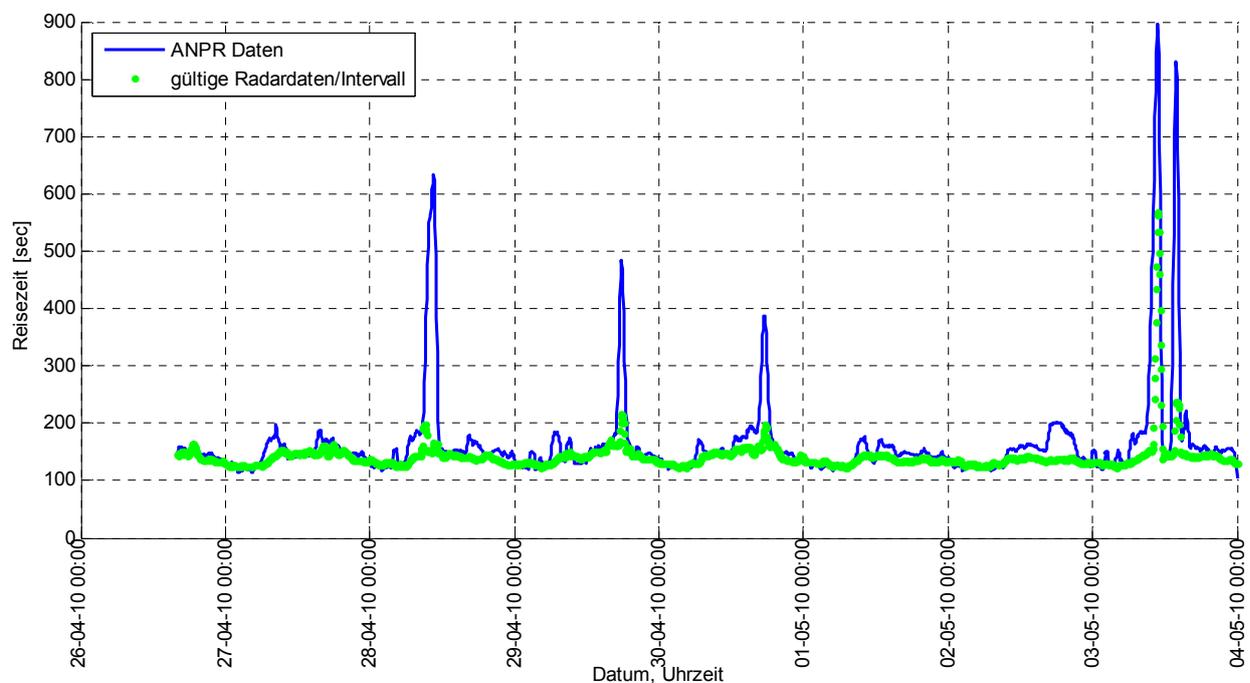


Abbildung 4-1: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und Radar; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

Vergleich der ermittelten Reisezeiten

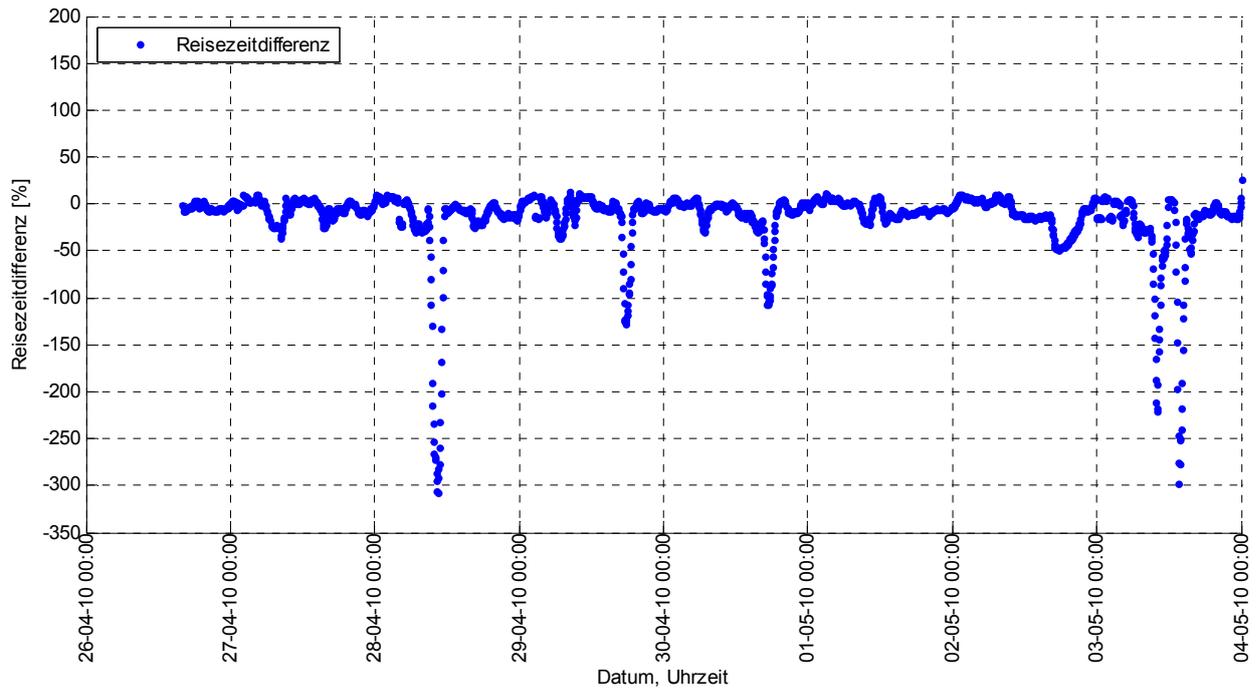


Abbildung 4-2: Darstellung der Reisezeitdifferenzen von ANPR und Radar; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

Wie Abbildung 4-2 darstellt, kommen die größten Abweichungen bei jenen Reisezeitspitzen zustande, die durch den Radarsensor nur im Ansatz erkannt wurden. Die Differenz zur Referenzreisezeit beträgt dabei rund 300 %.

Eine Auffälligkeit zeigt sich am Montag, 03.05.2010. Da der Stau als Stop-and-go-Verkehr direkt beim ersten Messquerschnitt erfasst werden konnte, wurde durch den Radarsensor dieses Ereignis zwar erkannt und mit über 200 % Reisezeitdifferenz angegeben. Jedoch würde sich eine Differenz von ungefähr 55 % bei einer „Zeitfensterbetrachtung“ ergeben.

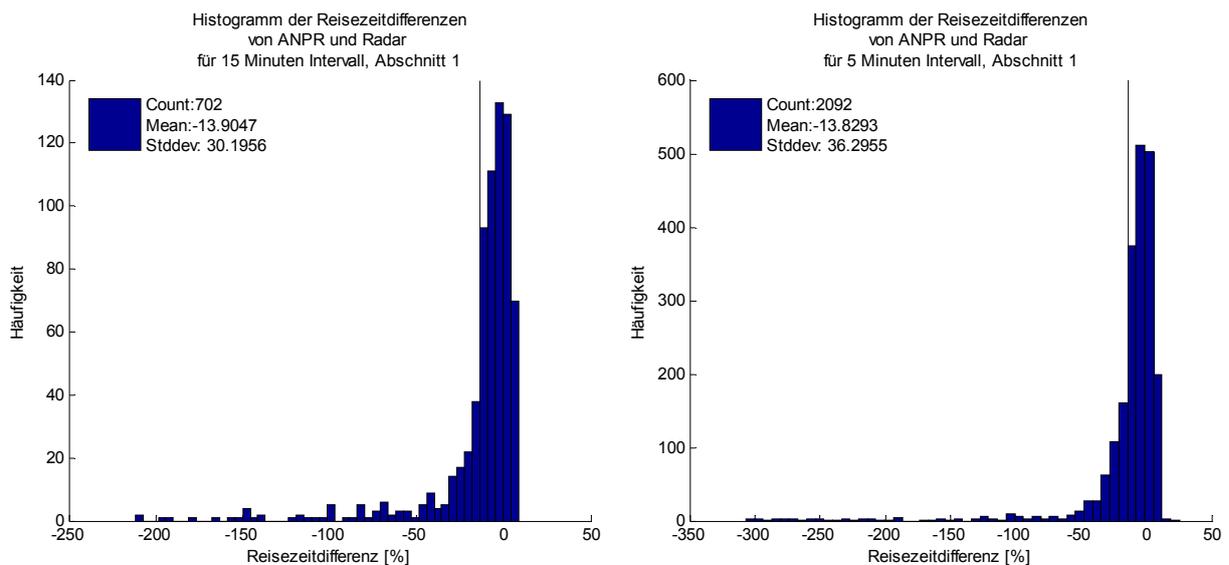


Abbildung 4-3: Vergleich der Histogramme der Reisezeitdifferenzen zwischen den 15 und 5 Minuten-Intervallen der Radardaten (Abschnitt 1)

Abbildung 4-3 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Reisezeitdifferenzen für beide Aggregierungsintervalle. Wie eingangs erwähnt, werden im Folgenden aufgrund der nicht wesentlichen Unterscheidung der Daten, jene des 5 Minuten-Intervalls besprochen. Hierbei weist im Mittel die Reisezeitdifferenz eine Unterschätzung um rund 14 % und eine Standardabweichung von über 36 % auf. Zu erkennen ist zwar, dass es auch mit hoher Häufigkeit zu einer geringen Überschätzung der Reisezeit kommt, jedoch aufgrund der vom Radarsensor nicht erfassten Reisezeitspitzen gesamt betrachtet eine Unterschätzung vorliegt.

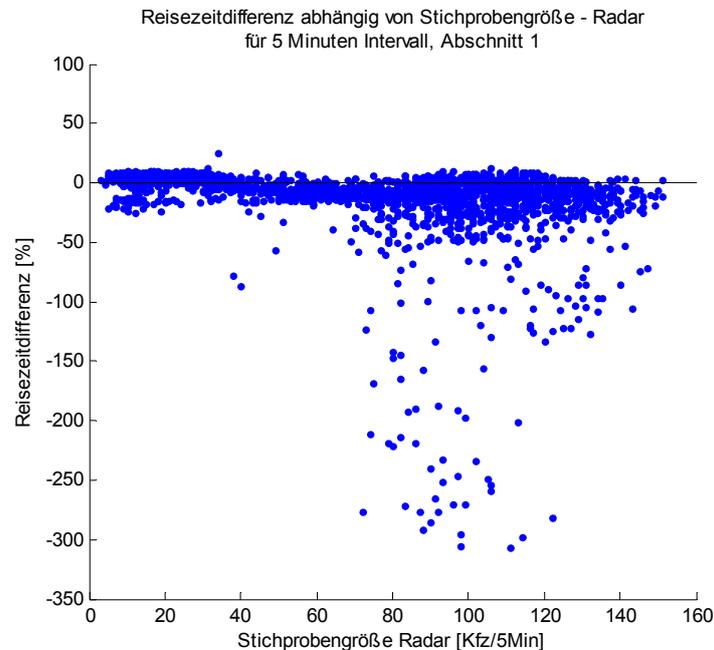


Abbildung 4-4: Reisezeitdifferenz von ANPR und Radar in Abhängigkeit der durch den Radarsensor erhobenen Stichprobengröße, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

Die Daten wurden auch auf einen Zusammenhang der Reisezeitdifferenz von der Stichprobengröße des Radarsensors untersucht. Eine offensichtliche Abhängigkeit der Reisezeitdifferenzen von der durch den Radarsensor bei einem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen erhobenen Verkehrsstärke lässt sich aus Abbildung 4-4 nicht erkennen. Lediglich die bei den ausgeprägten Reisezeitspitzen auftretenden hohen Reisezeitdifferenzen zeigen sich bei einer durch den Radarsensor erfassten höheren Verkehrsstärke in einem Zeitintervall.

4.2.2 Abschnitt 2

Am zweiten Teilabschnitt erfolgt eine Änderung der Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h auf 70 km/h, weshalb keine konstanten Bedingungen für den Datenvergleich vorliegen. Für die Berechnung der Reisezeit von Q2 nach Q3 wird die Geschwindigkeit am zweiten Messquerschnitt herangezogen, die teilweise stark von den örtlichen Gegebenheiten beeinflusst wird. Im Allgemeinen wird die Tendenz der Reisezeitänderungen erkannt.

Durch eine lichtsignalgeregelt Kreuzung in einer Entfernung von 130 m nach dem Messquerschnitt entsteht gelegentlich Rückstau bis zum Q2. Der Radarsensor nimmt diese manchmal nur kurzfristig niedrige Geschwindigkeit als Basis zur Reisezeitberechnung für den gesamten Abschnitt her und prognostiziert somit Stau auf der ganzen Strecke. Aufgrund dieser Gegebenheiten zeigt sich in Bezug zu den Referenzdaten eine fast durchgehende Reisezeitüberschätzung durch den Radarsensor. Ein extremes Beispiel dafür liefert die

Vergleich der ermittelten Reisezeiten

„imaginäre Stausituation“ am Montag, den 03.05.2010, wie aus Abbildung 4-5 ersichtlich wird. Innerhalb eines sehr kurzen Zeitintervalls wird eine leichte Reisezeiterhöhung auf diesem Streckenabschnitt extrem überschätzt.

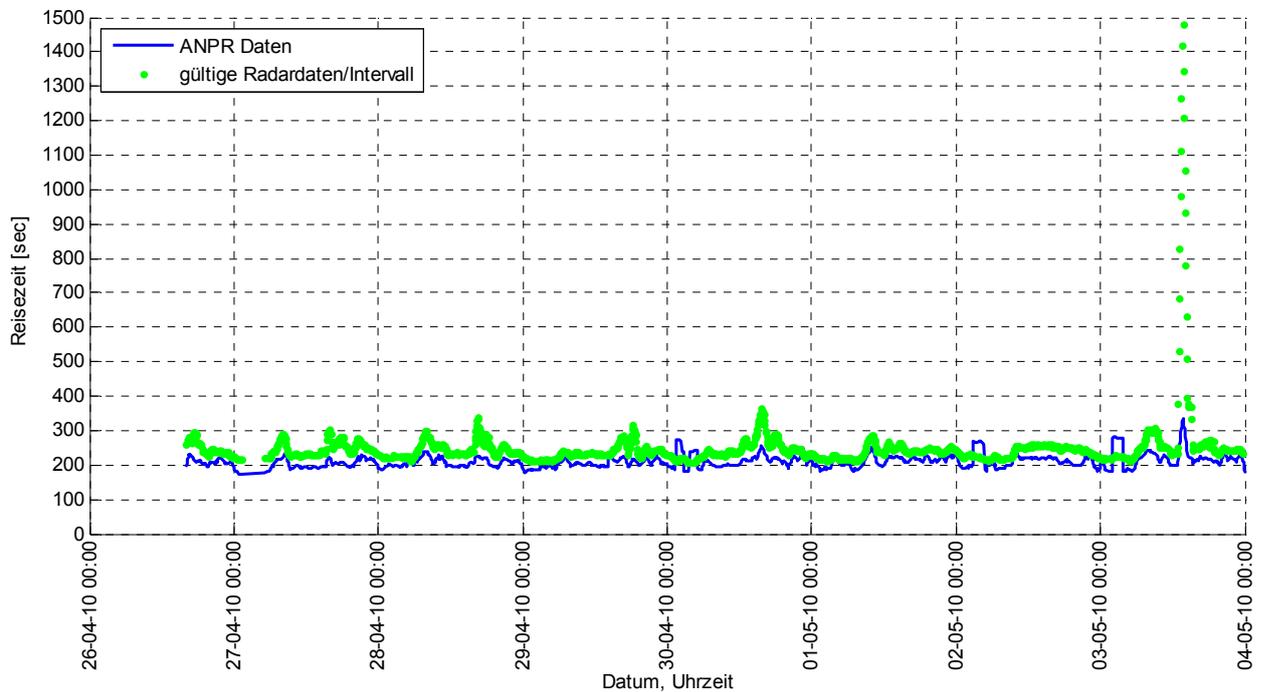


Abbildung 4-5: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und Radar; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

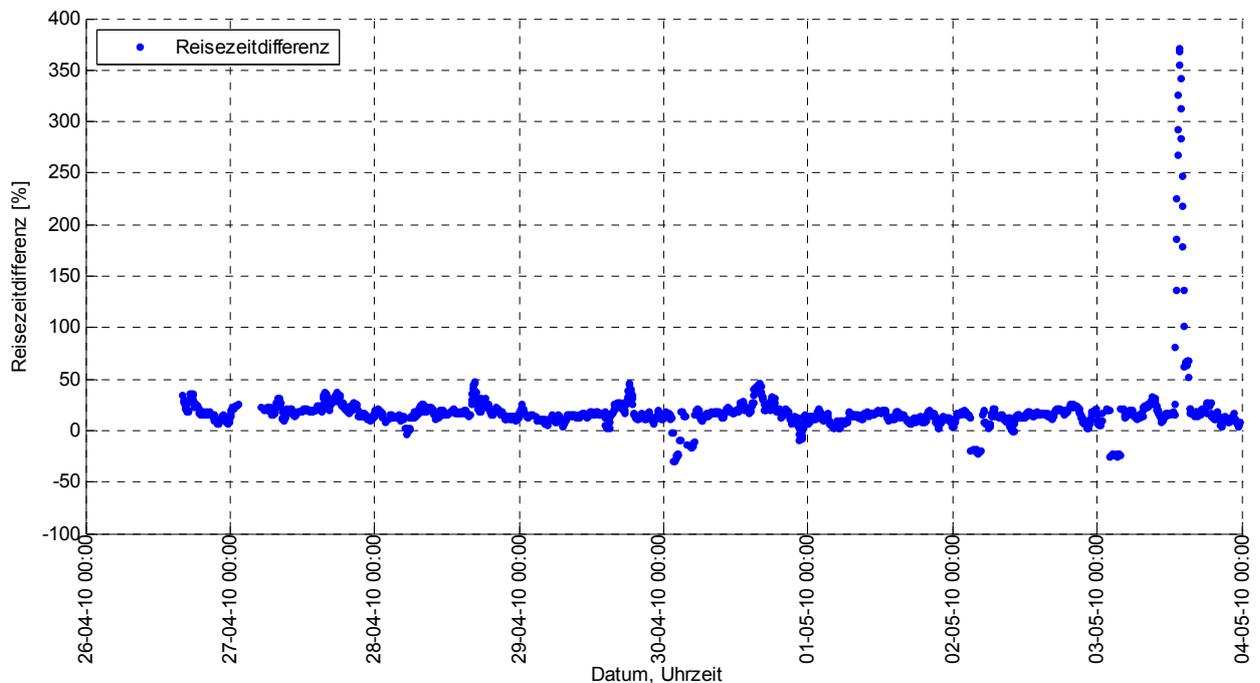


Abbildung 4-6: Darstellung der Reisezeitdifferenzen von ANPR und Radar; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

Wie Abbildung 4-6 zeigt, ist im Fall eines relativ homogenen Verkehrsflusses die Differenz der Reisezeit bei einer Überschätzung maximal 50 %. Wenn leichte Reisezeiterhöhungen auf der Strecke auftreten, die nicht im Bereich des Radarsensors liegen, kommt es zu einer Unterschätzung der Reisezeit. Treten nur direkt am Messquerschnitt des Radarsensors Stausituationen auf, wie am 03.05.2010, gehen diese fälschlicherweise in die Berechnung der Reisezeit für den gesamten Streckenabschnitt ein. Es ergibt sich eine markante Differenz der Reisezeiten beider Systeme von etwa 380 %. Abschließend sei hier zu erwähnen, dass zu Beginn der Messung es zu einem Ausfall des Radarsensors kam, was die Messlücke in der Abbildung erklärt (vgl. Kapitel 3).

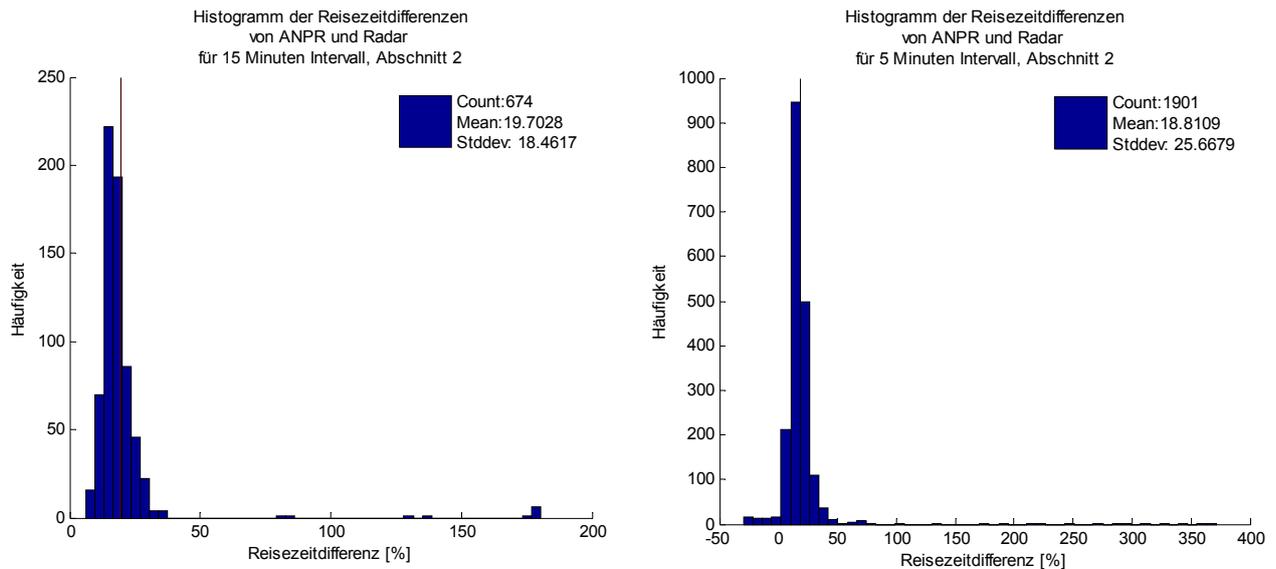


Abbildung 4-7: Vergleich der Histogramme der Reisezeitdifferenzen zwischen den 15 und 5 Minuten-Intervallen der Radardaten (Abschnitt 2)

Abbildung 4-7 zeigt die Häufigkeitsverteilungen der Reisezeitdifferenzen für die Aggregierungsintervalle von 15 und 5 Minuten. Wie eingangs erwähnt, wird aufgrund der sich gering unterscheidenden mittleren Reisezeitdifferenzen die Auswertung für die Daten der 5 Minuten Aggregation durchgeführt. Im Mittel ergibt sich dabei eine Überschätzung der Reisezeit von rund 19 %, die Standardabweichung liegt bei knapp 26 %. Die erhöhte Standardabweichung für das 5 Minuten-Intervall begründet sich durch die hohen Reisezeitdifferenzen, welche sich durch den vom Radarsensor fälschlicherweise prognostizierten Staufall ergeben.

Die Reisezeitdifferenz wurde auch auf Abhängigkeiten von der durch den Radarsensor erhobenen Stichprobengröße untersucht. Es wird ein Zusammenhang zwischen der vom Radarsensor erhobenen Verkehrsstärke und der sich aus den Daten ergebenden Differenz der Reisezeiten beider Systeme betrachtet. Abbildung 4-8 macht deutlich, dass Reisezeitdifferenzen unabhängig von der erfassten Verkehrsstärke in einem konstanten Bereich um die Null-Linie liegen. Mit steigendem Verkehrsaufkommen ist eine tendenzielle Reisezeitüberschätzung zu erkennen.

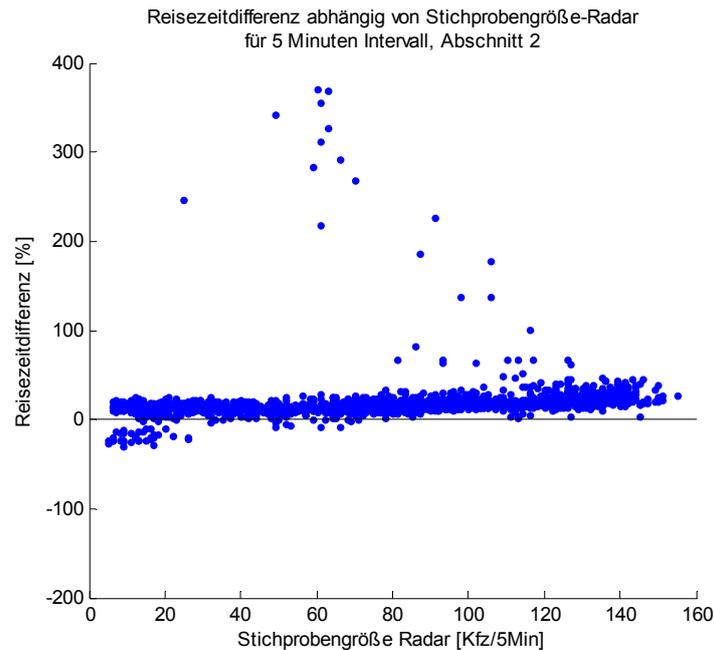


Abbildung 4-8: Reisezeitdifferenz von ANPR und Radar in Abhängigkeit der durch den Radarsensor erhobenen Stichprobengröße, 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

4.3 Vergleich der Daten von Traffic Eye Universal und ANPR

Die durch Traffic Eye Universal (TEU) erhobenen Verkehrsdaten werden für ein Intervall von einer Minute an eine Datenzentrale gesendet. In die weitere Auswertung gingen die Geschwindigkeitsdaten von TEU ein, die als Durchschnittswerte für das Aggregierungsintervall gebildet wurden. Am Abschnitts 1 wurde mit der Geschwindigkeit und der Abschnittslänge als Grundlage die Reisezeit berechnet. Wird in weiterer Folge die Reisezeit des TEU erwähnt, ist jener im Zuge der Auswertung berechnete Wert gemeint. Vorhanden war die TEU Sensorik nur zwischen dem ersten und zweiten Messquerschnitt (Q1 und Q2), weshalb der Datenvergleich nur für den ersten Streckenabschnitt erfolgen kann.

Wesentliche Unterschiede konnten zwischen den aggregierten Daten der 15 Minuten und der 5 Minuten-Intervalle nicht festgestellt werden. Aus Abbildung 4-11 werden die geringen Unterschiede zwischen der mittleren Reisezeitdifferenz und der Standardabweichung ersichtlich. Die folgende Datenanalyse konzentriert sich auf die 5 Minuten-Aggregation, da diese eine größere Datengrundlage bietet und eine detailliertere Analyse ermöglicht.

Der Vergleich der Abschnittsreisezeiten in Abbildung 4-9 zeigt im freien Verkehr eine gute Übereinstimmung der beiden Systeme. Auffallend ist, dass markante Stausituationen durch das TEU zwar erkannt werden, aber nicht das volle Ausmaß der Referenzreisezeit erfasst wird. Kleinere Reisezeitspitzen werden durch das TEU nur im Ansatz erfasst.

Im Übrigen sind in Abbildung 4-9 auf der x-Achse jene Intervalle rot gekennzeichnet, in denen keine Daten verfügbar sind. Aufgrund der nur geringen Anzahl an fehlenden Werten kann von einer repräsentativen Stichprobengröße ausgegangen werden (s. Kapitel 3.4.4).

Vergleich der ermittelten Reisezeiten

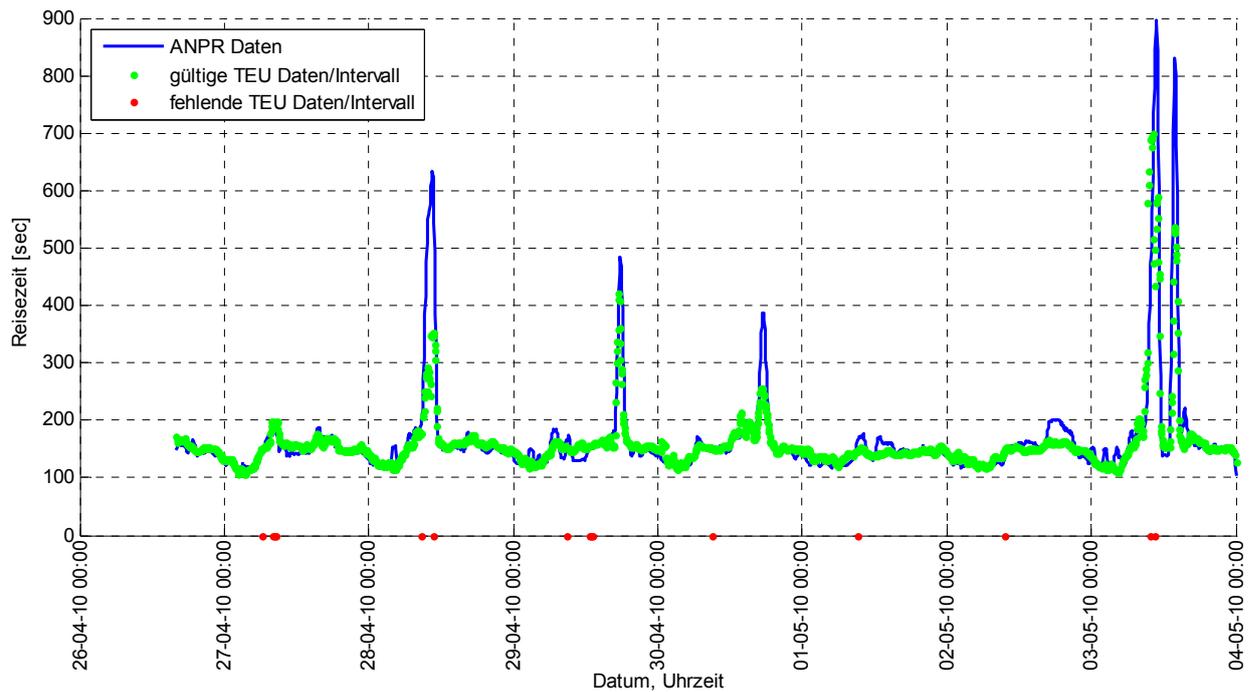


Abbildung 4-9: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und TEU; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

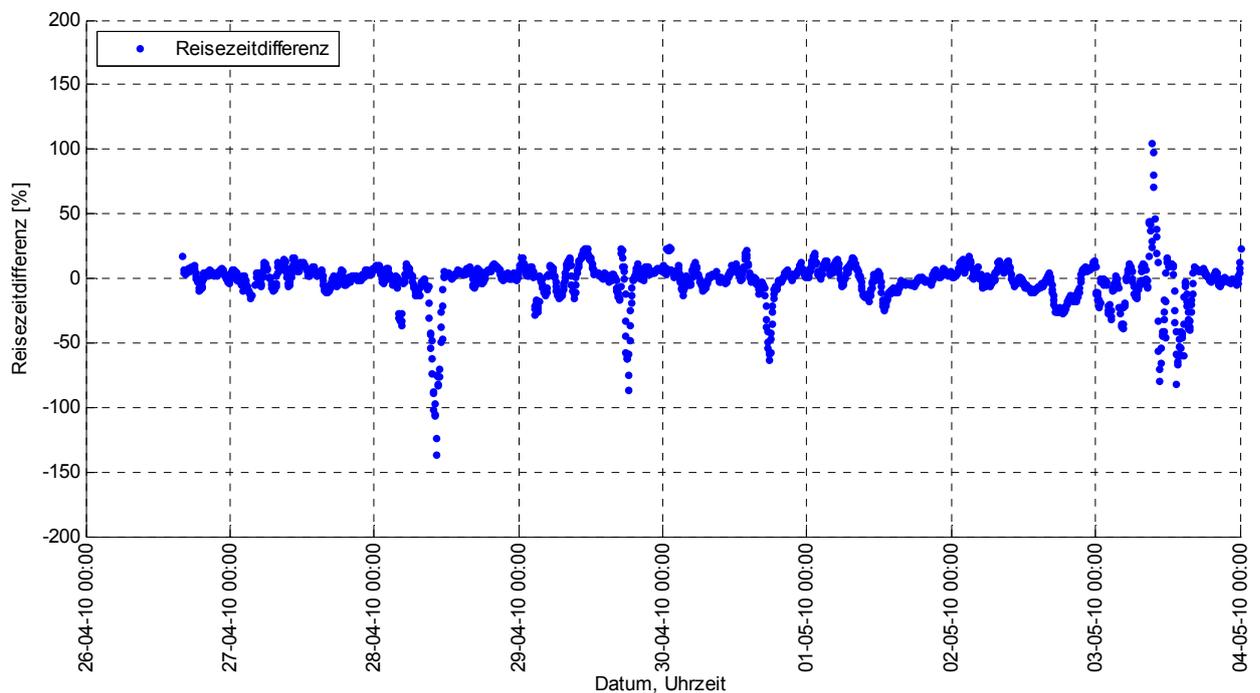


Abbildung 4-10: Darstellung der Reisezeitdifferenzen von ANPR und TEU; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

Abbildung 4-10 verdeutlicht, dass die Reisezeit um bis zu 140 % unterschätzt wird, wenn am Streckenabschnitt Staufälle detektiert wurden. Unterschätzungen von weniger als 50 % ergeben sich bei gering ausgeprägten Reisezeiterhöhungen. Die in der Abbildung 4-10 dargestellte

deutliche Reisezeitüberschätzung begründet sich darauf, dass aufgrund der Positionierung des TEU in der Mitte des Streckenabschnitts die Erkennung des Staus früher eintritt als beim Referenzsystem ANPR. Unter Zuhilfenahme der „Zeitfensterbetrachtung“ ergibt sich eine Überschätzung von ca. 29 %.

