

# MASTERARBEIT



## **BENCHMARKING DER VERKEHRSQUALITÄT IM ÖSTERREICHISCHEN AUTOBAHN- UND SCHNELLSTRASSENNETZ**

Hatbauer Julian

Vorgelegt am  
Institut für Straßen und Verkehrswesen

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

Graz , Oktober 2011

## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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

Graz, am .....

.....

(Unterschrift)

## STATUARY DECLARATION

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

Graz, .....

date

.....

(signature)

## Danksagung

Das Verfassen eines so umfangreichen Werkes wie dieser Diplomarbeit war nur durch Mithilfe und Unterstützung von Personen in meinem Umfeld möglich.

An dieser Stelle gilt daher mein besonderer Dank Herrn Professor Dr.-Ing. habil. Martin Fellendorf, der mir in regelmäßigen Diplomarbeitsgesprächen als Betreuer zur Seite stand und mit wertvollen Anregungen und Ideen zum Gelingen dieser Arbeit beitrug.

Weiters möchte ich mich bei Herrn DI Robert Neuhold für die fachkundige Unterstützung, die regelmäßigen Beratungsgespräche und die Durchsicht meiner Analysen bedanken.

Diese Arbeit wäre ohne die Unterstützung der ASFINAG nicht möglich gewesen, die mir Verkehrsdaten zur Analyse zur Verfügung gestellt hat. Hier gilt mein besonderer Dank Herrn DI Michael Schneider von der ASFINAG Service GmbH, Abteilung Verkehrsmanagement, der für eine freundliche und fachlich exzellente Betreuung von Seiten der ASFINAG verantwortlich war und mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand.

Neben den fachlichen Unterstützern möchte ich mich insbesondere bei meiner Familie bedanken, durch die mir mein Studium überhaupt erst ermöglicht wurde. Neben der finanziellen Unterstützung war und ist es wichtig, vertraute Menschen hinter sich zu wissen. Meine Familie hat mir über die gesamte Studienzeit viel Verständnis und Interesse entgegengebracht und immer motivierend und ermutigend auf mich eingewirkt.

(Ort), am (Datum)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift des Studenten)

**Aufgabenstellung für die Masterarbeit  
von Herrn Julian Hatbauer**

Rechbauerstraße 12

A-8010 Graz

DVR: 008 1833

UID: ATU 574 77 929

Graz, am 10.01.2011

**Benchmarking der Verkehrsqualität im österreichischen Autobahn- und  
Schnellstraßen-Netz**

**Problemstellung**

Die Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktiengesellschaft kurz ASFINAG plant, baut, erhält, betreibt, bemaute und finanziert das Autobahnen und Schnellstraßennetz in Österreich. Im Rahmen der gesetzten finanziellen Möglichkeiten möchte die ASFINAG als Autobahnbetreiber ihren Kunden eine möglichst hohe Verkehrsqualität bieten. Für eine quantitative Angabe einer Verkehrsqualität sind Kennzahlen zum Verkehrsablauf in Gesamtnetz erforderlich. Aus der Literatur (z.B. Handbuch zur Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, HBS 2005) sind Möglichkeiten zur Messung der Verkehrsqualität an lokalen Messquerschnitten bekannt. Eine einfache Methodik zur kontinuierlichen Beurteilung einer netzweiten Verkehrsqualität ist bisher jedoch nur in Ansätzen vorhanden (z.B. Staubilanz im Rahmen Staufreies Hessen 2015).

Mit dieser Arbeit soll ein Beitrag zur Bestimmung einer netzweiten Verkehrsqualität geleistet werden. Wie in jedem Straßennetz verfügt auch das ASFINAG-Netz über unterschiedliche Sensorik zur Messung des Verkehrsablaufs. In Gebieten mit hohem Verkehrsaufkommen oder aus Gründen der Verkehrssicherheit sind in den letzten Jahren Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) installiert worden. Alle VBAs verfügen über Detektoren zur Messung von Fahrzeugmengen, Fahrzeugarten und Geschwindigkeiten. Die aggregierten Daten werden an die Verkehrszentrale in Inzersdorf übermittelt und automatisch gespeichert. In Gebieten ohne VBA ist in größeren Abständen eine Sensorik zur Erhebung querschnittsbezogener Verkehrsdaten installiert. Diese dient der Erhebung einer Verkehrsstatistik sowie der Bewertung der aktuellen Verkehrslage (Flächendeckende Verkehrsdatenerfassung, FVE). In Gebieten in denen eine VBA geplant ist, jedoch noch nicht umgesetzt wurde, ist die Verfügbarkeit querschnittsbezogener Verkehrsdaten derzeit am geringsten. Zusätzlich verfügt die ASFINAG über Daten aus dem vollautomatischen Mautsystem für KFZ >3,5t hzG, aus denen Streckenreisezeiten der LKW und Busse zwischen Abbuchungsstationen des Mautsystems anonymisiert gewonnen werden können. Die Ermittlung einer Verkehrsqualität sollte robust gegen Störungen sein. Daher soll auch beim Ausfall einiger Sensorik Elemente grundsätzlich weiterhin die Ermittlung einer plausiblen Kennzahl möglich sein. Auch im Fall von Baumaßnahmen, die häufig zu Fehlinterpretation von Zähl Daten führt, sollen sinnvolle Qualitätswerte ermittelt werden. Die Kennzahl der Verkehrsqualität soll zeitnah aber nicht notwendigerweise in Echtzeit zur Verfügung stehen.

**Aufgabenstellung**

In der Diplomarbeit sollen verschiedene Kenngrößen zur Beurteilung einer netzweiten Verkehrsqualität gegenübergestellt werden. Weiters sollen verschiedene

Berechnungsmethoden der Kennzahlen analysiert und verglichen werden, bzw. ein Zusammenhang der Berechnungsarten hergestellt werden. Mit den gewonnenen Erkenntnissen sollen verfügbare Daten der ASFINAG analysiert und ihre Eignung zur Bildung einer Kennzahl der Verkehrsqualität untersucht werden. Die entwickelte Methodik ist beispielhaft auf mehrere Netzteile des ASFINAG-Netzes anzuwenden. Eine Überprüfung auf generelle Anwendbarkeit im Gesamtnetz ist abschließend vorzunehmen.

Die folgende Liste enthält wesentliche Bearbeitungspunkte der Diplomarbeit; Abweichungen nach Absprache mit der ASFINAG oder mit fortschreitendem Erkenntnisstand während der Bearbeitung sind möglich:

- ◆ Literaturrecherche zum Thema Kenngrößen des Verkehrsablauf zur Bestimmung einer Verkehrsqualität
- ◆ Erhebung und Expertenbefragung bei Autobahnbetreibern, die bereits eine Überprüfung der Verkehrsqualität vornehmen (Sicherstellung der Möglichkeit eines internationalen bzw. europäischen Benchmarking: was wird wie erhoben, Vergleichsmöglichkeiten, etc.).
- ◆ Recherche der verfügbaren Daten der ASFINAG insbesondere Messdaten der VBA-Sensorik, Querschnittsdetektoren im Zusammenhang der FVE und Reisezeitmessungen aus anonymisierten Mautdaten (Forschungsprojekt GoSMART)
- ◆ Bestimmung von Netzsegmenten mit unterschiedlicher Qualität der verfügbaren Verkehrsdaten sowie Sammlung von Verkehrsdaten für Zeiträume unterschiedlicher Verkehrszustände für ausgewählte Netzsegmente
- ◆ Entwicklung eines Verkehrsqualitätsmaßes durch Analyse der erhobenen Kenngrößen des Verkehrsablaufs
- ◆ Vergleich der Kennzahlen unterschiedlicher Berechnungsgrundlagen, internationaler Vergleich
- ◆ Implementierung des Verkehrsqualitätsmaßes in einem Statistikpaket (z.B. R-project)
- ◆ Überprüfung der Eignung des entwickelten Verkehrsqualitätsmaßes für einen Einsatz einer kontinuierlichen Bestimmung im vollständigen A&S-Netzes der ASFINAG

Die Arbeit wird in enger Abstimmung mit der ASFINAG angefertigt. Der Diplomand verpflichtet sich, bereitgestellte Daten ausschließlich zur Anfertigung der Masterarbeit zu nutzen und hierfür eine Datennutzungserklärung zu unterzeichnen. Eine Veröffentlichung der Beispielanwendung bedarf der schriftlichen Zustimmung der ASFINAG.

Die Arbeit ist zweifach mit allen Anlagen in DIN A4 gebunden einzureichen. Ein Datenträger mit dem Diplomarbeitstext, Präsentationen sowie allen Modelldaten ist beizulegen

Univ-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf

Tel. 0316 873 6220,

[martin.fellendorf@tugraz.at](mailto:martin.fellendorf@tugraz.at)

Betreuer

Dipl.-Ing. Robert Neuhold

Tel. 0316 873 6725

[robert.neuhold@tugraz.at](mailto:robert.neuhold@tugraz.at)

Zweitbetreuer

## Kurzfassung

Bekannte Verfahren zur a posteriori Bewertung von Verkehrsqualität vernachlässigen die in anderen Forschungsarbeiten belegte stochastische Charakteristik der Kapazität und beziehen nur die Spitzenstunde eines Tages in die Beurteilung mit ein, anstatt den Verkehrsfluss kontinuierlich zu beschreiben. Zudem basieren sie meist auf Querschnittsdaten, die nur lokale Aussagekraft besitzen und daher den Verkehrsablauf räumlich gesehen nicht beschreiben können. Mit dieser Arbeit soll ein Beitrag zur netzweiten Beurteilung der Verkehrsqualität innerhalb des österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetzes (A&S-Netz) unter besonderer Berücksichtigung einer internationalen Vergleichbarkeit geleistet werden. Dazu wird neben einer Literaturrecherche auch direkt Kontakt zu internationalen Betreibern von hochrangigen Straßennetzen aufgenommen, um internationale Ansätze kennenzulernen und eine gemeinsame Schnittstelle hinsichtlich der Beurteilung der Verkehrsqualität finden zu können. Neben der Erkenntnis, dass das Bestreben nach einer einheitlichen Bewertungsmethodik im internationalen Vergleich kurzfristig gesehen kein leichtes ist, besteht in dem Punkt Einigkeit, dass streckenbezogene Daten (Reisezeit, Streckengeschwindigkeit) die Grundlage eines aussagekräftigen, netzweiten Bewertungskonzeptes darstellen sollten. Diese können entweder direkt gemessen, oder aus Querschnittsdaten in gut detektierten Bereichen geschätzt werden. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wird mit Hilfe von Test- und Kalibrierungsdaten des österreichischen A&S-Netzes die Eignung der zur Verfügung stehenden Datengruppen (anonymisiert erfasste LKW-Reisezeiten aus dem Mautsystem und Querschnittsdaten) für den Einsatz in einem Verkehrsqualitätsbewertungskonzept geprüft. Die theoretische Annahme, dass sich die Fahrzeuggruppe KFZ>3,5t im Staufall ähnlich oder gleich verhält wie der Gesamtverkehr, bestätigt sich. Querschnittsdaten können nur in Bereichen von hoher lokaler Detektionsdichte zur Schätzung von streckenbezogenen Daten herangezogen werden und deshalb nur dort in ein Bewertungskonzept einfließen. Die netzweite, primäre Datengrundlage stellen somit die LKW-Reisezeiten dar, auf denen basierend die Kenngröße „Staufall“ als das aktuell am besten geeignete Bewertungsmaß identifiziert wird. Den Abschluss der Arbeit bilden Analysen der Einflüsse auf die Staufallermittlung. Die dadurch festgelegten Werte werden abschließend in einem Bewertungskonzept (Flussdiagramm) konkretisiert, über das eine flächendeckende Beurteilung der Verkehrsqualität in Österreich kurzfristig möglich sein soll.

## Abstract

Current methods to monitor traffic flow quality are mostly based upon cross-sectional data and neglect the stochastic characteristics of the capacity already documented in former research works. Current studies are focused on peak periods instead of a continuous description of traffic flow. This master thesis contributes to a comprehensive assessment of traffic flow quality within the motorway and expressway network by comparing international state-of-the-art in quality analysis. The literature review is supplemented by interviews with representatives of leading traffic control centers to identify a common ground for the measurement of traffic flow quality. It is concluded that an international standardization is currently impossible due to different traffic measurement concepts. Segment based measurements are superior to point measurements but not as widely used. However, it is widely agreed that track related data (mainly travel times) should generally be used for evaluations. This data can either be directly obtained from relevant technologies like automatic number plate recognition and Floating Car Data or can be estimated from cross-sectional data in well detected areas. Based on these findings, the suitability of available data in Austria (anonymously collected section travel times of trucks from the toll system and local data from cross sections) for the generation of track related parameters is analyzed using test data of the Austrian motorway and expressway network. These results support the assumption, that trucks show a behavior similar to passenger cars under dense and congested traffic conditions. Thus, the primary data set consists of truck section travel times, based on which the parameter “congestion hour” is identified as the best suited instrument of measurement. Only areas of good detection (maximum distances of 3 kilometers between cross sections) allow the use of local data for the generation of track-related data. Therefore, data of cross sections are only incorporated into an evaluation concept for those areas. In the last chapter of the thesis, influences on the identification of congestion hours are analyzed. Thereby obtained data is concretized in an evaluation concept (flow diagram), which shall allow a comprehensive short-term assessment of traffic quality in Austria.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen des Verkehrsablaufs</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Verkehrsflusstheorie</b>	<b>3</b>
2.1.1	Erfassung des Verkehrsflusses.....	3
2.1.2	Zustandsgleichung des Verkehrs.....	4
<b>2.2</b>	<b>Kapazität</b>	<b>6</b>
2.2.1	Definition der Kapazität.....	6
2.2.2	Kapazität bei Störungen.....	9
<b>2.3</b>	<b>Verkehrsqualität auf Autobahnen und Schnellstraßen</b>	<b>11</b>
2.3.1	Begriffsdefinition und -abgrenzung.....	11
2.3.2	Bewertungsmethoden und Zustände des Verkehrs.....	12
2.3.3	Neuere Ansätze zur Ermittlung der Verkehrsqualität.....	17
<b>2.4</b>	<b>Analyse des Verkehrsüberlastungsbereiches</b>	<b>17</b>
2.4.1	Definition des Begriffes Stau.....	18
2.4.2	Entstehung von Überlastungen.....	20
2.4.3	Verschiedenheit und Ablauf von Überlastungssituationen.....	20
<b>2.5</b>	<b>Identifikation von Verkehrszusammenbruch und Stau</b>	<b>21</b>
2.5.1	Wahl der maßgebenden Messung.....	22
2.5.2	Dauer des Einbruchs - Wahl des Aggregationsintervalls.....	22
2.5.3	Schwellenwerte zur Staudefinition.....	24
2.5.4	Querschnittsdaten.....	26
2.5.5	Streckenbezogenen Daten.....	30
2.5.6	Grundkonzepte zur Störungserkennung.....	32
<b>2.6</b>	<b>Kenngößen zur Bewertung der Verkehrsqualität</b>	<b>34</b>
2.6.1	Querschnittsbezogene Kenngößen.....	35
2.6.2	Reisezeit- und geschwindigkeitsbasierte Kenngöße.....	38
2.6.3	Verlustzeitbasierte Kenngößen.....	40
2.6.4	Kenngößen der Überladungsdauer.....	42
2.6.5	Kenngößen zur Überlastungswahrscheinlichkeit.....	44
2.6.6	Kenngößen der Zuverlässigkeit.....	45
2.6.7	Sonstige Kenngößen.....	47
<b>2.7</b>	<b>Zusammenfassung Literaturanalyse</b>	<b>49</b>
<b>3</b>	<b>Bewertung von Verkehrsqualität im internationalen Vergleich</b>	<b>51</b>
<b>3.1</b>	<b>Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen und Verkehrszentrale Hessen – GER</b>	<b>51</b>
<b>3.2</b>	<b>Autobahndirektion Südbayern und Verkehrsinformationsagentur Bayern – GER</b>	<b>54</b>
<b>3.3</b>	<b>Bundesamt für Strassen (ASTRA) – SUI</b>	<b>56</b>
<b>3.4</b>	<b>Rijkswaterstaat - NED</b>	<b>58</b>
<b>3.5</b>	<b>Highways Agency / Department of Transport – GBR</b>	<b>60</b>
<b>3.6</b>	<b>Federal Highway Administration (FHWA) - USA</b>	<b>67</b>
<b>3.7</b>	<b>Egnatia Odos A.E. (EOAE) - GRE</b>	<b>69</b>
<b>3.8</b>	<b>Metropolitian Express Public Corporation (MEX) - JPN</b>	<b>70</b>
<b>3.9</b>	<b>Zusammenfassung – internationale Vergleichbarkeit</b>	<b>70</b>
<b>4</b>	<b>Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung der Verkehrsqualität am hochrangigen Straßennetz in Österreich</b>	<b>74</b>
<b>4.1</b>	<b>Datenverfügbarkeit der ASFINAG</b>	<b>75</b>
4.1.1	Querschnittsdaten.....	76