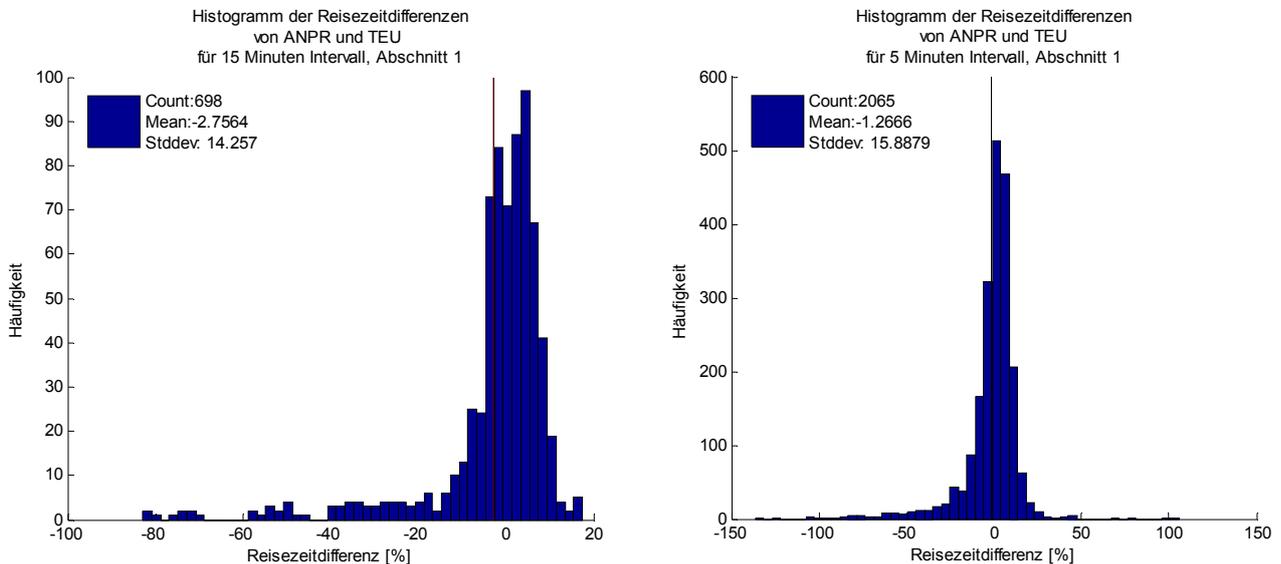


Abbildung 4-11: Vergleich der Histogramme der Reisezeitdifferenzen zwischen den 15 und 5 Minuten-Intervallen der TEU Daten (Abschnitt 1)

Die Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Reisezeitdifferenzen zeigt eine Unterschätzung der Abschnittsreisezeit für den Gesamtverkehr um 1,3 % bei einem 5 Minuten-Intervall. Die Standardabweichung beträgt dabei rund 16 % und verbessert sich nur unwesentlich bei den 15 Minuten Werten (s. Abbildung 4-11). Zu erkennen ist weiters, dass es häufig zu einer leichten Überschätzung der Reisezeit kommt. Allerdings wird die zu nieder ermittelte Reisezeit bei tatsächlichen Stauspitzen stärker gewichtet. Im Gesamten betrachtet ergibt sich daher eine leichte Reisezeitunterschätzung.

In Abbildung 4-12 wird die Reisezeitdifferenz in Abhängigkeit der Stichprobengröße, der durch TEU erhobenen Verkehrsstärke verglichen, wobei keine signifikanten Zusammenhänge feststellbar sind. Die Reisezeit wird von TEU einerseits konstant überschätzt, aber auch in einem schwankenden Verlauf unterschätzt.

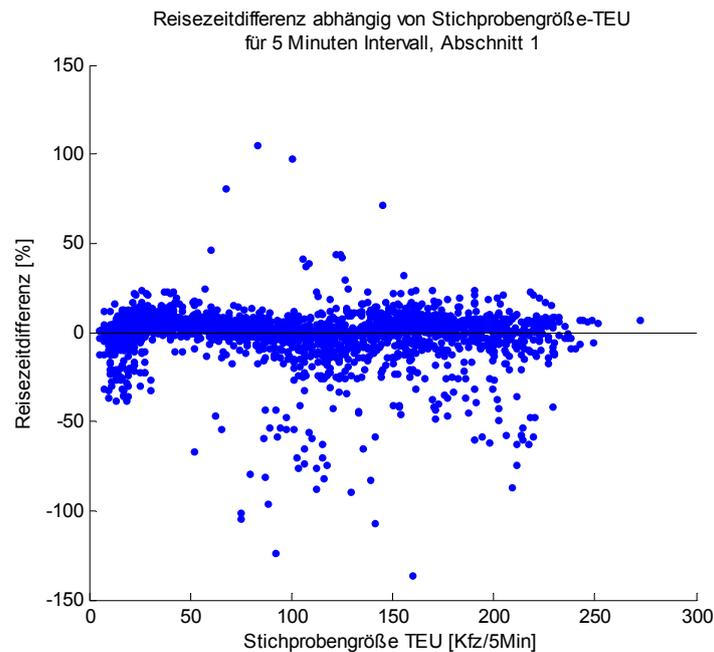


Abbildung 4-12: Reisezeitdifferenz von ANPR und TEU in Abhängigkeit der durch TEU erhobenen Stichprobengröße, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

4.4 Vergleich der Daten von „FCD linkbezogen“ und ANPR für ein 15 Minuten-Intervall

Im folgenden Kapitel werden für ein Aggregierungsintervall von 15 Minuten die Floating Car Daten (FCD) ausgewertet, welche mit der linkbezogenen Methode (s. Kapitel 3.1.4) erhoben wurden. Reisezeitinformationen werden dabei aus der Summe der Reisezeiten auf einzelnen Straßensegmenten („Links“) für die gesamte Strecke berechnet und als Durchschnitt für 15 Minuten zusammengefasst. Die Auswertung der Daten erfolgt getrennt für Abschnitt 1 und Abschnitt 2 der Teststrecke.

4.4.1 Abschnitt 1

Der Vergleich der Reisezeiten in Abbildung 4-13 zeigt, dass die linkbezogenen FCD die Entwicklung der Reisezeit entsprechend den ANPR-Daten ausreichend erkennen. Zum Teil werden Reisezeiterhöhungen durch FCD früher als vom Referenzsystem erfasst. Bei freiem Verkehr wird meist die Reisezeit überschätzt. Im Staufall bei besonders hohen Reisezeitspitzen kommt es zu einer Unterschätzung der Reisezeit, allerdings wird jede Reisezeitspitze von FCD erkannt.

Außerdem zeigt Abbildung 4-13 für einige Intervalle keine verfügbaren Daten, wie z. B. in den Nachtstunden vom 02.05.2010 auf den 03.05.2010. Die größere Stichprobe in dem erwähnten Zeitintervall führt aber nicht automatisch zu einer ungenauen Reisezeitschätzung. Allgemein liegt eine hohe Datenverfügbarkeit von 95 % vor, womit von einer repräsentativen Stichprobengröße ausgegangen werden kann.

Vergleich der ermittelten Reisezeiten

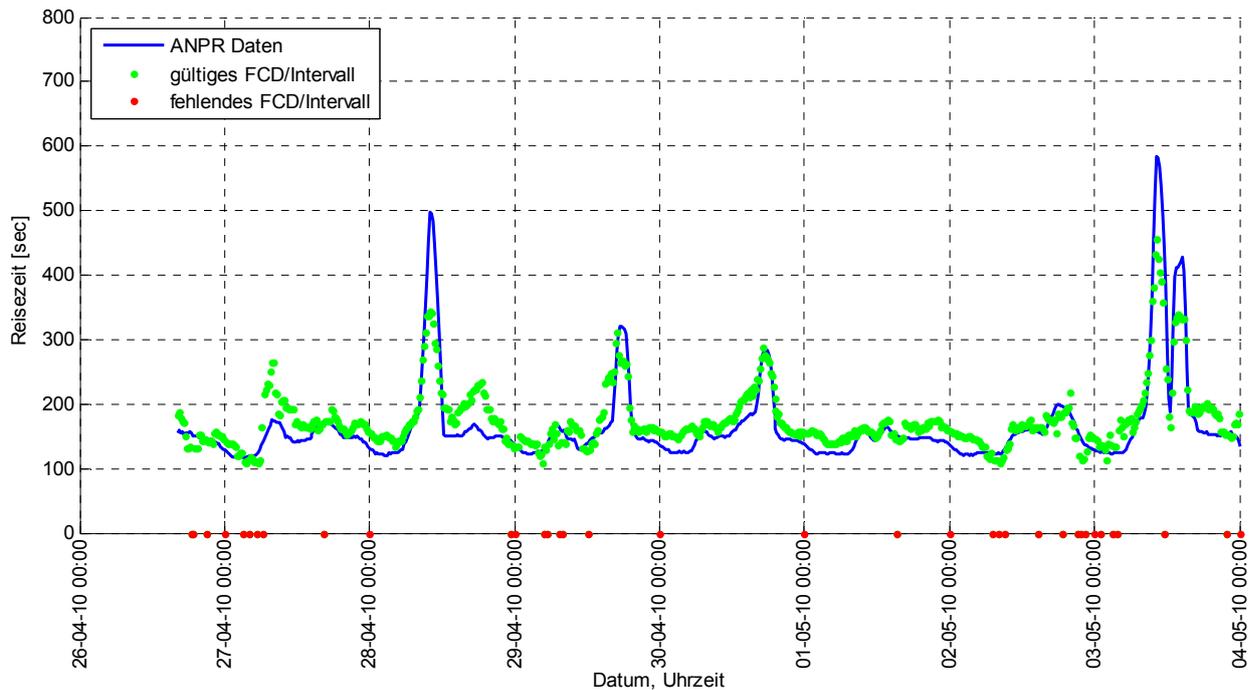


Abbildung 4-13: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD linkbezogen; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

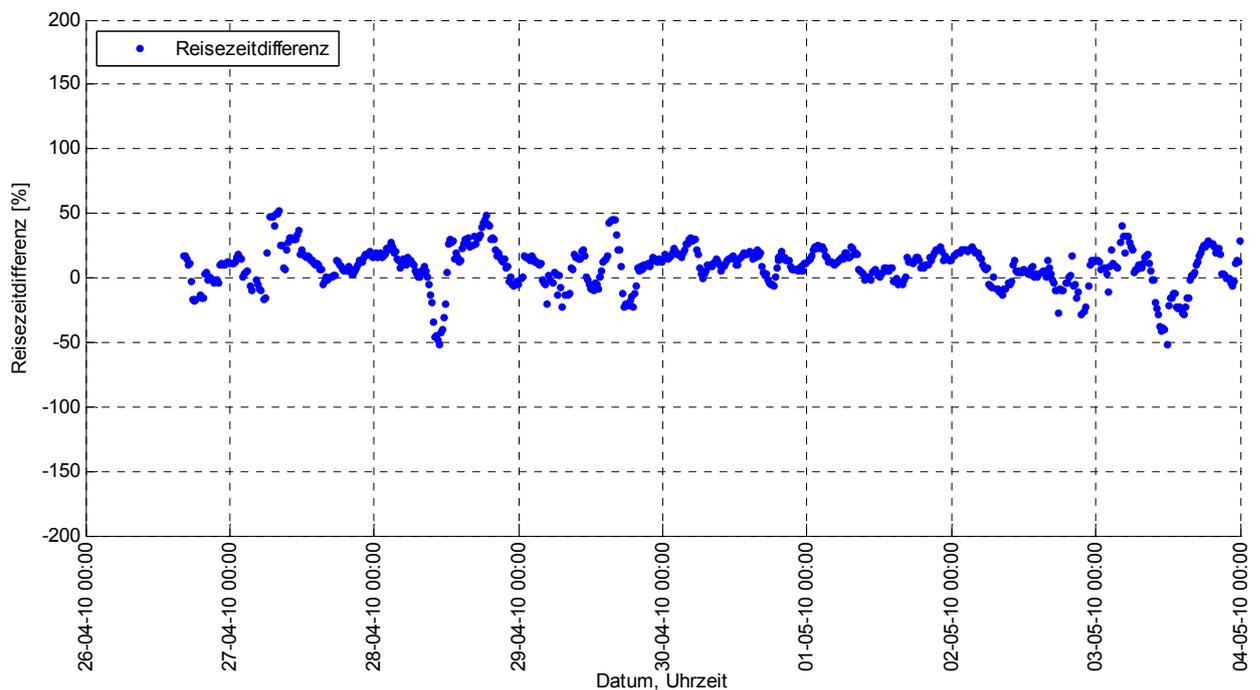


Abbildung 4-14: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

Die Differenz zwischen den ermittelten Abschnittsreisezeiten der Methoden im 15 Minuten-Intervall betrachtet, ist in Abbildung 4-14 in prozentualer Form dargestellt. Die Höhe der Differenz bewegt sich in einem Band von $\pm 50\%$ um die Null-Linie. Deutliche Unterschätzungen kommen im Vergleich zum freien Verkehrsfluss bei hohen Reisezeitspitzen vor. Das lässt auf eine ungenügend große Stichprobe im ausgeprägten Staufall schließen.

Vergleich der ermittelten Reisezeiten

Hierbei werden Daten einzelner Fahrzeuge stärker gewichtet, wodurch der durchschnittliche Verkehrszustand nicht wiedergegeben wird. Stauspitzen mit geringerer Ausprägung werden allerdings von FCD deutlich besser auch in ihrer Höhe erkannt. Zwar zeigt sich am 29.04.2010 ein steiler Abfall von einer 50 % Überschätzung zu einer 25 % Unterschätzung, was sich jedoch durch die „Zeitfensterbetrachtung“ entkräften lässt. Bei detaillierter Betrachtung der Ausprägung der Maxima der Reisezeitpitzen stellt sich eine beinahe Übereinstimmung dar. Die knapp hintereinander liegenden Staufälle am 03.05.2010 werden beide durch FCD erfasst, auch die dazwischen liegende kurzfristige Reduktion der Reisezeit.

In den Nachtstunden ist die Stichprobengröße lt. Abbildung 3-12 im Durchschnitt höher als z. B. zur Mittagszeit. Dies lässt nicht unmittelbar den Schluss zu, dass eine höhere Genauigkeit der Reisezeitschätzung erfolgt. Aus Abbildung 4-14 geht hervor, dass auch in den Vormittagsstunden eine hohe Genauigkeit erzielt werden kann.

Abbildung 4-15 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Reisezeiten von ANPR und FCD linkbezogen. Im Mittel ergibt sich eine Reisezeitdifferenz von 9,3 % im Bereich der Überschätzung. Auch ist aus der Abbildung ersichtlich, dass die Reisezeitdifferenz sowohl bei der Über- als auch der Unterschätzung bis zu ca. 50 % geht. Jedoch kommen besonders häufig Werte im Bereich einer 15 % Überschätzung vor, weswegen bei einer Gesamtbetrachtung eine Überschätzung der Reisezeit mit einer Standardabweichung von rund 15 % zustande kommt.

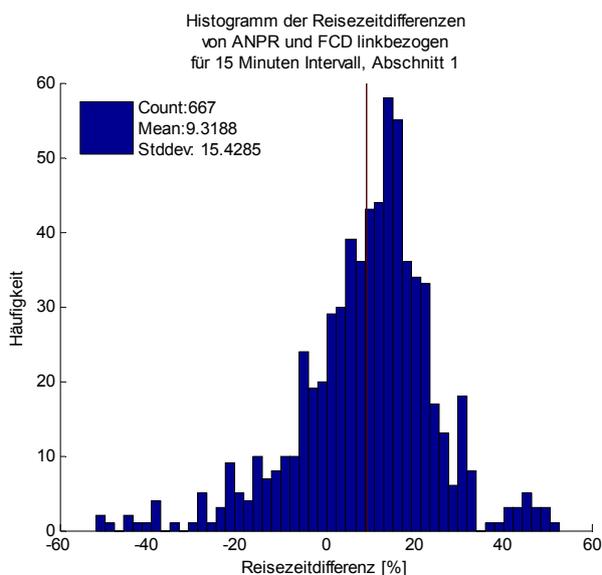


Abbildung 4-15: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD linkbezogen, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

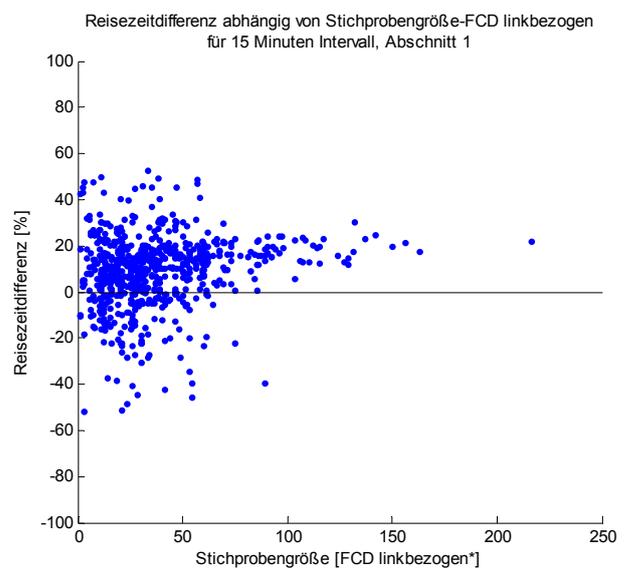


Abbildung 4-16: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

* Summe aus Anzahl der Messungen je Link und Zeitintervall

Abbildung 4-16 zeigt die Reisezeitdifferenz in Abhängigkeit der Stichprobengröße. Bei geringer Stichprobengröße sind die FCD Werte stark gestreut und liegen hauptsächlich im Bereich der Reisezeitüberschätzung. Mit steigender Stichprobe, d. h. umso öfter auf Straßensegmenten Messwerte geliefert werden, verringert sich die Differenz der Reisezeit zwischen beiden Systemen deutlich und liegt im überschätzten Bereich.

4.4.2 Abschnitt 2

In Abbildung 4-17 ist der Vergleich der Reisezeiten am zweiten Abschnitt für ein Aggregierungsintervall von 15 Minuten dargestellt. In dem Messzeitraum von einer Woche konnte auf dieser Teilstrecke kein Stau durch das Referenzsystem erhoben werden. Kleine Änderungen in der Reisezeit werden von FCD stark überzeichnet und fälschlicherweise als Stauffall gewertet. Großteils wird die Entwicklung der Reisezeit erkannt, aber zum Teil mit zeitlichem Versatz.

Die Stichprobengröße weist keine wesentlichen Unterschiede zwischen Mittag und Nacht auf (s. Kapitel 3.4.5, Abbildung 3-12), womit sich in beiden Fällen ein bis zwei FCD Messungen pro Intervall je Straßensegment ergeben. Es kann angenommen werden, dass bei einer geringen durchschnittlichen Stichprobengröße auch nicht zu jedem Messintervall Daten geliefert werden. Diese Annahme schlägt sich in einer gegenüber Abschnitt 1 geringeren Datenverfügbarkeit von 86,5 % nieder.

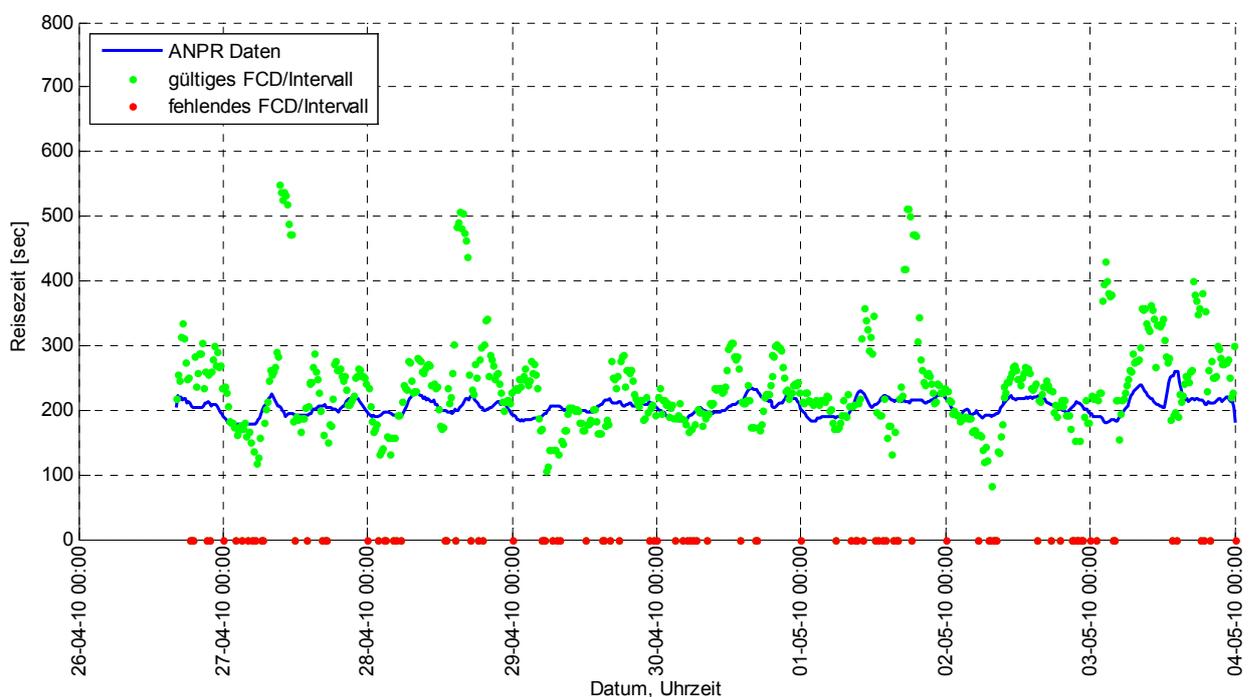


Abbildung 4-17: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD linkbezogen; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

In Abbildung 4-18 sind die extrem schwankenden Werte der FCD zu sehen. Es kann keine eindeutige Systematik erkannt werden, nach welcher sich die Differenzen der Abschnittsreisezeiten ergeben. Diese liegen im Durchschnitt bei 50 % sowohl bei der Reisezeitüberschätzung als auch -unterschätzung. Zum Teil hohe Reisezeitdifferenzen resultieren aus den von FCD fälschlich prognostizierten Stausituationen und liegen bei knapp 180 % im positiven Bereich. Dies kann mit der durchschnittlich geringeren Stichprobengröße auf diesem Streckenabschnitt begründet werden, welche einzelne FCD Messfahrzeuge stärker gewichten lässt.

Vergleich der ermittelten Reisezeiten

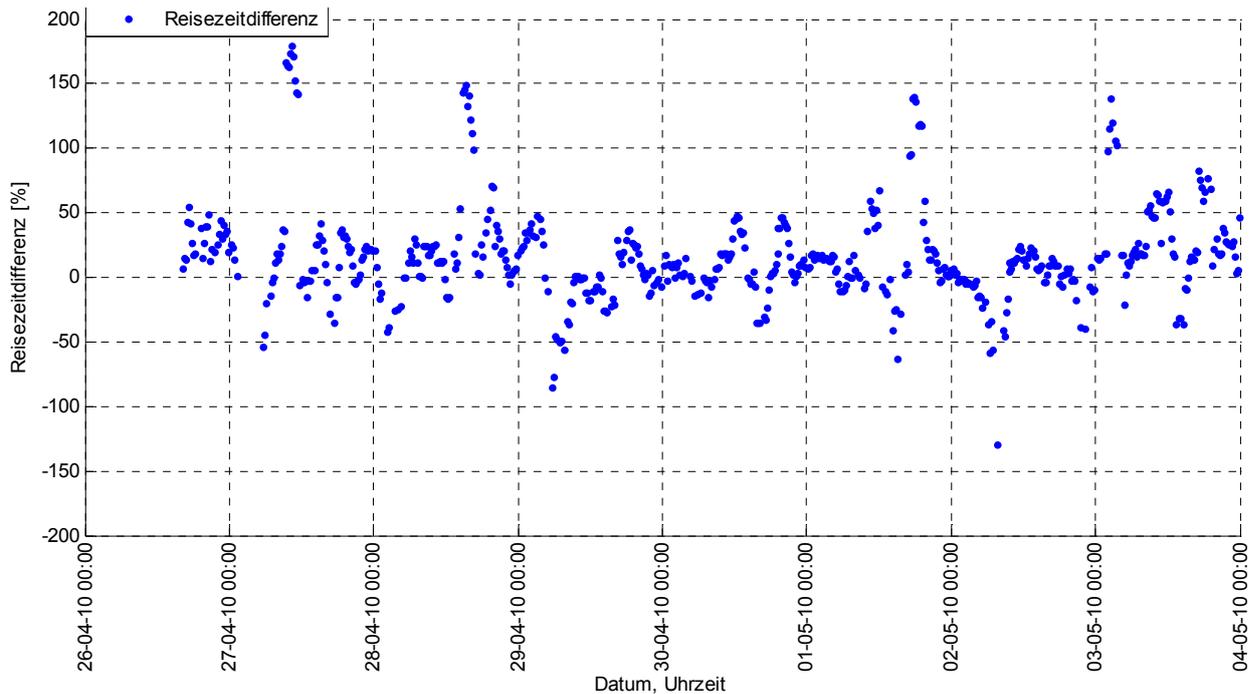


Abbildung 4-18: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

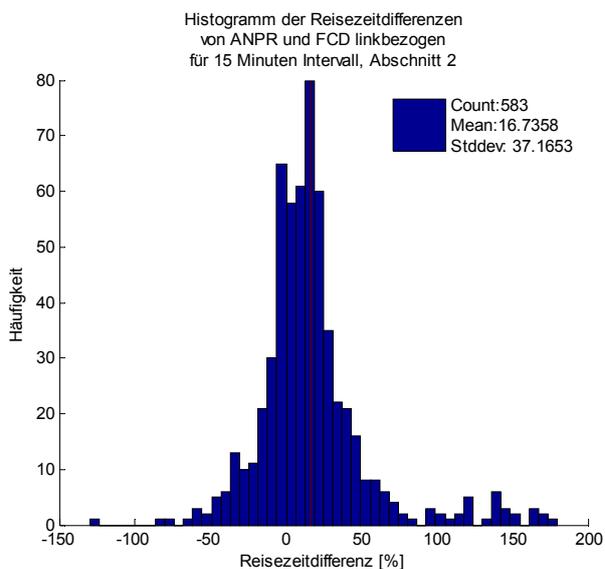


Abbildung 4-19: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD linkbezogen, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

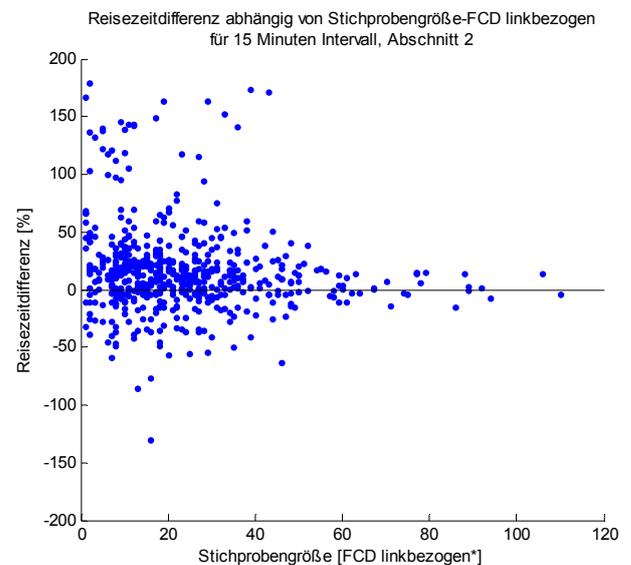


Abbildung 4-20: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

* Summe aus Anzahl der Messungen je Link und Zeitintervall

Die Histogramm der Reisezeitdifferenzen in Abbildung 4-19 zeigt eine annähernd symmetrische Verteilung der Werte um ihren Mittelwert. Für den Messzeitraum ergibt sich eine tendenzielle Überschätzung der Reisezeit auf dem Abschnitt 2, welche im Mittel bei rund 17 % liegt. Weiters sind die bei über 100 % liegenden Reisezeitdifferenzen zu erkennen, die sich durch die von FCD prognostizierten hohen Reisezeiten ergeben. Aufgrund dessen zeigt sich eine höhere

Standardabweichung von 37 %, weshalb der Mittelwert als Lagemaß den Datensatz nicht richtig charakterisiert und nicht allein zur Bewertung herangezogen werden sollte.