4.1.2	LKW-Reisezeiten aus dem Mautsystem .....	76
4.1.3	Referenzgebiete .....	78
<b>4.2</b>	<b>Bewertung der Verkehrsqualität auf Basis von LKW-Reisezeiten</b>	<b>82</b>
4.2.1	Lokale Analysen von PKW- und LKW-Geschwindigkeiten .....	83
4.2.2	Einschränkung bei der Verwendung der LKW-Reisezeiten .....	89
<b>4.3</b>	<b>Bewertung der Verkehrsqualität auf Basis von Querschnittsdaten</b>	<b>92</b>
4.3.1	Analysen anhand von q-v-Diagrammen.....	93
4.3.2	Analysen anhand von Linienplots .....	96
4.3.3	Rekonstruktion der Verkehrsqualität auf Basis von Querschnittsdaten .....	106
4.3.4	Einschränkung bei der Verwendung von Querschnittsdaten .....	108
4.3.5	Qualität der lokalen Datenerfassung .....	109
<b>4.4</b>	<b>Kenngößen für das ASFINAG-Straßennetz</b>	<b>111</b>
4.4.1	Datengrundlage.....	111
4.4.2	Wahl des geeigneten Verkehrsqualitätsmaßes.....	113
4.4.3	Stautunde - nationaler Vergleich .....	115
4.4.4	Stautundenkilometer - internationaler Vergleich .....	116
<b>4.5</b>	<b>Schema zur Bewertung der österreichischen A&amp;S-Netzqualität</b>	<b>117</b>
<b>5</b>	<b>Analyse der Einflussfaktoren auf das Konzept zur Bewertung der Verkehrsqualität</b>	<b>119</b>
<b>5.1</b>	<b>Einfluss des Aggregationsintervalls</b>	<b>119</b>
5.1.1	Trivialer Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe .....	120
5.1.2	Einfluss auf das Stautundenberechnungsergebnis .....	121
<b>5.2</b>	<b>Einfluss der Betrachtungsweise</b>	<b>124</b>
<b>5.3</b>	<b>Einfluss von Schwellenwerten</b>	<b>127</b>
5.3.1	Analyse verschiedener Schwellenwerte.....	127
5.3.2	Distanzabhängige Geschwindigkeitsschwellenwerte .....	131
<b>5.4</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>136</b>
5.4.1	Flussdiagramm für die Kenngrößenermittlung .....	137
5.4.2	Ermittlung der Stautunden für Bereiche des österreichischen A&S-Netzes .....	141
<b>6</b>	<b>Fazit und Ausblick</b>	<b>144</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>149</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Lokale, momentane und streckenbezogene Beobachtungen .....	3
Abbildung 2-2: Darstellungsform des Fundamentaldiagramms .....	5
Abbildung 2-3: Beispielhafte Darstellung der Hauptverkehrszustände im q-v-Diagramm .....	13
Abbildung 2-4: Illustration verschiedener Stufen der Verkehrsflussqualität für Autobahnen .....	15
Abbildung 2-5: Größen über die Überlastung definiert werden kann .....	19
Abbildung 2-6: Durchschnittsgeschwindigkeiten der vier Fahrstreifen .....	22
Abbildung 2-7: Aggregationsintervalle zur Identifikation von Verkehrszuständen .....	23
Abbildung 2-8: Erfassungsbereiche von Überkopf-Detektoren .....	27
Abbildung 2-9: Brutto-/Nettozeitlücke .....	37
Abbildung 3-1: Travelling Time Reliability .....	60
Abbildung 3-2: Routen des SRN-Netzes .....	64
Abbildung 3-3: Mittlere Verlustzeit der langsamsten 10 % aller Reisen des SNR .....	66
Abbildung 3-4: Mittlere Geschwindigkeiten von nichtstoppendem Verkehr auf Schlüsselrouten .....	66
Abbildung 3-5: Umfrageergebnis: „Worüber wird Überlastung gemessen“ .....	68
Abbildung 3-6: Häufigkeit der verwendeten Kenngrößen .....	72
Abbildung 4-1: Das Streckennetz der ASFINAG .....	74
Abbildung 4-2: VBA-Bereiche und FVE-Sensorstandorte .....	76
Abbildung 4-3: Definition von Abschnitten für die Reisezeitermittlung .....	78
Abbildung 4-4: Übersichtskarte Testfelder .....	78
Abbildung 4-5: Testfeld A02_1_A .....	80
Abbildung 4-6: Testfeld A02_2_A .....	80
Abbildung 4-7: Testfeld A02_2_B .....	81
Abbildung 4-8: Testfeld A01_1 .....	81
Abbildung 4-9: Testfeld A01_2 .....	82
Abbildung 4-10: Testfeld A10_1 .....	82
Abbildung 4-11: Testfeld A10_2 .....	82
Abbildung 4-12: Fahrstreifenbezogene Betrachtung des Fahrverhaltens von LKW und PKW, .....	84
Abbildung 4-13: Homogenes Stauverhalten der Fahrzeuggruppen KFZ>3,5t und KFZ<3,5t .....	85
Abbildung 4-14: Lineare Korrelationsanalyse .....	86
Abbildung 4-15: Streckenabschnitt der Probefahrt .....	87
Abbildung 4-16: Fünf Verfolgungsfahrten von LKW mit GPS-Sensor .....	88
Abbildung 4-17: Q-v-Diagramm auf Basis von 15-Minuten-Werten .....	90
Abbildung 4-18: Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe .....	91
Abbildung 4-19: q-v-Diagramme Messquerschnitt A02_2_016,350 bis Messquerschnitt A02_2_010,754 .....	94
Abbildung 4-20: q-v-Diagramme Messquerschnitt A02_2_009,685 bis Messquerschnitt A02_2_005,176 .....	95
Abbildung 4-21: Einteilung in Einflussbereichssegmente .....	97
Abbildung 4-22: Abschnittsbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe 1 .....	98
Abbildung 4-23: Abschnittsbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe 2 .....	99

Abbildung 4-24: Abschnittsbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe 3 .....	100
Abbildung 4-25: Abschnittsbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe 4 .....	101
Abbildung 4-26: Abschnittsbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe 5 .....	102
Abbildung 4-27: Abschnittsbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe 6 .....	103
Abbildung 4-28: Abschnittsbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe 7 .....	104
Abbildung 4-29: Abschnittsbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe 8 .....	104
Abbildung 4-30: Festlegung von Segmenten und zugehöriger Geschwindigkeitsklassifizierung .....	106
Abbildung 4-31: Ergebnisse der räumlich-zeitlichen Interpolation: Contourplot .....	107
Abbildung 4-32: Ergebnisse der räumlich-zeitlichen Interpolation: 3D-Darstellung .....	108
Abbildung 4-33: Einschränkung der Aussagekraft von Querschnittsverfahren .....	109
Abbildung 4-34: Übersichtskarte der Qualitätsbereiche der Querschnittsdatenerfassung .....	110
Abbildung 4-35: Schema zur Bewertung der Verkehrsqualität im österreichischen A&S-Gesamtnetz .....	118
Abbildung 5-1: Vergleich der Aggregationsintervalle (1-, 5-, 15-, 60-Minuten-Intervalle) .....	120
Abbildung 5-3: Querschnittsbezogene Analyse des Einflusses des Aggregationsintervalls 1 .....	122
Abbildung 5-4: Querschnittsbezogene Analyse des Einflusses des Aggregationsintervalls 2 .....	123
Abbildung 5-5: Vergleich zwischen strecken- und querschnittsbezogenen Stautunden.....	125
Abbildung 5-6: Stautunden auf Basis unterschiedlicher Staudefinitionen .....	129
Abbildung 5-7: Stautundenkilometer am Streckenabschnitt A02-_2-002,960_2 bis A02-_2_012,700_2	130
Abbildung 5-8: Häufigkeit der jeweiligen Abschnittslänge zwischen zwei Mautportalen .....	131
Abbildung 5-9: Problematik bei Festlegung eines einheitlichen Schwellenwerts .....	132
Abbildung 5-10: Darstellung der Verteilung der Geschwindigkeiten im Bereich von 0-50 km/h .....	134
Abbildung 5-11: Stautunden im Juni 2011 für individuelle Schwellenwerte.....	135
Abbildung 5-12: Funktion zur Bestimmung von distanzabhängigen Geschwindigkeitsschwellenwerten ..	136
Abbildung 5-13: Flussdiagramm zur Ermittlung des Verkehrsqualitätsmaßes .....	140
Abbildung 5-14: Stautunden für den Streckenabschnitt A01-_197,930_1 bis A01-_238,100_1 .....	142

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Kapazitäten einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn .....	7
Tabelle 2-2: Anteil am ursprünglichen Kapazitätswert bei Unfällen .....	10
Tabelle 2-3: Anteile der Störfallkapazität am ursprünglichen Wert.....	10
Tabelle 2-4: Vergleich der Verkehrsqualitätsstufen des HCM, des HBS und der VSS .....	16
Tabelle 2-5: Geschwindigkeitsgrenzwerte zur Identifikation von Überlastung .....	25
Tabelle 2-6: Querschnittsbezogene, mikroskopische und makroskopische Kenngrößen .....	36
Tabelle 3-1: Referenzgeschwindigkeiten der Highways Agency vor 2011 .....	65
Tabelle 3-2: Bestimmung von Gesamtverlustzeit und Fahrzeugmeilen .....	65
Tabelle 3-3: Zusammenfassung des internationalen Benchmarkings.....	71
Tabelle 5-1: Staustundenergebnisse für die querschnitts- bzw. abschnittsbezogene Betrachtungsweise	126
Tabelle 5-2: Einzel- und Summenmautabschnitte A02_2 .....	133
Tabelle 5-3: Übersicht der Einflussfaktoren auf die Berechnung der Qualitätskenngröße .....	137
Tabelle 5-4: Ermittlung von Staustunden und Staustundenkilometern A1 .....	141
Tabelle 5-5: Ermittlung von Staustunden und Staustundenkilometern A2 .....	143

## 1 Einleitung

Die rückwirkende Bewertung der Verkehrsqualität auf Autobahnen und Schnellstraßen ist nicht nur von informellem Charakter geprägt, sondern dient hauptsächlich der Planung von Verbesserungsmaßnahmen, der Quantifizierung der Auswirkungen von Verkehrsstörungen sowie der Vergleichbarkeit der Performanceergebnisse mit anderen Autobahnbetreibern. Bekannte Verfahren zur Bewertung der Verkehrsqualität scheinen dafür nur eingeschränkt brauchbar, da diese eher die Ursache der Verkehrsstörung als deren Auswirkung beurteilen. Der in den vergangenen Jahren bestätigte stochastische Charakter der Kapazität wird ebenfalls vernachlässigt. Zudem basieren diese meist auf Querschnittsdaten, die nur punktuell den Verkehrsablauf beschreiben können. Zeitgemäß ist dagegen der Einsatz von streckenbezogenen Daten, die auch räumlich gesehen den Verkehrsablauf erfassen können und entweder direkt über Sensorik gemessen, oder aus Querschnittsdaten geschätzt werden.

Der Betreiber des österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetzes, die Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- AG (ASFINAG) möchte auf Basis eines automatisierten Bewertungsverfahrens die Verfügbarkeit des Gesamtnetzes für die interne und die externe Vergleichbarkeit flächendeckend messbar und quantifizierbar machen. Die Durchführung eines internationalen Benchmarkings setzt allerdings die Einheitlichkeit der Bewertungspraktiken voraus und führt zu einem gesteigerten Anspruch an die Verkehrsdatenerfassung, auf deren Basis eine automatisierte Verkehrsqualitätsbewertung aufbaut. Eine Installation von Sensorik zur Datenerfassung ist allerdings nur dann wirtschaftlich zu rechtfertigen, wenn diese mehreren Zwecken dient (z. B. Verkehrsflussoptimierung, Erhöhung der Verkehrssicherheit) und die Daten weiterverarbeitet werden.

Mit dieser Arbeit soll ein Beitrag zur netzweiten, a posteriori Beurteilung der Verkehrsqualität innerhalb des hochrangigen Straßennetzes unter besonderer Berücksichtigung einer internationalen Vergleichbarkeit geleistet werden. Dazu werden speziell die zur Verfügung stehende Datengrundlage im Sinne einer gewünschten Gegenüberstellung berücksichtigt, mögliche Qualitätskenngrößen herausgearbeitet und auf ihre Eignung für den Einsatz im österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz untersucht. Durch Kontaktaufnahme zu vergleichbaren, ausländischen Verkehrsbetreibern sollen internationale Ansätze beleuchtet werden, um so die unterschiedlichen Praktiken und Erfahrungen anderer Länder kennenzulernen. Auf diesen Erkenntnissen der Datenanalysen aufbauend wird ein Bewertungskonzept entworfen, das eine netzweite Bewertung der Verkehrsqualität im hochrangigen Straßennetz in Österreich möglich machen soll. Abschließend wird das flächendeckend gültige Schema auf ausgewählten Streckenabschnitten angewandt und für diese die Verkehrsqualität in einem gewissen Zeitraum bestimmt.

## **Gliederung der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich in vier Hauptkapiteln (Kapitel 2-5) ausführlich mit der angesprochenen Thematik.

In Kapitel 2 werden die Grundlagen des Verkehrsablaufs in Form einer Literaturrecherche behandelt. Besondere Beachtung erfahren dabei die Erkenntnisse zur stochastischen Definition der Kapazität, die Analysen des Überlastungsbereiches und die Identifikation und Definition von Stau. Abschließend erfolgt eine Listung und Beschreibung von möglichen Qualitätskenngrößen zur Bewertung der Verkehrsqualität.

Kapitel 3 beschäftigt sich mit internationalen Praktiken zur Verkehrsdatenerfassung, Staudefinition und der Quantifizierung der Auswirkungen von Verkehrsstörungen über Qualitätskenngrößen. Dazu wurde Kontakt mit Ansprechpartnern von internationalen Verkehrsbetreibern aufgenommen und nach gängigen Methoden gefragt. Die erhaltenen Informationen aus diesen Gesprächen bzw. aus von diesen Betreibern zur Verfügung gestellten Dokumenten werden aufbereitet wiedergegeben und zum Vergleich tabellarisch gegenübergestellt.

In Kapitel 4 wird die Frage nach einem Verfahren zur Bewertung der Verkehrsqualität am hochrangigen Straßennetz in Österreich behandelt. Dafür wird zu Beginn die Datenverfügbarkeit recherchiert und anhand von Referenzgebieten die Tauglichkeit der unterschiedlichen Datengruppen analysiert. Aufbauend darauf wird die Verwendung von verfügbaren und geeigneten Daten festgelegt und eine Kenngröße zur Beschreibung der Verkehrsqualität vorgeschlagen. Zum Abschluss dieses Kapitels wird ein erstes Konzept vorgestellt, das eine netzweite Bewertung der Verkehrsqualität im österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz ermöglicht.

Kapitel 5 analysiert mögliche Einflussfaktoren auf dieses Beurteilungskonzept. Darauf basierend wird das Konzept anhand von Auswertungen mit Realdaten Schritt für Schritt überprüft und verfeinert. Schlussendlich entsteht ein zur Durchführung vorgeschlagenes Schema (Flussdiagramm) zur Bewertung der Verkehrsqualität, welches für ausgewählte Streckenabschnitte versuchsweise angewendet wird.

## **Anmerkung zur Aufgabenstellung**

Der in der Aufgabenstellung angeführte Bearbeitungspunkt, das entwickelte Konzept in einem Statistik Programm zu implementieren, war im Rahmen der vorliegenden Arbeit aufgrund der Verschiedenheit der Datenformate nicht möglich.

## 2 Grundlagen des Verkehrsablaufs

### 2.1 Verkehrsflusstheorie

Verkehr umfasst jegliche „*technischen, organisatorischen und ökonomischen Maßnahmen*“ (ALISCH 2004, S. 4058), die als Voraussetzung zu Ortsveränderungen von Personen, Gütern oder Nachrichten dienen. Um diese vollziehen zu können, müssen Bewegungsvorgänge (Beschleunigen, Fahren, Bremsen etc.) durchgeführt werden, deren Gesamtheit als Verkehrsablauf definiert wird. Im Bereich des Straßenverkehrs kann dieser Verkehrsablauf wiederum einerseits individuell durch die Verkehrsteilnehmer selbst bestimmt werden, andererseits ist auf ein rücksichtvolles und angepasstes Verhalten unter Beachtung der Umfeldbedingungen und gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern zu achten. Dieses Zusammenspiel zwischen mehreren Fahrzeugen ist als sogenannter Verkehrsfluss bekannt und kann über messbare, adäquate Kenngrößen (siehe Kapitel 2.6) entweder für einzelne Fahrzeuge (mikroskopisch) oder für Fahrzeugkollektive über Festlegung eines Zeitraums oder Abschnitts (makroskopisch) beschrieben werden (vgl. FGSV 2004).

#### 2.1.1 Erfassung des Verkehrsflusses

Verkehrsdaten können entweder über lokale Beobachtungen (horizontale Linie) an einem Messquerschnitt, über momentane Beobachtungen (vertikale Linie) zu einem bestimmten Zeitpunkt oder über bewegte, streckenbezogene Beobachtungen (strichlierte Linie) räumlich-zeitlich erfasst werden. Lokal erfasste Parameter beschreiben dabei den Verkehrsablauf an einem fixen Messquerschnitt. Über momentan erhobene Kenngrößen wird der aktuelle Verkehrszustand für alle Fahrzeuge beschrieben, die sich in einem Streckenabschnitt befinden und somit der Augenblickszustand dargestellt. Streckenbezogene Daten beschreiben den tatsächlichen Verkehrsablauf eines Fahrzeuges beim Durchfahren eines Streckenabschnittes. In Abbildung 2-1 ist der Unterschied der Beobachtungsweisen dargestellt.

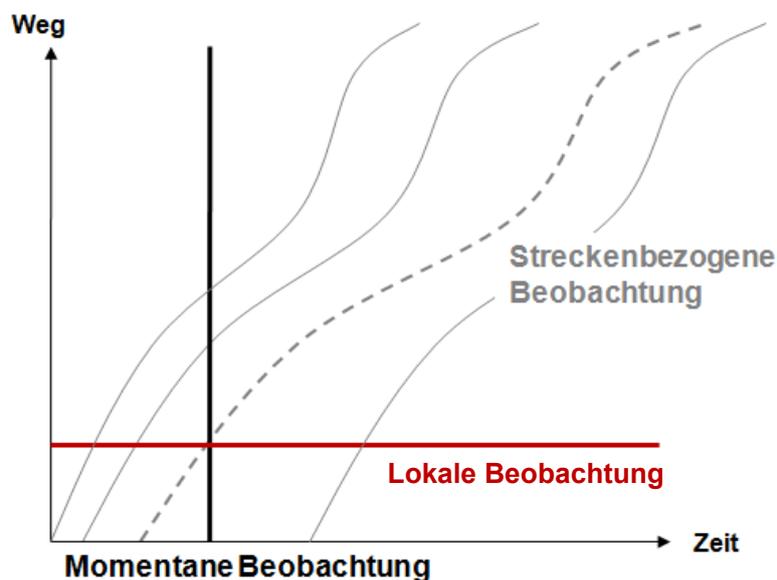


Abbildung 2-1: Lokale, momentane und streckenbezogene Beobachtungen

### 2.1.2 Zustandsgleichung des Verkehrs

In der Praxis können mit vertretbarem Aufwand nur lokale Größen gemessen werden, weshalb momentane Werte aus lokalen abgeleitet werden sollen. Um dies zu ermöglichen und den Verkehrszustand definieren zu können, ist die Kenntnis über die gegenseitige Abhängigkeit der Kennwerte Voraussetzung.

Unter der Voraussetzung der Stationarität (lokale beobachtete Kenngröße ändert sich nicht entlang der Strecke, momentan betrachtete Kenngröße nicht über die Zeit) gilt die Zustandsgleichung des Verkehrs:

Formel 2-1	$q$	$= \bar{v}_m \cdot k$
mit	$q$	... Verkehrsstärke [KFZ/h]
	$\bar{v}_m$	... mittlere, momentane Geschwindigkeit [km/h]
	$k$	... Verkehrsdichte [KFZ/km]

Da die momentane Geschwindigkeit  $\bar{v}_m$  üblicherweise nicht direkt gemessen werden kann, muss sie durch lokale Geschwindigkeit  $\bar{v}_l$  ausgedrückt werden. Dies erfolgt mit der Abschätzung über das harmonische Mittel zu (vgl. GEISTEFELDT 2007):

Formel 2-2	$\bar{v}_l$	$= \bar{v}_m + \frac{\sigma_m^2}{\bar{v}_m}$
mit	$\bar{v}_l$	... mittlere, lokale Geschwindigkeit
	$\bar{v}_m$	... mittlere, momentane Geschwindigkeit [km/h]
	$\sigma_m^2$	... Varianz der momentanen Geschwindigkeiten

Der Summand  $\sigma_m^2/\bar{v}_m$  ist stets positiv und lässt somit darauf schließen, dass  $v_m$  immer kleiner als  $v_l$  sein muss.

Da über die momentane Geschwindigkeit  $v_m$  die Reisegeschwindigkeit geschätzt wird, wird diese aufgrund der größeren Wichtigkeit gegenüber der lokalen Geschwindigkeit  $v_l$  oftmals vereinfacht mit  $v$  bezeichnet. Unter der Annahme eines stationären Verkehrsablaufs kann der Zusammenhang zwischen  $q$ ,  $k$  somit durch die Zustandsgleichung „ $q = k \cdot v$ “ vereinfacht beschrieben werden (vgl. GEISTEFELDT 2007).

Die Form dieser wird über das Fundamentaldiagramm (Abbildung 2-2) beschrieben.

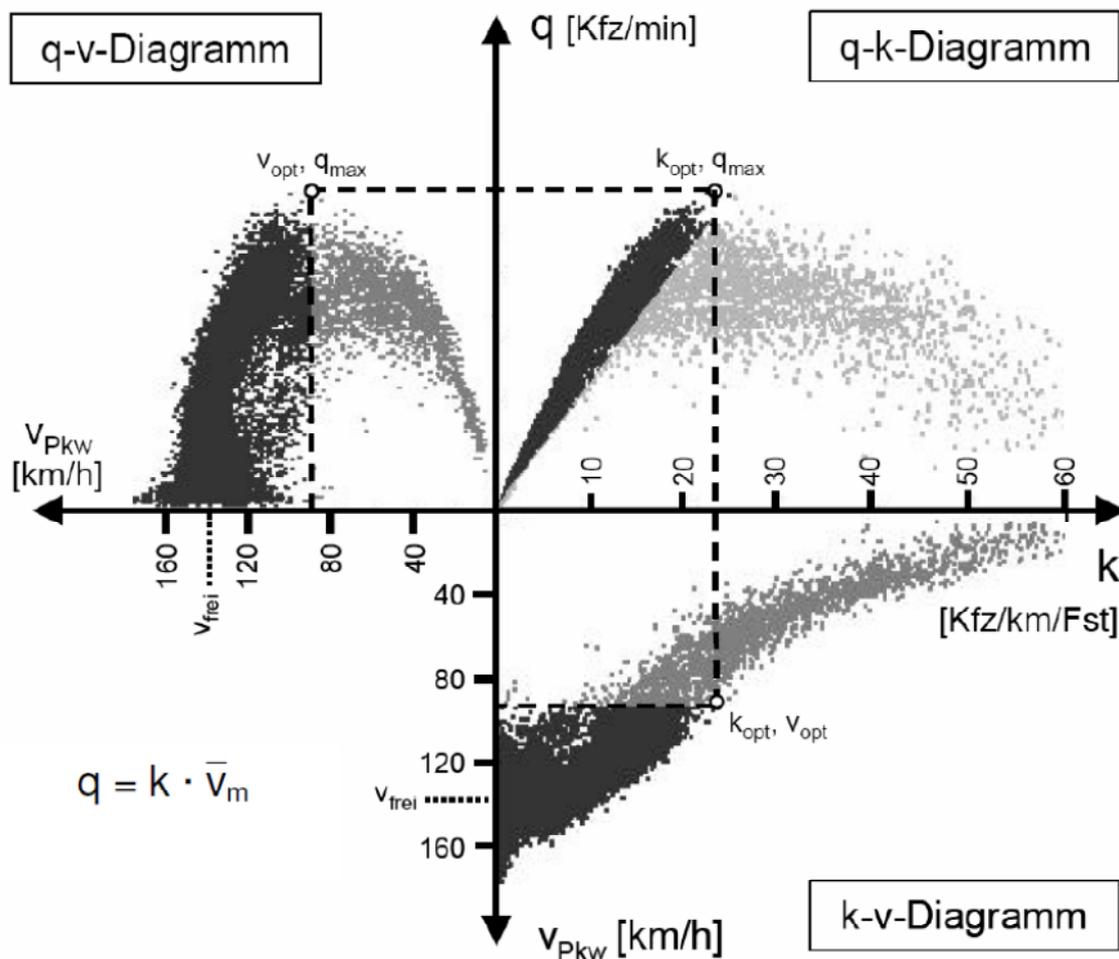


Abbildung 2-2: Darstellungsform des Fundamentaldiagramms (FGSV 2004 , S. 5)

Das Fundamentaldiagramm ist eine „dreidimensionale Punktwolke“ (FGSV, 2004, S. 5), welche in drei zweidimensionalen Diagrammen projiziert werden kann. Diese drei Diagramme (q-v-Diagramm, q-k-Diagramm und k-v- Diagramm) stellen die funktionale Abhängigkeit und die Zusammenhänge der drei genannten Kennwerte dar und lassen auf unterschiedliche Qualität des Verkehrsablaufs schließen (vgl. FGSV 2004).

Aus der Form des Fundamentaldiagramms, lassen sich einige Rückschlüsse auf den Verkehrsablauf ziehen. So ist zu sehen, dass zwei unterschiedliche Geschwindigkeiten im q-k-Diagramm der gleichen Verkehrsstärke  $q_i$  zugehörig sind. Die Schwelle der maximalen Verkehrsstärke  $q_{max}$  und der optimalen Verkehrsdichte  $k_{opt}$  trennt den Bereich hoher und frei zu wählender Wunschgeschwindigkeiten bei geringen Verkehrsdichten von dem Bereich mit eingeschränkten niedrigen Geschwindigkeiten und hohen Verkehrsdichten. Dabei wird der Bereich links der Schwelle als freier, stabiler oder fließender Verkehr und der Bereich rechts davon als instabiler, gebundener oder gestauter Verkehr bezeichnet (vgl. FELLENDORF, 2009).

Im k-v-Diagramm lassen sich die beiden Zustände (stabil und instabil) sehr häufig nur schwer unterscheiden. Die Punktwolke fällt mit zunehmender Verkehrsdichte ab, welches eine starke Abhängigkeit des Verkehrsflusses von der Dichte zeigt. Der Übergang vom stabilen in den instabilen Bereich kann als Sprung – „capacity drop“ gedeutet werden. Diese Bezeichnung meint das Phänomen, dass die Kapazität im freien Verkehr höher als

die im gestauten ist (vgl. REGLER 2004). Zusätzlich können neben der Bereichszuteilung (stabil/ instabil) noch weitere unterschiedliche Zustandsformen des Verkehrsflusses unterschieden werden, wie u.a. unter Punkt 2.3.2 näher beschrieben wird (vgl. FGSV 2004).

## 2.2 Kapazität

Für die Beschreibung des Verkehrsablaufs und die Bestimmung der Verkehrsqualität auf Autobahnen spielt die Kapazität eine zentrale Rolle. In diesem Kapitel werden einerseits die unterschiedlichen Ansätze zur Definition der Kapazität gegenübergestellt, die verschiedenen Methoden zur Bestimmung dieser aufgezeigt und mögliche Zusammenhänge herausgearbeitet. Andererseits soll auf gängige Praktiken zur Bestimmung der Kapazität bei Störungen eingegangen werden.

### 2.2.1 Definition der Kapazität

Klassisch wird die Kapazität als ein fester, einem bestimmten Querschnitt zugehöriger Wert angesehen, der die maximal zu erreichende Verkehrsstärke, z. B. die maximale Leistungsfähigkeit für einen Streckenabschnitt angibt. Dieser kann beispielsweise aus dem Fundamentaldiagramm (Abbildung 2-2) ermittelt werden, in dem der Hochpunkt des Graphen bei  $k_{opt}$ ,  $q_{max}$  den Kapazitätswert des zugehörigen Verkehrsabschnitts widerspiegelt (vgl. FGSV 2000).

Dem widersprechend zeigen neuere Forschungsarbeiten (z. B. BRILON&ZURLINDEN 2003, REGLER 2004 usw.), dass die Kapazität als stochastisch verteilte Größe verstanden werden muss, die einer ermittelten Kapazitätsverteilung folgt und daher auch für ein und denselben Streckenabschnitt unabhängig von äußeren Einflüssen verschiedene Werte annehmen kann.

### Konventionelle Ansätze

In bis heute gültigen Regelwerken wird die Kenngröße Kapazität (auf Autobahnen und Schnellstraßen), deren Ansatz hier kurz dargestellt werden soll, als deterministisch angesehen.

In den Begriffsbestimmungen - Teil: Verkehrsplanung, Straßenentwurf und Straßenbetrieb (FGSV, 2000, zit. In: ZURLINDEN, 2003, S. 28) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) - wird die Kapazität als „[g]rößte Verkehrsstärke, die ein Verkehrsstrom bei gegebenen Weg- und Verkehrsbedingungen an dem für ihn bestimmten Querschnitt erreichen kann.“, definiert.

Das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS 2001), das im deutschen Raum standardmäßig zur verkehrstechnischen Bemessung angewandte Regelwerk, erweitert diese Auslegung um die Bestimmung, dass die Verkehrsstärke  $q$  in Stundenintervallen in die Berechnung einfließt (vgl. FGSV, 2001).

Das Highway Capacity Manual (HCM 2000) als Pendant zum deutschen HBS (2001) sieht die Kapazität als „maximale stündliche Verkehrsstärke, mit der Personen oder Fahrzeuge einen Punkt oder einen einheitlichen Abschnitt einer Straße oder Fahrbahn in einer

definierten Zeit unter den vorherrschenden [...] [B]edingungen passieren können" (HCM 2000, zit.In: ZURLINDEN, 2003, S. 28). Für diese Bedingungen werden Weg- (z. B. Anzahl und Breite der Fahrstreifen), Verkehrs- (z. B. Schwerverkehrsanteil) und Steuerungsbedingungen (z. B. Geschwindigkeitsregelung oder Überholverbot) angeführt. Zusätzlich fließen Witterungs- und Lichtverhältnisse in die Bestimmung der Kapazität ein, welche als Grundwert unter „idealen“ Bedingungen bei einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn pro Fahrstreifen bei 2400Pkw/h liegt und sich je nach Änderung der Bedingungen verändert (vgl. ZURLINDEN, 2003).

Eine andere Definition der klassischen, konventionellen Festwertkapazität beschreibt diese „als mittlere Verkehrsstärke im Stauabfluss“ (SCHWIETERING, 2010, S. 13). Dieser Auslegung kommt zugute, dass die mittlere Verkehrsstärke im Abfluss eines Staus einerseits einen ziemlich einfach zu messenden, andererseits einen recht konstanten Wert darstellt.

All diese oben genannten, aus der Literatur stammenden Begriffsdefinitionen folgen dem Ansatz, dass die Kapazität als Festwert für einen bestimmten Streckenabschnitt anzusehen und dieser unter vorherrschenden Bedingungen (positive, negative Einflüsse) anzupassen ist. Beispielhaft kann hier zur Veranschaulichung auf Tabelle 2-1 zur Bestimmung der deterministischen Kapazität laut HBS (2001) für eine zweistreifige Richtungsfahrbahn ohne Geschwindigkeitsbegrenzung zurückgegriffen werden, für die basierend auf der Lage des Streckenabschnitts (innerhalb/außerhalb von Ballungsräumen), der Längsneigung und des Schwerverkehrsanteils spezifische Kapazitätswerte [Kfz/h] angegeben werden.

**Tabelle 2-1: Kapazitäten einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn ohne Geschwindigkeitsbeschränkung (HBS 2001)**

Längs- neigung	Kapazität [Kfz/h] nach HBS					
	Außerhalb von Ballungsräumen			Innerhalb von Ballungsräumen		
	SV-Anteil			SV-Anteil		
	0%	10%	20%	0%	10%	20%
Bis 2%	3600	3500	3400	4000	3800	3600
3%	3350	3250	3150	3750	3550	3350
4%	2950	2850	2800	3350	3150	2950
5%	2650	2600	2500	3050	2850	2650

Zusätzlich zu den aus der Tabelle 2-1 ersichtlichen Umgebungseinflüssen wie der Längsneigung wird die Kapazität auch durch den Verkehrszustand selbst beeinflusst. Der so genannte „Capacity Drop“ besagt, dass die Kapazität des sich nach einem Verkehrszusammenbruch bildenden Stauabflusses geringer ist als die Kapazität vor dem Zusammenbruch. Dieser Effekt kann auf die Verhaltensweisen der Fahrer bei Stauauflösung zurückgeführt werden (vgl. GEISTEFELDT, 2007).

Außerdem kann eine Abhängigkeit des Wertes, den die Kapazität einnimmt, vom betrachteten Bezugsintervall beobachtet werden. Im HCM (2000) ist dieses beispielsweise mit 15 Minuten, im HBS (2001) mit einer Stunde angegeben. Die Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb eines Bezugsintervalls der Verkehrszustand unverändert bleibt (das heißt grob: „fließend oder gestaut“) nimmt mit der Größe des Intervalls ab. Es wird in den beiden gültigen Regelwerken aber somit für unterschiedliche Zeitspannen vorausgesetzt, dass der jeweilige Zustand in diesem Intervall stabil bleibt (vgl. SCHWIETERING, 2010). Die Tatsache, dass die deterministische Kapazität mit zunehmender Intervalldauer abnimmt, wurde

bereits früher von KELLER, SACHSE (1992) und von PONZLET (1996) untersucht und bestätigt (vgl. GEISTEFELDT, 2007).

Um die determinierte Kapazität nach obigen Definitionen schlussendlich für einen bestimmten Streckenabschnitt bestimmen zu können, kennt die Literatur eine Vielzahl an sogenannten Verkehrsflussmodellen (z. B. Modellansatz von van Aerde) zur Beschreibung des Verkehrsablaufs.