Eine Abhängigkeit der Reisezeitdifferenz von der Stichprobengröße zeigt sich auch am Abschnitt 2, wie in Abbildung 4-20 g ezeigt wird. Abgesehen von einigen Ausreißern kommt es in gleichem Maße zu ei ner Über- wie auch Unterschätzung . Da die Au sreißer im Bereich von relativ geringen Stichprobengrößen liegen, be stätigt sich die Annahme, dass die hohen Reisezeitdifferenzen aufgrund einer zu geringen Anzahl an Messwert en je Intervall zustand e kommen. Weiters ist mit zunehmender Sti chprobengröße eine exponentiell abnehmende Differenz der Reisezeit ersichtlich. Dies bedeutet eine gegen Null gehende Reisezeitdifferen z, wenn ausreichend Messwerte je Link und Zeitintervall erfasst werden können.

4.5 Vergleich der Daten von „FCD linkbezogen“ und A NPR für ein 5 Minuten-Intervall

In diesem Kapitel werden die Daten des linkbezogenen FCD Systems für ein Aggregierungsintervall von 5 Minuten betrachtet. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass das 5 Minuten-Intervall zu Vergleichszwecken in der vorliegenden Arbeit eingebracht wurde. Es dient dem experimentellen Vergleich der Reisezeiten, um die Einsatzgrenzen von F CD auswerten zu können. Die niedrige Aggregation bedingt jedoch, dass nicht zu jedem Zeitintervall ein Messwert geliefert wurde. Vorausgeschickt sei, dass wegen der Datenverfügbarkeit von 42 % am Abschnitt 1 und 27 % am Abschnitt 2 die Aussagekraft der mittleren Reisezeitdifferenz nur bedingt Gültigkeit hat.

4.5.1 Abschnitt 1

Die diskret dargestellten Reisezeiten der FCD in Abbildung 4-21 lassen trotz geringer Datenverfügbarkeit die Entwicklung der Reisezeit, also die Tendenz der sich erhöhenden oder geringer werdenden Reisezeit, erkennen. Jedoch kommt es zu deutlichen Überschätzungen bei geringen Änderungen der Reisezeiten, welche wahrscheinlich stark durch einzelne FCD-Messfahrzeuge in einem Zeitintervall beeinflusst sind. Reisezeitspitzen werden annähernd in ihrer Höhe erfasst, manche werden aber nicht immer in ihrem vollen Ausmaß erhoben.

Bedingt durch das kleine Aggregierungsintervall von 5 Minuten kommt es oftmals zu Intervallen, in denen durch FCD keine Messwerte erhoben wurden (s. Kapitel 3.4.5) . Im Gegensatz dazu kann sich als Vorteil herausstellen, dass kurze Reisezeitspitzen durch das Messintervall von 5 Minuten in ihrer Höhe erfasst werden können.

Die prozentuellen Reisezeitdifferenzen in Abbildung 4-22 zeigen ihre hohe Dynamik aufgrund der geringen Intervallgröße im Gegensatz zu dem üblichen 15 Minuten und der daraus folgenden Gewichtung von Einzelmesswerten. In den Nachtstunden liegt die Differenz der Reisezeiten in einer geringeren Bandbreite als untertags. Die höchsten Reisezeitdifferenzen ergeben sich nicht bei den Stauspitzen, sondern bei leichten Reisezeitänderungen. Zu Beginn des Messzeitraumes zeigt sich eine starke Unterschätzung, an den anderen Tagen ist eine stetige Überschätzung erkennbar. Die meisten Reisezeitspitzen werden in ihrer Höhe mit einer nur geringen prozentuellen Differenz zur Referenzreisezeit erfasst. Der Staufall am 28.04.2010 muss mithilfe der „Zeitfensterbehandlung“ bewertet werden. Der Vergleich der beiden zeitversetzten Maxima ergibt eine Differenz von etwa 50 %. In der Abbildung ergeben sich höhere positive und negative Differenzwerte, weil von FCD der Stau in einem längeren Zeitintervall detektiert wird. Am 03.05.2010 werden die Reisezeitspitzen in ihrer Höhe durchaus gut erkannt. Die Differenz von 300 % ergibt sich, weil das Abklingen der ersten Stauspitze von FCD nicht erfasst wird.

Vergleich der ermittelten Reisezeiten

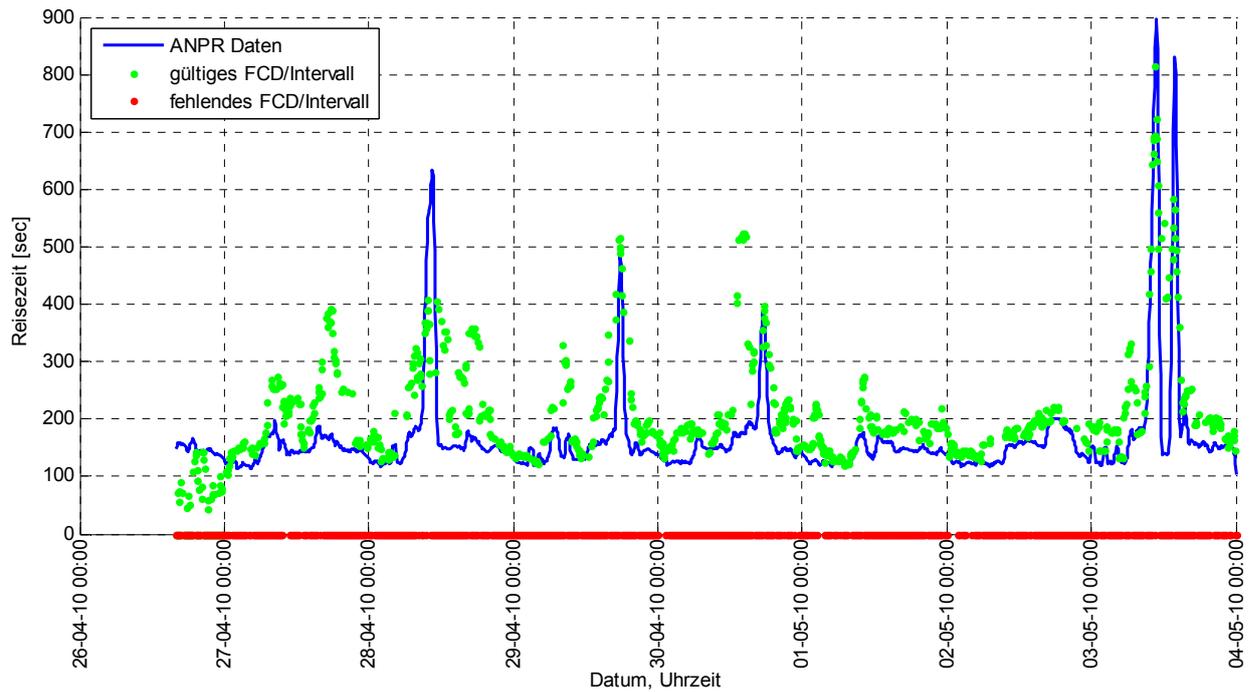


Abbildung 4-21: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD linkbezogen; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

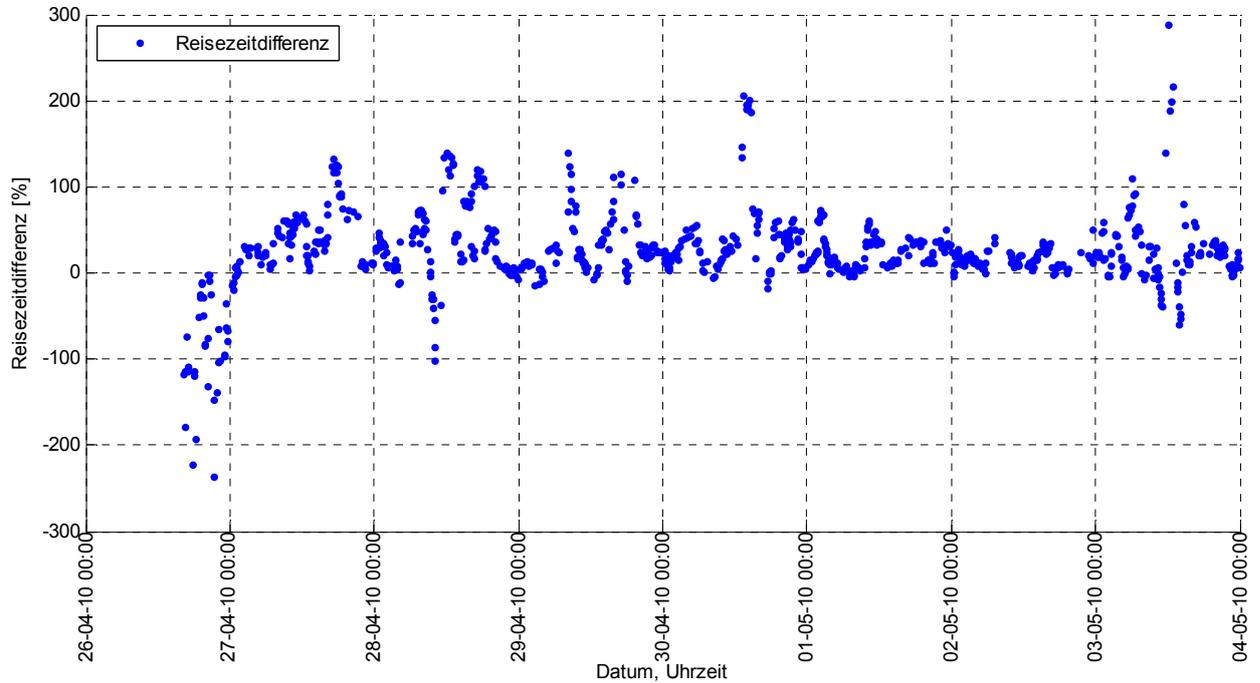


Abbildung 4-22: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

In weiterer Folge werden in Abbildung 4-23 die Differenzen der Reisezeiten in einem Histogramm visualisiert. Hervorzuheben gilt an dieser Stelle, dass die Datenverfügbarkeit unter 50 % liegt und somit eine bedingte Aussagekraft des Diagramms vorliegt. Im Mittel wird die Reisezeit mit 26 % überschätzt, wobei eine geringere Reisezeitdifferenz eine höhere Häufigkeit aufweist. Aufgrund der vielfachen Reisezeitüberschätzung durch FCD lassen jedoch die hohen Reisezeitdifferenzen den Mittelwert im überschätzten Bereich liegen. Diese Ausreißer haben auch Einfluss auf die Standardabweichung. Die weite Verteilung der Datenwerte ergibt eine Standardabweichung von über 45 %. Aufgrund des niedrigen Aggregierungsintervalls (und die daraus folgende geringe Datenverfügbarkeit) ist die statistische Aussagefähigkeit nur gering.

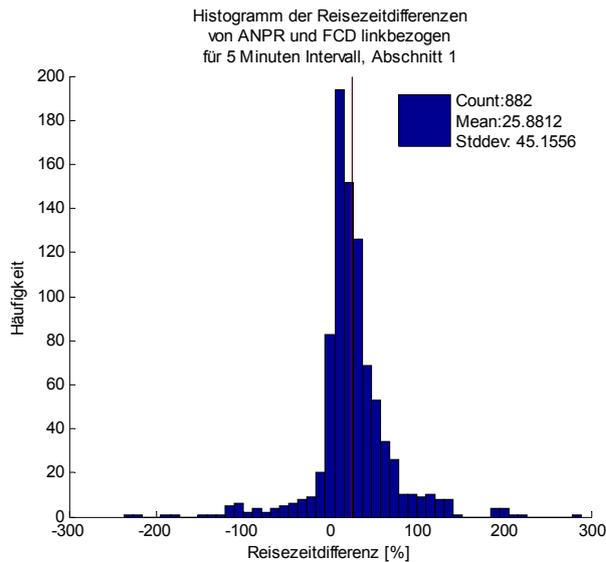


Abbildung 4-23: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD linkbezogen, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

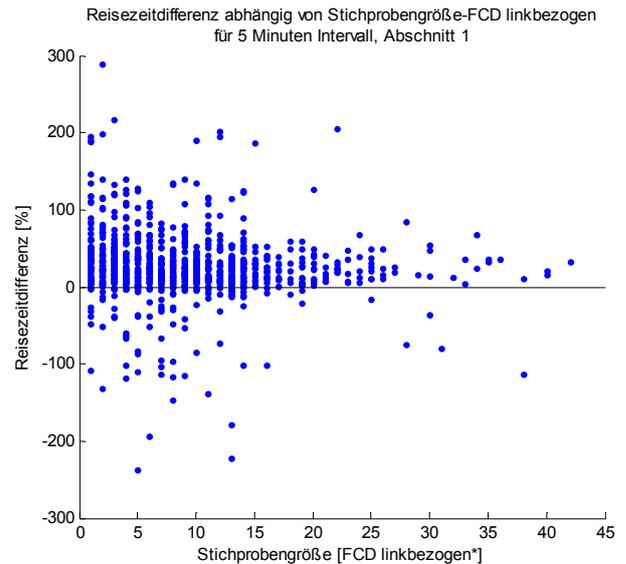


Abbildung 4-24: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

* Summe aus Anzahl der Messungen je Link und Zeitintervall

Weiters wird in Abbildung 4-24 die Abhängigkeit der Reisezeitdifferenz von der Stichprobengröße von FCD linkbezogen analysiert. Ein Zusammenhang zwischen den beiden Kenngrößen ist eindeutig erkennbar. Auch wenn die Datenverfügbarkeit unter 50 % liegt, ist mit steigender Stichprobengröße eine exponentielle Verringerung der Reisezeitdifferenz im positiven Bereich zu erkennen. Die Reisezeitunterschätzung zu Beginn des Messzeitraumes ist wahrscheinlich durch vereinzelte FCD Messfahrzeuge entstanden. D. h. wenn genügend Messwerte je Link und Zeitintervall erhoben werden, können sich auch in dem kurzen Aggregierungsintervall von 5 Minuten geringe Differenzen der Reisezeiten ergeben.

4.5.2 Abschnitt 2

Bei den durch FCD linkbezogen erhobenen Daten im 5 Minuten-Intervall ergibt sich eine Datenverfügbarkeit von FCD von nur 26,8 %. Dieser Prozentsatz lässt keine wissenschaftlich gültige Bewertung der Reisezeitgenauigkeit zu.

Abbildung 4-25 stellt die Reisezeiten von FCD linkbezogen im Vergleich zur Referenzreisezeit des ANPR-Systems für ein Zeitintervall von 5 Minuten dar. Am zweiten Teilstreckenabschnitt weisen die 5 Minuten-Werte eine Vielzahl an fehlenden Messwerten auf. Trotzdem, dass auf diesem Streckenabschnitt kein Staufall verzeichnet wurde gibt FCD hohe Reisezeiten an. Jene Daten, die in einem Messintervall erhoben wurden scheinen eine nahezu willkürliche Reisezeitschätzung abzugeben. Der Vergleich der Reisezeiten beider Systeme lässt

Vergleich der ermittelten Reisezeiten

gelegentlich auf eine tendenzielle Erkennung des Reisezeitverlaufs durch FCD schließen, zeigt allerdings eine beinahe ständige Überschätzung der Abschnittsreisezeit.

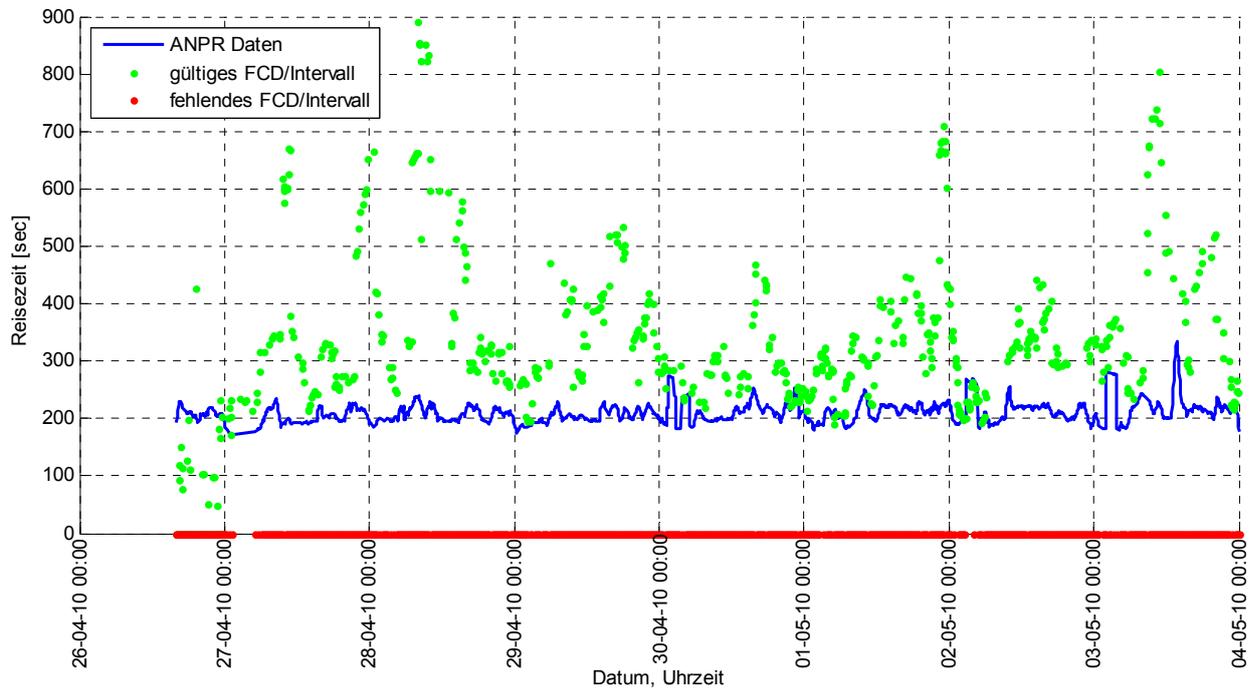


Abbildung 4-25: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD linkbezogen; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

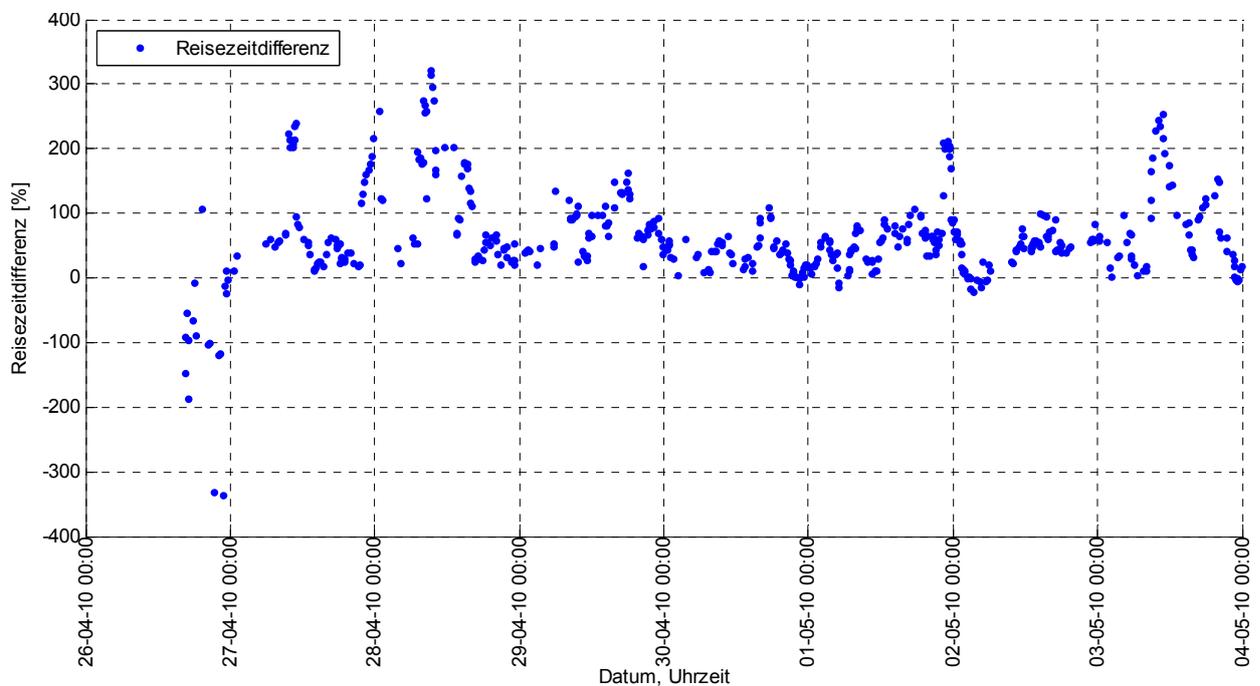


Abbildung 4-26: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

Abbildung 4-26 spiegelt die hohe Dynamik der Werte von FCD linkbezogen wider. Die Reisezeitdifferenz liegt, mit Ausnahme des ersten Messtages, nahezu vollständig im überschätzenden Bereich. Teilweise werden extreme Reisezeitpitzen von FCD angegeben, welche eine Reisezeitdifferenz von über 300% aufweisen. Die Eigenschaft, dass die Genauigkeit der Reisezeitschätzung in den Nachtstunden höher ist, kann nicht nachgewiesen werden und es ist dahin gehend auch keine Systematik zu erkennen.

Abbildung 4-27 stellt die Häufigkeitsverteilung der Reisezeitdifferenzen dar. Diese zeigt in Übereinstimmung mit Abbildung 4-26 eine Häufung der Werte im überschätzenden Bereich, wodurch sich im Mittel eine hohe Reisezeitdifferenz von über 65% ergibt. Da der Mittelwert die Bezugsgröße für die Standardabweichung darstellt, weisen die Daten auch eine hohe Standardabweichung von etwa 71% auf. Bei diesem zu geringen Aggregierungsintervall und folglich geringen Datenverfügbarkeit von unter 30% besteht keine statistisch haltbare Aussagefähigkeit der Kenngrößen.

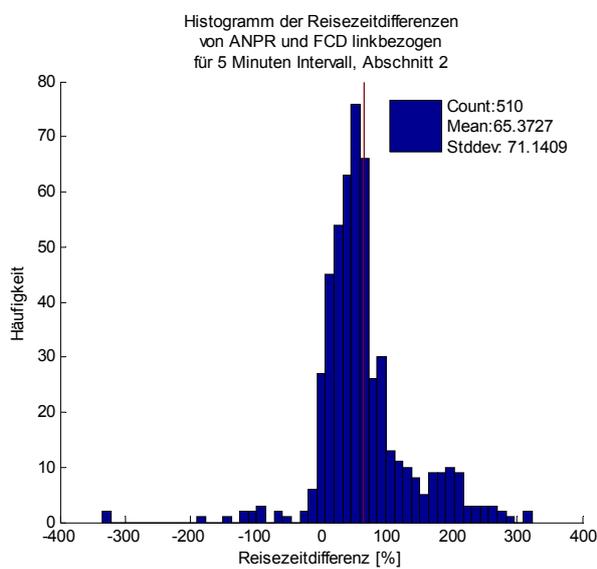


Abbildung 4-27: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD linkbezogen, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

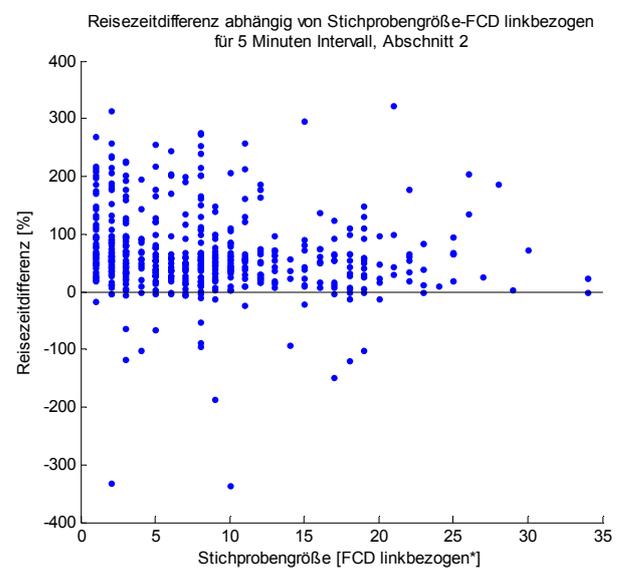


Abbildung 4-28: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

* Summe aus Anzahl der Messungen je Link und Zeitintervall

Der Vollständigkeit halber, trotz der geringen Datenverfügbarkeit, sei auch das Thema der Abhängigkeit der Reisezeitdifferenz von der Stichprobengröße erwähnt. Abbildung 4-28 zeigt hierbei eine Tendenz der Verringerung der Reisezeitdifferenz bei größer werdender Stichprobe. Aus dieser Darstellung lässt sich die anfängliche Unterschätzung der Reisezeit im Messzeitraum unabhängig der Stichprobengröße beschreiben. Die hauptsächlich überschätzten Werte, von einigen Ausreißern abgesehen, weisen eine sich exponentiell gegen Null annähernde Reisezeitdifferenz mit steigender Anzahl an Messungen je Zeitintervall auf.

4.6 Vergleich der Daten von „FC D Durchfahrer“ mit ANPR für ein 15 Minuten-Intervall

In diesem Kapitel werden die Daten jener Taxis mit den Referenzdaten verglichen, die den Teststreckenabschnitt vollkommen durchfahren haben, womit hier die Stichprobengröße der Floating Cars (FCD) gleich der tatsächlichen Anzahl der FCD Messfahrzeuge ist. Für ein Zeitintervall von 15 Minuten werden die ermittelten Daten der von Messquerschnitt 1 (Q1) nach Messquerschnitt 2 (Q2) gefahrenen FCD für die erste Teilstrecke (Abschnitt 1) ausgewertet. Dies gilt analog für die zweite Teilstrecke (Abschnitt 2).

4.6.1 Abschnitt 1

Der Vergleich der Abschnittsreisezeiten in Abbildung 4-29 zeigt eine gute Übereinstimmung mit dem Verlauf der Referenzreisezeit. Die FCD Durchfahrer bekommen den Trend von sich verringernden oder steigenden Reisezeiten in der Regel gut mit. Deutliche Reisezeitspitzen werden entweder nicht in ihrem vollen Umfang oder gar nicht erkannt, wie die zweite Reisezeitspitze am 03.05.2010. Besonders in den Nachtstunden ist oft eine Überschätzung der Reisezeit erkennbar. Es lässt sich vermuten, dass aufgrund der allgemein geringen Stichprobengröße die vereinzelt FCD Messfahrzeuge nicht den durchschnittlichen Verkehrsablauf wiedergeben.

Weiters ist aus Abbildung 4-29 zu sehen, dass in einer Vielzahl von Intervallen Daten nicht verfügbar sind mit Ausnahme von einigen Intervallen in den Nachtstunden. Dies schlägt sich in einer Datenverfügbarkeit von 61 % nieder, womit nur von einer teilweise repräsentativen Stichprobengröße ausgegangen werden kann.

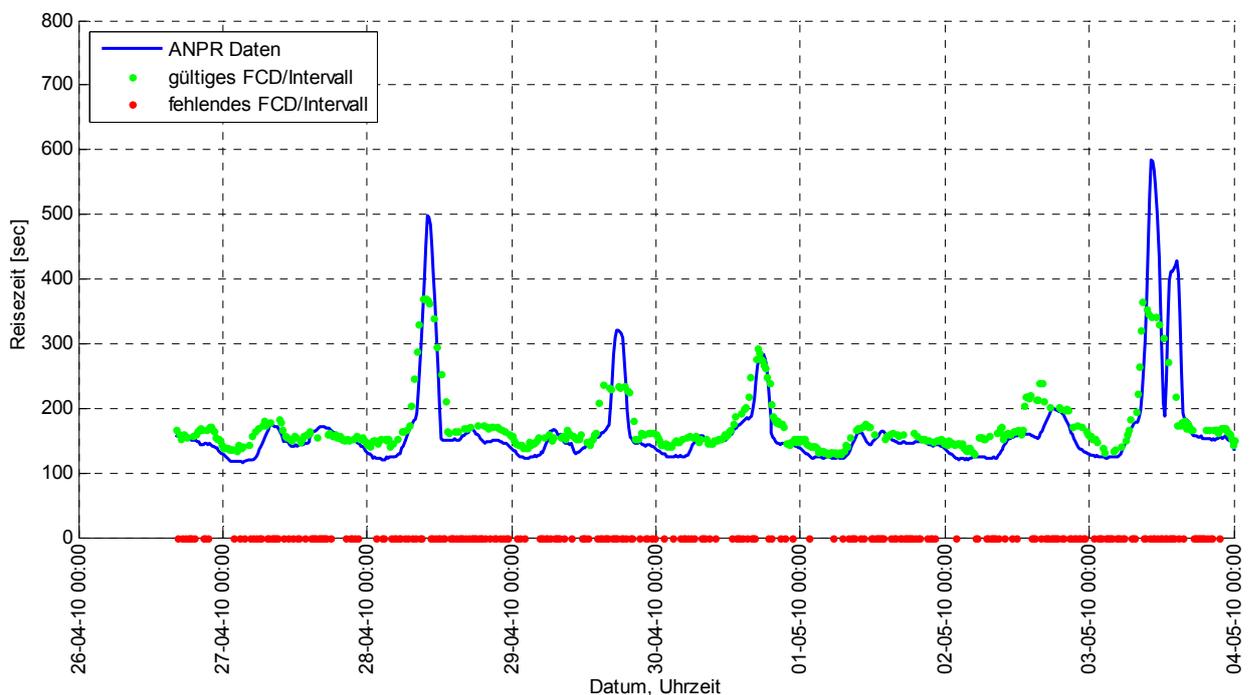


Abbildung 4-29: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD Durchfahrer; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

In Abbildung 4-30 ist die prozentuale Abweichung der durch FCD erhobenen Reisezeit zur Referenzreisezeit dargestellt. Höhere Reisezeitdifferenzen sind vor allem im Staufall deutlich sichtbar. Unterschätzungen ergeben sich dadurch, dass Reisezeitspitzen nicht in ihrem vollen

Ausmaß erkannt werden. Die sprunghafte Änderung von einer anfänglichen Reisezeitüberschätzung zu einer Unterschätzung, zu sehen bei fast allen erfassten Reisezeitspitzen, erklärt sich durch die „Zeitfensterbetrachtung“. Die FCD Durchfahrer scheinen den Stau zeitlich früher anzuzeigen. Beim Staufall am 03.05.2010 wird die zweite knapp nachfolgende Reisezeitspitze von FCD nicht detektiert. Es kommt somit zu einer deutlichen Unterschätzung der Reisezeit von 150 %. Zusätzlich ist anzumerken, dass nicht zwangsläufig eine größere Stichprobengröße in den Nachtstunden aufgrund einer höheren Taxidichte zu einer genaueren Reisezeitschätzung führt. Es sind auch geringere Differenzen im Tagesverlauf z. B. am 30.4.2010 am Vormittag erkennbar, während in der Nacht eine höhere Reisezeitdifferenz zustande kommt.