### **Stochastische Ansätze**

Einige Autoren (z. B. ZURLINDEN 2003, REGLER, 2004, SCHWIETERING 2010 usw.) haben bereits in ihren Arbeiten in den letzten Jahren ihre Zweifel an einer deterministischen Kapazität untersucht und bei detaillierten Versuchsreihen festgestellt und bestätigt, dass bei annähernd gleich bleibenden Bedingungen unterschiedliche Verkehrsstärken zu Zusammenbrüchen des Verkehrsflusses führen. Dies kann leicht nachvollzogen werden, sobald man die Kapazität nicht wie in derzeit gültigen Regelwerken nach konventionellen Ansätzen als maximale erreichbare Verkehrsstärke definiert. Stattdessen wird beispielsweise davon ausgegangen, dass der Kapazitätswert die Verkehrsstärke sei, die gerade noch eine ausreichende Verkehrsqualität sichert und jeglicher Anstieg dieser zu einer Verkehrsüberlastung, d. h. einem Zusammenbruch des Verkehrsflusses, führt (vgl. BRILON E.A. 2005).

Aufgrund der Tatsache, dass die Kapazität auch unabhängig von systematischen Bedingungen erheblich variiert und daher nicht mehr als konstanter Wert aufgefasst werden kann, ist es in neueren Forschungsveröffentlichungen üblich, die Kapazität als probabilistische, zufallsverteilte Größe anzunehmen. Somit kann die Kapazität als die vorherrschende Verkehrsstärke eines Streckenabschnitts beschrieben werden, *„die mit dem maximal tolerierbaren Zusammenbruchrisiko unter den vorherrschenden Weg- und Verkehrsbedingungen korrespondiert“* (ZURLINDEN, 2003, S. 33). Die Verkehrsstärke, bei der gerade noch eine ausreichend gute Verkehrsqualität sichergestellt werden kann, wird in BRILON E.A. (2005) als aussagekräftige Verkehrsmenge für die Beschreibung einer variablen Kapazität herangezogen. Eine Verkehrsnachfrage jenseits der Kapazität führt zu einem Verkehrsstau und zu unzureichender Verkehrsqualität. Der stochastische Kapazitätsbegriff kann allerdings auch über einen Zusammenbruch des Verkehrsablaufes beschrieben werden, der immer dann eintritt, wenn die Verkehrsnachfrage größer als die Kapazität ist (vgl. GEISTEFELDT 2007). Ein konstanter Kapazitätswert würde bedeuten, dass bei Unterschreitung dieses, ein Zusammenbruch garantiert auszuschließen ist, im umgekehrten Fall jede Verkehrsnachfrage über dieser Grenze unweigerlich zum sofortigen Zusammenbruch führt. Aufgrund der realen zufälligen Schwankungen der maximal erreichbaren Verkehrsstärken (z. B. durch die Zufälligkeit des Verkehrsablaufs, der Zusammensetzung des Verkehrs oder des individuellen Verhaltens der Verkehrsteilnehmer) spiegelt die Kapazität nicht einen einzelnen fixen Wert wider, sondern wird durch eine Verteilfunktion repräsentiert. Diese gibt die Wahrscheinlichkeit wieder, dass es bei einer bestimmten Verkehrsstärke zu einem Verkehrszusammenbruch kommt (vgl. GEISTEFELDT 2007). Auch in BERNARD (2008, S. 60) wird die Kapazität als Zufallsgröße gesehen: *„Die momentane Kapazität einer Straße unter den gegebenen Verkehrsbedingungen ist erreicht, wenn bei der momentanen Verkehrsstärke ein Verkehrszusammenbruch erfolgt.“*

Trotz all dieser verschiedenen Definitionen der zufallsverteilten Kapazität geht aus neuerer Literatur einstimmig hervor, dass zukünftig auch für kommende gültige Richtlinien der wichtige Wert Kapazität als Zufallsvariable eingehen muss.

### **Zusammenhang zwischen der deterministischen und der variablen Kapazität**

Besonders für Bemessungspraktiken ist es von Interesse, einen Zusammenhang zwischen der traditionellen, deterministischen Kapazität und der stochastisch verteilten Kapazität zu finden. REGLER (2004) und GEISTEFELDT (2007) führen hierzu einige Experimente für die von ihnen für die Bestimmung der Verteilungsfunktion der Kapazität betrachteten Querschnitte durch und vergleichen verschiedene Quantile der Verteilungsfunktion mit den konventionellen Kapazitätswerten auf Übereinstimmung. Als repräsentativer Wert der Verteilungsfunktion könnten beispielsweise der Median oder der Erwartungswert herangezogen werden. Wird bei einer Kapazitätsverteilungsfunktion in 5-Minuten-Intervallen allerdings einer der zwei zuvor genannten Größen verwendet, kann festgestellt werden, dass sie zu hohe Überlastungswahrscheinlichkeiten liefern und dadurch die Wahrscheinlichkeit für einen Verkehrszusammenbruch unverhältnismäßig groß ist. Daher sollten für eine bessere Übereinstimmung kleinere Quantile (z. B. das erste oder das fünfte Perzentil) herangezogen werden. Für die Kapazitätsverteilung in 5-Minuten-Intervallen ergab sich bei den Untersuchungen die beste Übereinstimmung in etwa für das erste Perzentil, für die in Stundenintervallen für das 20. Perzentil. Dies bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenbruchs des Verkehrsablaufs bei einer Verkehrsstärke, die der klassischen Kapazität (z. B. hier nach dem „Verkehrsflussmodell nach van Aerde“ in Stundenintervallen berechnet) entspricht, in einem 5-Minuten-Intervall etwa ein Prozent, in einem Stundenintervall etwa 20 Prozent beträgt (vgl. GEISTEFELDT 2007).

#### **2.2.2 Kapazität bei Störungen**

Als Störungen im Verkehrsablauf sollen hier zuerst die kurzfristigen, ungeplanten Störfälle wie Nothalte oder Unfälle betrachtet werden, später geplante Einschränkungen durch durchzuführende Bauvorhaben. Besonders bei Autobahnen ohne Pannestreifen wird der Verkehrsablauf durch Nothalte oder Unfälle stark und außerplanmäßig beeinflusst, während bei Autobahnen mit Standstreifen meistens im Falle einer Panne trotzdem der gesamte Querschnitt befahrbar bleibt (vgl. BRILON&ZURLINDEN 2003).

Bei Unfällen wird hingegen angenommen, dass der gesamte Querschnitt nicht nur beschränkt, sondern für eine Sperrzeit von fünf (bei einer Gesamtstörfalldauer von bis zu 20 Minuten) bis zehn Minuten (ab einer Gesamtstörfalldauer von 20 Minuten) unbefahrbar ist (vgl. BRILON&LEMKE 1997). Das HCM (2000) liefert Tabellen, in denen für Autobahnen anhand ihrer Eigenschaften (Fahrstreifenanzahl, Standstreifen) anteilmäßige Kapazitätsreduktionswerte zu finden sind. Daraus wird in BRILON&ZURLINDEN (2003) die Tabelle 2-3 entwickelt.

**Tabelle 2-2: Anteil am ursprünglichen Kapazitätswert bei Unfällen und Pannen auf Autobahnen (HCM 2000, aus BRILON&ZURLINDEN 2003, S.60)**

Anzahl der Fahrstreifen	Grad der Querschnittseinschränkung			
	Standstreifen	1 Fahrstreifen	2 Fahrstreifen	3 Fahrstreifen
2	0,95	0,35	0,00	-
3	0,99	0,49	0,17	0,00

**Tabelle 2-3: Anteile der Störfallkapazität am ursprünglichen Wert (BRILON, ZURLINDEN 2003, S. 60)**

	Unfall	Nothalt
Zweistreifig ohne Standstreifen	0,35	0,86
Dreistreifig ohne Standstreifen	0,49	0,92
Zweistreifig mit Standstreifen	0,95	0,95
Dreistreifig mit Standstreifen	0,99	0,99

Die aus Tabelle 2-3 ersichtlichen Werte für die Nothalte berücksichtigen sowohl jene Fahrzeuge, die rechtzeitig zu einer Nothaltebucht gelangen (in 85 %) der Fällen), als auch die restlichen 15% von verkehrsbehinderten Nothalten, infolgedessen das Fahrzeug blockierend auf der Fahrbahn zum Stehen kommt. Diese Werte sind ab Aufhebung der oben genannten Sperrung des Gesamtquerschnitts relevant. Mit diesen aus Tabelle 2-3 ersichtlichen Faktoren kann durch Multiplikation sowohl mit einem klassischen Kapazitätsfestwert, als auch mit einer aus einer Kapazitätsverteilung ermittelten, zufallsverteilten Kapazität die verbleibende Kapazität bei einem kurzfristigen Störfall (Unfall, Panne, Nothalt) ermittelt werden (vgl. BRILON&ZURLINDEN 2003).

Im Unterschied zu den oben behandelten ungeplanten und kurzfristigen Störungen kann die Verkehrsführung in Baustellbereichen vorab geplant und deren Einfluss auf den Verkehrsfluss vorausgesehen werden. Es wird hier zwischen auf die Dauer bezogene Baustellverkehrsführungen unterschieden. Diesbezüglich wird von „Arbeitsstellen von längerer Dauer“ (ortsfest über mindestens einen Kalendertag) und „Arbeitsstellen von kürzerer Dauer“ (begrenzte Stundenanzahl z. B. nur bei Tageshelligkeit) gesprochen. Diesen über die Dauer abgegrenzten Definitionen folgend hat diese Kategorisierung der Baustellendauer auch differenzierte Auswirkungen auf die angewandten Verkehrsführungsvarianten und direkt damit verbunden auf die Kapazität des Streckenabschnittes (vgl. BECKMANN&ZACKOR, 2001).

Bei „Arbeitsstellen von kürzerer Dauer“ wird üblicherweise über eine Fahrstreifenreduktion in den Verkehrsablauf eingegriffen, da sowohl eine Überleitung, als auch eine Einengung des Fahrstreifens zu aufwändig sind. Zur verbesserten Aufrechterhaltung der Kapazität kann bei Sperrung des linken Fahrstreifens in gewissen Fällen der Standstreifen freigegeben werden. Bei „Arbeitsstellen von längerer Dauer“ gibt es generell vier Möglichkeiten die Kapazität durch die Verkehrsführung zu beeinflussen (vgl. BECKMANN&ZACKOR, S.11).

- Verkehrsführung ohne Überleitung auf die gegenüberliegende Richtungsfahrbahn und ohne Fahrstreifenreduktion, dafür mit Einengung der Fahrstreifenbreite
- Verkehrsführung ohne Überleitung, mit Fahrstreifenreduktion und -einengung
- Verkehrsführung mit Überleitung auf die gegenüberliegende Richtungsfahrbahn und Fahrstreifeneinengung, ohne Reduktion eines oder mehrerer Fahrstreifen
- Verkehrsführung mit Überleitung, mit Fahrstreifeneinengung und -reduktion

Abhängig von der aufgrund der Baustellendauer und den Umfeldbedingungen gewählten Maßnahme zur Verkehrsführung im Baustellenbereich wird die Kapazität einer oder beider Richtungsfahrbahnen für einen gewissen Zeitraum beeinflusst und reduziert. Zusätzlich gelten sowohl im eingeschränkten Baustellenbereichsverkehr als auch in den Verschwenkungs-, Einziehungs- und Überleitungsbereichen Geschwindigkeitsbeschränkungen. Die hier betrachtete Kapazität bei Störungen wird am stärksten von der Anzahl der Fahrstreifen beeinflusst, wobei man bei einer dreistreifigen Richtungsfahrbahn nicht direkt auf eine Kapazitätsabminderung von 33 % bei Reduktion eines Fahrstreifens schließen kann. Zusätzlich muss die Gesamtheit der oben genannten Faktoren wie die verbleibende Fahrstreifenbreite oder eine mögliche Überleitung auf die Gegenfahrbahn mit betrachtet werden. Außerdem müssen die Witterung, die Verkehrszusammensetzung (Güter- oder Schwerverkehrsanteil) aber auch die Zusammensetzung des Fahrerkollektivs (Fahrzweck, Ortskenntnis usw.) berücksichtigt werden (vgl. BECKMANN&ZACKOR, 2001). In der Literatur ergeben sich aufgrund der erforderlichen Berücksichtigung dieser Bandbreite an Einflussfaktoren auf die Kapazität im Baustellenbereich große Spannweiten bei der Ermittlung von eingeschränkten Kapazitätswerten, auf die hier deshalb nicht detaillierter eingegangen wird.

### **2.3 Verkehrsqualität auf Autobahnen und Schnellstraßen**

Die Bemessung von Verkehrsanlagen oder aber auch Verkehrssteuerungsprogramme verfolgen das Ziel einer Abwicklung der Verkehrsnachfrage unter einer angemessenen Qualität des Verkehrsflusses. Diese Verkehrsqualität als ein äußerst weitgefächertes Begriff kann abhängig von der subjektiven Sichtweise und dem individuellen Empfinden auf unterschiedlichste Art beurteilt werden. Auch die Frage nach den Einflüssen und Faktoren, die auf die Qualität des Verkehrsflusses Einfluss nehmen, hängt von der Definition dieser ab.

Für eine Bewertung der Verkehrsqualität werden abhängig vom Typ der Straßenverkehrsanlage unterschiedliche Kriterien herangezogen, auf deren Basis eine Aussage über die Verkehrsqualität getroffen werden soll. Zurzeit beruhen gültige Richtlinien (HBS 2001, HCM 2000, ÜAS 1995) auf makroskopischen Kenngrößen (Verkehrsstärke bzw. Auslastungsgrad, Verkehrsdichte, lokale Geschwindigkeit). Dabei bewerten diese Kriterien eher den Grund der Überlastung als deren Auswirkung und es ist eine quantitative Beurteilung bestenfalls für den ungesättigten Verkehrsfluss möglich. Derzeitige Verfahren sind daher nur eingeschränkt zur Dringlichkeitsreihung von Verbesserungsmaßnahmen des Verkehrsablaufs einsetzbar (vgl. BRILON&ESTEL 2008).

Aus diesem Grund soll eingangs der Begriff der Verkehrsqualität für diese Arbeit definiert und abgegrenzt werden. Anschließend wird auf die verschiedenen Einteilungen des Verkehrsablaufs in Verkehrszustandsstufen eingegangen, bevor heute gültige Regelwerke zur Bewertung von Verkehrsqualität und neue Ansätze dazu vorgestellt werden.

#### **2.3.1 Begriffsdefinition und -abgrenzung**

Zu Beginn soll der Begriff „Qualität“ allgemein erläutert werden. Dafür wird hier auf die Definition von BEUTIN (2000, zit.In: OLBRICH 2008, S.5) zurückgegriffen, der diese beschreibt als

*„[...] die Kundeneinschätzung, dass ein Produkt die ihm zugeordneten Eigenschaften und Aufgaben erfüllt, also gebrauchstüchtig, funktionssicher, nicht störanfällig und beständig ist.“*

Besonders die Merkmale „störanfällig, funktionssicher und beständig“ sind für das „Produkt“ Verkehr von ungeheurer Wichtigkeit, da ohne diese ein ordnungsgemäßer Ablauf nicht zustande kommen kann. Verkehrsqualität selbst wird im HBS (2001, zit. In: OLBRICH 2008, S. 6) sehr allgemein als

*„die zusammenfassende Gütebeurteilung des Verkehrsflusses aus Sicht der Verkehrsteilnehmer“*

beschrieben. Dem widersprechend wird in MUNK E.A. (2009) die Bedeutung der Verkehrsqualität sowohl für die Verkehrsplanung, als auch für das Verkehrsmanagement unterstrichen. Für Planer stellt sie die Auslegungsgrundlage von Verkehrsnetzen dar, für Ingenieure dient sie als Kriterium für die Steuerung und für den Nutzer der Verkehrsanlage bildet sie die Entscheidungsbasisinformation für die Routenwahl. Bei der Beschreibung der Verkehrsqualität müssen somit grundsätzlich zwei verschiedene Blickwinkel in Betracht gezogen werden. Es gilt, die objektive Sichtweise des Verkehrsplaners, vorgegeben von Betreibern, Entscheidern und Geldgebern (Gemeinden, Bund, Länder, EU) zu berücksichtigen, ohne die individuelle und subjektive Sichtweise des Verkehrsteilnehmers zu vernachlässigen (vgl. OLBRICH 2008).

Nach BASELAU (2005) spielen für die empfundene Qualität des Verkehrsablaufs die gefahrenen Geschwindigkeiten und in weiterer Folge Reisezeiten, die Bewegungsfreiheit von Kraftfahrern (Fahrstreifenwechsel, Überholraten usw.) und die räumliche und zeitliche Gleichmäßigkeit des Verkehrsflusses (homogener oder harmonischer Verkehrsfluss) eine große Rolle. Besonders in Bereichen hohen Verkehrsaufkommens und/oder von Unfallhäufungspunkten haben Verkehrsmanagementstrategien durch Steuerung des Verkehrsflusses (z. B. Reduktion der erlaubten Geschwindigkeit, Pannestreifenöffnung) eine Harmonisierung und Verdichtung und somit eine qualitativ bessere und sicherere Abwicklung der Verkehrsnachfrage zum Ziel.