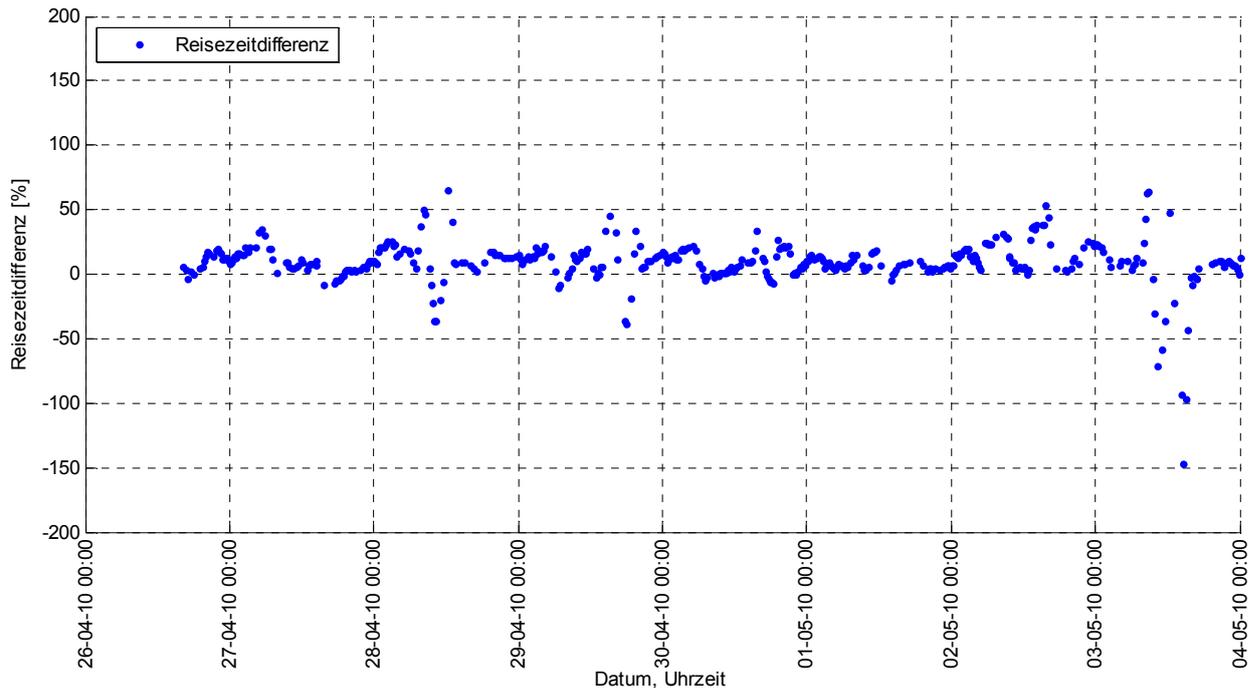


Abbildung 4-30: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

Abbildung 4-31 zeigt das Histogramm der Reisezeitdifferenzen mit einer annähernd symmetrischen Verteilung der Werte. Der überwiegende Teil liegt im Bereich der Reisezeitüberschätzung. Die Ausreißer der negativen Reisezeitdifferenzen spiegeln sich mit einer geringen Häufigkeit wider, womit die Reisezeit im Mittel mit knapp 10 % überschätzt wird und sich eine Standardabweichung von etwa 17 % ergibt.

In Abbildung 4-32 wird die Differenz der Reisezeiten in Abhängigkeit der Stichprobengröße von FCD betrachtet. Dabei entspricht die Stichprobengröße bei den FCD Durchfahrern der Anzahl der Taxis, die den Abschnitt 1, von Q1 nach Q2, in einem Zeitintervall von 15 Minuten tatsächlich durchfuhren. Die Messwerte, die nur durch ein Taxi entstanden sind, streuen in beide Richtungen stark. Sowohl bei der Überschätzung als auch der Unterschätzung zeigt sich eine deutliche exponentielle Verringerung der Reisezeitdifferenzen mit steigender Stichprobengröße. Ab einer Stichprobe von 4 FCD Messfahrzeugen je 15 Minuten scheint die Differenz der Reisezeiten annähernd in einem konstanten Bereich zu liegen.

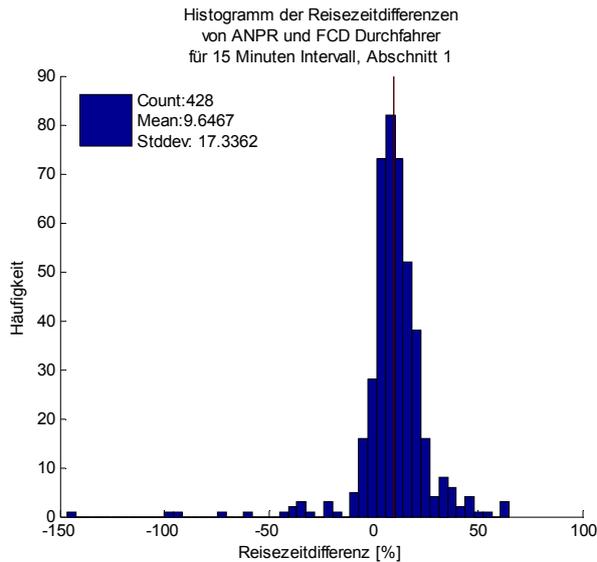


Abbildung 4-31: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD Durchfahrer, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

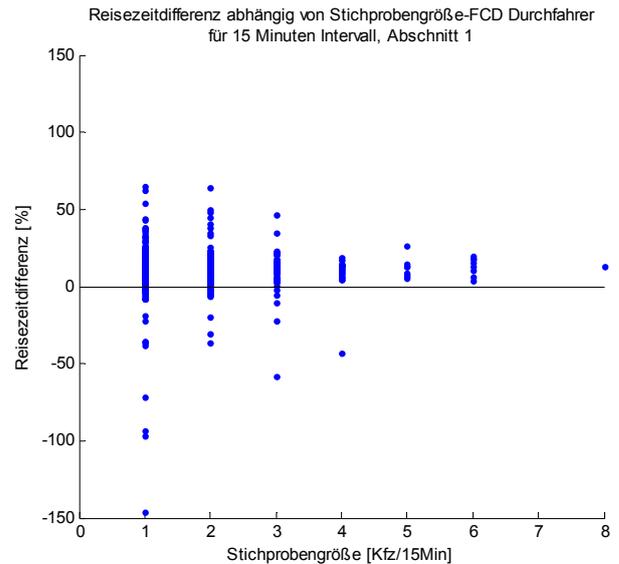


Abbildung 4-32: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

4.6.2 Abschnitt 2

Eine Datenverfügbarkeit von rund 28,6 % lässt keine wissenschaftlich fundierte Aussage über die Güte von der durch FCD ermittelten Reisezeit zu. Dennoch wurde eine Auswertung der erhobenen Daten durchgeführt, um in Kapitel 5 die Vorteile und Nachteile der Methode darlegen zu können. Die Anwendungsgrenzen zeigen sich vorab schon durch die geringe Stichprobengröße.

In Abbildung 4-33 ist die große Anzahl an fehlenden Werten in den Messintervallen deutlich zu erkennen. Die Darstellung der Abschnittsreisezeiten von ANPR und FCD Durchfahrer zeigt, dass größtenteils die Tendenzen der Reisezeitänderung erfasst werden, aber meist die Reisezeit unterschätzt wird. Es macht den Anschein, als ob die FCD Durchfahrer die Reisezeit im Vergleich zur Referenz geglättet darstellen. Jedoch ist keine eindeutige Systematik zu erkennen, wann es zu einer Über- oder Unterschätzung der Reisezeit kommt. Z. B. zeigt sich eine Unterschätzung in der Nacht vom 01.05.- 02.05.2010 oder untertags am 03.05.2010.

Wie in Abbildung 4-34 zu sehen, gibt es keine extremen Differenzen zwischen den beiden erhobenen Reisezeiten. Eine leichte kontinuierliche Unterschätzung liegt in einem Bereich von bis zu 25 % vor, vereinzelt wird die Reisezeit auch überschätzt. Der Zeitpunkt der Ausprägung der Reisezeitdifferenz ist weder Tag noch Nacht zuzuordnen.

Vergleich der ermittelten Reisezeiten

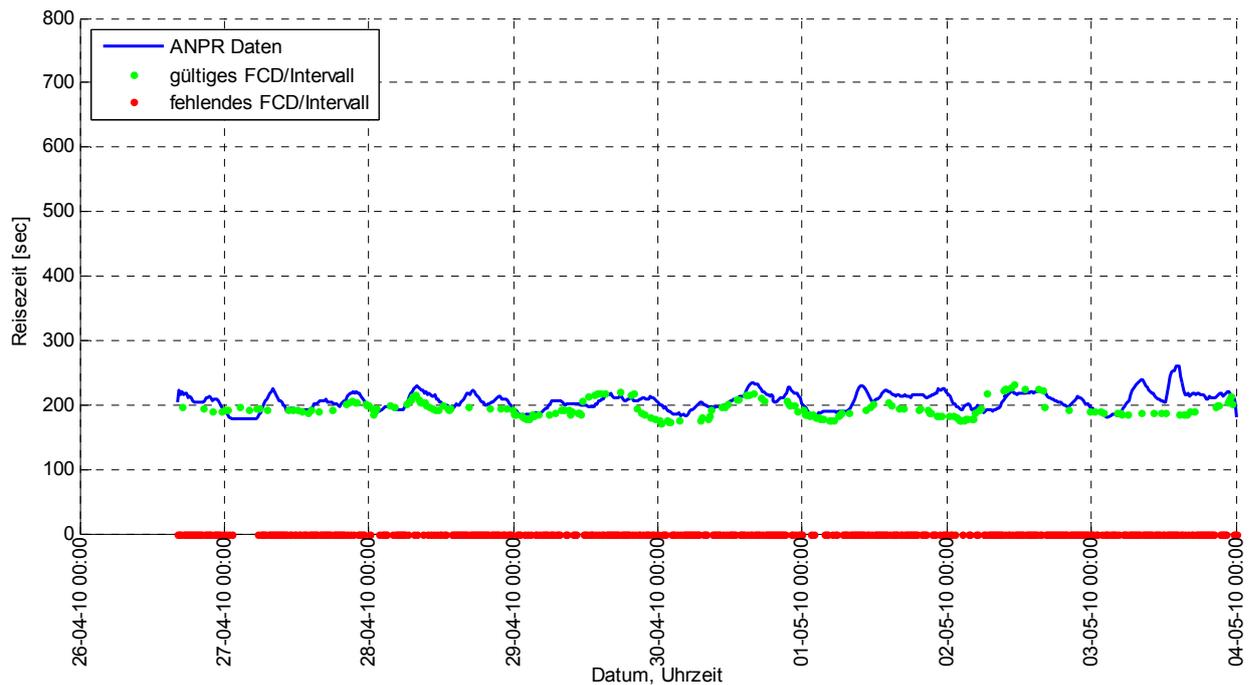


Abbildung 4-33: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD Durchfahrer; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

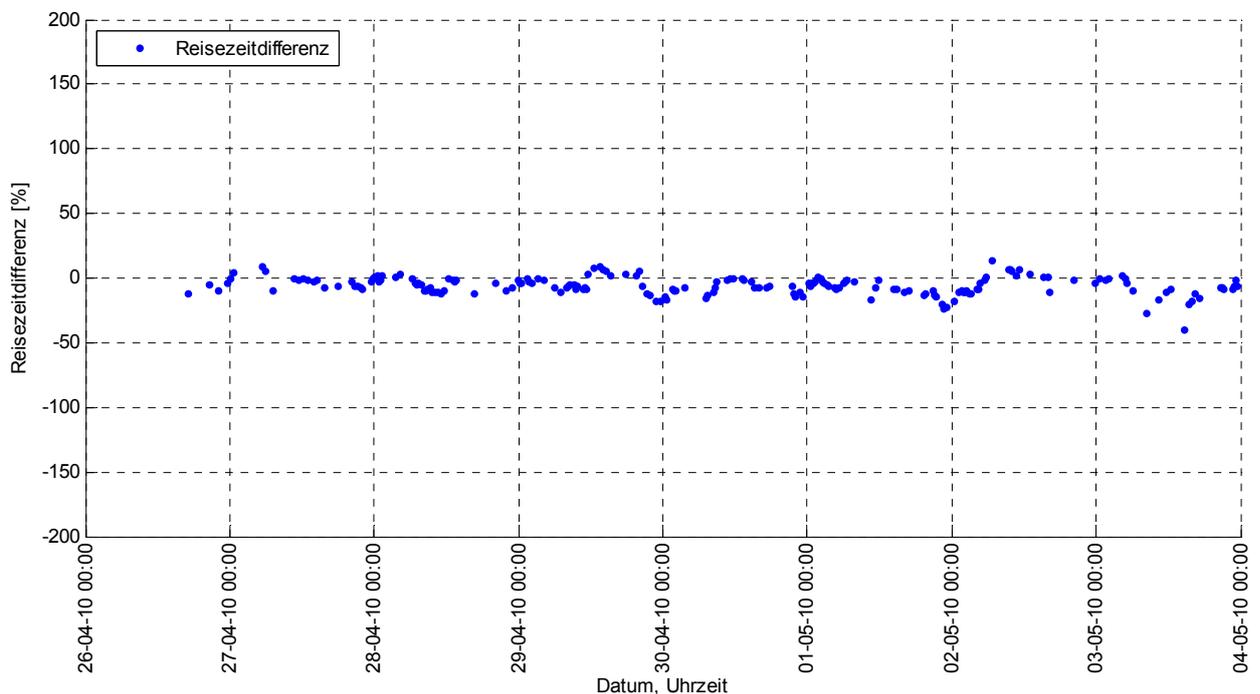


Abbildung 4-34: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

Das Histogramm der Reisezeitdifferenzen wird in Abbildung 4-35 präsentiert. Durch ein fehlendes Stauereignis und durch die geringe Datenverfügbarkeit liegt im Mittel die Differenz der Reisezeit nur bei r und 5 % Unterschätzung. Augenscheinlich ist jedoch die zweigeteilte Häufigkeitsverteilung der Werte. Einerseits treten Differenzen um 3 % und weitere um 10 % mit

hoher Häufigkeit auf. Weiters beträgt die Standardabweichung ca. 7 %. Aufgrund der Zweigipfeligkeit der Verteilung charakterisieren der Mittelwert als Lagemaß und die Standardabweichung als Streuungsmaß den Datensatz nicht richtig.

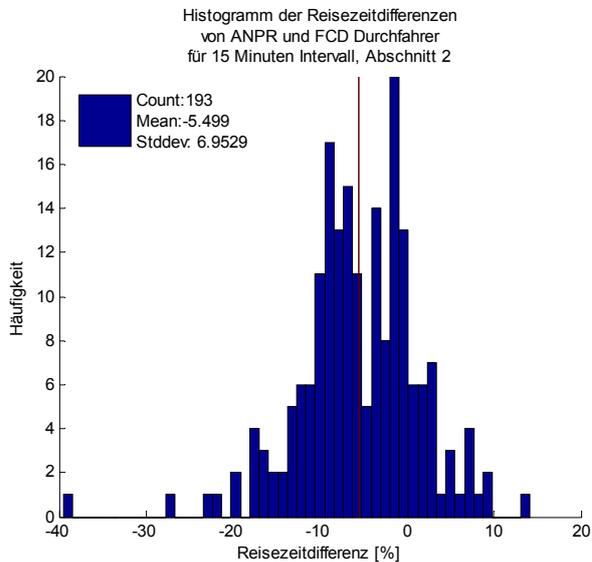


Abbildung 4-35: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD Durchfahrer, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

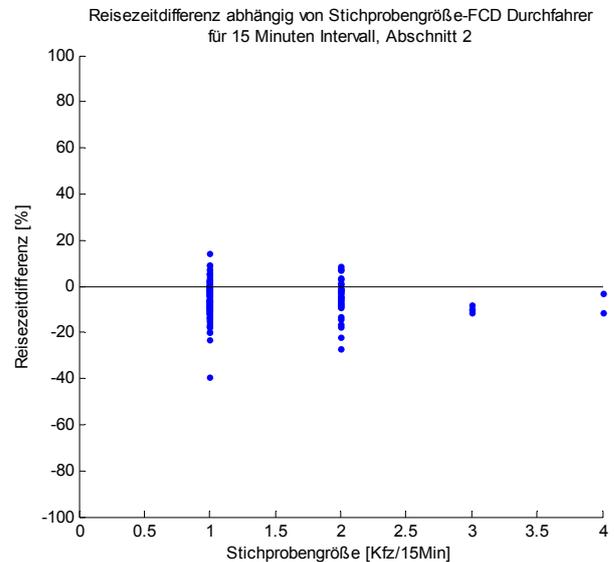


Abbildung 4-36: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

Eine Auswertung der Reisezeitdifferenzen in Zusammenhang mit der Stichprobengröße in Abbildung 4-36 lässt auf eine Abhängigkeit schließen. Mit steigender Stichprobengröße verringert sich die Differenz der Reisezeiten beider Systeme. Trotz der geringen Anzahl an Werten lässt sich eine bessere Reisezeitschätzung mit wachsender Stichprobengröße erkennen. Ab einer Stichprobe von 3 FCD Messfahrzeugen je Zeitintervall scheint die Reisezeitdifferenz minimal zu werden. Die geringe Datenverfügbarkeit lässt jedoch keine gesicherte Aussage zu.

4.7 Vergleich der Daten von „FCD Durchfahrer“ und ANPR für ein 5 Minuten-Intervall

In diesem Kapitel werden die Daten der FCD Durchfahrer für eine Aggregation von 5 Minuten mit den Referenzdaten verglichen. Es sei vorab erwähnt, dass diese Methode nicht im operablen Betrieb des FLEET Systems verwendet wird, sondern zu Vergleichszwecken in der vorliegenden Arbeit analysiert wird, um die Grenzen der Floating Car Methode auszuloten. Denn die Methode der Reisezeitmittlung bei den FCD Durchfahrern an sich, führt bei der Testmessung zu einer geringen Stichprobe und dies wird zusätzlich durch das niedrige Aggregierungsintervall von 5 Minuten verstärkt. Folglich liegen nicht zu jedem Zeitintervall Daten vor, wodurch die erhobenen Messwerte eine nicht repräsentative Stichprobengröße bilden. Dies lässt sich anhand der geringen Datenverfügbarkeit von 28,8 % am Abschnitt 1 und 10,4 % am Abschnitt 2 beschreiben, welche keine wissenschaftlich fundierte Aussage zulassen. Die nachstehend durchgeführte Auswertung der Daten dient zur Darlegung der Anwendungsgrenzen in Kapitel 5.

4.7.1 Abschnitt 1

Die vorhandenen Werte der Abschnittsreisezeiten zeigen trotz der geringen Datenverfügbarkeit eine durch FCD in der Tendenz erkannte Reisezeitentwicklung wie aus Abbildung 4-37 ersichtlich wird. Es zeigt sich, dass die Reisezeit meist leicht über den Referenzwerten liegt und einzelne Werte eine etwas höhere Überschätzung aufweisen. In den Nachtstunden scheint die durch FCD ermittelte Reisezeit näher an den Referenzwerten zu liegen. Stausituationen werden im Ansatz, jedoch nicht in ihrem vollen Ausmaß erfasst. Lediglich die zweite Stauspitze am 03.05.2010 wurde von den FCD Durchfahrern vermutlich aufgrund der fehlenden Messwerte in den Zeitintervallen nicht erkannt. Generell entsteht der Eindruck, dass FCD Durchfahrer den Verlauf der Referenzreisezeit geglättet darstellen, jedoch ist dies auf die geringe Datenverfügbarkeit zurückzuführen.

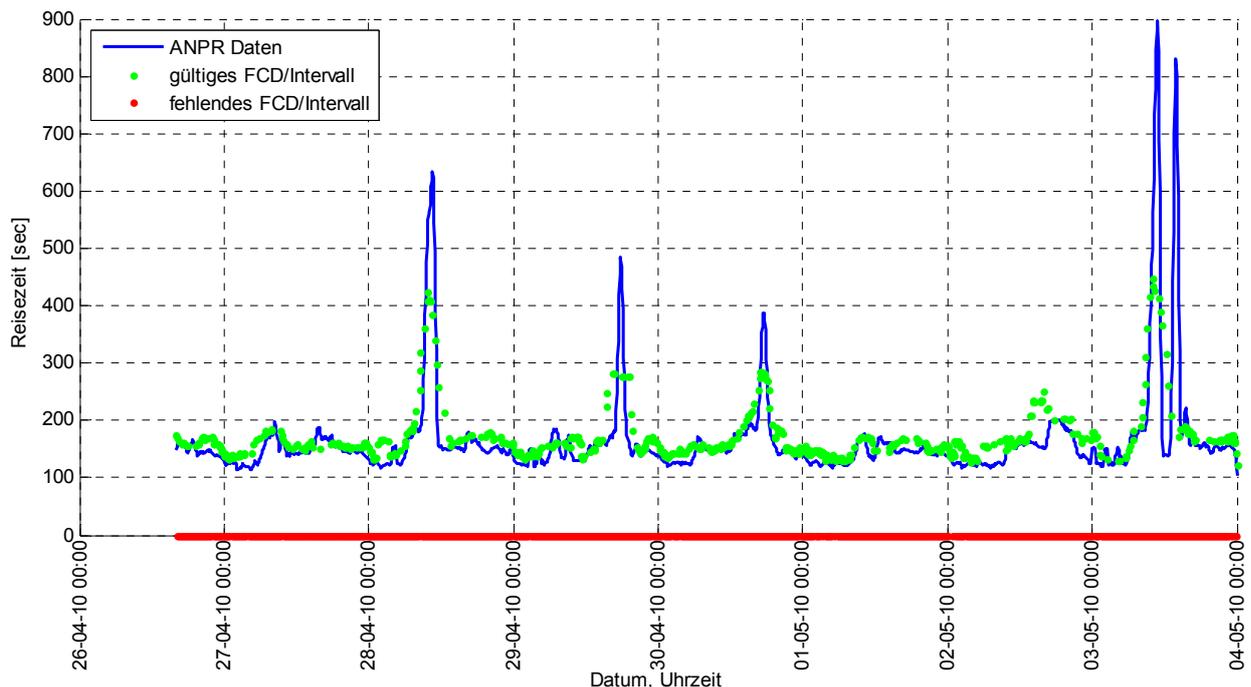


Abbildung 4-37: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD Durchfahrern; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

Abbildung 4-38 zeigt die prozentuale Differenz der von FCD Durchfahrern erhobenen Reisezeiten zu den Referenzwerten. Bei den erkannten Reisezeitspitzen ergibt sich eine Differenz bis zu ca. 80 %, mit einer Ausnahme am 03.05.2010. Hier durchfuhr scheinbar kein FCD Messfahrzeug den Streckenabschnitt während des zweiten Staufalls, weswegen dieser von FCD Durchfahrern nicht erfasst wurde. Die zweite stark ausgeprägte Reisezeiterhöhung am 03.05.2010 wird somit von FCD weit unterschätzt und weist eine Differenz von etwa 140 % auf. Die sprunghafte Änderung von einer anfänglichen Reisezeitüberschätzung zu einer Unterschätzung, zu erkennen bei fast allen erhobenen Reisezeitspitzen, erklärt sich durch die „Zeitfensterbetrachtung“. Die FCD Durchfahrer scheinen den Stau zeitlich früher zu erfassen. Im freien Verkehrsfluss bewegt sich die Abweichung in einem Band von unter 50 %. In den Nachtstunden ist die Abweichung tendenziell geringer, jedoch kann keine Systematik unterstellt werden, da auch untertags gute Schätzwerte erreicht werden wie z. B. am 30.04.2010.

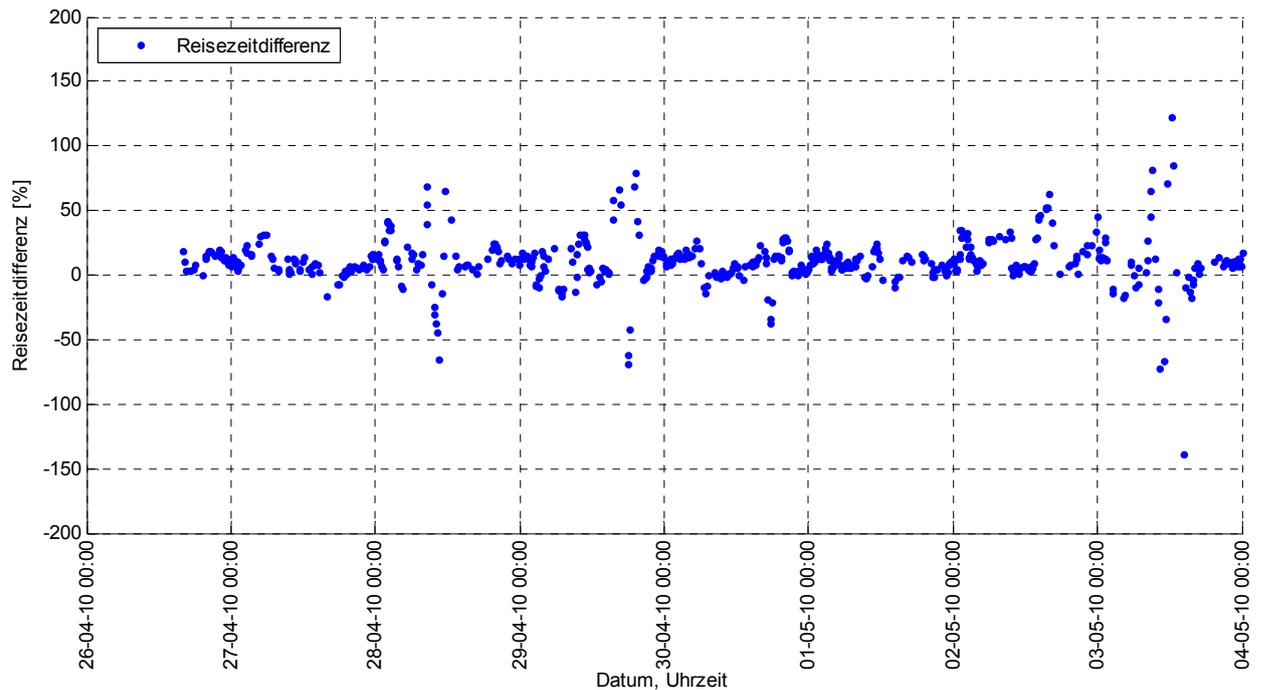


Abbildung 4-38: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

Abbildung 4-39 zeigt das Histogramm der Reisezeitdifferenzen. Die Werte weisen eine annähernd symmetrische Häufigkeitsverteilung um den Mittelwert auf. Deutlich zu erkennen ist die Ausprägung der positiven Reisezeitdifferenzen, also die von FCD überschätzte Reisezeit, jedoch weist auch die in den Stauellen unterschätzte Reisezeit höhere Häufigkeiten auf. Im Mittel ergibt sich eine Überschätzung der Reisezeit mit knapp 11 %. Die vereinzelt Ausreißer bei den durch FCD nicht erfassten Reisezeitspitzen bedingen eine Standardabweichung von rund 18 %.

Auch der Zusammenhang von Stichprobengröße und Reisezeitdifferenz wird trotz geringer Datenverfügbarkeit in Abbildung 4-40 untersucht. Es lässt sich wie bei den vorigen FCD Kapiteln der Trend erkennen, dass mit steigender Stichprobengröße die Reisezeitschätzung genauer wird. Die Reisezeitdifferenzen gehen sowohl im Bereich der Überschätzung als auch der Unterschätzung exponentiell gegen Null. Wie bei den Daten des 15 Minuten-Intervalls in Kapitel 4.6.1 zeigt sich eine geringere Reisezeitdifferenz ab einer Stichprobe von 4 FCD Messfahrzeugen in einem Zeitintervall von 5 Minuten. Aufgrund der geringen Datenverfügbarkeit kann jedoch daraus kein Maß für eine Allgemeingültigkeit abgeleitet werden.

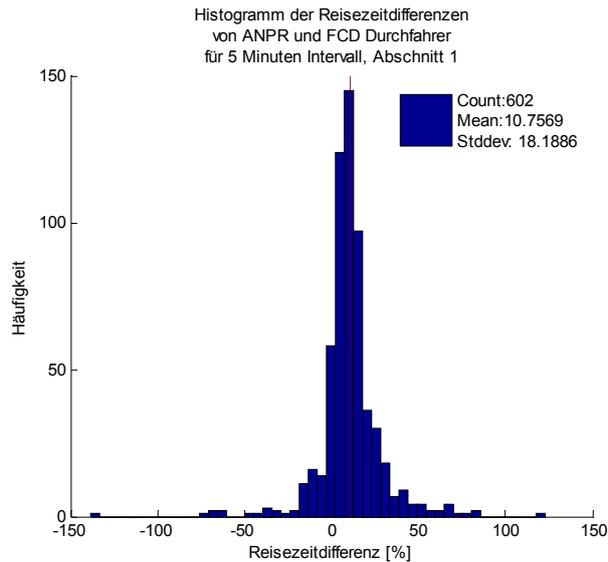


Abbildung 4-39: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD Durchfahrer, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

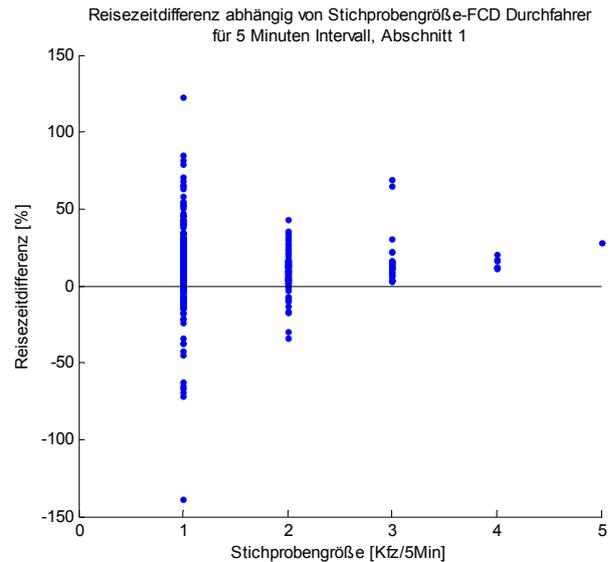


Abbildung 4-40: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

4.7.2 Abschnitt 2

Wegen der äußerst geringen Datenverfügbarkeit von 10 % lassen die in Abbildung 4-41 gezeigten Werte nur selten die Tendenz des Reisezeitverlaufs erkennen. Das kurze Aggregierungsintervall und die Methode der Reisezeitermittlung durch FCD haben eine sehr geringe Stichprobengröße zur Folge. Dadurch kann scheinbar die Dynamik des Verkehrsablaufs nicht erkannt werden, welche sich durch das Fahrverhalten einzelner und die Interaktionen zwischen den Fahrzeugen ergibt.