Mit dieser Arbeit soll ein Beitrag zur netzweiten Beurteilung der Verkehrsqualität geschaffen werden. Flächendeckend ist in der Regel eine solche Verkehrssteuerung wie in Ballungsräumen weder wirtschaftlich zweckmäßig, noch stehen dafür die notwendigen Datenerfassungsmöglichkeiten netzweit zur Verfügung. Deshalb sollen in weiterer Folge zur Bewertung der netzweiten Verkehrsqualität Kriterien der Gleichmäßigkeit und Homogenität, die ohne Frage in Ballungsräumen mit hohem Verkehrsaufkommen nicht zu vernachlässigen sind, außer Acht gelassen werden.

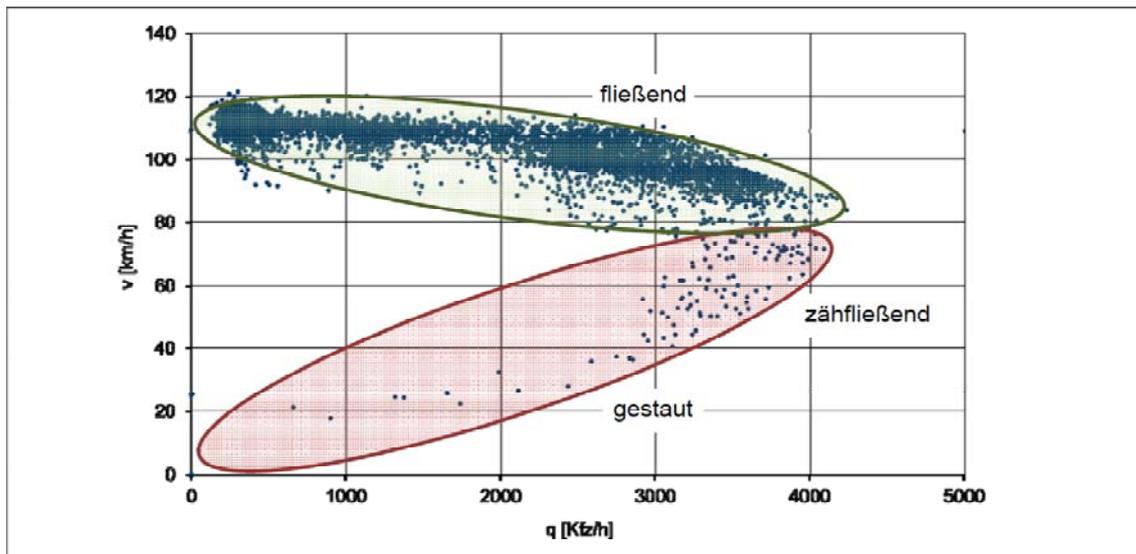
### **2.3.2 Bewertungsmethoden und Zustände des Verkehrs**

Die Beurteilung der Verkehrsqualität auf Autobahnen und Schnellstraßen geht unweigerlich mit der Ermittlung der Kapazität für den gewünschten Straßenabschnitt einher. Aufgrund der Tatsache, dass hier die theoretischen Grundlagen aufgezeigt werden sollen und dass darüber hinaus kein einzig gültiges Regelwerk bisher die unter 2.2 beschriebene Variabilität der Kapazität berücksichtigt, werden hier auch die derzeit gültigen Konzepte zur Beurteilung der Verkehrsqualität erwähnt.

Die Kapazität beim traditionellen Ansatz als Festwert trennt im Fundamentaldiagramm (siehe Abbildung 2-2) die Bereiche des teilgebundenen Verkehrs und des gebundenen

Verkehrs. Für die Bemessung von Verkehrsanlagen sollte nach BASELAU (2005) die zulässige Verkehrsstärke unterhalb der Kapazität, also im Bereich des teilgebundenen Verkehrs liegen.

Grundsätzlich können zwei Hauptverkehrszustände definiert werden (siehe Abbildung 2-3): der sogenannte „fließende Verkehr“ und der „gestaute Verkehr“. Die Messgrößen zur Beschreibung des Verkehrsablaufs sind hierbei meist die Verkehrsstärke und -dichte sowie die lokale Durchschnittsgeschwindigkeit.



**Abbildung 2-3: Beispielhafte Darstellung der Hauptverkehrszustände im q-v-Diagramm für eine zweistreifige Richtungsfahrbahn in Stundenintervallen (GEISTEFELDT&LOHOFF 2011, S.7)**

Üblicherweise wird der Verkehrsablauf allerdings nicht nur nach „gestört“ oder „gestaut“ unterschieden, sondern nach definierten Verkehrszuständen. In der Literatur finden sich weitere Unterteilungen dieser beiden Hauptverkehrszustände. KERNER (2004) geht in seiner Zustandsbeschreibung nach der Drei-Phasen-Theorie von drei Stufen aus:

- freier Verkehr (geringe Verkehrsstärken und -dichten)
- synchronisierter Verkehr (bis zum Bereich maximaler Verkehrsstärke)
- stromaufwärts bewegende, lange Stauzonen

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt, 1999) unterteilt in ihrem Merkblatt für die Anordnung von Verkehrsrechnerzentrale und Unterzentralen die beiden Hauptstufen in jeweils zwei Unterstufen, nämlich den frei fließenden Verkehr in freien und dichten Verkehr, den gestauten Verkehr in zähfließenden Verkehr und Stau.

Weiters gibt es den Ansatz nach KIM&KERNER (2001), im Bereich des gestauten Verkehrs eine Unterscheidung in die vier Gruppen „synchronisiert“, „stockend“, „gestaut“ und „stehend“ zu treffen (vgl. BULD E.A. 2006).

Seit das Highway Capacity Manual (HCM, 2000) bereits 1965 die Beurteilung der Verkehrsqualität nach einem Qualitätsstufenprinzip (Level Of Service, LOS) beschreibt, ist diese Bewertungspraxis weltweit Standard. Es werden sechs Qualitätsstufen (von A bis F) bestimmt, welche den Einfluss der Verkehrsdichte (bzw. Verkehrsstärke) auf den Verkehrsablauf berücksichtigen (vgl. BERNARD 2008). Das deutsche Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS 2001) übernimmt dieses Konzept der indirekten Beurteilung der Verkehrsqualität über Qualitätsstufen im Unterschied zu den

österreichischen Richtlinien (RVS), bei denen wie oben erläutert direkt die Kenngrößen des Verkehrsablaufs zur Beurteilung herangezogen werden. Indikator für die Qualitätsstufen ist dabei auf Autobahnen primär der Auslastungsgrad, wobei aber auch wie beim HCM (2000) die Verkehrsdichte oder die lokale Geschwindigkeit herangezogen werden können (vgl. BASELAU 2005).

Die Qualitätsstufen beschreiben sowohl beim HCM (2000) als auch beim übernommenen Prinzip des HBS (2001) den Verkehrszustand. Dabei entsprechen die sechs Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QVS) den amerikanischen Levels of Service (LOS). Sie werden über die gefahrene lokale Geschwindigkeit und hauptsächlich aus dem Verhältnis von vorherrschender Verkehrsstärke zu Kapazität definiert. All diese verschiedenen Möglichkeiten der Bildung unterschiedlicher Level of Service eint, dass jeweils nur ein gewisser Bereich mit hoher Verkehrsnachfrage (z. B. 30. Spitzenstunde eines Jahres) betrachtet wird (vgl. SPANGLER 2009).

Die Definition der Qualitätsstufen erfolgt nach HCM (2000) und HBS (2001) wie folgt:

- Stufe A
 

Sie stellt den Bereich der besten Qualität dar, da der Auslastungsgrad sehr gering ist. Die Verkehrsteilnehmer können ihre Geschwindigkeit frei wählen und besitzen innerhalb des Verkehrsstroms in vollem Umfang Bewegungsfreiheit, auch hinsichtlich der Wahl des Fahrstreifens - der Verkehrsfluss ist frei. Die mittlere PKW-Geschwindigkeit auf Autobahnen ohne Geschwindigkeitsbeschränkung (oder  $v_{\max}=130$  km/h) ist größer oder gleich 130 km/h.
- Stufe B
 

Der Bereich des stabilen Flusses, in dem geringfügige Einflüsse durch andere Kraftfahrer auftreten, die das individuelle Fahrverhalten jedoch nur unwesentlich bestimmen, kennzeichnet Stufe B. Die untere Grenze der Stufe B wird als Bemessungskriterium für Fernstraßen vorgeschlagen. Die mittlere PKW-Geschwindigkeit auf Autobahnen ohne Geschwindigkeitsbeschränkung (oder  $v_{\max}=130$  km/h) ist größer oder gleich 125 km/h.
- Stufe C
 

Der Verkehrszustand ist noch stabil, jedoch macht sich die Anwesenheit der übrigen Verkehrsteilnehmer deutlich bemerkbar. Die individuelle Bewegungsfreiheit ist eingeschränkt, so dass die Geschwindigkeit nicht mehr frei wählbar ist, jedoch noch in einem akzeptablen Bereich liegt. Diese Stufe wird für Ballungsräume als praktikabel angesehen. Die mittlere PKW-Geschwindigkeit auf Autobahnen ohne Geschwindigkeitsbeschränkung (oder  $v_{\max}=130$  km/h) ist größer oder gleich 115 km/h.
- Stufe D
 

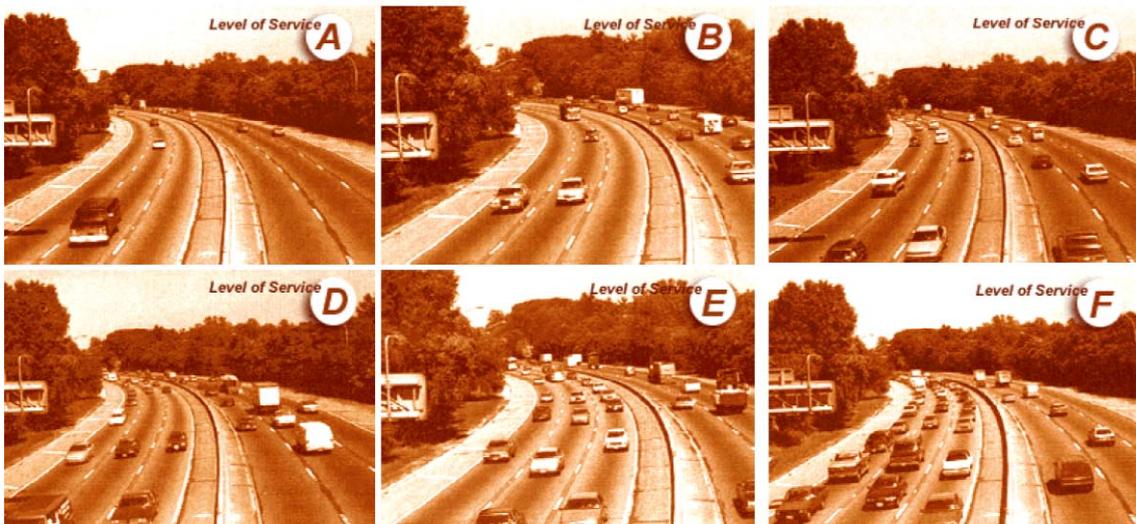
Es treten ständige Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern auf, bis hin zu Konfliktsituationen und gegenseitigen Behinderungen. Der Auslastungsgrad ist hoch, die Möglichkeiten der individuellen Geschwindigkeits- und Fahrstreifenwahl sind stark eingeschränkt. Die mittlere PKW-Geschwindigkeit auf Autobahnen ohne Geschwindigkeitsbeschränkung (oder  $v_{\max}=130$  km/h) ist größer oder gleich 100 km/h.
- Stufe E
 

Es bilden sich Kraftfahrzeugkolonnen. Der Auslastungsgrad ist sehr hoch. Bereits geringe oder kurzfristige Zunahmen der Verkehrsstärke können zu Staubbildung und Stillstand führen. Der Zustand des Verkehrsflusses wechselt von der Stabilität zur

Instabilität. Die Verkehrsstärke kommt der Kapazität der Richtungsfahrbahn nahe. Die mittlere PKW-Geschwindigkeit auf Autobahnen ohne Geschwindigkeitsbeschränkung (oder  $v_{\max}=130$  km/h) ist größer oder gleich 80 km/h.

- Stufe F

Das der Strecke zufließende Verkehrsaufkommen ist größer als die Kapazität. Der Verkehrsfluss bricht zusammen, d. h. es kommt stromaufwärts immer wieder zu Stillstand und Stau im Wechsel mit "Stop-and-Go"-Verkehr - die Strecke ist überlastet. Die mittlere PKW-Geschwindigkeit auf Autobahnen ohne Geschwindigkeitsbeschränkung (oder  $v_{\max}=130$  km/h) ist kleiner als 80 km/h.



**Abbildung 2-4: Illustration verschiedener Stufen der Verkehrsflussqualität für Autobahnen (HCM 2000, aus BOKU 2009, S.10.)**

Tabelle 2-4 zeigt abschließend einen aktuellen Vergleich der Qualitätsstufen der amerikanischen, deutschen und schweizerischen Richtlinien für den Verkehrsfluss auf einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn einer Autobahn bzw. eines Freeways (Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h), wobei der Auslastungsgrad den Quotient aus Bemessungsverkehrsstärke und Kapazität darstellt. In der aktuellen Schweizer Norm (SN 640 018a, VSS, 2006) werden die Qualitätsstufen ausschließlich über den Auslastungsgrad bestimmt (vgl. BERNARD 2008).

**Tabelle 2-4: Vergleich der Verkehrsqualitätsstufen des HCM, des HBS und der VSS für eine zweistreifige Richtungsfahrbahn einer ebenen Autobahn (BERNARD 2008)**

Qualitäts- stufe	Verkehrsdichte [PW/km]		Auslastungsgrad (Verkehrsfluss / Kapazität) [-]			mittlere Geschwindigkeit [km/h]	
	HCM	HBS	HCM	HBS	VSS	HCM	HBS
A	≤ 14	≤ 8	≤ 35 %	≤ 30 %	≤ 40 %	≥ 120	≥ 130
B	≤ 22	≤ 16	≤ 55 %	≤ 55 %	≤ 60 %	≥ 120	≥ 125
C	≤ 32	≤ 23	≤ 77 %	≤ 75 %	≤ 80 %	≥ 115	≥ 115
D	≤ 44	≤ 32	≤ 92 %	≤ 90 %	≤ 90 %	≥ 100	≥ 100
E	≤ 56	≤ 45	≤ 100 %	≤ 100 %	≤ 100 %	≥ 86	≥ 80
F	-	> 45	-	-	> 100 %	-	< 80

HCM: Highway Capacity Manual 2000, Transportation Research Board (2000)  
zweistreifige Richtungsfahrbahn eines Freeways mit 120 km/h zulässiger  
Geschwindigkeit, S. 23-3

HBS: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen 2001, FGSV (2001)  
zweistreifige Richtungsfahrbahn einer Autobahn mit reinem Pkw-Verkehr mit  
130 km/h Richtgeschwindigkeit, S. 3-8

VSS: Vereinigung schweizerischer Straßenfachleute (2006), SN 640 018a  
zweistreifige Richtungsfahrbahn normalen Ausbaugrades (2x2-N) mit Schwer-  
verkehrsanteil ≤ 5 %, Steigung < 2 % und 120 km/h zulässiger Geschwindigkeit

Vorrangig dienen das LOS-System und die damit verwandten Bewertungsansätze in derzeit gültigen Regelwerken nicht der Beurteilung des aktuellen Verkehrszustandes, sondern der Dimensionierung neuer Straßen (vgl. Q 2007). Besonders die Tatsache, dass der Überlastungsbereich mit nur einer einzigen Beurteilungsebene (LOS F) unzureichend abgebildet wird, ist nicht zeitgemäß (vgl. BERNARD 2008).

Ein weiterer, ausführlicher Vorschlag zur Unterteilung, der sich insbesondere mit den Verkehrszuständen des gestauten Verkehrs auseinandersetzt, wird in BULD E.A. (2006) genannt. Es werden sechs Verkehrszustandsstufen formuliert: der Freiflussverkehr, der synchronisierte Verkehr, der homogen synchronisierte Verkehr, der geschwindigkeitshomogene Verkehr, der inhomogen synchronisierte Verkehr und der "Stop-and-Go"-Verkehr. Die Kapazität ist dabei im fließenden Verkehr höher als während der Überlastung und als Phänomen des „Capacity-Drops“ bekannt.