In der Nacht auf den 28.04.2010 bis zur Mittagszeit lässt sich vermuten, dass FCD Durchfahrer die Entwicklung des Verkehrsflusses erfassen. In der zweiten Hälfte des Messzeitraumes scheint jedoch der Verlauf der Referenzreisezeit von FCD stark geglättet abgebildet zu werden. Leichte Erhöhungen der Reisezeit werden so gut wie nie erkannt, wie beispielsweise in der Nacht auf 30.04.2010 oder den ganzen Tag über am 03.05.2010. Aus den Referenzwerten ist ersichtlich, dass für diesen Streckenabschnitt die Reisezeit ca. 200-230 Sekunden beträgt. Dieser Wert wird zwar auch von FCD meist fortwährend geliefert, jedoch kommt es im Allgemeinen zu einer Unterschätzung der Reisezeit.

In Abbildung 4-42 sind die prozentuellen Reisezeitdifferenzen der Systeme dargestellt, wobei sich keine deutlichen Ausprägungen der Werte erkennen lassen. Die Differenzen liegen in einem Bereich zwischen einer Überschätzung von 10 % und einer Unterschätzung von knapp unter 30 %. Vereinzelt treten Reisezeitunterschätzungen von bis zu 60 % auf. Weiters ist keine Systematik der Reisezeitdifferenzen bei einer Betrachtung von Tag und Nacht zu erkennen. Unabhängig von der Tageszeit scheinen die Werte willkürlich zu differieren.

Einerseits trat auf diesem Streckenabschnitt und in dem Messzeitraum kein außergewöhnliches Ereignis auf, in dem FCD Durchfahrer hohe Reisezeitdifferenzen im Vergleich zur Referenzreisezeit erfahren können. Andererseits ist die Datenverfügbarkeit so gering, dass die Reisezeiten keine hohen Differenzen aufweisen, wenn Messwerte durch FCD geliefert werden.

Vergleich der ermittelten Reisezeiten

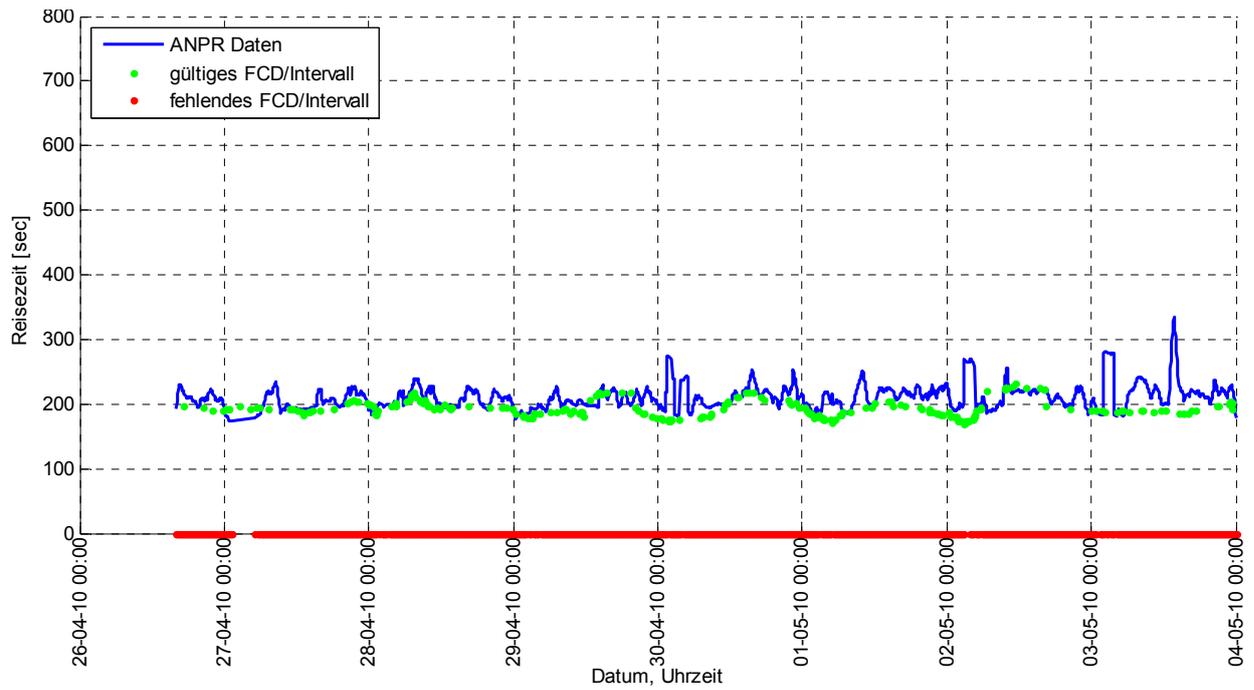


Abbildung 4-41: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD Durchfahrer; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

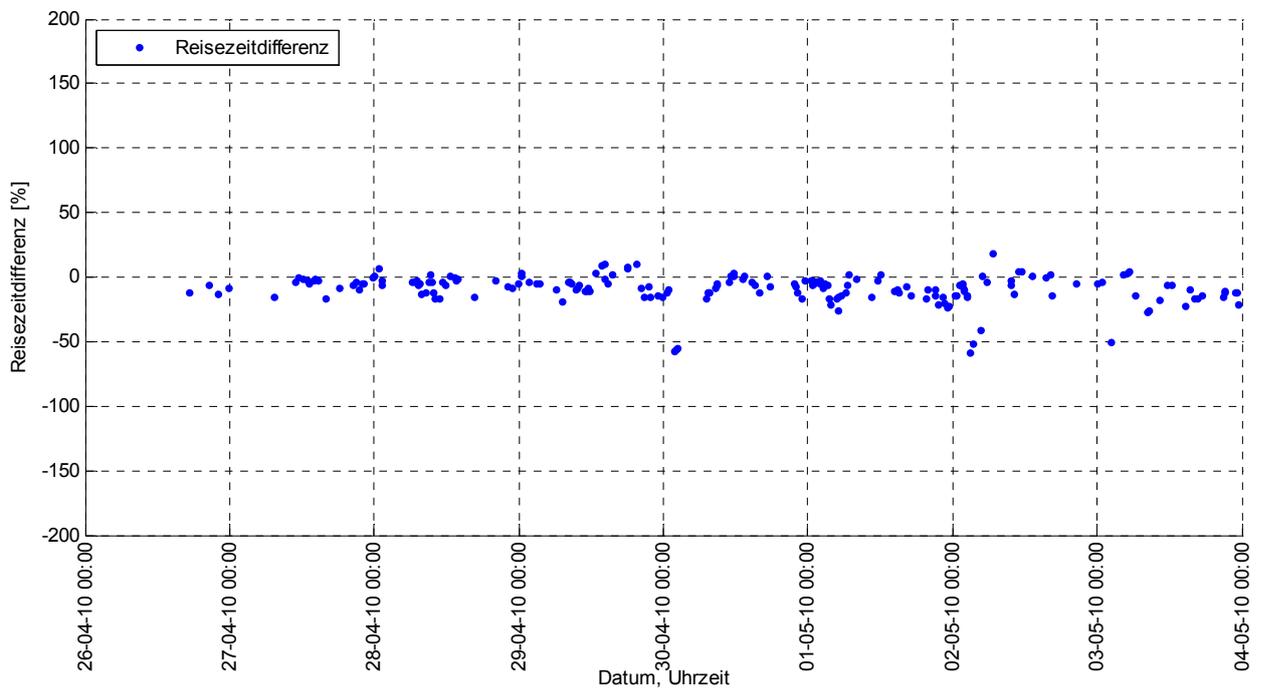


Abbildung 4-42: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

Die annähernd geringe Spannweite der Reisezeitdifferenzen zeigt sich auch im Histogramm in Abbildung 4-43. Die Differenzen liegen hauptsächlich im Bereich der Reisezeitunter-schätzung in einem engen Bereich um Null, doch vereinzelt treten auch Ausreißer mit höheren Reisezeitdifferenzen auf. Die Häufigkeitsverteilung weist je doch keine symmetrische sondern eine mehrgipfelige Ausprägung der Datenwerte auf, weshalb vor allem der Mittelwert als Lagemaß keine korrekte Aussage über den Datensatz treffen kann. Dieser zeigt eine mittlere Reisezeitdifferenz von ca. 9 % im unterschätzenden Bereich. Die Standardabweichung beträgt etwa 11 %. Die vorhandenen Werte würden eine ausreichend gute Reisezeitschätzung beschreiben, jedoch können sie aufgrund der äußerst geringen Datenverfügbarkeit von 10 % nicht für eine statistisch haltbare Aussage herangezogen werden.

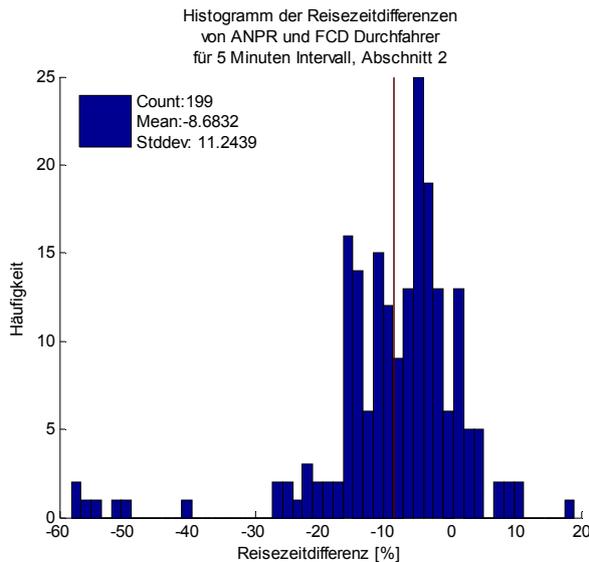


Abbildung 4-43: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD Durchfahrer, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

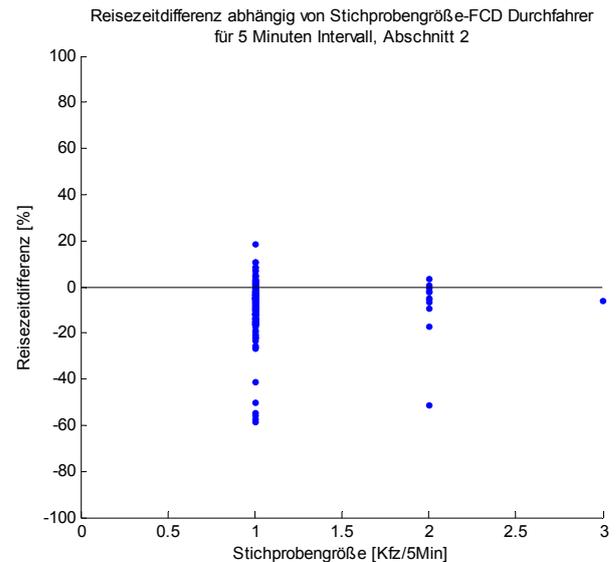


Abbildung 4-44: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)

Bei Betrachtung der Reisezeitdifferenz in Abhängigkeit von der Stichprobengröße lässt sich hierbei trotz der erhobenen geringen Datenmenge der typische Zusammenhang vermuten (siehe Abbildung 4-44). Es ist die Tendenz erkennbar, dass mit steigender Stichprobengröße die Güte der Reisezeitschätzung sich verbessert. Zwar liegt bei einer Stichprobe von 3 FCD Messfahrzeugen in einem Zeitintervall von 5 Minuten eine gegen Null gehende Reisezeitdifferenz vor, jedoch ist dies nur einmal im gesamten Messzeitraum von einer Woche der Fall gewesen. Aufgrund dessen kann keine haltbare Aussage bezüglich einer erforderlichen Stichprobengröße für eine ausreichende Güte der Reisezeitschätzung abgeleitet werden.

5 Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

In diesem Abschnitt erfolgt eine Zusammenfassung und Interpretation der Messergebnisse aus Kapitel 4, sowie ein Vergleich der unterschiedlichen, zuvor evaluierten Methoden der Verkehrsdatenerfassung hinsichtlich der Genauigkeit der Reisezeitermittlung. Im Rahmen dieser Arbeit werden auf Basis vide obasierter Kennzeichenerfassung (ANPR) Radarsensoren, das Traffic Eye Universal (TEU) und das Floating Car System (FCD) beurteilt. Das ANPR-System wird aufgrund der hohen Erfassungsgenauigkeit (95 %, vgl. Kapitel 3.1) als Referenz herangezogen.

Um anhand von plausiblen Daten die verschiedenen Methoden beurteilen zu können, wurden Einzelfahrzeugdaten mit dem ANPR-System eine Woche lang in einer geeigneten Testumgebung aufgezeichnet. Aus den erhobenen Querschnittsdaten wurden die Reisezeiten abgeleitet und in weiterer Folge als „Ground Truth“ herangezogen.

Das für die Arbeit relevante Kriterium ist die Genauigkeit der ermittelten Reisezeit. Die Beurteilung erfolgt mithilfe jener Reisezeitdifferenzen, welche sich aus der vom ANPR-System und des zu evaluierenden Systems ergeben. Sofern eine ausreichende Datenverfügbarkeit gegeben ist, können das arithmetische Mittel der Reisezeitdifferenz sowie die Standardabweichung als Beurteilungskenngrößen herangezogen werden.

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die für die Interpretation gewählte Methode beruht auf der Darstellung der erhobenen Reisezeiten. Diese werden als aggregierte Zeitintervallen von 5 und 15 Minuten betrachtet. Das Augenmerk wird bei der Auswertung auf das Szenario Stau gelegt. Anzumerken gilt, dass im Messzeitraum lediglich am Abschnitt 1 Staufälle verzeichnet wurden. Weiters wurde die Differenz der Reisezeit in Zusammenhang mit der Stichprobengröße auf eventuelle Abhängigkeiten untersucht.

Die Testumgebung gliederte sich in zwei Streckenabschnitte, welche sich ihrer Verkehrscharakteristik unterschieden. Den ersten Streckenabschnitt zeichnet eine urbane Umgebung aus, mit einigen lichtsignaligeregelten Kreuzungen und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Die zweite Teilstrecke hat einen Freilandstraßencharakter mit weniger Lichtsignalanlagen und einer Änderung der Geschwindigkeitsbegrenzung auf 70 km/h. In den beiden Abschnitten kamen folgende Datenerhebungsmöglichkeiten zum Einsatz:

- Querschnittsbezogene Methoden: die Datenerfassungssysteme sind an einem Standort fix installiert. Die Datenerhebung erfolgt somit lokal. Zu beachten ist, dass hierbei die Positionierung einen wesentlichen Einfluss auf die Aussagekraft der Daten hat. In dieser Arbeit wurden ein Radarsensor und ein TEU evaluiert.
- Streckenbezogene Methoden: basieren auf einer dynamischen Datenerfassung durch Fahrzeuge, die sich im aktuellen Verkehrsfluss mitbewegen, weshalb sich der englische Begriff „Floating Car“ eingebürgert hat. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Floating Car Daten (FCD) der angewandten Rohmethode der Reisezeitberechnung ausgewertet, die in dieser Form im operativen Betrieb des FLEET Systems nicht zum Einsatz kommen. Diese Daten werden üblicherweise mit unterschiedlichen Methoden aufgebessert, wie z. B. mittels Einbringung von historischen Werten, wie der Exkurs in Kapitel 6 ausführt.

In weiterer Folge werden die aus Kapitel 4 stammenden Ergebnisse zusammengefasst.

5.1.1 Querschnittsbezogene Verkehrsdatenerfassungssysteme

Die Radarsensoren waren in den Referenzsystemen montiert und kamen auf beiden Streckenabschnitten zum Einsatz. Jedoch befanden sie sich nur in den ANPR-Systemen seitlich des rechten Fahrstreifens. Das auf Infrarot basierende System Traffic Eye Universal (TEU) war am ersten Abschnitt der Teststrecke positioniert.

5.1.1.1 Radarsensor

Auf allen eingerichteten ANPR-Messquerschnitten der Teststrecke wurden Radarsensoren installiert. Für die Berechnung der Reisezeit wurde jeweils die Geschwindigkeit bei Eintritt in die Teilstrecke herangezogen und mithilfe der Weglänge in eine Abschnittsreisezeit hochgerechnet.

Der Radarsensor liefert für jedes vorbeifahrende Fahrzeug einen Eintrag. Dieser besteht aus Angaben diverser Informationen, wie in Kapitel 3.1.2 näher beschrieben wurde. Für die Auswertung der Daten waren je Datensatz der Zeitstempel und die Geschwindigkeit relevant, wobei die Anzahl der Einträge die Stichprobe ergab. Aufgrund dessen, dass die Radarsensoren sich nur in den ANPR Systemen seitlich des rechten Fahrstreifens befanden, weicht die durch den Radarsensor erhobene Verkehrstärke von jener des ANPR Systems ab. D.h. wurde gerade ein Pkw am näheren rechten Fahrstreifen detektiert und befand sich zur gleichen Zeit dahinter auch ein Fahrzeug, konnte dieses aufgrund der Abschattung durch den Radarsensor nicht detektiert werden. Auch wenn die Verkehrstärke gegenüber der Referenz nicht zur Gänze erhoben wurde, liegt eine vollständige Datenverfügbarkeit vor, da in jedem betrachteten Zeitintervall Daten durch den Radarsensor erfasst wurden.

Die Evaluierung der Radardaten erfolgte auf Basis der 5 Minuten Intervalle, da diese sich zu den 15 Minuten Werten nicht wesentlich unterschieden und zu sätzlich eine breitere Beurteilungsgrundlage lieferten. Werden nun die Daten in Bezug auf die Reisezeitermittlung verglichen, zeigt sich die Abhängigkeit der Funktionalität des Radarsensors stark von der Positionierung und dem umgebenden Verkehrsgeschehen. Bei Detektion eines Staus direkt am Messstandort wird die reduzierte Geschwindigkeit für die Berechnung der Reisezeit am gesamten Streckenabschnitt herangezogen. Dies hat zur Folge, dass eine erhöhte Reisezeit im Staufall, der nur am Querschnitt selber aufgetreten ist, für die gesamte Teilstrecke angegeben wird.

Das systemimmanente Verhalten bedingt im Umkehrschluss, dass Staus zwischen den Radarstandorten nicht erkannt werden, wie in der Auswertung für den ersten Streckenabschnitt zu sehen war. Folgedessen wird die Abschnittsreisezeit in solchen Fällen unterschätzt. Für den freien Verkehr ergab die Analyse, wahrscheinlich eine systembedingte, sehr geringe Abweichung, im Staufall wurde die Abschnittsreisezeit weit stärker unterschätzt.

Am zweiten Abschnitt zeigt sich aufgrund der standortabhängigen Stauererkennung eine Reisezeitüberschätzung, da sich dieser Messquerschnitt in einer urbanen Umgebung mit einer Verkehrslichtsignalanlage (VLSA) in etwa 130 m Entfernung befindet. Kurze Rückstaus werden systembedingt für den ganzen folgenden Streckenabschnitt angenommen.

Um die Reisezeiten aus den vom Radarsensor erhobenen Daten jenen des Referenzsystem gegenüberzustellen und ihre Systematiken zu vergleichen, wurden Differenzen der jeweiligen Reisezeiten der Einzelwerte berechnet. Diese wurden in Bezug zur Stichprobengröße gestellt, um eventuelle Zusammenhänge zwischen den beiden Kenngrößen zu erkennen. Unabhängig von der durch den Radarsensor erhobenen Stichprobengröße bewegt sich die Reisezeitdifferenz in einem gleich bleibenden Bereich. Lediglich durch die vom Radarsensor nicht erkannten Reisezeitspitzen bedingten hohen Differenzen treten in diesem Zusammenhang bei größeren Stichproben des Radars auf.

5.1.1.2 Traffic Eye Universal

Verkehrsdaten werden von je einem Traffic Eye Universal (TEU) pro Fahrstreifen erhoben, wobei die Sensoren überkopf an einem Lichtmast montiert sind (s. Kapitel 3.1.3). Es konnte der durchschnittliche Verkehrszustand der ersten Teilstrecke erhoben werden, da sich die Systeme nicht in gleicher Höhe mit den Referenzsystemen, sondern in der zweiten Hälfte des Abschnitt 1 befanden. Im Abschnitt 2 waren keine TEU Systeme vor Ort installiert.

Die Verkehrsinformation wird in Form eines Datensatzes als 1 Minuten-Intervall erhoben und beinhaltet je Zeitstempel u. a. Angaben zur Verkehrsstärke und Geschwindigkeit. Für diese Auswertung wurde auf Basis der vom TEU erfassten Geschwindigkeit und der Abschnittslänge eine Reisezeit berechnet. Die Grundlage für die weitere Auswertung bildete eine Aggregation der Daten von 5 Minuten. Wie in Kapitel 4.3 angeführt sind keine wesentlichen Unterschiede bezüglich der Werte der mittleren Reisezeitdifferenz und der Standardabweichung bei der 15 Minuten Aggregation zu erkennen. Ausschlaggebend für die Betrachtung der Daten im 5 Minuten-Intervall ist eine bessere Erkennbarkeit der Dynamik des Verkehrsablaufs.

Infolge einer primären Auswertung der von TEU in einem 1 Minuten Intervall gelieferten Daten, konnten Wiederholungen der übertragenen Datensätze oder Ausfälle dieser des Öfteren verzeichnet werden, d.h. Datensätze werden mehrmals oder gar nicht an die Zentrale übermittelt. Da dies mit einer beobachtbaren Regelmäßigkeit vonstatten geht, lässt sich auf einen systematischen Fehler schließen, der zur Verzerrung der Verkehrsstärke führt. Generell kann jedoch eine hohe Datenverfügbarkeit von über 98 % für den Gesamtzeitraum sowie über 96 % im Staufall angegeben werden, wie in Kapitel 3.4.4 beschrieben. Eine signifikante negative Auswirkung des Fehlers auf die Genauigkeit der Reisezeit konnte nicht festgestellt werden.

Bei der Betrachtung der Daten hinsichtlich der Reisezeitermittlung zeigt sich eine starke Abhängigkeit der Funktionalität des TEUs von der Positionierung und dem am Installationsstandort auftretenden Verkehrsgeschehen. Entsteht ein Stau im Detektionsbereich des TEUs, wird die verringerte Geschwindigkeit für den gesamten Streckenabschnitt angenommen und als Basis zur Hochrechnung der Reisezeit herangezogen. Folglich wird fälschlicherweise eine erhöhte Reisezeit im Staufall für den gesamten Abschnitt angegeben.

Für das Szenario des freien Verkehrs kann eine ausreichend gute Übereinstimmung mit einer geringen Unterschätzung der über die TEUs Daten hochgerechneten Reisezeit verglichen zu jener von ANPR festgehalten werden. Grund dafür ist, dass die Geschwindigkeit im Erfassungsbereich des TEUs nahezu ident mit jener außerhalb ist. Es liegt somit eine Homogenität des Geschwindigkeitsniveaus vor, was eine Bedingung für eine gute Reisezeitschätzung ist.

Deutlich ausgeprägte Reisezeitpitzen am Abschnitt 1 wurden durch das TEU im Ansatz besser als durch den Radarsensor erkannt, jedoch auch nicht in ihrem vollen Ausmaß. Die Begründung findet sich in der günstigen Positionierung auf diesem Streckenabschnitt. Da der Detektionsbereich des TEUs sich bei hohem Verkehrsaufkommen mit dem Rückstaubereich einer kommenden VLSA geregelten Kreuzung überdeckt, werden die Reisezeitpitzen in diesem Fall besser als beim Radarsensor erkannt.

5.1.2 Streckenbezogene Verkehrsdatenerfassungssysteme

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein streckenbezogenes System verwendet, welches auf Floating Car Daten (FCD) basiert. Verkehrsdaten werden entlang einer Strecke auf dynamischen Weg erhoben, wobei eine Taxiflotte, bestehend aus etwa 2500 Fahrzeugen, in Wien verkehrt. Jedes Taxi sendet etwa alle 40 Sekunden seine GPS Position mit einem Zeitstempel an einen zentralen Server. Aus der ermittelten Zeitdifferenz übertragener Positionen wird die Geschwindigkeit berechnet und daraus die aktuelle Reisezeit abgeleitet. Die Qualität der erhobenen Daten hängt in diesem Zusammenhang wesentlich von der Anzahl der Messfahrzeuge ab, die sich auf einer Route befinden.

Zur Anwendung kommen zwei Arten der Reisezeitberechnung durch FCD, deren Funktionsweisen eine Rohform der Technologie darstellen und sich in ihrer Art der Ermittlung der Reisezeit unterscheiden. Das „linkbezogene FCD“ System erhebt Daten, die auf einzelne Straßensegmente („Links“) bezogen sind, ermittelt daraus eine durchschnittliche Geschwindigkeit und eine mittlere Reisezeit. Als „FCD Durchfahrer“ werden Fahrzeuge bezeichnet, die die Strecke von Anfang bis zum Ende tatsächlich durchfahren. Die Abschnittsreisezeit wird aus den Zeitstempeln der Einfahrts- und Ausfahrtszeiten generiert. Bei dieser Methode gibt es weniger Fehlerquellen, die auf eine bessere Reisezeitprognose schließen lassen würden. Im standardisierten Betrieb des FLEET Systems wird sie allerdings nicht verwendet. Grund dafür ist hauptsächlich die Tatsache, dass die Route im Vorhinein bekannt sein muss, die ein Taxi auch genau befahren muss, um als Durchfahrer zu gelten. Diese Anforderung zieht einen sehr hohen Berechnungsaufwand mit sich, der nicht mit einer Erhöhung der Güte der ermittelten Reisezeit verbunden ist, wie die Auswertungen in Kapitel 4.6 und 4.7 zeigen.

Untersucht werden die durch Taxis erhobenen Rohdaten, die in dieser Form keine übliche Anwendung finden. Im standardisierten Gebrauch des vom AIT entwickelten FLEET Systems wird die aktuelle Datengrundlage u. a. mit historischen Daten kombiniert, wodurch wesentlich genauere Reisezeitprognosen erzielt werden können. Ein Exkurs in Kapitel 6 beschreibt einen durchgeführten Datenvergleich anhand einer mit historischen Werten kombinierten Datengrundlage. Für die vorliegende Arbeit sind die Verifizierung der Methode in ihrer Ursprungsform und die Betrachtung von unterschiedlichen Varianten von Bedeutung, um die Auswirkungen auf die Qualität der Reisezeiterfassung des FCD Systems zu untersuchen. Damit können ursprüngliche Systemfunktionen samt Datengrundlage auf Plausibilität überprüft sowie Grenzen von FCD ausgelotet, und nicht eine Variante der Datenkorrektur evaluiert werden.

Die unterschiedlichen Möglichkeiten Daten aufzubereiten um die allgemeine Qualität der Information zu verbessern, sind aufgrund ihrer umfangreichen Thematik nicht Teil dieser Arbeit. Nur beispielhaft wird, um einen generellen Eindruck zu bekommen, ein Vergleich von Daten, die unter Einbeziehung von historischen Werten korrigiert wurden, mit jenen des Referenzsystems ANPR vorgenommen (s. Kapitel 6).

Die Beurteilung der Güte der Reisezeitmessungen der FCD Methoden „linkbezogen und Durchfahrer“ erfolgt unter Betrachtung von unterschiedlichen Kriterien, um die möglichen Grenzen der Systeme auszuloten. Hierfür wird die Datengrundlage für Intervalle von 15 und 5 Minuten aggregiert und die unterschiedlichen Verkehrszustände bewertet. Dabei findet die 5 Minuten Aggregation im operablen Betrieb des FLEET Systems keine Anwendung und wurde für die Datenanalyse im Rahmen der Arbeit eingeführt.

Augenmerk wird auch auf die Höhe der Datenverfügbarkeit und der damit verbundenen Aussagekraft der Ergebnisse gelegt. Es ergibt sich in Abhängigkeit des aggregierten Zeitintervalls und der Variante der Reisezeitberechnung durch FCD eine unvollständige Messzeitreihe. Aufgrund einer relativ geringen Taxidichte (s. Kapitel 3.4.5) auf der Teststrecke, konnte keine durchgehende Datenerhebung gewährleistet werden, d. h. es befand sich nicht zu jedem Zeitintervall ein Messfahrzeug auf der Strecke oder einem Link. Die Anzahl jener Intervalle des Messzeitraums, in denen Verkehrsdaten erhoben wurden, werden mittels der Datenverfügbarkeit beschrieben. Diese beeinflusst wesentlich die Aussagekraft der durchgeführten Auswertung.

5.1.2.1 FCD linkbezogen

Die **FCD linkbezogene** Methode neigt im Allgemeinen dazu, die Reisezeit zu überschätzen. Vorweggenommen sei an dieser Stelle, dass die 15 Minuten Aggregation eine genauere Reisezeit angibt, als die 5 Minuten Aggregation.

Am **Abschnitt 1** können Unterschiede in der Reisezeitabschätzung für die Szenarien freier Verkehr und Stau zwischen den aggregierten Daten der 15 Minuten und 5 Minuten Intervalle festgestellt werden. Die Datenverfügbarkeit liegt bei einer Aggregationintervalle von

15 Minuten bei 95 % bei Betrachtung des Gesamtverkehrs, wobei 96,7 % der Daten im Staufall verfügbar sind. Bei einer Aggregation mit einem Intervall von 5 Minuten ergibt sich eine Datenverfügbarkeit von 42 %, jeweils bei Betrachtung des Gesamtverkehrs als auch des Staufalls.

Bei der **15 Minuten** aggregierten Datengrundlage wird im freien Verkehr die Reisezeit überschätzt und im Staufall unterschätzt. Im Mittel ergibt sich eine Überschätzung der Reisezeit mit einer Differenz von 9,3 % und einer Standardabweichung von 15,4 %. Für den Endnutzer stellt dies eine ausreichend genaue Reisezeitschätzung dar, mit dem Hinweis, dass Stausituationen im Vergleich zu den querschnittsbezogenen stationären Systemen durch das dynamische System besser erkannt werden. Vor allem werden sie in ihrem Ausmaß gut genug erkannt, um auf eine außergewöhnliche Verkehrssituation schließen zu können. Weiters sind die Abhängigkeiten der Reisezeitdifferenz von der Stichprobengröße zu erkennen. Mit steigender Anzahl an Messungen je Link und Zeitintervall verringert sich die Differenz zwischen den Reisezeiten der miteinander verglichenen Systeme, d. h. die Reisezeitschätzung wird genauer.

Bei der **5 Minuten** aggregierten Datengrundlage wird zumeist unabhängig vom Verkehrszustand die Reisezeit überschätzt. Im Mittel liegt die Differenz der Reisezeiten bei 25,9 % und es liegt eine Standardabweichung von rund 45 % vor. Die Gegenüberstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD im 5 Minuten-Intervall zeigen schwankende und ungleichmäßige Differenzen voneinander auf. Zwar wird die Entwicklung der Reisezeit tendenziell erkannt, jedoch oft stark überzeichnet dargestellt. Diese Charakteristik kann auch als ein Überspringen, selbst bei geringen Änderungen der Reisezeit, beschrieben werden und zeigt, dass Einzelfahrzeuge die Aussagen verfälschen können. Dies ist höchstwahrscheinlich auf die zu starke Gewichtung der Daten von einzelnen Fahrzeugen in dem kurzen Intervall von 5 Minuten zurückzuführen.