In den österreichischen Richtlinien (RVS) werden zur Bewertung der Verkehrsqualität abhängig von deren Verbindungsfunktion unterschiedliche Anspruchsniveaus definiert. Darauf basierend sind Verfahren zur Kategorisierung österreichischer Straßen entwickelt worden. Dies ermöglicht die Zuordnung einer Straße zu einer gewissen Kategorie, woraus bestimmte Ansprüche an die Verkehrsqualität hervorgehen. Als Kriterium zur Beurteilung der vorhandenen Verkehrsqualität auf einer Straße werden verschiedene Kenngrößen wie die lokale Fahrgeschwindigkeit oder die Verkehrsdichte verwendet. Die Entwicklung der Bemessungsmethode zielt auf die Identifikation geeigneter Kriterien zur Beurteilung des Verkehrsablaufs und der Verkehrsqualität ab (vgl. FHTW 2009)

### 2.3.3 Neuere Ansätze zur Ermittlung der Verkehrsqualität

Aus der neuen stochastischen Betrachtungsweise der Kapazität von Autobahnen oder Schnellstraßen resultiert auch ein geändertes Verständnis für die Verkehrsqualität. Mit der Methode der Bewertung nach den bekannten LOS- bzw. QVS-Qualitätsstufen werden unterschiedliche Überlastungssituationen mit ein und derselben Qualitätsstufe F beschrieben. Während für die klassische Lehre der Bereich jenseits der deterministischen Kapazität nicht einmal in Erwägung gezogen wird, können durch die stochastische Denkweise diese Zustände jenseits der Kapazität betrachtet und diese Überlastungsereignisse berechenbar gemacht werden. Auch verstärkt sich in Fachkreisen die Meinung, dass es nicht ausreicht, nur die Spitzenstunde eines Tages zu betrachten und somit die restliche Zeit eines Tages zu vernachlässigen, sondern dass eine kontinuierliche Betrachtung des Verkehrsflusses über alle Stunden eines Tages zeitgemäß sei (vgl. BRILON&ESTEL 2008).

Heute gültige Regelwerke (HCM 2000, HBS 2001) sind außerdem nicht im Stande, den Überlastungsbereich ausreichend zu beschreiben. Angewandte Kenngrößen wie der Auslastungsbereich (HBS) oder die Verkehrsdichte (HCM) stellen dem Nutzer eher die Ursache einer Überlastung dar, als dass sie die spürbare Auswirkung repräsentieren.

Somit schreibt man in neueren Forschungsarbeiten Parametern eine höhere Bedeutung zu, die nicht alleine auf Querschnittsdaten beruhen. Bekannte und angewandte Verfahren detektieren oftmals lokale Kenngrößen (Verkehrsstärke, Verkehrsdichte, Auslastungsgrad, lokale Geschwindigkeiten), die allerdings nur lokale Aussagekraft besitzen und den nicht detektierten Bereich, der für die Beurteilung einer netzweiten Verkehrsqualität aber erforderlich wäre, nicht beschreiben können (vgl. Spangler 2009). Dabei stellt die Tatsache, ob anstatt der erwarteten Fahrzeit für einen gewissen Streckenabschnitt eine sehr viel größere Fahrzeit benötigt wird, ein wesentliches Kriterium für eine zufriedenstellende Qualität dar, welches einhergeht mit der Frage nach der zu erwartenden Reisezeit, der Zuverlässigkeit und dem Auftreten von Verkehrsstaus (Stautunden, Verlustzeiten) (vgl. BRILON 2005).

Aus diesen Erkenntnissen entwickelten sich ausgehend von den USA seit den 1990er Jahren zahlreiche Parameter, die in Kapitel 2.6 ausführlich diskutiert und beschrieben werden. Bei diesen können nun die Folgeerscheinungen des Überlastungsereignisses wie beispielsweise die Staudauer berücksichtigt werden. Außerdem ist es mit diesem Wissen möglich, Zustände der Überlastung, die ganz naturgemäß zu jedem Straßenabschnitt gehören, rational in die quantitative Analyse einzubeziehen, anstatt – wie bisher – die Überlastungszustände (HBS: QSV = F) einfach aus der Betrachtung auszublenden (vgl. BRILON&ESTEL 2008).

## 2.4 Analyse des Verkehrsüberlastungsbereiches

Kenngrößen zur Beurteilung der Verkehrsqualität basieren auf eindeutiger Definition eines Verkehrsüberlastungsbereiches, der unter diesem Punkt ausführlich betrachtet werden soll. Aus bereits veröffentlichter, einschlägiger Literatur (z. B. BRILON&ESTEL 2008, SCHWIETERING 2010) ist bekannt, dass die Forschungsergebnisse zur Definition von Überlastung quantitativ stark voneinander abweichen. Qualitativ gesehen gleichen sich allerdings alle Ergebnisse in dem Punkt, dass bei einer Verkehrsnachfrage jenseits der

Kapazität die Verkehrsqualität auf ein unzureichendes Maß zurückfällt („Zusammenbruch“ des Verkehrs) und die Verkehrsstärke signifikant absinkt.

Bei einem überlasteten Autobahnabschnitt überschreitet die derzeitige Verkehrsnachfrage die maximal aufnehmbare Verkehrsmenge. Das Überschreiten dieses Kapazitätswertes geht auf Autobahnen einher mit dem plötzlichen Übergang von fließenden in gestauten Verkehr und wird als „Zusammenbruch des Verkehrsflusses“ bezeichnet (vgl. GEISTEFELDT&LOHOFF 2011). Die Geschwindigkeit sinkt unter eine definierte Grenzggeschwindigkeit und die Verkehrsdichte steigt deutlich an. Die Verkehrsnachfrage kann jedoch während der Überlastung nicht vollständig abgewickelt werden und es bildet sich Stau. Dieser Begriff wird häufig auch in einschlägiger Fachliteratur als Synonym für Überlastung gesehen (z. B. in BRILON&ESTEL 2008) und ist die Auswirkung eines Verkehrszusammenbruchs. Wie unter Kapitel 2.2 für den Kapazitätswert bereits aufgezeigt, sind allerdings weder die Verkehrsnachfrage noch die angesprochene Kapazität - noch nicht einmal die Staudefinition an sich - „fixe“ Größen, sondern sie variieren signifikant beispielsweise je nach Tageszeit, Wochentag und Jahreszeit (vgl. OECD 2007).

#### 2.4.1 Definition des Begriffes Stau

Als Stau wird ein vorübergehender Zustand des Verkehrsablaufs bezeichnet, der aus regelmäßig wiederkehrender zu hoher Verkehrsnachfrage in Spitzenstunden oder aber auch aus unvorhersehbaren plötzlich auftretenden Kapazitätsengpässen, wie z. B. durch Unfälle, resultiert. In der öffentlichen Debatte wird Stau meist als isolierte Erscheinung gesehen, ohne die komplexe Einbettung des Phänomens genauer zu betrachten. Um den Begriff Stau definieren zu können, müssen die unterschiedlichen Arten und Ursachen von Stau untersucht werden. Stau kann abhängig von der Sichtweise als ein verkehrstechnisches Problem, ein wirtschaftliches Problem oder einfach nur als eine Reduktion der Service-Qualität betrachtet werden. SCHALLABÖCK&PETERSEN (1998) meinen mit Stau die „*Reduktion der Servicequalität der Infrastruktur aufgrund von Überlastungen oder anderen Gründen.*“, (zit. In: GEISTEFELDT&LOHOFF 2011, S.9). BOVY&SALOMON (1997) andererseits sehen sie Stau als einen „*Zustand des Verkehrsflusses auf einer Verkehrsanlage, der durch eine im Vergleich zum Referenzzustand hohe Dichte und niedrige Geschwindigkeiten geprägt ist.*“, (zit. In: GEISTEFELDT&LOHOFF 2011, S.9).

Nach GERONDEAU (1998) können mindestens fünf Definitionen mit teilweise unterschiedlichen Bedeutungen angegeben werden:

- Der Begriff Stau beschreibt einen nicht flüssigen Verkehrsfluss
- Stau tritt beim Absinken der mittlere Geschwindigkeit in einem Zeitintervall unter einen Geschwindigkeitsschwellenwert ein
- Staus können anhand der wirtschaftlichen Kosten (z. B. aufgrund erhöhter Reisezeit) identifiziert werden, die anfallen, wenn die Nachfrage die Kapazität überschreitet
- Stau tritt ein, wenn die Nachfrage die Kapazität überschreitet
- Der Verkehrsteilnehmer legt eine individuelle und qualitative Staudefinition für sich selbst fest

In der Literatur zeichnen sich trotz zahlreicher verschiedener Varianten zwei klar voneinander abgegrenzte Definitionen von Stau ab; die eine, die ihren Fokus auf die Stauursache (Merkmale des Verkehrsflusses) legt und die andere, die die Überlastung

anhand der Auswirkung definiert. Nach LOMAX E.A. (1997) bedarf es für die Staumessung und die Bildung einer Kenngröße einer Definition nach der Überlastungsauswirkung. Zu den Auswirkungen gehören (vgl. BRILON&ESTEL 2008):

- Störung des Verkehrsflusses:  
Im überlasteten Bereich mit sehr hoher Verkehrsdichte führen bereits geringe Änderungen der Geschwindigkeit zu Instationarität.
- Zusätzliche Reise- bzw. Verlustzeit:  
Mit zunehmender Verkehrsstärke bzw. -auslastung nimmt ab einem gewissen Belegungsgrad die mittlere Reisezeit zu und führt zu Verlustzeit. Diese meint in diesem Zusammenhang die Reisezeit, die sich aufgrund der zu hohen Verkehrsnachfrage zusätzlich zur Reisezeit bei freiem, vollkommen ungestörten Verkehrsfluss ergibt.
- Qualitätsanforderungen an den Verkehrsablauf:  
Das Über- oder Unterschreiten des im HBS oder HCM definierten Grenzwertes vom Übergang der Qualitätsstufe E nach F kann als Definition einer Überlastung dienen.

Die andere Möglichkeit ist es, einen Verkehrsstau über Merkmale des Verkehrsablaufes zu definieren. So befindet sich der Verkehrsfluss im instabilen Bereich, wenn ein hohes Maß an Brems- und Beschleunigungsvorgängen festgemacht, singuläre Störungen verstärkt werden und diese lokale Verkehrszusammenbrüche zur Folge haben (vgl. BECKMANN&ZACKOR 2001).

Ein anderer Weg auf der Suche nach der richtigen Staudefinition ist aus BERTINI (2005) bekannt. Darin werden zu dieser Thematik mehr als 3500 amerikanische Verkehrsexperten aus Wissenschaft und Praxis zu ihrer Sichtweise befragt, nach welchen Kriterien Überlastung zu definieren ist. Die dabei primär genannten Kenngrößen sind streckenbezogene Kriterien (46 %), die sich in Reisezeiten und (streckenbezogene) Geschwindigkeiten gliedern, über die die Befragten Überlastung beschreiben. Weiters werden die Überladungsdauer und LOS/QSV-Stufen (Auslastungsgrad, Verkehrsdichte) angeführt, deren prozentuale Nennungen aus Abbildung 2-5 ersichtlich sind.

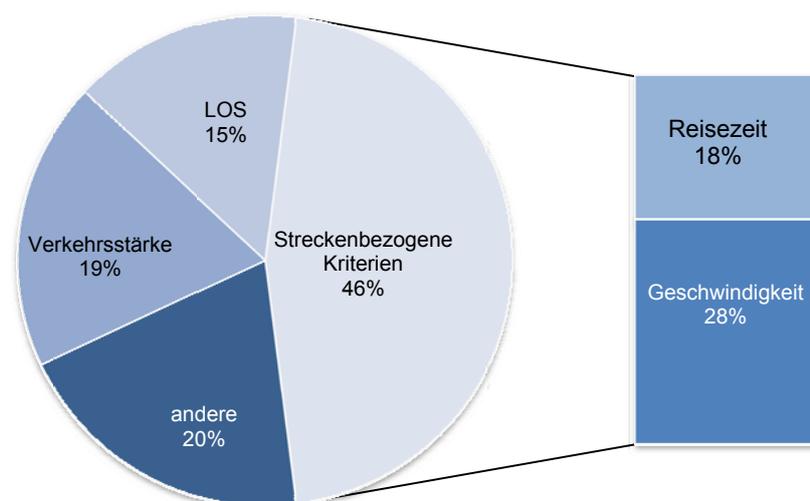


Abbildung 2-5: Größen über die Überlastung definiert werden kann (nach BERTINI, 2005, S.3)

Für den vom Stau betroffenen Verkehrsteilnehmer selbst bedeuten Stauerscheinungen Einschränkungen der Straßenverfügbarkeit, eine Reduktion der Verkehrsqualität aufgrund

von Geschwindigkeitsreduktionen und dadurch auftretende Reisezeitverluste (vgl. GEISTEFELDT&LOHOFF 2011).

#### **2.4.2 Entstehung von Überlastungen**

Stau ist für Verkehrsteilnehmer Immobilität, die sich in langen Schlangen aus stehenden oder langsam fahrenden Fahrzeugen äußert. Verkehrsüberlastung tritt auf, wenn (a) die Verkehrsanlage die Verkehrsnachfrage (unter Voraussetzung einer angemessenen Geschwindigkeit) nicht aufnehmen kann, (b) Konflikte bezüglich der verschiedenen Verkehrstypen (PKW, LKW, Bus, etc.) bestehen und (c) Verkehrssteuerung und Verkehrskontrollen unpassend angebracht werden. Jeder Verkehrszusammenbruch entsteht durch das Auftreten einer dieser Überlastungsursachen oder aus der Kombination mehrerer dieser Faktoren (vgl. LOMAX E.A. 1997).

Demnach kann Instabilität des Verkehrsflusses Grund für den Zusammenbruch sein, einerseits aufgrund der Schwankungen in der Verkehrsstärke und -dichte, andererseits aufgrund der Interaktion zwischen den Verkehrsteilnehmern selbst. Weiters werden Spurwechselmanöver, Unfälle, Pannenfahrzeuge oder andere Sonderereignisse als Auslöser genannt. Andere Gründe können auch verkehrsanlagenbezogene Ursachen wie etwa Spurreduktionen, Steigung oder Geschwindigkeitsbeschränkungen sein (vgl. Schwietering 2010). In FHWA (2005) werden außerdem noch der Wittereinfluss, Baustellen und Engpässe als Ursachen hervorgehoben. Diese einzelnen Faktoren sind dabei keineswegs unabhängig voneinander, sondern bedingen sich sogar in vielen Fällen gegenseitig.

Aus Untersuchungen geht hervor, dass der Grund einer Überlastungssituation für die 200 Stunden eines Jahres aus der Dauerlinie mit den höchsten Verkehrsstärken beobachtbare Regelmäßigkeiten aufweisen. Die Dauerlinie spiegelt dabei die Anordnung von der höchsten bis zur niedrigsten stündlichen Verkehrsnachfrage aller Stunden eines Jahres wider. Es ist aus Forschungsprojekten bekannt, dass die Ursache der am stärksten belasteten 10 bis 20 Stunden des Jahres bei Sonderereignissen wie Unfällen und Wittereinbrüchen liegt. Verkehrszusammenbrüche aufgrund von Kapazitätsengpässen bei normaltäglichen Verkehrsstärken treten vielmehr erst ab der 30. Stunde (bis zur 100. Stunde) der Dauerlinie auf (vgl. BRILON&ESTEL 2008).

#### **2.4.3 Verschiedenheit und Ablauf von Überlastungssituationen**

Die Kapazität ist zufälligen Schwankungen unterworfen und kann für den vollkommen selben Querschnitt, wie unter 2.2 ausführlich erläutert, unabhängig von äußeren Einflüssen verschiedene Werte annehmen. Bei einem überlasteten Autobahnabschnitt erreicht oder überschreitet die aktuelle Nachfrage diesen derzeitigen Wert der Kapazität. Gerade dieser stochastische Charakter der Kapazität und auch der Verkehrsnachfrage, vor allem aber die unvorhersehbare Überlappung einiger Faktoren, die Überlastung bedingen können, führt dazu, dass alle Überlastungssituationen komplett unterschiedlich sind. In letzter Zeit sind zunehmend Verkehrszusammenbrüche zu beobachten, die äußerst lang anhaltende Staus verursachen, die sich nur sehr langsam wieder auflösen. In den Forschungsberichten von LOMAX E.A. (1997) und von SHAW (2003), die auch von BRILON&ESTEL (2008) übernommen wurden, werden demnach Vergleichsmaße für die Beschreibung der unterschiedlichen

Überlastungssituationen empfohlen. Es gibt vier Komponenten, nämlich die Staudauer, die Stauausdehnung, das Stauausmaß und die Stauzuverlässigkeit, welche auf einem überlasteten Streckenabschnitt interagieren.

Die Staudauer meint in diesem Zusammenhang die gesamte Zeit, in der eine Beeinträchtigung des Verkehrsflusses aufgrund der Überlastung besteht. Es ist zu beobachten, dass die Spitzenstunden sich zuletzt in Richtung Spitzenperioden ausgeweitet und entwickelt haben. Die Stauausdehnung wiederum wird über die geschätzte Anzahl an staubedingt beeinträchtigten Personen oder Fahrzeugen und durch die geografische Verbreitung des Staus beschrieben. Unter dem Stauausmaß versteht man die Schwere der Überlastungssituation ob ihres Effekts auf den Verkehrsteilnehmer. Es wird typischerweise nach unterschiedlichen Schweregraden des Stauausmaßes unterschieden. Die Komponente Zuverlässigkeit für die Beschreibung von Überlastungssituationen wird über die Schwankung aufgrund der stochastischen Charakteristik von Kapazität und Verkehrsnachfrage und auch der zufälligen Überlagerung von Überlastungsfaktoren der drei anderen, oben genannten Elemente definiert. Sie ist Ausdruck für unterschiedliche Reisezeiten auf ein und demselben Streckenabschnitt bei gleicher Verkehrsnachfrage (vgl. BRILON&ESTEL 2008).