Abhängig von der Stichprobengröße zeigt sich auch hier der typische Zusammenhang: Die Differenz der erfassten Reisezeit zur Referenzreisezeit verringert sich mit steigender Stichprobengröße. Damit lässt sich die Problematik des kurzen Erfassungsintervalls von 5 Minuten darstellen, indem sich die abweichende Reisezeitschätzung durch FCD mit einer unzureichenden Stichprobengröße begründen lässt. Es besteht die Möglichkeit, dass in manchen Intervallen gar kein Taxi gefahren ist und somit Lücken in der Informationsübertragung auftreten können. Aufgrund zu weniger Taxis, die in dem Erfassungsintervall Daten liefern, werden einzelne Werte, oder auch einzelne Links stärker gewichtet, so dass die Reisezeit verzerrt auf dem gesamten Streckenabschnitt dargestellt wird. Realitätsnahe Reisezeiterfassungen könnten bei einem niedrigen Aggregationsintervall auf Routen mit einer höheren FCD Abdeckung erzielt werden.

Die Frage nach einer ausreichenden Datengrundlage in einem Intervall kann somit auch im Zusammenhang der Streckenabhängigkeit gestellt werden. Denn der für die vorliegende Thematik gewählte Abschnitt 2 der Teststrecke wurde nicht so häufig von Taxis befahren. Dies lässt auf eine allgemein geringe Stichprobengröße je Messintervall schließen, wo mit sich die Grenzen der dynamischen Verkehrsdatenerhebung erkenntlich zeigen.

Am **Abschnitt 2** kann gut die Auswirkung der Streckenposition und der einhergehenden Taxianzahl auf die Erfassungsqualität der Reisezeit dargestellt werden. Die Datenverfügbarkeit liegt für das 15 Minuten-Intervall bei 86,5 % und für das 5 Minuten-Intervall bei 26,8 %.

Bei den Daten des **15 Minuten** Intervalls zeigt sich schon die nicht ausreichende Güte der Reisezeitschätzung mit einem stark schwankenden Verlauf und einer hohen Dynamik der Änderung der Reisezeit. Die Tendenz der Reisezeitentwicklung wird durch FCD nur ansatzweise erkannt und um ein Vielfaches überschätzt. Zum Teil lässt sich ein zeitlicher Versatz der Reisezeiterhebung vermuten. Die erhobene Reisezeit differiert im Mittel um 16,7 % zur Referenzreisezeit, die Standardabweichung beträgt rund 37 %. Für das Aggregationsintervall von 15 Minuten reicht die Anzahl der Taxis aber dennoch nicht aus, um eine gute Reisezeitschätzung abzugeben.

Bei der **5 Minuten** aggregierten Datengrundlage wird diese Erkenntnis noch mehr bestärkt. Im Mittel liegt hier die Reisezeitdifferenz bei 65,4 % und Standardabweichung bei rund 71 %. Ein Vergleich der dargestellten Reisezeiten zeigt eine stetige, fast willkürliche Überschätzung durch die linkbezogenen FCD.

5.1.2.2 FCD Durchfahrer

Bei den Daten der **FCD Durchfahrer** Methode muss teilweise eine deutlich geringere Datenverfügbarkeit im Vergleich zu der linkbezogenen Methode angemerkt werden. Trotzdem weisen sie eine ähnliche Charakteristik zu den Daten der 15 Minuten aggregierten FCD linkbezogen auf. Die Reisezeit wird sowohl beim 15 Minuten-Intervall, wie auch beim 5 Minuten-Intervall, im freien Verkehr überschätzt und im Staufall unterschätzt. Die Durchfahrer Methode weist bei gesamtheitlicher Betrachtung eine geringe Verbesserung der Reisezeitschätzung im Vergleich zu der linkbezogenen auf, die aufgrund des hohen Konfigurations- und Berechnungsaufwandes, die diese Methode mit sich bringt, wieder relativiert wird.

Die Datenverfügbarkeit am **Abschnitt 1** beträgt für das Aggregierungsintervall von 15 Minuten 61 % und für den Staufall 52,8 %. Für das 5 Minuten-Intervall zeigt sich eine wesentlich geringerer Datenverfügbarkeit mit 28,8 % für den Gesamtverkehr und 19 % im Staufall.

Der Verlauf der Reisezeit wird am Abschnitt 1 durch die FCD Durchfahrer gut erkannt, wobei für die Szenarien freier Verkehr und Stau die Reisezeit unterschiedlich eingeschätzt wird. Bei der **15 Minuten** aggregierten Datengrundlage wird die Reisezeit durch FCD höher angegeben und weist im Mittel eine Differenz zur Referenzreisezeit von rund 9,6 % und eine Standardabweichung von etwa 17 % auf.

Von der Stichprobengröße lässt sich die oben beschriebene typische Abhängigkeit erkennen, d. h. je mehr Taxis in dem Erfassungsintervall den Streckenabschnitt durchfahren, desto geringer weicht die vom FLEET System berechnete Reisezeit von der Referenz ab. Die Problematik, dass sich wahrscheinlich bei den Durchfahrern eine geringere Stichprobe als bei FCD linkbezogen ergibt, scheint sich nicht in der Güte der Reisezeiterfassung widerzuspiegeln.

Bei dem **5 Minuten** Aggregierungsintervall weisen die Daten eine ähnliche Charakteristik wie die 15 Minuten Werte auf. Im Mittel wird die Reisezeit mit einer Differenz von 10,8 % überschätzt. Die Standardabweichung der Reisezeitdifferenz beträgt rund 18 %.

Die Abhängigkeit der Reisezeitdifferenz von der Stichprobengröße zeigt sich deutlich, indem sich mit einer höheren Anzahl an Messfahrzeugen, welche die Strecke durchfahren, die Differenz der Reisezeiten wesentlich verringert.

Am **Abschnitt 2** liegen für ein Aggregierungsintervall von 15 Minuten 28,6 % der Daten vor, für das 5 Minuten-Intervall stehen lediglich 10,4 % der Daten zur Verfügung.

Es zeigt sich bei den vorhandenen Daten am Abschnitt 2 hauptsächlich eine Unterschätzung der Reisezeit. Bei einem Aggregierungsintervall von **15 Minuten** liegen die Reisezeitdifferenz im Mittel bei 5,5 % und die Standardabweichung bei knapp 7 %.

Auch beim **5 Minuten** Aggregierungsintervall wird die Reisezeit mit einer im Mittel liegenden Differenz von 8,7 % unterschätzt. Die Standardabweichung beträgt in diesem Fall rund 11 %.

Im Zusammenhang mit der Stichprobengröße zeigt sich trotz der geringen Anzahl an Daten die typische Abhängigkeit der Reisezeitdifferenz von der Größe der Stichprobe. Die Differenz wird minimal mit steigender Stichprobengröße. Das bedeutet, wenn ausreichend Taxis die zweite Teilstrecke durchfahren, ergeben sich gute Übereinstimmungen mit der erfassten Referenzreisezeit.

5.2 Vor- und Nachteile, Anwendungsgrenzen

Dieses Kapitel diskutiert die Vor- und Nachteile der einzelnen Verkehrsdaterfassungssysteme anhand der in Kapitel 4 präsentierten Daten. Darüber hinaus werden aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse die Anwendungsgrenzen der Systeme abgeleitet. Der Wichtigkeit wegen sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass die nachfolgende Diskussion immer mit Referenz auf das videobasierte Kennzeichenerfassungssystem (ANPR) erfolgt. Das Verkehrsgeschehen wird hierbei zwar systembedingt mit einer Abweichung zur Realität erhoben, jedoch liegt für die durchgeführte Systemanalyse eine ausreichend hohe Erfassungsrate vor.

5.2.1 Radarsensor

Der Radarsensor erfasst die Geschwindigkeit und die daraus berechnete Reisezeit im ersten Abschnitt mit einer geringen Unterschätzung der Reisezeit. Stauspitzen werden jedoch nur sporadisch erkannt. Zusätzlich ist das Phänomen zu beobachten, dass ein Staufall am Anfang des Abschnitts zum Rückschluss führt, dass Stau am ganzen Abschnitt vorherrscht. Aus diesem Grund kommt es zu einer ausgeprägten Reisezeitüberschätzung am Abschnitt 2 der Teststrecke.

Die Güte der Reisezeitgenauigkeit hängt stark von der Positionierung des Radarsensors und des Geschwindigkeitsverhaltens am Streckenabschnitt ab. Ein Aufstellungsort kurz vor einer Verkehrslichtsignalanlage (VLSA) kann z. B. dazu führen, dass wartende Fahrzeuge vor einer VLSA vom Radarsensor als im Stau stehend für den gesamten Streckenabschnitt interpretiert werden. Die Genauigkeit ist hauptsächlich dann hoch, wenn am Streckenabschnitt eine gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung vorherrscht. Das kann z. B. dadurch erreicht werden, dass die Streckenabschnitte möglichst klein gehalten werden, wodurch eine höhere Anzahl an Radarsensoren zum Einsatz kommen müsste.

Vorteil: Es kann aus der an einem Querschnitt gemessenen Geschwindigkeit eine genaue Reisezeitschätzung für einen Streckenabschnitt berechnet werden, sofern die Gegebenheiten der Strecke eine gewisse Homogenität beschreiben (möglichst keine Änderung der Geschwindigkeitsbegrenzung oder beeinflussende VLSA)

Nachteil: Durch einen am Querschnitt entstandenen und vom Radarsensor detektierten Stau wird fälschlicherweise für den gesamten folgenden Streckenabschnitt erhöhte Reisezeit angenommen. Vice versa, wenn Stau auf der Strecke aufkommt und nicht in den Erfassungsbereich des Radarsensors reicht, wird die tatsächlich höhere Reisezeit nicht erfasst.

Anwendungsgrenzen: Es ist eine genaue Ausrichtung auf den Fahrstreifen erforderlich. Bei mehr als einem Fahrstreifen ist folglich eine Überkopf-Montage erforderlich. Wenn wie im Rahmen dieser Testdurchführung der Radarsensor neben dem rechten Fahrstreifen positioniert wird, sind Überschattungen der Fahrzeuge möglich. Weiters beeinflusst die Anzahl der Radarsensoren auf einer Messstrecke die Genauigkeit der Reisezeiterfassung bei einem inhomogenen Verkehrsfluss.

5.2.2 Traffic Eye Universal

Das Traffic Eye Universal (TEU) liefert im Fall des freien Verkehrs relativ genaue Reisezeitschätzungen mit einer nur geringen Unterschätzung. Hingegen ist im Staufall eine signifikante Abweichung als Reisezeitunterschätzung von der Referenz festzustellen.

Die Genauigkeit der Reisezeit ist ähnlich wie beim Radarsensor deutlich vom Installationsstandort des Systems abhängig. Eine hohe Genauigkeit wird dann erzielt, wenn der Verkehrsfluss am betrachteten Streckenabschnitt weitgehend gleichmäßig ist. Es ist daher auf verkehrsstrategische Randbedingungen zu achten, wie sie auch für den Radarsensor Gültigkeit

haben. Im Allgemeinen ist daher festzuhalten, dass das TEU geeignet ist, um einen Überblick über das Verkehrsgeschehen zu bekommen.

Vorteil: Aus der am Querschnitt vom TEU gemessenen Geschwindigkeit lässt sich für den freien Verkehr eine genaue Reisezeitschätzung erreichen. Auch ausschlaggebend dafür ist die hohe Datenverfügbarkeit von über 95 %, bedingt durch die kontinuierliche Datenerfassung.

Nachteil: Um Staufälle mit hoher Wahrscheinlichkeit zu detektieren, müssen TEUs in ausreichender Anzahl über eine Strecke verteilt werden. Andernfalls kommt es zu einer deutlichen Unterschätzung der Reisezeit.

Anwendungsgrenzen: Die Positionierung zeigt sich als wesentliche Thematik bei der Beurteilung der aus den TEU-Daten generierten Reisezeiten. Auf der Teststrecke wird der durchschnittliche Verkehrszustand am Standort des TEUs für den gesamten Streckenabschnitt angenommen.

5.2.3 FCD linkbezogen

Floating Car Data (FCD) in ihrer Rohfassung in der Version linkbezogen wurden auf Basis von 15 Minuten und 5 Minuten Intervallen behandelt. Im 15 Minuten-Intervall stellt sich die Datenverfügbarkeit als ausreichend dar. Im Gegensatz dazu weist diese im 5 Minuten-Intervall weniger als 50 % auf. In Bezug zur Reisezeitermittlung ist im Fall des freien Verkehrs eine Überschätzung bei der 15 Minuten und 5 Minuten Variante zu beobachten. Im Staufall kommt es zu einer Unterschätzung bei der 15 Minuten und einer Überschätzung bei der 5 Minuten Variante.

Vorteile:

FCD als dynamisches System zur Verkehrsdatenerfassung kann im Gegensatz zu den stationären Systemen Stau an beliebigen Stellen erkennen. Eine Vordefinierung der Strecke ist nicht erforderlich, weil Strecken nach Belieben durch mehrere Straßensegmente („Links“) zusammengesetzt werden können. Ausreichend für die Reisezeiterfassung dabei ist, dass einzelne Fahrzeuge, welche Messwerte liefern, nur Teile einzelner Links befahren müssen. Das führt bei der linkbezogenen Methode zu einer höheren Stichprobengröße. Dadurch werden mehr Einzelwerte gesammelt, die gemittelt eine gute Annäherung an die tatsächliche Reisezeit darstellen. Es liegt eine höhere Flexibilität gegenüber den stationären Systemen oder der FCD-Durchfahrer vor.

Bei der Aggregation von **15 Minuten** ist die Trendentwicklung der Reisezeit gut erkennbar. Dieses Intervall wird in der amerikanischen Richtlinie Highway Capacity Manual [HCM 2000 S. 2-3] als gebräuchliche Basis für die Bewertung des Verkehrszustandes angesehen. Die Reisezeitüberschätzung im freien Verkehr liegt im tolerierbaren und für die weitere Verwendung ausreichend guten Bereich. Der Staufall wird als außergewöhnliches Verkehrsereignis gut erkannt, auch wenn die Höhe der Reisezeit Spitze durch FCD nicht zur Gänze erfasst wird. Allerdings stellt die Erkennung an sich schon einen wesentlichen Vorteil gegenüber den stationären Verkehrsdatenerfassungssystemen dar. Betonenswert sei an dieser Stelle die ausreichend gute Erhebung der Reisezeit schon alleine durch die rohe Messmethode.

Für die **5 Minuten** Aggregation liegt laut FSGV (2004) der Vorteil der kurzen Intervalllänge in der Erkennung von bestimmten Charakteristika in der Dynamik des Verkehrsflusses. Dies konnte bei Bewertung der vorliegenden Daten der FCD linkbezogenen Methode nicht bestätigt werden, was möglicherweise auf die unter 50 % liegende Datenverfügbarkeit zurückzuführen ist.

Nachteile:

Als Einschränkung kann eine **15 Minuten** Aggregation für eine bedingte Echtzeittauglichkeit angesehen werden. Qualitätsmindernd können sich auch Streckengegebenheiten auswirken, wenn z. B. durch lichtsignalregelte Kreuzungen ein- und abbiegende Fahrzeuge die

durchschnittliche Geschwindigkeit reduzieren. In Analogie zur Messtechnik kann diese Auswirkung als Rauschen bezeichnet werden.

Der vermeintliche Vorteil einer kurzen Intervalldauer kann für FCD linkbezogen aufgrund zu geringer Messwerte in einem Intervall nicht bestätigt werden. Für die **5 Minuten** Aggregation zeigen die Abweichungen der Reisezeit bei Kombination der linkbezogenen Methode mit einem niedrigen Aggregationsintervall die dem zugrunde liegenden Nachteile auf. Ist die Stichprobengröße aufgrund nur weniger Taxis im betrachteten Zeitintervall zu gering, kommt es zu großen Abweichungen bis hin zu beliebigen Aussagen hinsichtlich der Reisezeit. Das Aggregationsintervall von nur 5 Minuten trägt dazu bei, dass teilweise keine Messfahrzeuge oder eine zu geringe Stichprobengröße vorhanden sind und die Differenz der Reisezeit infolgedessen hoch ist. Zurückzuführen ist diese Charakteristik auf stärkere Gewichtung von Einzelfahrzeugen in einem Intervall, die die Aussage verfälschen können. Bei der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Analyse ist ein Überschwingen selbst bei kleinen Reisezeitänderungen erkennbar. Dies bedeutet ein hohes Ausmaß an Überschätzung und zeigt eine unruhige Darstellung der ermittelten Reisezeiten.

Anwendungsgrenzen:

Die Güte der Reisezeitschätzung leidet mit geringer werdender Stichprobengröße. Es kommt zu einer größeren Differenz der Reisezeit bezogen auf das Referenzsystem. Zwar lässt sich FCD an beliebigen Stellen einsetzen, liefert aber nur gute Reisezeitschätzungen für von Messfahrzeugen viel befahrene Routen, wie z. B. in Wien der Ring oder Gürtel.

Ein kleineres Messintervall könnte kurz andauernde ungewöhnliche Ereignisse im Verkehrsgeschehen erkennen, wenn eine ausreichende Stichprobengröße sich auf dem jeweiligen Streckenabschnitt befindet. Diese Annahme kann aufgrund einer zu geringen Datenmenge, welche in dem Messzeitraum durch FCD erhoben wurde, nicht ausdrücklich bestätigt werden.

5.2.4 FCD Durchfahrer

Floating Car Data (FCD) in ihrer Rohfassung in der Version Durchfahrer wurden auf Basis von 15 Minuten und 5 Minuten aggregierten Intervallen behandelt. Die Datenverfügbarkeit erweist sich außer für das 15 Minuten Aggregationsintervall als gering. Für den Verkehrszustand des freien Verkehrs ist ebenfalls eine Überschätzung wie bei der linkbezogenen Variante zu beobachten. Im Staufall kommt es zu einer geringen Unterschätzung sowohl bei der 15 Minuten als auch bei der 5 Minuten Variante.

Vorteile:

Die mögliche negative Beeinflussung der Reisezeitgenauigkeit durch die in die Strecke ein- und abbiegenden Fahrzeuge wie bei der linkbezogenen Methode ist nicht gegeben. Dies lässt sich bei den ausgewerteten Daten als geringeres Rauschen erkennen. Außerdem führt die geringe Datenverfügbarkeit nicht unbedingt zu einer schlechteren Reisezeitschätzung als bei FCD linkbezogen. Es kann die Aussage getroffen werden, dass die vorhandenen Daten in einer höheren Genauigkeit der Reisezeit resultieren.

Nachteile:

In Abhängigkeit der Route wird diese mehr oder weniger von Fahrzeugen befahren, welche Messdaten erheben. Wird ein Streckenabschnitt von Taxis nicht so häufig vom Anfangs- bis zum Endquerschnitt durchfahren, ist die Wahrscheinlichkeit einer zu niedrigen Stichprobe groß. Die geringe Datenverfügbarkeit lässt sich z. B. im 5 Minuten-Intervall am Abschnitt 2 eindeutig erkennen. Weiters erfordert diese Methode der Reisezeitberechnung der FCD einen hohen Mehraufwand, da die Strecke vorab definiert werden muss.

Anwendungsgrenzen:

Für FCD Durchfahrer ist eine vordefinierte Strecke notwendig, welche von den Fahrzeugen komplett durchfahren werden muss. Ist die Stichprobengröße gering, leidet die Datenverfügbarkeit und mit ihr die Aussagekraft der Reisezeitschätzung. D. h. nur wenn ausreichend Taxis die Strecke befahren, können genügend Messwerte vorhanden sein.

6 Exkurs: Vergleich der Daten von FCD linkbezogen in korrigierter Form und ANPR

Die in den Kapiteln 4.4 bis 4.7 betrachteten Floating Car Daten sind Rohdaten, wie sie die FCD Methode liefert. Rohe Messwerte werden stark von situationsbedingten Gegebenheiten und einzelnen Messfahrten beeinflusst. Es sollte damit gezeigt werden, auch wenn die Taxis in Summe nur einen geringen Prozentsatz am Gesamtverkehr ausmachen, die Reisezeit doch plausibel angegeben wird. Das Bestreben, die Technologie der FCD zu optimieren, steht dabei immer im Vordergrund, wobei eine Vielzahl an Systemvarianten zum Einsatz kommen, die zur Steigerung der Erfassungsqualität und Genauigkeit von FCD dienen.

6.1 Allgemeines

Eine Methode, die zur Datenverbesserung dient und eine breite Anwendung findet, ist die Kombination der Echtzeitdaten mit historischen Werten. Historische Daten werden mittels langjähriger Erhebung von FCD in einer umfangreichen Reisezeitdatenbank gesammelt. Aufgrund einer hohen Anzahl an Messfahrzeugen, welche kontinuierlich Verkehrsdaten erheben, baut sich in kurzer Zeit eine umfangreiche historische Datenbasis auf, indem aus den FCD Datensätzen u. a. die Verkehrsparameter Geschwindigkeit und Reisezeit berechnet und in der Datenbank gespeichert werden. Die historische Datengrundlage lässt eine zeitliche und räumliche Segmentierung der gefahrenen Geschwindigkeiten und ermittelten Reisezeiten auf einem Straßennetz zu [SCHÄFER, 2003].

Jedem Straßensegment („Link“) sind dabei historische Werte z. B. für die Geschwindigkeit mit zugehörigem Datum und Uhrzeit zugeordnet. Aus diesen ergibt sich ein durchschnittlicher historischer Wert für den aktuell betrachteten Zeitpunkt. Zu diesem Zweck ist eine Einteilung der Daten für die Tage im Jahr nach bestimmten Kategorien erforderlich. Diese Segmentierung erfolgt neben der Tageszeit auch z. B. nach Wochentagen, Feiertagen, Schulzeit, Ferien, etc. Die so gewonnenen historischen Ganglinien repräsentieren das normale Verkehrsgeschehen und haben somit den Anspruch den typischen Verkehrsablauf auf einem Abschnitt besser anzunähern als eine einzelne Echtzeitmessung. Um für eine Route eine möglichst genaue Geschwindigkeit / Reisezeit angeben zu können liegt es daher nahe, aktuelle FCD Informationen mit historischen Werten zu kombinieren [LABORCZI, 2004].

Durch Einbeziehen von historischen Ganglinien und Zusatzinformationen können Korrekturverfahren für die Echtzeit FCD Werte aufgebaut werden.

Abbildung 6-1 illustriert das allgemeine Prinzip solcher Datenfusionsverfahren. Dabei werden die aktuellen FCD Messungen mit historischen Daten bzw. Metadaten kombiniert und es wird ein verbesserter Echtzeitwert erzeugt. Entscheidend ist dabei das verwendete Datenfusionsverfahren: typischerweise kommen hier statistische Verfahren oder Verfahren aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz zum Einsatz, welche hinsichtlich ihrer Performance, Übertragbarkeit, Anforderung an Datengrundlage, Kalibrierung und Verwendung spezifische Vor- und Nachteile aufweisen.

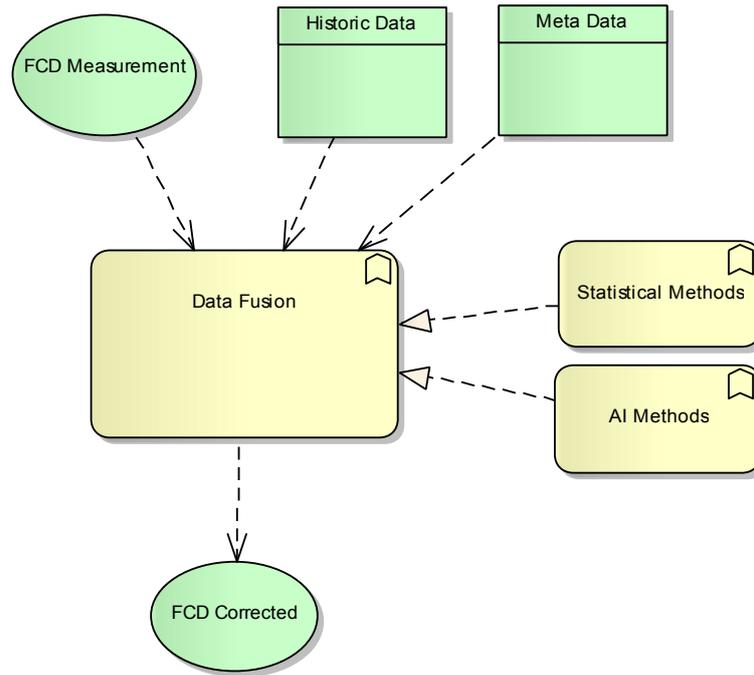


Abbildung 6-1: Korrekturverfahren für FCD

Obwohl es keinen Kernpunkt dieser Arbeit darstellt, sollte das aus diesem Vorgehen für FCD entstehende Verbesserungspotential nicht außer Acht gelassen werden. Daher wurde im Rahmen dieser Arbeit exemplarisch ein einfaches Verfahren zur Kombination der Echtzeit FCD Messungen mit historischen Messwerten untersucht, welches ohne aufwendig zu erhebende Metadaten und lange Trainings oder Kalibrierungsphasen auskommt, aber dennoch ausreichend erscheint, um das theoretisch vorhandene Verbesserungspotential zu illustrieren.

Das eingesetzte Verfahren basiert auf der Annahme, dass die historische FCD Reisezeitganglinie bei Normalverkehr einen vertrauenswürdigen Referenzwert darstellt und in Situationen, die sich nicht bedeutend von der Normalität unterscheiden, einen hohen Einfluss auf die gemeldete Reisezeit haben sollte. Der Ablauf des angewandten Verfahrens wird in Abbildung 6-2 dargestellt.

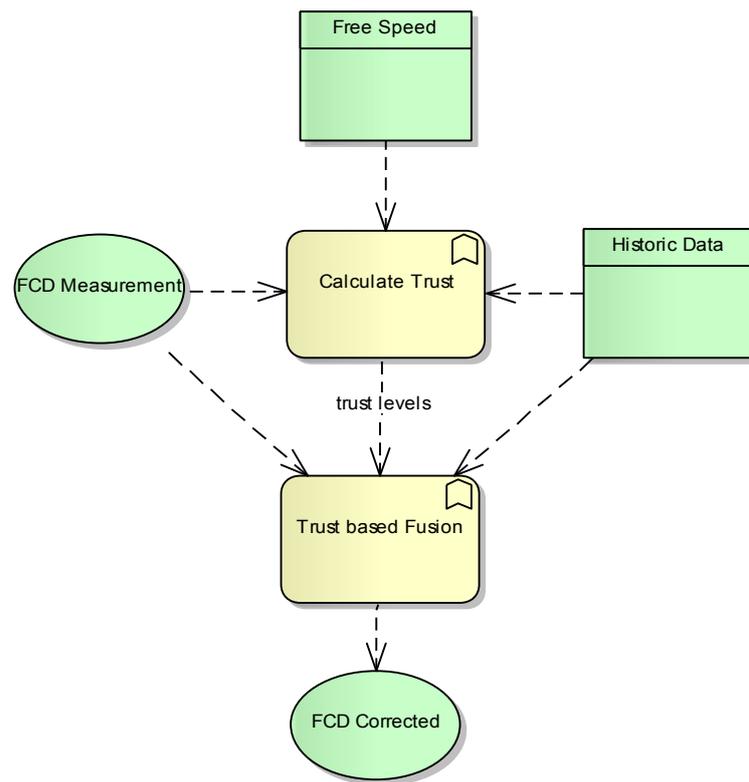


Abbildung 6-2: Kombination von Echtzeit und historischen FCD

Für jeden Echtzeit FCD Messwert wird zunächst anhand der historischen Datenbasis (Ganglinien und typische freie Reisegeschwindigkeit) entschieden, ob dieser signifikant von der in den Ganglinien vorhandenen Normalsituation abweicht und ein Vertrauensniveau berechnet: Bewegt sich der FCD Echtzeitwert innerhalb eines gewissen Streubereiches um den historischen Wert, wird ihm wenig Vertrauen eingeräumt. Ist die Abweichung so groß, dass sie nicht mehr durch die zu erwartende Messstreuung bei einem typischen Verkehrszustand erklärt werden kann, so wird der Echtzeitwert stärker gewichtet.

Anschließend wird ein kombinierter Wert aus Echtzeit FCD und Ganglinie berechnet. Wie stark der jeweilige Wert dabei in das Endergebnis eingeht, wird durch das zuvor bestimmte Vertrauensniveau festgelegt.

In der Praxis hat dieses Verfahren den Effekt, dass bei Normalverkehr dem historischen Wert ein wesentlich höheres Gewicht eingeräumt wird als dem Echtzeitwert. Dies scheint gerechtfertigt, da die aus einer großen Datenbasis entstandene historische Ganglinie das typische Verkehrsverhalten im Normalfall besser wiedergibt, als ein einzelner Messwert in Echtzeit. Ist die Abweichung zwischen der Echtzeitmessung und dem historisch typischen Wert jedoch ungewöhnlich hoch, muss davon ausgegangen werden, dass derzeit keine normale Verkehrssituation herrscht. In diesem Fall wird die aktuelle Reisezeit schätzung stark vom aktuellen FCD Messwert abgeleitet.

6.2 Datenvergleich

Die Kombination mit historischen Werten hilft somit dabei, die FCD basierten Aussagen genauer zu machen. Im Rahmen dieser Auswertung wurden historische Daten mit linkbezogenen FCD des Aggregierungsintervalls von 15 Minuten für den ersten Abschnitt der Teststrecke kombiniert.

Die Darstellung der Reisezeiten in Abbildung 6-3 zeigt im Gegensatz zu der Messmethode für Rohdaten vor allem in den Nachtstunden eine bessere Übereinstimmung der Daten. Dies kann damit begründet werden, dass die historischen Daten auf einen größeren Datenpool für die Nachtstunden zurückgreifen können, da Taxis vermehrt zu diesen Uhrzeiten den Streckenabschnitt befahren.

Die hohen Reisezeitenspitzen werden durch die korrigierten FCD nicht in ihrem vollen Ausmaß erkannt. Trotzdem ist in allen Staufällen FCD in der Lage, die Situation eindeutig als abnormale Verkehrssituation zu identifizieren. Dies stellt eine wertvolle Information für die praktische Anwendung wie z. B. in Verkehrsmodellen dar, auch wenn das Ausmaß der Reisezeitenspitzen unterschätzt wird.