Bei einem Verkehrszusammenbruch wird der zufallsverteilte Kapazitätswert eines bestimmten Autobahnabschnitts überschritten. Der Anteil der Verkehrsnachfrage, der über der maximal aufzunehmenden Verkehrsstärke, sprich der Kapazität liegt, kann erst im nächsten Intervall abgebaut werden. Daraus resultiert, dass in Stauzuständen nicht die tatsächlichen Nachfragewerte erhoben werden können, sondern nur die Kapazitätswerte (vgl. BRILON&ESTEL 2008).

## 2.5 Identifikation von Verkehrszusammenbruch und Stau

In späterer Folge soll Verkehrsqualität über eine ausgewählte Kenngröße bestimmt und bewertet werden. Dafür bedarf es im heutigen Verkehrsmanagement eindeutiger, automatisierter Identifikation eines Verkehrszusammenbruchs (bzw. der Verkehrszustände; siehe 2.3.2). Aus der Literatur ist bekannt, dass der Reisezeit (und somit auch der Geschwindigkeit) für die hier angestrebte, netzweite Bewertung der Verkehrsqualität hohe Bedeutung zugesprochen wird (siehe 2.3 und 2.4). Aus TRAPP (2006) und SCHWIETERING (2010) gehen weitere Faktoren hervor, die Einfluss auf die Detektion eines Verkehrszusammenbruchs nehmen können. Im Hinblick auf eine gewünschte, flächendeckende Beurteilung sind in dieser Arbeit insbesondere folgende Aspekte interessant:

- Wahl der maßgebenden Messung
  - Mittelwerte über alle Fahrstreifen, Einzelfahrstreifenwerte
- Einfluss des Aggregationsintervalls/Betrachtungsintervalls
  - Mittelwert von verschiedenen Intervallgrößen
- Wahl der Schwellenwerte/Grenzwerte
  - Kenngrößen müssen für die Stauidentifikation unter Schwellenwert fallen

Nach der Behandlung dieser Aspekte wird in diesem Kapitel aufgezeigt, welche Verkehrsdaten und Verfahren zur automatisierten Identifikation eines Zusammenbruchs des Verkehrsflusses herangezogen werden können.

### 2.5.1 Wahl der maßgebenden Messung

Für die Detektion eines Verkehrszusammenbruchs muss geklärt sein, welche Datenmessungen zu diesem Zweck herangezogen werden sollten (mittlere Werte über alle Fahrstreifen, Werte einzelner Fahrstreifen).

SCHWIETERING (2010) kommt in seinen Analysen zur Erkenntnis, dass bei Engpässen an Einfahrten die Betrachtung der Geschwindigkeiten des rechten Fahrstreifens ausreichend ist. An Messorten, die nicht im unmittelbaren Bereich des Engpasses liegen, sollten alle Einzelfahrstreifen der Hauptfahrbahn betrachtet werden.

Er kommt jedoch zum Schluss, dass sich alternativ für beide Situationen auch die Durchschnittsgeschwindigkeit aus allen Fahrstreifen eignet und zeigt somit ähnliche Ergebnisse wie FENZL (2010), der für vierstreifige Autobahnen beobachtet, dass der Geschwindigkeitsverlauf der einzelnen Fahrstreifen bei einer andauernden, schweren Verkehrsüberlastung häufig sehr ähnlich ist und somit auch Daten der Richtungsfahrbahn verwendet werden können.

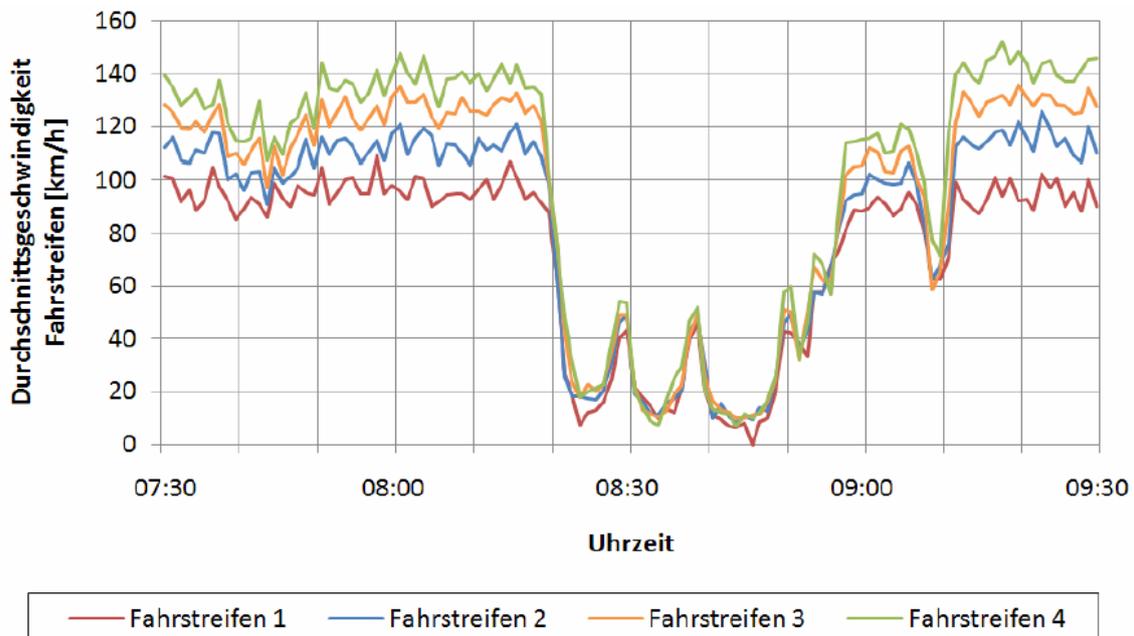


Abbildung 2-6: Durchschnittsgeschwindigkeiten der vier Fahrstreifen während eines Verkehrszusammenbruchs, A2 Fahrtrichtung Wien, 22.03.2010, 1-Minuten-Intervalle (FENZL 2010, S. 136)

Da in gebundenen Verkehrszuständen die Geschwindigkeiten auf den verschiedenen Fahrstreifen weitgehend „synchronisiert“ vorliegen (KERNER 2004), werden für weitere Analysen im Rahmen dieser Arbeit auch Durchschnittsgeschwindigkeiten über alle Fahrstreifen (nicht gewichtet oder auch nach den Verkehrsstärken gewichtet) in Erwägung gezogen. Es ist dann jedoch zu beachten, dass dadurch keine detaillierte Aussage über die einzelnen, fahrstreifenbedingten Unterschiede mehr möglich ist.

### 2.5.2 Dauer des Einbruchs - Wahl des Aggregationsintervalls

Berücksichtigt man die Zufälligkeiten des Verkehrsflusses, stellt sich die Frage, wie lange ein Zustand vorherrschen muss, um als solcher eindeutig gewertet zu werden.

Dieses Problem kann einerseits räumlich beschrieben werden, indem der gleiche Verkehrszustand über einen gewissen Streckenabschnitt vorliegen muss. Diese Möglichkeit spielt in der Praxis allerdings besonders flächendeckend gesehen noch keine große Rolle. Es ist dazu aus der Literatur nur die Empfehlung aus OKAMURA ET AL. (2000) bekannt, der Stau als das Absinken des Geschwindigkeitsdurchschnittes im 5-Minuten-Intervall unter einen Schwellenwert definiert, wobei die mittlere Staulänge mindestens zwei Kilometer betragen muss.

Andererseits kann diese Frage zeitlich an einem Messquerschnitt oder in einem Messabschnitt betrachtet werden, an dem Verkehrszustände (Geschwindigkeiten unter oder Reisezeiten über Grenzwerten) lokal oder streckenbezogen für eine gewisse Zeit vorherrschen müssen. Dies geht meistens einher mit der Bestimmung von geeigneten Aggregationsintervallen, zu denen Verkehrsdaten zusammengefasst, gemittelt und anschließend mit Grenzwerten verglichen werden, um aussagekräftige Informationen zu erhalten. Je größer ein Intervall gewählt wird, in dem über eine Mittelwertbildung, die Daten aggregiert werden, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb eines solchen Intervalls mehrere Verkehrszustände (z. B. fließender Verkehr und Stau) zusammengefasst werden.

Im Idealfall kennt man mikroskopische Einzelfahrzeugdaten an einem lokalen Messquerschnitt oder über einen Messabschnitt, die üblicherweise zu 1-Minuten-, 5-Minuten-, 15-Minuten- oder 60-Minuten-Intervallen aggregiert werden.

Über kurze Bezugsintervalle kann die dynamische Charakteristik des Verkehrsflusses gut beschrieben werden, bei zu großen Intervallen verwischen die kurzzeitigen und dynamischen Ausprägungen des Verkehrsflusses und es wird über das Aggregationsintervall ein gemittelter Verkehrszustand dargestellt. Je kürzer das Intervall angenommen wird, desto genauer wird der vorherrschende Verkehrszustand beschrieben, die statistische Aussagekraft ist allerdings eher gering.

Auf Basis der bereits in Tabelle 2-5 behandelten Literatur wird nun Abbildung 2-7 erstellt, aus der die Häufigkeit der Nennung von verschiedenen Aggregationsintervallen hervorgeht, in denen Daten gemittelt werden.

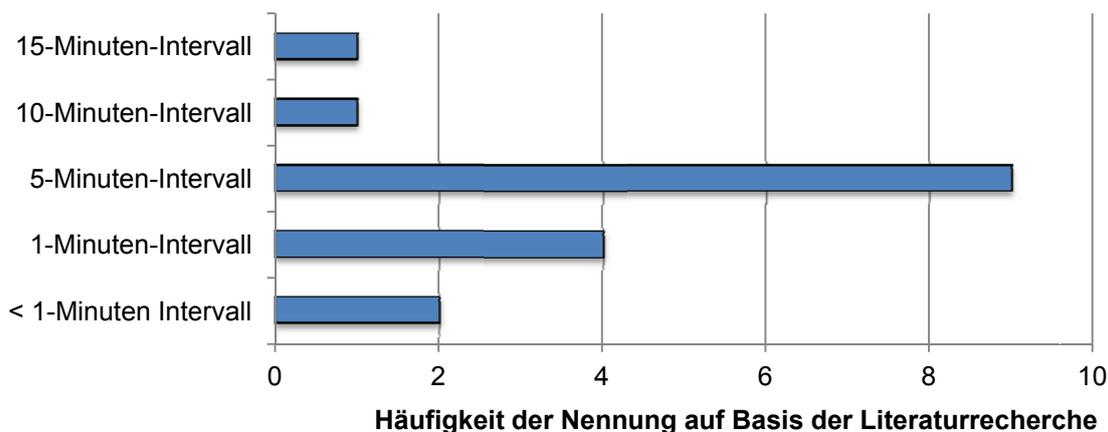


Abbildung 2-7: Aggregationsintervalle zur Identifikation von Verkehrszuständen (Überlastung)

Es geht aus betrachteter Literatur hervor, dass jene die Bezugsintervalle (Abbildung 2-7) kleiner als fünf Minuten anwenden, meist fünf Minuten kontinuierlicher Unterschreitung von Grenzwerten als Minimaldauer angeben, um den Verkehrszustand aussagekräftig zu

beschreiben. Am häufigsten, besonders von jenen, die Aggregationsintervalle größer gleich fünf Minuten wählen, wird demnach genau diese Zeit als minimale Dauer der Unter- oder Überschreitung der Schwellenwerte angenommen. Das bedeutet, dass ein gewähltes Aggregationsintervall, bei dem ein Absinken der mittleren Geschwindigkeit unter einen Schwellenwert zu beobachten ist, als gestautes Intervall gilt und als solches in eine Kenngröße eingeht.

Die Wahl des geeigneten Aggregationsintervalls erfolgt unter Berücksichtigung der gewünschten Aussagekraft der Ergebnisse und der Anwendung der aggregierten Daten (z. B. zur Verkehrssteuerung, zur Verkehrsqualitätsbewertung usw.). Am häufigsten werden in der Literatur Daten über ein 5-Minuten-Intervall gemittelt. Besonders unter Beachtung des Zieles dieser Arbeit, Verkehrsqualität (und somit Verkehrszustände) einerseits netzweit und andererseits im Nachhinein bewerten zu können, verliert das Wissen über kurzzeitige, dynamische Effekte allerdings an Bedeutung und es werden auch größere Aggregationsintervalle (z. B. 15-Minuten-Intervalle) als brauchbar eingestuft. Dies wird unter Punkt 5.1 näher untersucht.

### 2.5.3 Schwellenwerte zur Staudefinition

Die Erfassung des Zustands des Verkehrsablaufs geht einher mit der Bestimmung von Schwellenwerten zur Definition dieser (grob gestaut und nicht gestaut).

Die einfachste Möglichkeit zur Identifikation eines Verkehrszusammenbruchs stellen nach MEIER 2007 Geschwindigkeitsschwellenwertverfahren dar, bei denen die an einem Querschnitt oder Streckenabschnitt über ein bestimmtes Zeitintervall aggregierten, lokalen Geschwindigkeiten mit einem Grenzgeschwindigkeitswert  $v_{\text{GRENZ}}$  verglichen werden.  $v_{\text{GRENZ}}$  bedeutet, dass ein Abfall der mittleren Geschwindigkeit unter diese Grenzmarke am Messquerschnitt oder Streckenabschnitt als Stauzustand gewertet wird. Als Stauauflösung wird danach wiederum eine Geschwindigkeitszunahme bis über  $v_{\text{GRENZ}}$  verstanden.

Das „*Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ)*“ (BAST 1999) ordnet beispielsweise jedem der Verkehrszustände einen eigenen Geschwindigkeitsschwellenwert zu, wodurch über einen Vergleich zur aktuellen, mittleren, lokalen Geschwindigkeit auf den punktuell vorherrschenden Verkehrszustand geschlossen werden kann.

Das zweite hauptsächlich verwendete Kriterium neben dem Geschwindigkeitsschwellenwertverfahren ist die Geschwindigkeitsdifferenz  $v_{\text{DIFF}}$ . Ein Verkehrszusammenbruch liegt vor, wenn ein andauernder Abfall Geschwindigkeit um  $v_{\text{DIFF}}$  am Messquerschnitt oder Streckenabschnitt festgestellt wird, als Erholung wird demnach eine Zunahme der Geschwindigkeit um mindestens  $v_{\text{DIFF}}$  gewertet. Tabelle 2-5 zeigt eine chronologische Auflistung der verschiedenen in Fachliteratur zu findenden Grenzkriterien und deren Schwellenwerte. Verschiedene Untersuchungen legen Grenzkriterien aufgrund ihrer unterschiedlichen Definition von Stau fest.

Tabelle 2-5: Geschwindigkeitsgrenzwerte zur Identifikation von Überlastung

Jahr	V <sub>GREN</sub> (km/h)	V <sub>DIFF</sub> (km/h)	Sonstiges	Quelle
1980	30		im gestauten Bereich unter 30 km/h	FGSV, BREITENSTEIN (1980), zit.In: BECKMAN&ZACKOR (2001)
1985		15	Betrachtung fahrstreifenweise, Staubeginn: Abfall der Geschwindigkeit um mehr als 15 km/h Stauauflösung: Steigerung der Geschwindigkeit um mehr als 15 km/h	ALLEN, HALL, GUNTER (1985), zit.In: SCHWIETERING (2010)
1988		18		HALL, BARROW (1988), zit.In: SCHWIETERING (2010)
1991		ja	Definition Stau: Geschwindigkeitseinbruch sowie Verkehrsstärkeabfall in Zusammenhang mit einer Steigerung der Belegung des Sensors	AGYEMANG-DUAH, HALL (1991), zit.In: SCHWIETERING (2010)
1995		16		ELEFTERIADOU E.A.(1995), zit.In: SCHWIETERING (2010)
1998	30			BRUNNMEIER (1998)
1999	30		MARZ, Stau<30km/h, k>60KFZ/km, zähfließender Verkehr 30 km/h - 80 km/h	BAST(1999), ZIT. IN.: MEIER (2007)
2000	40		mittlere Staulänge>2 km	OKAMURA et al. (2000), zit.In: SCHWIETERING (2010)
2001	75		Instabiler Verkehrsfluss, Stop-and-Go-Verkehr, Durchlassfähigkeit wird nicht mehr erreicht	HBS (2001)
2001		ja	scharfer Einbruch in Q, Verkehrsstörung dann, wenn im Vorgängerintervall auf dem linken Fahrstreifen q und v „scharf“ abfallen	PERSAUD ET AL. (2001), SCHWIETERING (2010)
2000 2001 2003	90	15	Einbruch länger als 5min	LORENZ,&ELEFTERIADOU (2000, 2001), ELEFTERIADOU& LERTWORAWANICH(2003) zit.In: SCHWIETERING (2010)
2001	80			LERTWORAWANICH, ELEFTERIADOU (2001), zit.In: SCHWIETERING (2010)
2003	75 85	15	Absinken des gleitenden Mittelwerts von v um 15 km/h für min. 5min, wobei sich der Verkehrsfluss vor dem Einbruch im stabilen Bereich ( $v_{\text{mittel}} > 75$ km/h) und im Einbruch im instabilen Bereich ( $v_{\text{mittel}} < 85$ km/h) befunden haben muss, $Q_{\text{MIN}}$	SCHICK (2003)
2003	70			BRILON&ZURLINDEN (2003)
2003	70			ZURLINDEN (2003)
2003	50			BOGENBERGER (2003)
2004	70		Rückstau wird ausgeschlossen	REGLER (2004)
2004	50 70			DAMMANN (2004)
2006	80			BERNARD&AXHAUSEN (2005)
2006	70	15	$v_{\text{Grenz}} \leq 70$ km/h (untersucht auch Sensitivität von 60 und 80 km/h) und $v_{\text{Diff}}$ > 15 km/h auf dem 1. Fahrstreifen, Lage des MQ in Bezug zur Lage des Engpasses	TRAPP (2006)
2007	80		Einbruch länger als 5min	YEON ET AL. (2008), zit.In: SCHWIETERING (2010)
2008	30		Über mindestens eine Minute	ASTRA (2008)
2010	-70	10	Beide Kriterien gleichzeitig beachten, $v_{\text{GRENZ}}$ immer individuell bestimmen, im untersuchten Fall 70 km/h	SCHWIETERING (2010)
2011	70- 80		mittlere Pkw-Geschwindigkeit im 5-Minuten- Intervallen unter Grenzwert, Regelfall 80 km/h, Autobahnen mit geringeren Geschwindigkeiten: 70 km/h	GEISTEFELDT&LOHOFF (2011)

Generell fällt auf, dass zwei Geschwindigkeitsbereiche häufig Beachtung finden. Während einige mit Stau bereits Beeinträchtigung und zähfließenden Verkehr meinen (60-80 km/h), sehen andere erst „Stop-and-Go“-Verkehr (0-30 km/h) als Überlastungssituation an. Hier gilt es je nach gewünschter Aussagekraft nach der Schwere einer Überlastungssituation zu unterscheiden.