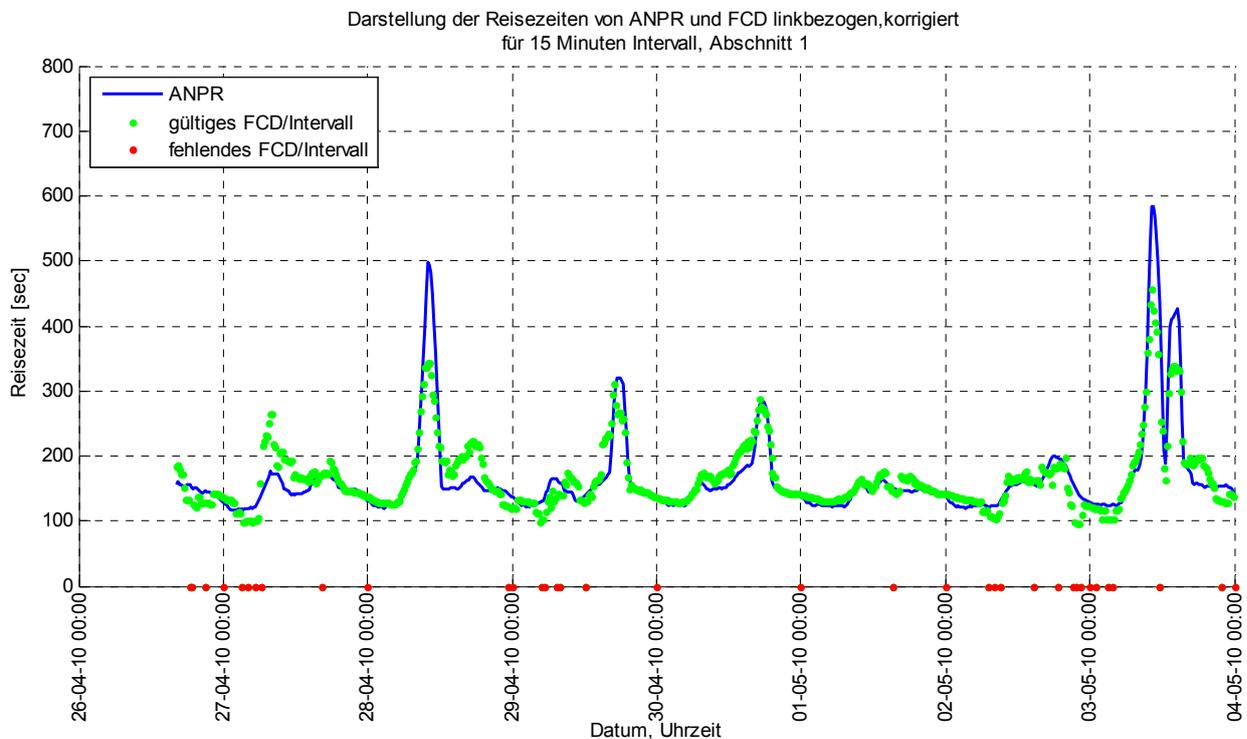


Abbildung 6-3: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD linkbezogen korrigiert; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

Im Vergleich zu der Messmethode für Rohdaten zeigen sich in allen Nächten des Messzeitraums vor allem in der Zeitspanne um Mitternacht geringere Reisezeitdifferenzen, wie Abbildung 6-4 erkennen lässt. Die hohen Reisezeitenspitzen werden durch die korrigierten FCD nicht in ihrem vollen Ausmaß erkannt und weisen eine Differenz von rund 50 % zur Referenzreisezeit auf. Im Allgemeinen kann festgehalten werden, dass die korrigierten Daten der FCD Methode vor allem die Reisezeit des Verkehrsflusses im stationären Bereich gemäß den Referenzdaten gut darstellen. Der instabile Bereich scheint bei besonders hohen Reisezeitenspitzen eine schwer einzuschätzende Eigendynamik aufzuweisen. Das System gewichtet in diesem Fall die Echtzeitdaten stärker als die historischen Werte.

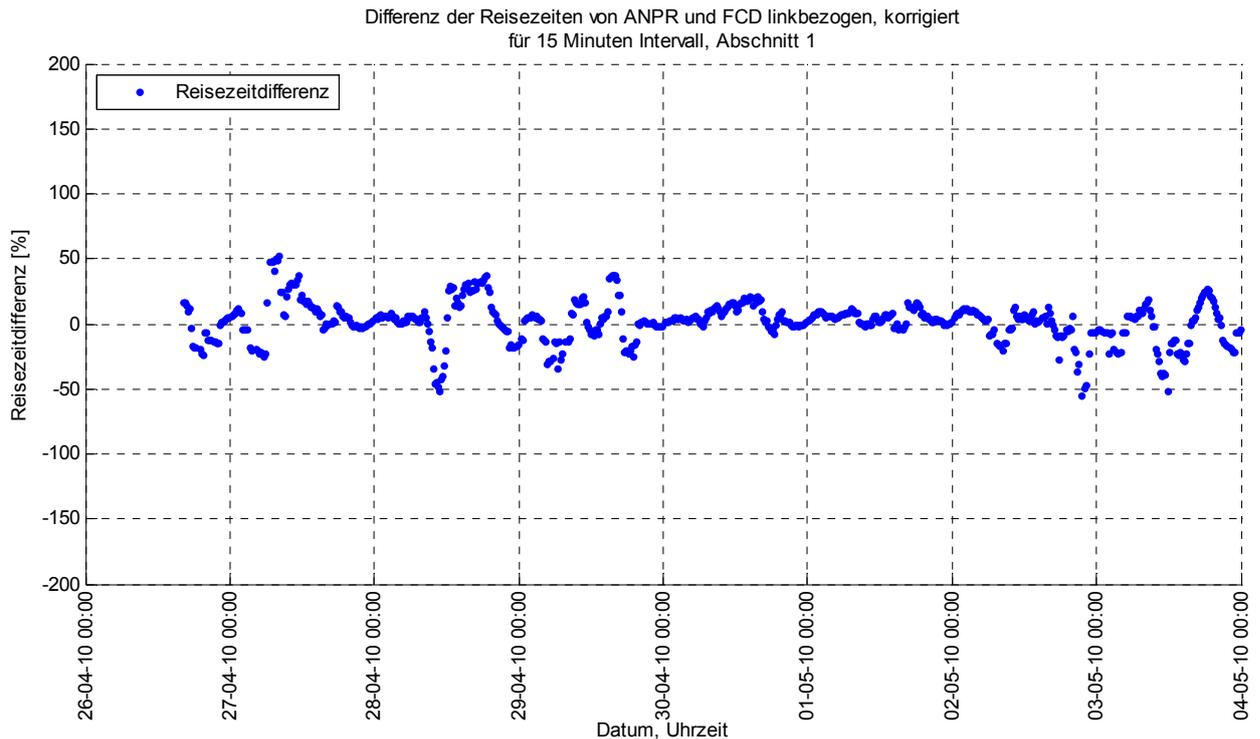


Abbildung 6-4: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen korrigiert; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

Im Vergleich zu den Durchfahrern und linkbezogenen FCD für das 15 Minuten Aggregierungsintervall ergibt sich eine deutlich geringere mittlere Differenz der Reisezeiten. Lag diese bei den Rohdaten bei rund 10 %, ist bei der Kombination mit historischen Werten eine Verbesserung auf 2,5 % zu beobachten, wie aus Abbildung 6-5 abzulesen ist.

Die Arbeitsweise des Korrekturverfahrens, welches in diesem Fall eingesetzt wurde, hat keine größere Stichprobe an sich zur Folge und zeigt aus diesem Grund analog den Rohdaten den Zusammenhang zwischen Reisezeitdifferenz und Stichprobengröße. D. h. die Reisezeitdifferenz verringert sich mit ansteigender Stichprobe. Jen e Daten, welche mit historischen Werten kombiniert wurden, zeigen jedoch unabhängig von der Stichprobengröße eine geringere Reisezeitdifferenz auf (s. Abbildung 6-6).

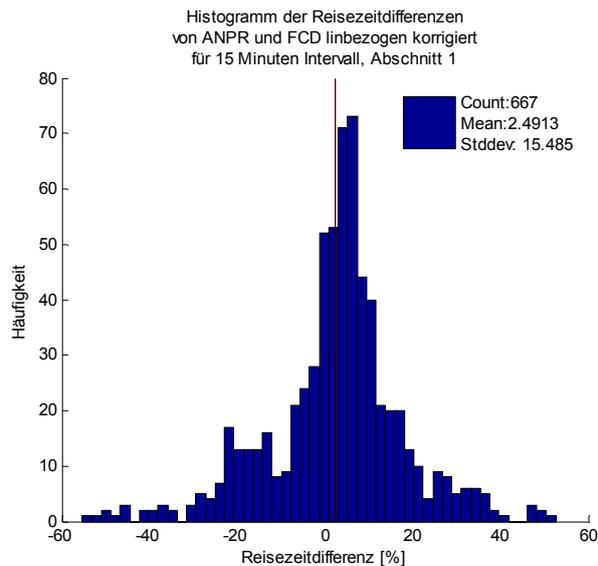


Abbildung 6-5: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD linkbezogen korrigiert; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

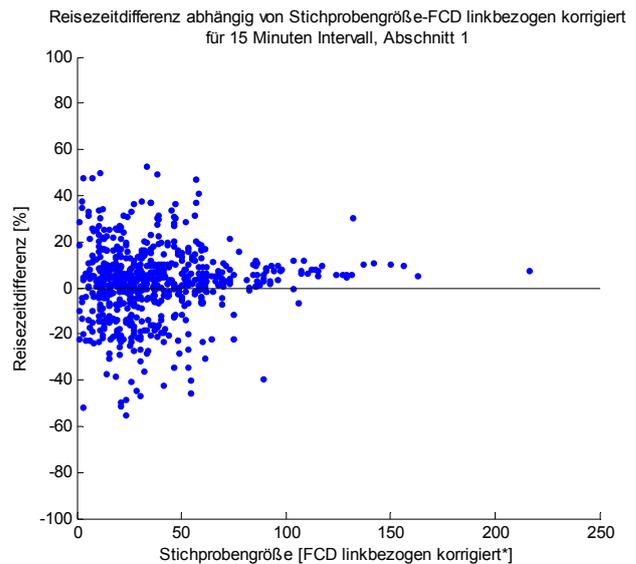


Abbildung 6-6: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen korrigiert in Abhängigkeit von der Stichprobengröße, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)

* Summe aus Anzahl der Messungen je Link und Zeitintervall, Daten mit historischen Werten kombiniert

6.3 Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Geringere Differenzen zu den durch die Referenzmethode ermittelten Reisezeiten konnten vor allem in den Nachtstunden erzielt werden. Eine mögliche Begründung kann in der größeren Anzahl an historischen Daten liegen, die für diese Uhrzeit vorhanden sind. Besonders untermauert wird diese These durch die mittlere Anzahl von Stichproben für die linkbezogene FCD Messung für ein Messintervall von 15 Minuten. Für den betrachteten Messzeitraum von einer Woche ergaben sich für die vorliegende Auswertung nachts rund doppelt so viele Messwerte, die durch die FCD linkbezogene Methode ermittelt wurden, wie im Vergleich zu den Mittagsstunden (vgl. Kapitel 3.4.5).

Es zeigt sich, dass bei freiem Verkehr historische Werte stärker gewichtet werden als die Echtzeitdaten, da eine große historische Datengrundlage das durchschnittliche Verkehrsaufkommen besser wiedergibt. Wenn jedoch die Reisezeit des aktuellen Messwertes deutlich von dem historischen Wert abweicht, erfolgt eine Reisezeitschätzung anhand des Echtzeitwertes. Denn ein Staufall weist eine hohe und schwer einzuschätzende Eigendynamik auf, weshalb die Echtzeitdaten als gültige Werte zur Berechnung der Reisezeit herangezogen werden. Im Wesentlichen ist die bessere Reisezeitschätzung für den freien Verkehr hervorstreichend.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass die Gewichtung zwischen historischen Daten und den Rohdaten von FCD einen wesentlichen Punkt für die Güte der Reisezeitschätzung darstellt. Unumgänglich in diesem Zusammenhang ist eine streckenbezogene Systemkalibrierung, da die Gewichtung der historischen Werte für jede Strecke individuell angepasst werden muss.

Vorteile:

Der wesentlichen Zielsetzung der Aufbereitung der rohen FCD mit historischen Daten liegt der Vorteil zugrunde, dass Daten eines langen Zeitraumes vorhanden sind. Diese in der Vergangenheit erfassten Verkehrsdaten dienen der Plausibilisierung aktueller Echtzeitwerte.

Auch eine Vervollständigung bei möglichen Lücken in der Datenreihe kann durch Variierung des Korrekturverfahrens erreicht werden. Weiters liefern die historischen Werte einen praktikablen Prognosealgorithmus für Reisezeitschätzungen.

Nachteile:

Der Datenpool muss richtig geclustert werden, um eine sinnvolle Vergleichsgrundlage zu liefern (Jahreszeit, Wochentage, Tageszeiten, Feiertag, Schulzeit, Ferien). Zusätzlich ist eine Systemkalibrierung individuell für die Strecke anzuwenden, um die historischen Ganglinien dem für eine bestimmte Strecke typischen Verkehrsverhaltens anzupassen. Die Korrekturmethode muss entscheiden, wie stark die historischen Werte gewichtet werden dürfen und in welchem Ausmaß den Echtzeitwerten Glauben zu schenken ist.

Anwendungsgrenzen:

Die Methode des Korrekturverfahrens für FCD kann nur dann zur Anwendung kommen, wenn genügend historische Daten vorhanden sind. Weiters ist eine bestimmte Kalibrierungsphase notwendig, um das Modell an eine realitätsnahe Verkehrssituation anzupassen. Auch hier zeigt sich als Anwendungsgrenze die Stichprobentheorie, denn je nach Stichprobengröße werden entweder die Echtzeitdaten oder die Historie stärker gewichtet.

7 Zusammenfassung

Heutzutage gibt es in der Literatur einen breiten Konsens, dass die Reisezeit für Verkehrsmodelle einen gewichtigen Parameter zur Prognostizierung von Verkehrsströmen darstellt. Für den einzelnen Verkehrsteilnehmer bildet sie eine leicht verständliche und nützliche Information zur persönlichen Routenplanung. Zur Ermittlung der Reisezeit ist es von besonderem Vorteil, dass die zur Berechnung notwendigen Technologien Messungen hoher Qualität liefern. Dadurch können Verarbeitungszeit und Ressourcen in nachfolgenden Bearbeitungsschritten gespart werden. Es ist somit von hohem Interesse zu wissen, welche Verkehrsdatenerfassungssysteme für welchen Anwendungsfall und in welcher Konfiguration geeignet erscheinen.

Das Ziel der Arbeit ist, diverse Systeme, welche Verkehrsdaten erheben, auf ihre Eignung hinsichtlich einer möglichst genauen Reisezeitermittlung zu untersuchen. In der Arbeit werden Systeme behandelt, die auf Video-, Infrarot-, Radartechnologie und GPS basieren. Die Auswahl dieser Technologien erfolgte anhand der Überlegung, dass sie zum einen in ihrer Anwendung weit verbreitet sein sollen. Zum anderen sind querschnittsbezogene und streckenbezogene Technologien dadurch abgedeckt. Aufgrund der hohen Erfassungsgenauigkeit wird die videobasierte Technologie als Referenzmethode zur Verkehrsdatenerfassung herangezogen, die auf dem Prinzip der Automatic Number Plate Recognition Methode (ANPR) beruht.

Hierfür wurde eine geeignete Testumgebung auf der Hadikgasse in Wien ausgewählt. Sie zeichnet sich durch den Bestand vielfältiger Sensoren, unterschiedlichster Verkehrslagen und in ihrer Heterogenität der Verkehrsinfrastruktur aus. Die Teststrecke besteht aus zwei Teilabschnitten, die sich in ihrem Charakter (z. B. Höchstgeschwindigkeit, Anzahl von Verkehrslichtsignalanlagen), ihrer Länge und Ausstattung mit Sensoren unterscheiden. Dabei wurden drei Messquerschnitte errichtet, an denen ANPR-Systeme für einen Messzeitraum von einer Woche aufgestellt wurden. Die Radarsensoren wurden in die ANPR-Systeme integriert, je einer pro Streckenabschnitt. Das Traffic Eye Universal (TEU), ein Vertreter der Infrarot basierenden Technologie, befand sich am ersten Streckenabschnitt. Floating Car Daten (FCD) wurden durch Taxis geliefert, welche die Teststrecke befuhren und ihre GPS Positionen in regelmäßigen Zeitintervallen übermittelten.

Nach der Verkehrdatenerfassung im Zeitraum von einer Woche erfolgte eine Auswertung der daraus ermittelten Reisezeit in Form einer Gegenüberstellung zum Referenzsystem ANPR. Dabei wurden die Reisezeiten beider Systeme für ein betrachtetes Zeitintervall visualisiert, sodass der Verlauf und die Übereinstimmungen dieser dargestellt werden konnten. Dies ermöglichte eine qualitative Beurteilung der Güte der erfassten Reisezeit. Des Weiteren wurden auf anschauliche Weise in quantitativer Form die positiven oder negativen Differenzen zwischen den Reisezeiten prozentuell dargestellt. In einer Häufigkeitsdarstellung wurden die Reisezeitdifferenzen und ihr Mittelwert präsentiert um zu zeigen, wie oft eine bestimmte Differenz auftrat.

Die Interpretation der Ergebnisse erfolgte auf Basis der oben beschriebenen Methode. Die Arbeit liefert folgende wesentliche Erkenntnisse hinsichtlich der Genauigkeit der Reisezeitermittlung:

Querschnittsbezogene, stationäre Systeme:

- Die Güte der erfassten Reisezeit ist beim Radarsensor und bei TEU stark **standortabhängig**. Durch einen am Querschnitt entstandenen und vom Radarsensor bzw. TEU erfassten Stau wird fälschlicherweise für den gesamten folgenden Streckenabschnitt eine erhöhte Reisezeit prognostiziert. Umgekehrt, wenn Stau auf der

Strecke aufkommt und nicht in den Erfassungsbereich der Sensoren reicht, wird die tatsächlich höhere Reisezeit nicht erhoben.

- Bei den stationären Verkehrsdatenerfassungssystemen ist die **Homogenität** der Strecke u. a. in Bezug auf das Geschwindigkeitsniveau ausschlaggebend. Ausreichende Genauigkeit der Reisezeitschätzung kann nur dann erzielt werden, wenn eine konstante Höchstgeschwindigkeit auf dem Streckenabschnitt vorgeschrieben wird.

Streckenbezogene, dynamische Systeme:

Die Qualität der durch FCD erhobenen Reisezeit wird vor allem durch die **Stichprobengröße** bestimmt, da die Messwerte von im Verkehrsgeschehen integrierten Messfahrzeugen (Taxis) stammen. Die Thematik einer genügend oder ungenügend großen Stichprobe hat wesentlichen Einfluss bei der Beschreibung einer Datengrundlage nach unterschiedlichen Themen: wie Stauerkennung, Aggregierungsintervall (5 oder 15 Minuten), Variante der Reisezeitberechnung (linkbezogen oder Durchfahrer), Streckenabschnitt (Abschnitt 1 oder 2). Diese Themen beeinflussen sich allerdings auch gegenseitig. Letztendlich spiegelt sich der komplexe Zusammenhang der Themen einerseits in der Datenverfügbarkeit und andererseits in der Güte der Daten wider.

- Zu einer unzureichenden Erkennung des Staufalls kommt es, wenn nun keine oder wenige Fahrzeuge sich im Staubereich befinden, d.h. die Stichprobe zu gering ist.
- Bedingt durch die Stichprobengröße ergeben sich unterschiedlich hohe Datenverfügbarkeiten in Abhängigkeit der Varianten der Reisezeitermittlung durch das FCD System (linkbezogen und Durchfahrer) und der Streckenwahl (Abschnitt 1 und Abschnitt 2). Es zeigt sich für den Messzeitraum, dass mehr Taxis den Abschnitt 1 und hierbei nur einzelne Links der Teststrecke befuhren, weshalb eine höhere Datenverfügbarkeit durch FCD linkbezogen erzielt wird. Bei den FCD Durchfahrer, also jenen Taxis, die den Streckenabschnitt von Anfang bis Ende durchfahren, ergibt sich eine geringere Datenverfügbarkeit. Dies kann vor allem am Abschnitt 2 beobachtet werden.
- Eine höhere Genauigkeit der Reisezeitschätzung kann für ein Zeitintervall von 15 Minuten im Rahmen der durchgeführten Messung auf der Hadikgasse in Wien festgestellt werden. Im Mittel ist die Differenz der Reisezeiten der betrachteten Erfassungssysteme bei einem 5 Minuten-Intervall größer. Begründet liegt dieses Verhalten darin, dass die Wahrscheinlichkeit einer größeren Stichprobe in einem 15 Minuten-Intervall höher ist. Zusätzlich werden Ausreißer hinsichtlich der erfassten Reisezeit bei einer größeren Stichprobe weniger stark gewichtet.
- Die Güte der ermittelten Reisezeit weist auch in Abhängigkeit der Varianten der Reisezeitberechnung Unterschiede auf. FCD Durchfahrer scheinen bei den vorhandenen Messwerten geringere Differenzen der Reisezeiten aufzuweisen als FCD linkbezogen. Jedoch lässt sich keine gesicherte Aussage nur auf Basis des Vergleichs der Reisezeitdifferenzen treffen. Aufgrund der geringen Datenverfügbarkeit kann kein Beweis für eine Allgemeingültigkeit der höheren Genauigkeit abgeleitet werden.

Die aus der durchgeführten Auswertung folgenden Ergebnissen und Erkenntnissen sollen eine Hilfestellung für die Beurteilung unterschiedlicher Verkehrsdatenerfassungssysteme darstellen, anhand welcher die Eignung zur Reisezeitermittlung abzuleiten ist. Sie zeigen auf, unter welchen Rahmenbedingungen querschnittsbezogene und streckenbezogene Systeme effizient in ihrer Anwendung hinsichtlich Reisezeitschätzung zum Einsatz kommen können. Besonders die Eignung der Systeme für die Stauerkennung bzw. die Bewertung der Güte der erhobenen Daten im Staufall lassen sich als wesentlicher Nutzen erkennen. Außerordentliche Aussagekraft erhalten diese Erkenntnisse, weil die Evaluierung auf einer großen Datenmenge basiert. Es werden direkte Vergleiche von drei Systemen anhand eines Referenzsystems auf derselben

Strecke und dem gleichen Zeitraum durchgeführt. Zusätzlich konnte die experimentelle Anwendung der Methode der FCD Durchfahrer und des Aggregierungsintervalls der Daten von 5 Minuten Vor- und Nachteile sowie Anwendungsgrenzen möglicherweise neuer FCD Varianten aufzeigen.

Die Motivation der Arbeit ist darzustellen, dass nicht ausschließlich auf Algorithmen zur Verarbeitung der Verkehrsdaten gebaut, sondern auch die Eignung der Systeme zur Verkehrsdatenerfassung für bestimmte Anwendungen hinterfragt werden sollte. Wenn Information über die Qualität der Rohdaten vorhanden ist, ist dies eine wesentliche Hilfestellung bei der Interpretation der Messdaten. In weiterer Folge kann das von Nutzen für die Verkehrsmodelle sein, die durch eine entsprechend korrekte Gewichtung der Daten verbessert werden könnten. Indirekt würde sich über dynamische Verkehrssteuerungssysteme eine effizientere Regulierung des Verkehrsflusses ergeben.

Die fortwährende Diskussion, welches System „das Beste“ zur Ermittlung der Reisezeit sei, wird auch weiterhin geführt werden. Die Arbeit liefert eine Argumentationsgrundlage, aus der hervorgeht, dass jedes System seine Berechtigung hat. Es muss zukünftig ein Ansatz gewählt werden, in dem eine Kombination mehrerer Systeme angewendet wird, sodass die jeweiligen vorteilhaften Eigenschaften zum Tragen kommen können und die bestmögliche Genauigkeit der Reisezeit erzielt wird.

8 Literaturverzeichnis

- BUSCH F.: Angebotsorientierte Ansätze des Verkehrsmanagements, Technische Universität München, Lehrstuhl für Verkehrstechnik, 2009
- BOVY P., THIJS R.: Estimators and of Travel Time for road networks, Delft University of Technology, Transportation Planning and Traffic Engineering Section, 2000
- CLARK M.A.G., KIDSON P., HODGE A.: Infrared detector development, International conference on road traffic control, 158-162, 1990
- EBE Solutions GmbH: Information zu Verkehrsstromanalyse (VSAS), <http://ebe-solutions.at/DE/vsas-verkehrsstromanalyse/view/> (30.08.2011)
- EVANS-PUGHE Ch.: Ro4d W4tch, Artikel im Magazin Engineering and Technology, 36-39, 2006
- FALCON: Technisches Datenblatt via Falcon PLUS, http://www.viatraffic.de/download/Deutsch/pdf/detektoren/Falcon_plus_net%20dt3.pdf (06.07.2011)
- FABRITIIS C., RAGONA R., VALENTI G.: Traffic Estimation and Prediction Based On Real Time Floating Car Data, in proceedings of the 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, China, 197-203, 2008
- FGSV Merkblatt (Entwurf): Das Fundamentaldiagramm – Grundlagen und Anwendung, Sitzung des FGSV-Arbeitsausschusses 3.18 „Theoretische Grundlagen des Straßenverkehrs“, 2004
- FHWA (Office of Highway Information Management Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation): Travel Time Data Collection Handbook, Report FHWA-PL-98-035, Kapitel 2, 1998
- GRÜBER B., RÖHR T.: Reisezeitmessungen setzen sich durch, Straßenverkehrstechnik 5.2007, 264-267, 2007
- HOYER R.: Vorlesung Grundlagen der Verkehrstechnik, Universität Kassel, Fachgebiet Verkehrstechnik und Transportlogistik, 2007
- HUEMER S.: Untersuchung des Zusammenhanges von Reisezeiten und Querschnittszählraten im untergeordneten Straßennetz, Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien, 2008
- KASPER A.: Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Verkehrszählraten und Reisezeiten auf der B17 – Wiener Neustädter Straße, Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien, 2010
- KUHNS G., EBENDT R., WAGNER P., SOHR A., BROCKFELD E.: Self Evaluation of Floating Car Data Based on Travel Times from Actual Vehicle Trajectories, in proceedings of 2011 IEEE Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems, Austria, 115-120, 2011
- KUTTELWASCHER Ch.: Vergleich verschiedener stationärer Sensorsysteme zur Verkehrsdatenerfassung an Straßenquerschnitten, Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien, 2003
- LABORCZI P., NOWOTNY B., LINAUER M., SCHNEIDER M., KARIM R., LEIHS D.: Optimal Route Guidance Based on Floating Car Data, arsenal research, Transport Technologies, Vienna, Austria, 2004
- LINAUER M.: FLEET Project report – Fleet Logistics Service Enhancement with Egnos&Galileo Satellite Technology, arsenal research, 2004

- LINAUER M.: Generierung streckenbezogener Verkehrsdaten als Basis für den Einsatz in Verkehrstelematiksystemen, Dissertationsarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien, 2005
- LIU H.: Travel Time Prediction for Urban Networks, Dissertationsarbeit an der Technischen Universität Delft, Delft, 2008
- MARGULICI J. D., BAN X.: Benchmarking travel time estimates, IET Intelligent Transport Systems, Band 2, Ausgabe 3, 228-237, 2008
- MITCHELL K.: Virtual weighstations with image-capture systems, Magazin TRAFFIC TECHNOLOGY INTERNATIONAL, Nick Bradley (Editor), 72-73, 06/07, 2011
- RAHMANI M., KOUTSOPOULOS H., RANGANATHAN A.: Requirements and Potential of GPS-based Floating Car Data for Traffic Management: Stockholm Case Study, in proceedings of 2010 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems, Portugal, 730-735, 2010
- ROTH Ch.: Erfahrungen mit dem Traffic Eye Universal (TEU), SIEMENS I&S ITS On Street Business Unit, Vortragsfolien, 2006, http://www.ziv.de/download/fiv10/6_roth_vortrag_teil1.pdf (28.01.2010)
- SAMMER G., RAICH U., STARCK J.: Verkehrsplanung und Verkehrspolitik, Universität für Bodenkultur, Institut für Verkehrsplanung, 2011
- SCHÄFER R.-P., THIESSENHUSEN K.-U., BROCKFELD E., WAGNER P., DLR, Institute of Transport Research: Analysis of travel times and routes on urban roads by means of floating-car data, 2002
- SCHÄFER R.-P., GÜHNEMANN A., THIESSENHUSEN K.-U.: Neue Ansätze im Verkehrsmonitoring durch Floating Car Daten, 19. Verkehrswissenschaftliche Tage "Mobilität und Verkehrsmanagement in einer vernetzten Welt", Deutschland, 2003
- SCHNABEL, W., LOHSE, D.: Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1997
- SCHNEIDER M., LINAUER M., HAINITZ N., KOLLER H.: Traveller information service based on real-time data in Austria, IET Intelligent Transport Systems, 1-14, 2008
- SIEMENS AG: Informationsblatt der Referenzprojekte SITRAFFIC Concert, 2006, <http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/en/Pages/siemens-mobility.aspx> (02.07.2011)
- SIMROTH A., ZÄHLE H.: Travel Time Prediction Using Floating Car Data Applied to Logistic Planning, IEEE Transaction on intelligent transportation systems, Vol. 12, No.1, 243-253, 2011
- SMYTH L.: Artistic licence, Magazin TRAFFIC TECHNOLOGY INTERNATIONAL, Nick Bradley (Editor), 31-33, 02/03, 2011
- TIMISCHL W.: Qualitätssicherung, Statistische Methoden, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag München Wien, 1996
- WIDHALM P., KOLLER H., PONWEISER W.: Identifying faulty traffic detectors with Floating Car Data, IEEE Forum on Integrated and Sustainable Transportation System (FIST S), 103-108, 2011

9 Anhang

9.1 Tabellarische Beschreibung der Teststrecke

Ergänzend zur Beschreibung der Teststrecke in Kapitel 3.3 werden hier die Abschnitte in tabellarischer Form dargestellt.

Tabelle 9-1: Abschnitt 1 (Querschnitt 1 – Querschnitt 2)

Straßenkreuzung	Stationierung [km]	v [km/h]	Bemerkungen
Querschnitt 1	0,000	50	Badhaussteg, Hadikgasse Nr. 96 VLSA 30 m vor dem Standort, 1 ANPR - System pro Fahrstreifen.
Ameisgasse	0,029	50	Kreuzung (rechts)
Jenullgasse	0,175	50	Rechts wegführende Einbahn, VLSA nach der Kreuzung
Onno-Klopp-Gasse	0,328	50	Kreuzung (rechts)
Leegasse	0,497	50	Kreuzung (rechts)
Astgasse	0,702	50	Rechts einmündende Einbahn
Kaltenböckgasse	0,815	50	Kreuzung (rechts, Beginn des Abbiegestreifens nach rechts)
Zehetnergasse / Sankt-Veit-Gasse (Baumgarten Brücke)	0,933	50	VLSA, Kreuzung (rechts wegführende Einbahn/ links einmündende Einbahn)
Cumberlandstraße	1,052	50	Rechts einmündende Einbahn
Hackinger Straße	1,168	50	Rechts einmündende Einbahn
Traffic Eye Universal (TEU)	1,200	50	Standort des stationären Systems
Guldengasse / Guldenbrücke	1,406	50	VLSA, Kreuzung (rechts und links)
Kefergasse	1,637	50	VLSA, Kreuzung (rechts)
Querschnitt 2	1,793	50	Hadikgasse Nr. 254 (Höhe McDonald´s) 1 ANPR - System pro Fahrstreifen

Tabelle 9-2: Abschnitt 2 (Querschnitt 2 – Querschnitt 3)

Straßenkreuzung	Stationierung [km]	v [km/h]	Bemerkungen
Querschnitt 2	1,793	50	Hadikgasse Nr. 254 (Höhe McDonald's) 1 ANPR - System pro Fahrstreifen
Kreisverkehr Johann-Gundacker-Gasse	1,847	50	Zu- und Ausfahrt des Kreisverkehrs
Hochsatzengasse/ Sankt-Veiter-Brücke	1,926	50	VLSA, Kreuzung (rechts einmündende Einbahn/ links Straße in beide Richtungen)
Erwin-Puschmann-Gasse	2,101	50	Rechts einmündende Einbahn
Käthe-Dorsch-Gasse	2,350	50	Rechts wegführende Einbahn
Käthe-Dorsch-Gasse	2,448	50	Rechts einmündende Einbahn
Deutschordenstraße	2,595	50	VLSA, Kreuzung (rechts)
Zufahrt zur P&R Anlage Hütteldorf			VLSA, links einmündende Einbahn
Rußpekgasse (Hütteldorfer Brücke)	3,236	50	VLSA, Kreuzung (links), Beginn 70 km/h
Querschnitt 3	4,911	70	Erfassung des rechten Fahrstreifens mit einem ANPR - System, Beginn des 3.Fahrstreifens ca. 350 m vor dem Querschnitt 3

9.2 Reisezeitdarstellung

9.2.1 Abschnitt 1

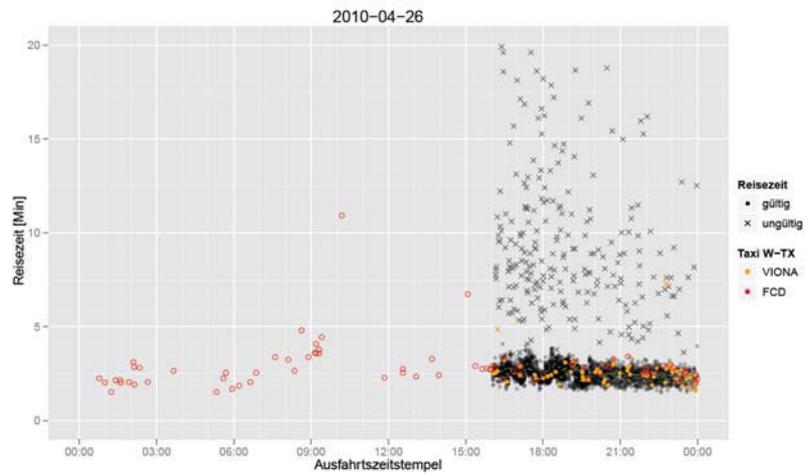


Abbildung 9-1: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Montag, 26.04.2010

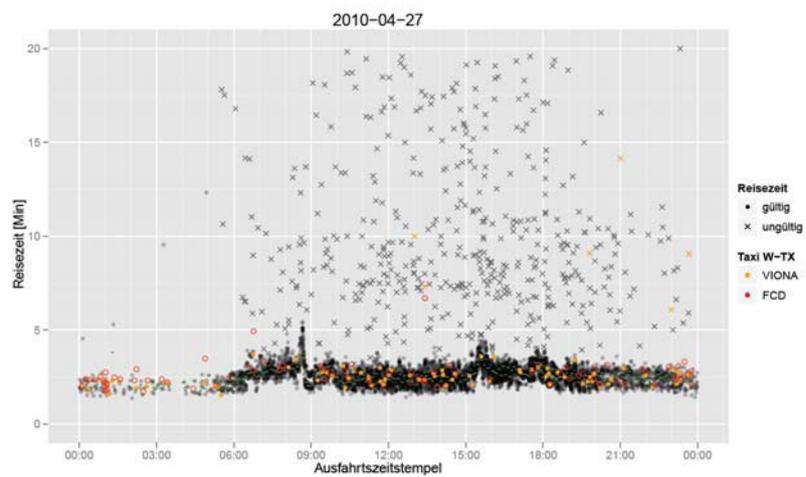


Abbildung 9-2: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Dienstag, 27.04.2010

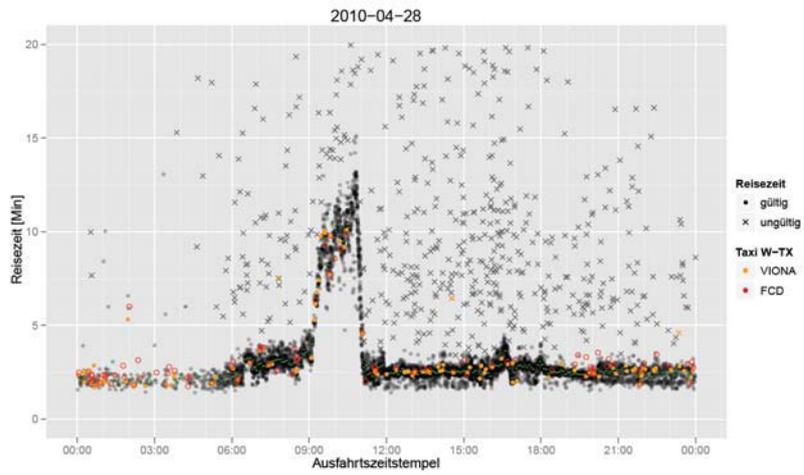


Abbildung 9-3: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Mittwoch, 28.04.2010

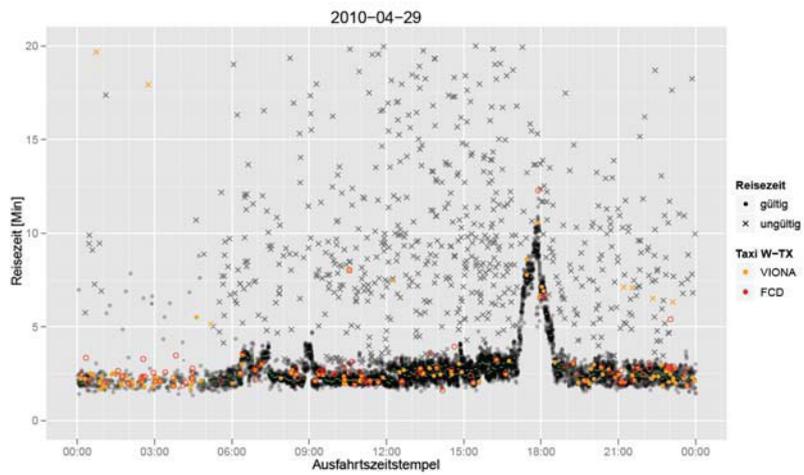


Abbildung 9-4: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Donnerstag, 29.04.2010

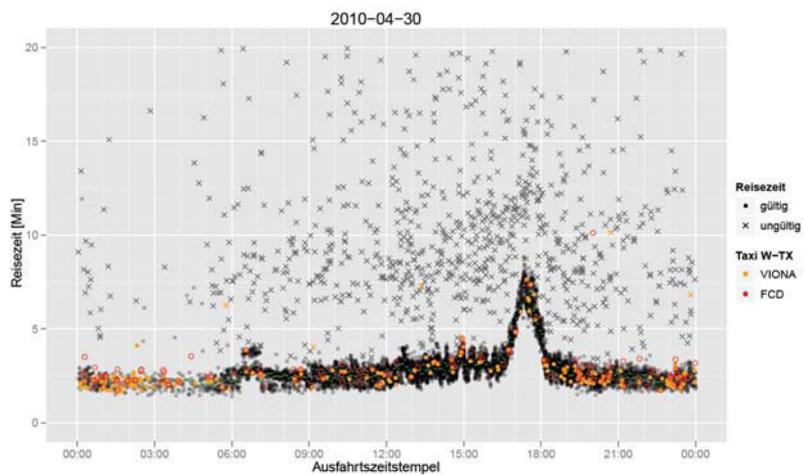


Abbildung 9-5: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Freitag, 30.04.2010

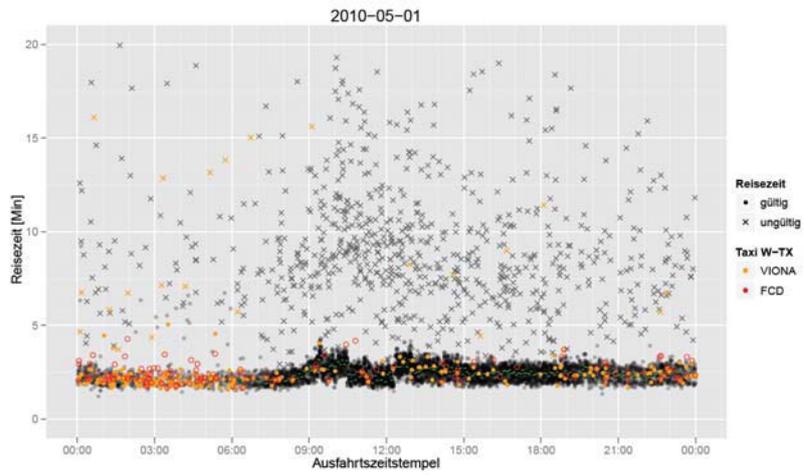


Abbildung 9-6: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Samstag, 01.05.2010

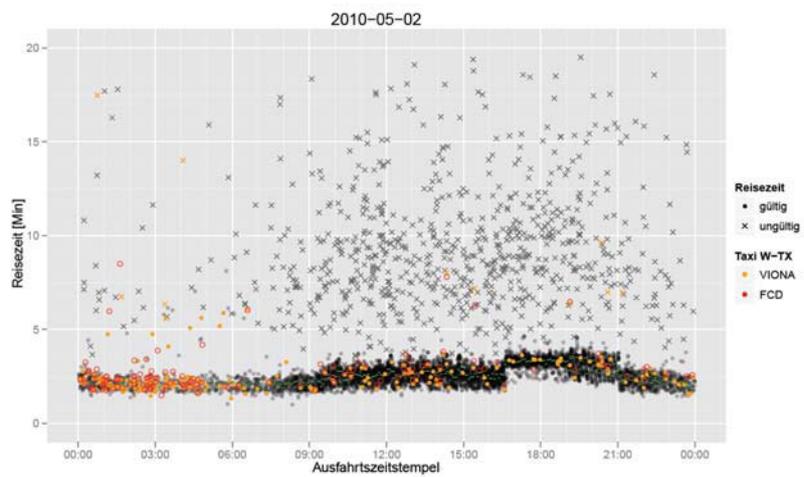


Abbildung 9-7: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Sonntag, 02.05.2010

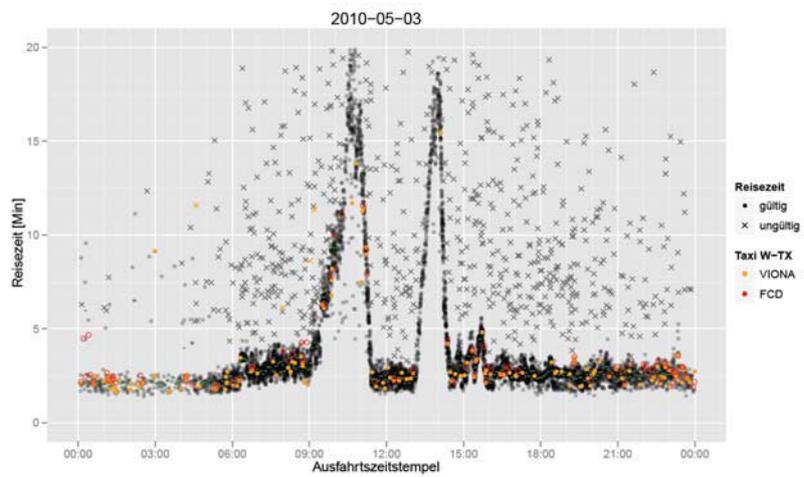


Abbildung 9-8: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Montag, 03.05.2010

9.2.2 Abschnitt 2

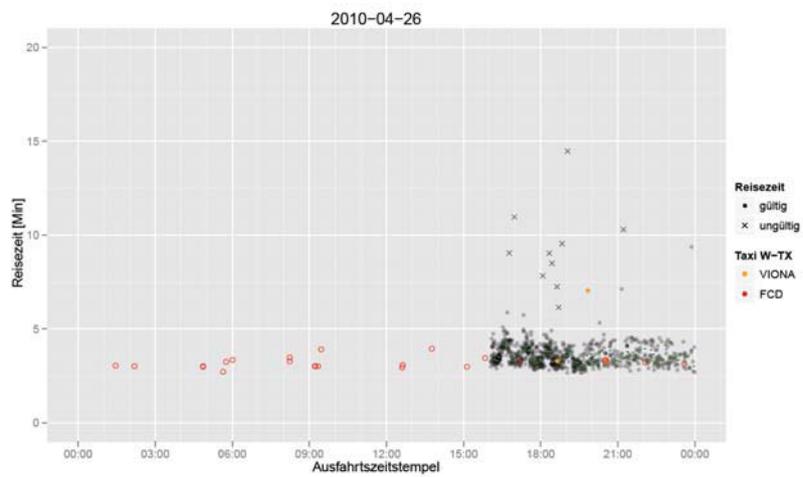


Abbildung 9-9: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 2, Montag, 26.04.2010

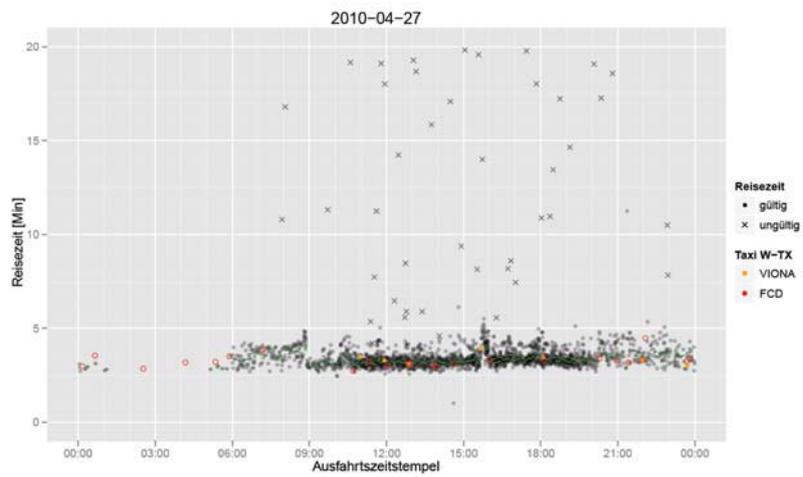


Abbildung 9-10: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 2, Dienstag, 27.04.2010

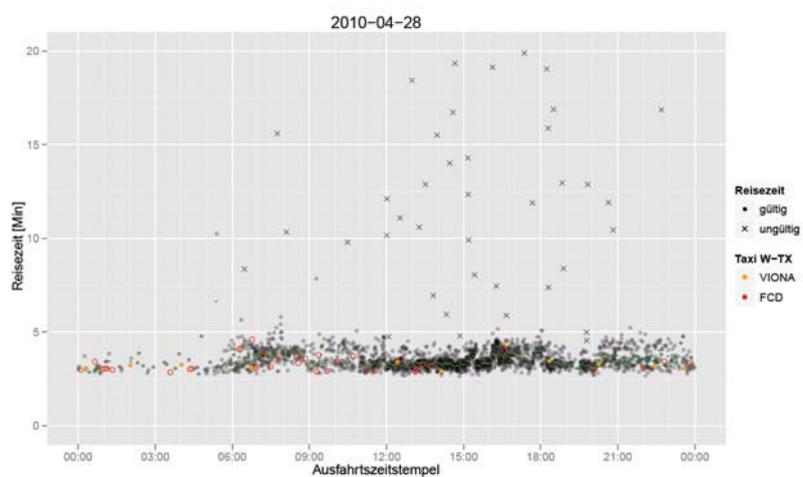


Abbildung 9-11: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 2, Mittwoch, 28.04.2010

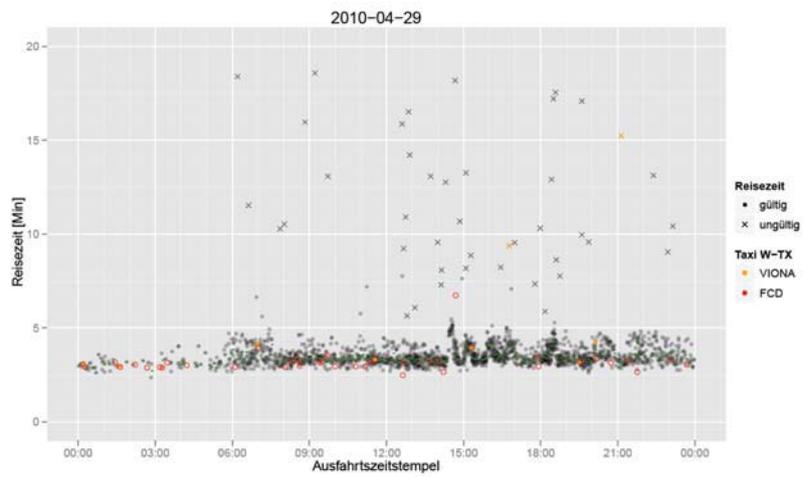


Abbildung 9-12: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 2, Donnerstag, 29.04.2010

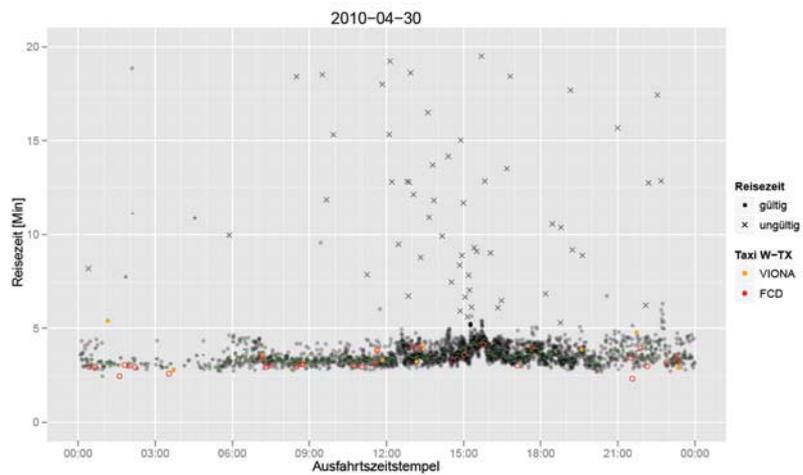


Abbildung 9-13: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 2, Freitag, 30.04.2010

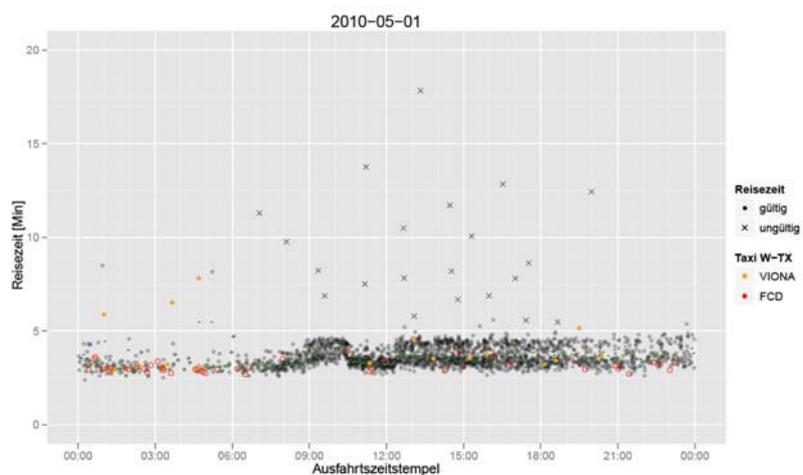


Abbildung 9-14: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Samstag, 01.05.2010

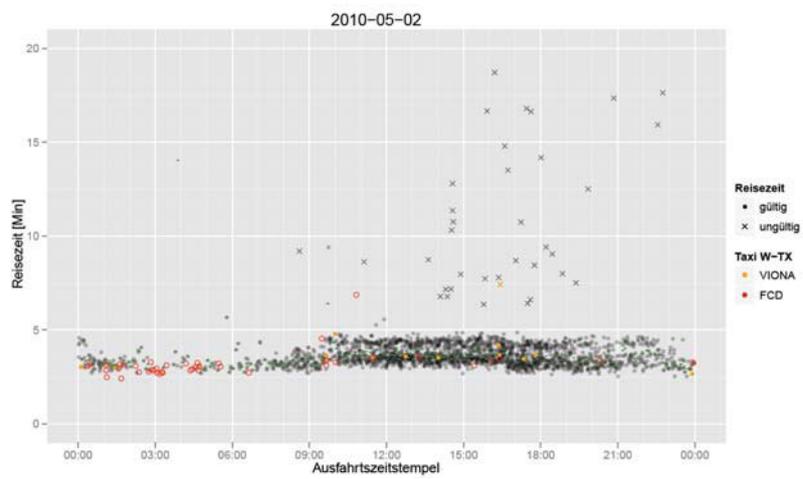


Abbildung 9-15: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 2, Sonntag, 02.05.2010

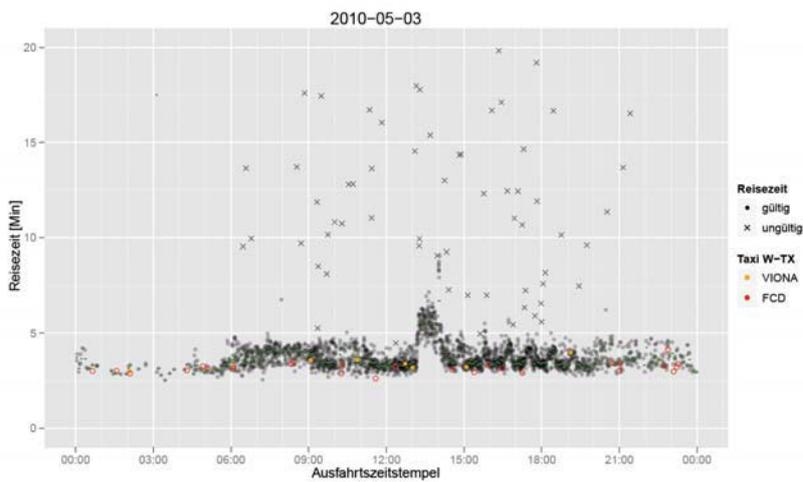


Abbildung 9-16: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 2, Montag, 03.05.2010

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Handlungsfelder im Mobilitäts- und Verkehrsmanagement [BUSCH, 2009]	4
Abbildung 2-2: Fundamentaldiagramm [SAMMER, 2011]	11
Abbildung 3-1: Komponenten eines ANPR-Systems mit integriertem Radarsensor	13
Abbildung 3-2: Passiver Infrarotsensor Traffic Eye Universal (TEU) [SIEMENS] mit 4 Detektionszonen [http://www.fhwa.dot.gov]	16
Abbildung 3-3: Funktionsweise des Floating Car Data Systems [LINAUER, 2004]	17
Abbildung 3-4: Skizze der Funktionsweisen von FCD linkbezogen (A) und FCD Durchfahrer (B)	20
Abbildung 3-5: Übersicht der Teststrecke mit ANPR Messquerschnitten und TEU Standort [Quelle: Google Maps, 2011, verändert]	23
Abbildung 3-6: Messquerschnitt 1, links – Blickrichtung in Fahrtrichtung; mitte – Erfassung des linken Fahrstreifens; rechts – Erfassung des rechten Fahrstreifens	24
Abbildung 3-7: Tagesgang aller Wochentage am Messquerschnitt 1 (26.04.2010 – 03.05.2010)	25
Abbildung 3-8: Messquerschnitt 2, links – Blickrichtung entgegen der Fahrtrichtung; mitte – Erfassung des linken Fahrstreifens; rechts – Erfassung des rechten Fahrstreifens	26
Abbildung 3-9: Tagesgang aller Wochentage am Messquerschnitt 2 (26.04.2010 – 03.05.2010)	27
Abbildung 3-10: Messquerschnitt 3, Blickrichtung entgegen der Fahrtrichtung	28
Abbildung 3-11: Tagesgang aller Wochentage am Messquerschnitt 3 (26.04.2010 – 03.05.2010)	29
Abbildung 3-12: Mittlere Anzahl an FCD Messungen in 15 Minuten	34
Abbildung 4-1: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und Radar; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	40
Abbildung 4-2: Darstellung der Reisezeitdifferenzen von ANPR und Radar; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	41
Abbildung 4-3: Vergleich der Histogramme der Reisezeitdifferenzen zwischen den 15 und 5 Minuten-Intervallen der Radardaten (Abschnitt 1)	41
Abbildung 4-4: Reisezeitdifferenz von ANPR und Radar in Abhängigkeit der Stichprobengröße durch den Radarsensor erhobenen Stichprobengröße, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	42
Abbildung 4-5: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und Radar; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)	43
Abbildung 4-6: Darstellung der Reisezeitdifferenzen von ANPR und Radar; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)	43
Abbildung 4-7: Vergleich der Histogramme der Reisezeitdifferenzen zwischen den 15 und 5 Minuten-Intervallen der Radardaten (Abschnitt 2)	44
Abbildung 4-8: Reisezeitdifferenz von ANPR und Radar in Abhängigkeit der Stichprobengröße durch den Radarsensor erhobenen Stichprobengröße, 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)	45

Abbildung 4-9: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und TEU; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	46
Abbildung 4-10: Darstellung der Reisezeitdifferenzen von ANPR und TEU; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	46
Abbildung 4-11: Vergleich der Histogramme der Reisezeitdifferenzen zwischen den 15 und 5 Minuten-Intervallen der TEU Daten (Abschnitt 1)	47
Abbildung 4-12: Reisezeitdifferenz von ANPR und TEU in Abhängigkeit der durch TEU erhobenen Stichprobengröße, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	48
Abbildung 4-13: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD linkbezogen; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	49
Abbildung 4-14: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	49
Abbildung 4-15: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD linkbezogen, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	50
Abbildung 4-16: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1).....	50
Abbildung 4-17: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD linkbezogen; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)	51
Abbildung 4-18: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)	52
Abbildung 4-19: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD linkbezogen, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)	52
Abbildung 4-20: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2).....	52
Abbildung 4-21: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD linkbezogen; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	54
Abbildung 4-22: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	54
Abbildung 4-23: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD linkbezogen, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1).....	55
Abbildung 4-24: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1).....	55
Abbildung 4-25: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD linkbezogen; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)	56
Abbildung 4-26: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)	56
Abbildung 4-27: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD linkbezogen, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2).....	57
Abbildung 4-28: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2).....	57
Abbildung 4-29: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD Durchfahrer; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	58

Abbildung 4-30: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	59
Abbildung 4-31: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD Durchfahrer, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	60
Abbildung 4-32: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1).....	60
Abbildung 4-33: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD Durchfahrer; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)	61
Abbildung 4-34: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)	61
Abbildung 4-35: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD Durchfahrer, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)	62
Abbildung 4-36: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 2).....	62
Abbildung 4-37: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD Durchfahrer; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	63
Abbildung 4-38: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	64
Abbildung 4-39: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD Durchfahrer, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1).....	65
Abbildung 4-40: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 1).....	65
Abbildung 4-41: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD Durchfahrer; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)	66
Abbildung 4-42: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer; für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2)	66
Abbildung 4-43: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD Durchfahrer, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2).....	67
Abbildung 4-44: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD Durchfahrer in Abhängigkeit der Stichprobengröße, für 5 Minuten-Intervall (Abschnitt 2).....	67
Abbildung 6-1: Korrekturverfahren für FCD.....	79
Abbildung 6-2: Kombination von Echtzeit und historischen FCD	80
Abbildung 6-3: Diskrete Darstellung der Reisezeiten von ANPR und FCD linkbezogen korrigiert; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	81
Abbildung 6-4: Darstellung der Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen korrigiert; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	82
Abbildung 6-5: Histogramm der Reisezeitdifferenzen; FCD linkbezogen korrigiert; für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1)	83
Abbildung 6-6: Reisezeitdifferenz von ANPR und FCD linkbezogen korrigiert in Abhängigkeit von der Stichprobengröße, für 15 Minuten-Intervall (Abschnitt 1).....	83
Abbildung 9-1: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Montag, 26.04.2010.....	92
Abbildung 9-2: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Dienstag, 27.04.2010.....	92

Abbildung 9-3: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Mittwoch, 28.04.2010.....	93
Abbildung 9-4: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Donnerstag, 29.04.2010	93
Abbildung 9-5: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Freitag, 30.04.2010.....	93
Abbildung 9-6: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Samstag, 01.05.2010.....	94
Abbildung 9-7: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Sonntag, 02.05.2010	94
Abbildung 9-8: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Montag, 03.05.2010.....	94
Abbildung 9-9: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 2, Montag, 26.04.2010.....	95
Abbildung 9-10: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 2, Dienstag, 27.04.2010.....	95
Abbildung 9-11: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 2, Mittwoch, 28.04.2010.....	95
Abbildung 9-12: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 2, Donnerstag, 29.04.2010	96
Abbildung 9-13: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 2, Freitag, 30.04.2010.....	96
Abbildung 9-14: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 1, Samstag, 01.05.2010.....	96
Abbildung 9-15: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 2, Sonntag, 02.05.2010	97
Abbildung 9-16: Reisezeitdarstellung für Abschnitt 2, Montag, 03.05.2010.....	97

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Darstellung der übertragenen TEU Daten.....	17
Tabelle 3-2: Auflistung der manuell nachkorrigierten Videosequenzen	31
Tabelle 3-3: Datenverfügbarkeit der FCD-Daten für Abschnitt 1 der Teststrecke.....	35
Tabelle 3-4: Datenverfügbarkeit der FCD-Daten für Abschnitt 2 der Teststrecke.....	36
Tabelle 9-1: Abschnitt 1 (Querschnitt 1 – Querschnitt 2)	90
Tabelle 9-2: Abschnitt 2 (Querschnitt 2 – Querschnitt 3)	91

12 Abkürzungen

AIT	Austrian Institute of Technology
ANPR	Automatic Number Plate Recognition
FCD	Floating Car Data
FLEET	Fleet Logistics Service Enhancement with Egnos & Galileo Satellite Technology
GO-SMART	Smart Mobility Analysis of Real-time Toll-data
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
IR	Infrarot
Lkw	Lastkraftwagen
LOS	Level of Service
VLSA	Lichtsignalanlage
Pkw	Personenkraftwagen
Q1	Messquerschnitt 1
Q2	Messquerschnitt 2
Q3	Messquerschnitt 3
QM4ITS	Quality Management for Intelligent Transport Systems
TEU	Traffic Eye Universal
TMC	Traffic Message Channel