Zur Identifikation eines Überlastungsereignisses über die Differenzgeschwindigkeit  $v_{\text{Diff}}$ , die zwischen zwei aufeinander folgenden Zeitintervallen überschritten werden muss, um als gestaut gewertet zu werden, kristallisiert sich ein Bereich von 10-15 km/h als geeignet heraus. Bei einem zu kleinen Wert für  $v_{\text{Diff}}$  werden kurzfristige Unterschreitungen von  $v_{\text{Grenz}}$  bereits als Einbruchssituationen gewertet, die aber keine tatsächlichen Einbrüche darstellen. Bei einem zu hohen Ansatz werden tatsächliche Geschwindigkeitseinbrüche nicht als solche erfasst. Übliche signifikante Geschwindigkeitseinbrüche werden in der Literatur deshalb im Bereich von 10 km/h – 15 km/h festgemacht.

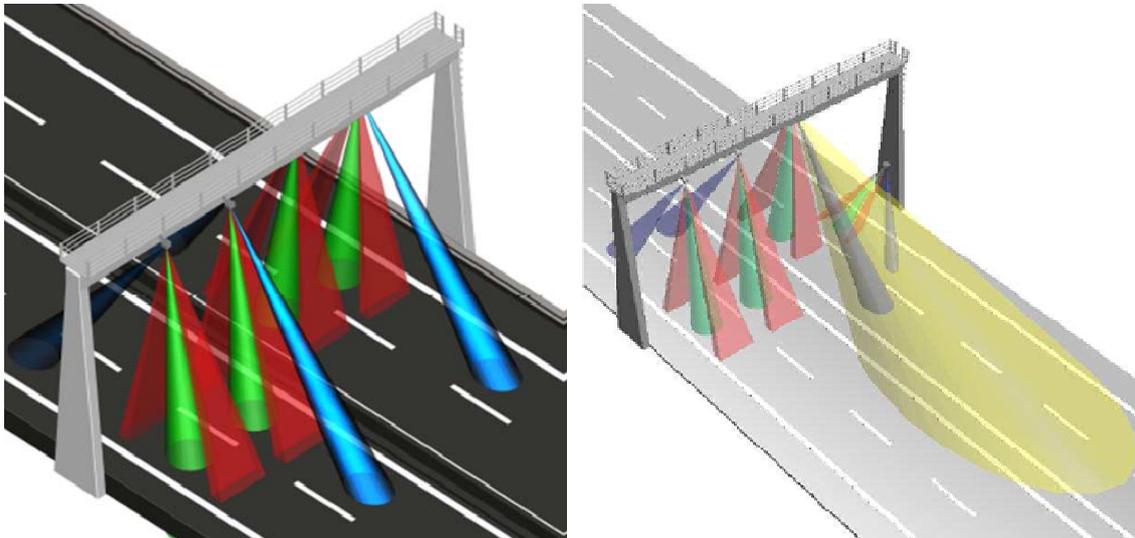
Die dritte Möglichkeit zur Beurteilung von Stau über Grenzwert zeigt SPANGLER (2009) auf, der Überlastung (Stau) auf Basis von Intervallgrenzreisezeiten  $t_{\text{GRENZ}}$  erkennt. Bei freiem Verkehrsfluss wird demnach eine geringere Zeit für die Durchfahrt des Abschnitts benötigt als bei überlastetem Verkehrsablauf. Als oberer Schwellenwert, der die zu erwartende, „normale“ Intervallreisezeit nach oben begrenzt, wird das 85. Perzentil aus historischen Daten (über einen Zeitraum von mindestens 2 Monaten) von 10-Minuten-Intervallen vorgeschlagen. Liegt die mittlere 10-Minuten-Intervallreisezeit über dieser Grenzreisezeit wird auf Stau geschlossen. In BERTINI (2005) wird mit dem Bundesstaat Washington ein praktisches Beispiel angeführt, in dem das 95. Perzentil der Reisezeit als Grenzreisezeit zur Staudefinition herangezogen wird. Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Intervallgrenzreisezeit, ab der ein Intervall als gestaut gilt, sieht die Multiplikation des Intervalltagesmittelwertes mit einem Faktor (d. h. 1,5-fache bzw. 2-fache Intervallreisezeit) vor. Ohne Grenzreisezeit kommt man aus, wenn die Verlustzeit der Intervalle aufsummiert wird. Hier ist ein Wert für eine Referenzreisezeit, d. h. eine noch akzeptierte Reisezeit (z. B. historischer oder täglicher Mittelwert der Intervallreisezeit) gesucht.

#### 2.5.4 Querschnittsdaten

Die Erfassung querschnittsbezogener Daten stellt die derzeit herkömmlich eingesetzte Technik zur Verkehrsdatenerfassung auf Autobahnen dar. Querschnittssensorik bestimmt an einem gewissen, festen Ort lokale Verkehrsdaten, um mit Hilfe dieser den Verkehrsablauf direkt an dem Querschnitt zu bestimmen oder über einen Streckenbereich zu schätzen. Querschnittssensoren können im Allgemeinen nur lokale Größen wie die Verkehrsstärke, den Belegungsgrad, die lokale Fahrzeuggeschwindigkeit oder den Fahrzeugtyp (über Fahrzeuglängen) erfassen. Im deutschsprachigen, holländischen und englischen Raum wurden in den letzten Jahren hierfür hauptsächlich Induktionsschleifen eingesetzt, die aus Kostengründen die am häufigsten eingesetzte Detektionsmethode darstellten (vgl. SCHÖBER 2009). Dabei werden Metallschleifen in die Fahrbahnoberfläche eingebracht, die Veränderungen im Magnetfeld „registrieren“, wenn Fahrzeuge das jeweilige Fahrbahnstück passieren. Werden zwei Induktionsschleifen hintereinander auf einer Fahrbahn angebracht, können daraus direkt für jedes Fahrzeug die lokale Geschwindigkeit und die Fahrzeuglänge bestimmt werden (vgl. MEDINA 2010).

Mittlerweile werden diese Schleifendetektoren allerdings immer öfter von so genannten Überkopf-Detektoren („Above Ground Detectors“) verdrängt, da diese aufgrund neuer

Entwicklungen bei annähernd gleich präzisen Ergebnissen um einiges schneller zu installieren sind als Induktionsschleifen. Sie werden typischerweise an Schilderbrücken oder anderen Strukturen oberhalb der Fahrstreifenmitte montiert und wurden für die Bereiche der Verkehrsdatenerfassung (Fahrzeugklassifizierung, Fahrzeuggeschwindigkeit, Verkehrsstärke, Belegung und Zeitlückenerfassung) entwickelt, in denen in der Vergangenheit mehrheitlich Induktionsschleifen verwendet wurden (vgl. ADEC 2010a).



**Abbildung 2-8: Erfassungsbereiche von Überkopf-Detektoren der Serie TDC3 und TDC4 (ADEC, 2010a,b, S.1)**

Dabei messen die Überkopfdetektoren die Geschwindigkeit von jedem Fahrzeug mittels der Frequenzverschiebung der reflektierten Mikrowellenfrequenz. Der Ultraschall tastet das Höhenprofil des durchfahrenden Fahrzeugs ab und die PIR (Passive InfraRed)-Bereiche erfassen die Fahrzeugposition innerhalb der Fahrstreifen. Für eine Ausweitung des in der linken Hälfte der Abbildung 2-8 dargestellten Erfassungsbereichs kombinieren (z. B. im Sinne einer Staufrüherkennung) neuartige Überkopf-Detektoren Video-Verifikation mit den anderen Erfassungseigenschaften (vgl. ADEC 2010a/b).

Weitere Möglichkeiten Verkehrsdaten querschnittsbezogen zu erheben, bestehen im Einsatz von reinen Radar- und Infrarotdetektoren, Magnetsensoren, Ultraschallsensoren, Akustiksensoren, Lasersensoren und Videobildprozessoren. Ausführliche Beschreibungen zur Arbeits- und Funktionsweise dieser Sensoren findet man beispielsweise in PARKANY&XIE (2005).

Die Einschränkung dieser querschnittsbezogenen Daten liegt allerdings in der ausschließlich lokalen Gültigkeit, wodurch keine zuverlässige Aussage über den Verkehrsablauf in nicht detektierten Bereichen zwischen zwei solchen Messquerschnitten gemacht werden kann. Die aussagekräftige, flächendeckende Bewertung der Verkehrsqualität baut auf einer Rekonstruktion der realen Verkehrslage auf. Ziel ist es, die vom Fahrer tatsächlich erlebte Situation bestmöglich nachzubilden (vgl. BOGENBERGER 2003). Deshalb besteht das Bestreben, aus lokalen Größen streckenbezogene zu schätzen. Hier gilt es nach FGSV (1992) zwei Arten zur Beschreibung des Verkehrszustandes zu unterscheiden:

- **Querschnittsbezogene Verfahren (Querschnittsverfahren)**
- **Streckenbezogene Analyseverfahren (Abschnittsverfahren)**

Voraussetzung für die brauchbare Anwendung von Querschnitts- und Abschnittsverfahren ist eine ausreichend dichte, gute lokale Detektion. Die Güte der Verkehrsqualitätsbewertung aus lokaler Messeinrichtung hängt direkt mit der Qualität der Datenerfassung, d. h. mit dem Abstand der Messquerschnitte zueinander, ab. In schlecht detektierten Bereichen kann deshalb auf Basis von Querschnittsdaten der Streckenabschnitt zwischen zwei Messquerschnitten überhaupt nicht mehr repräsentativ abgebildet werden, da sich dort dieses Gebiet über Interpolationsverfahren nicht mehr beschreiben lässt (vgl. LISTL 2003). Für eine solide Beurteilung der Verkehrslage auf Basis von Querschnittsdaten müsste nach VOGEL (2010) alle drei Kilometer ein Sensor angebracht werden. Dies ist aus wirtschaftlichen Gründen in den meisten Netzen, wenn überhaupt nur in Gebieten mit regelmäßig hohem Verkehrsaufkommen vorstellbar.

### **Querschnittsverfahren**

Den einfachsten Fall einer Generierung von streckenbezogenen Größen aus Querschnittsdaten stellen so genannte Querschnittsverfahren dar (vgl. MEIER 2007), bei denen ein isoliert betrachteter, lokaler Geschwindigkeitswert als repräsentativ für den umliegenden Streckenabschnitt angenommen wird. Die Klassifikation erfolgt ausschließlich auf Grundlage von lokal ermittelten Daten (Verkehrsstärke und lokale Geschwindigkeit), sowie der aus diesen abgeleiteten (lokalen) Dichten. Die streckenbezogene Größe für den dem Messquerschnitt zugeordneten Streckenabschnitt ergibt sich hierbei als Projektion der lokalen Geschwindigkeit auf die umliegende Strecke (vgl. OFFERMANN 2001). So genannte Querschnittsverfahren, bei denen nur ein Messquerschnitt betrachtet wird, lässt nur eine stichprobenartige Stauidentifikation an Ort und Stelle der angebrachten Messquerschnitte zu. Eine Störung zwischen den Messquerschnitten kann somit überhaupt nicht oder teilweise nur mit zeitlicher Verzögerung detektiert werden (vgl. MEIER 2007). Daher scheinen diese Verfahren mittlerweile nur mehr in Gebieten mit äußerst hohen Dichten an lokaler Sensorik bzw. in Ausnahmesituationen bei besonders weit ausgedehnten, homogenen Überlastungssituationen brauchbar (vgl. LISTL 2003).

In FGSV (1992) werden die Anwendungsfelder einer querschnittsbezogenen Analyse auf 1km auf der freien Strecke begrenzt.

### **Abschnittsverfahren**

Eine Bewertung der Verkehrsqualität macht nur Sinn, wenn die reale Verkehrssituation erfasst und beurteilt werden kann. Die zweite Möglichkeit, streckenbezogene Größen aus Querschnittsdaten zu schätzen, bilden sogenannte Abschnittsverfahren, bei denen über Interpolations- und Modellierungsverfahren mehrere Querschnitte kombiniert Berücksichtigung finden. Streckenbezogene Analyseverfahren gehen auf eine abschnittsbezogene Betrachtung zurück und setzen dabei über Interpolationsverfahren die lokalen Daten relevanter Messquerschnitte zueinander in Korrelation.

Mit der Größe der Distanz zwischen Messquerschnitten und mit der Inhomogenität der Streckenabschnitte (Auf, Abfahrten, Fahrstreifenreduktion usw.) steigt auch der Anspruch an das Interpolationsverfahren. Während nach BOGENBERGER (2003) für Gebiete mit sehr guter, lokaler Datenerfassung einfache (lineare) Interpolationsverfahren über Zeit und Raum ausreichend sind, finden sich in der Literatur auch kompliziertere Methoden zur Rekonstruktion der exakten Verkehrslage (z. B. numerische Interpolationsverfahren bzw. Filterverfahren (TREIBER&HELBING 2002), Verkehrsablaufsimulationen, ASDA/FOTO (KERNER&REHBORN 1996a/b) etc.).

Diese Interpolationsmodelle werden einerseits mit straßenseitigen Parametern (Fahrstreifenanzahl, Kapazität, usw.) und andererseits mit tatsächlichen Daten gespeist. In der Regel finden lokal erfasste Kenngrößen wie Verkehrsstärke oder lokale Geschwindigkeit Eingang in diesen Simulationen, mit denen dann eine Aussage über nicht detektierte Bereiche zwischen zwei Querschnitten getroffen werden kann. Einige Modelle errechnen daraus auch direkt Reisezeiten für Streckenabschnitte, andere benötigen dafür Zusatzmodule. Diese Methode kommt sehr häufig in Autobahn- und Schnellstraßennetzen zur Ermittlung der Reisezeiten zur Anwendung (vgl. SPANGLER 2009).

Hier soll nun das anisotrope Interpolationsverfahren „ASM“ (Adaptive Smoothing Method) nach KESTING&TREIBER (2010) vorgestellt werden, das anhand der Zeitreihen von Querschnittsdaten ein kontinuierliches räumlich-zeitliches Geschwindigkeitsprofil für einen Streckenabschnitt rekonstruiert.

Das Anwendungsgebiet des anisotropen Interpolationsverfahrens (AMS) liegt in der systematischen Analyse umfangreicher historischer Verkehrsdaten von Autobahnen und erhebt im Gegensatz zu anderen Verfahren wie z. B. ASDA/FOTO (KERNER&REHBORN 1996a/b) nicht den Anspruch auf eine Online-Nutzbarkeit oder Einsetzbarkeit für Prognosen.

Als Eingangsgrößen für die Schätzung von streckenbezogenen Kenngrößen dienen Geschwindigkeitswerte, die zu festen Zeiten an definierten Orten gemessen wurden. Dies können Minutenwerte von Querschnittsdetektoren, aber auch Floating-Car-Daten sein. Als Output erhält man eine kontinuierliche Geschwindigkeitsschätzung als Funktion von Ort und Zeit. Das Verfahren baut auf einer zweidimensionalen Interpolation in Raum und Zeit auf. Aus den vorliegenden diskreten Geschwindigkeitspunkten  $v_i = v(x_i, t_i)$  an einem festen Querschnitt  $x_i$  zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t_i$  soll eine kontinuierliche, mittlere Geschwindigkeit  $V(x, t)$  als Funktion des Ortes und der Zeit geschätzt werden, welches einer diskreten Faltung mit einem Glättungskern über alle zu berücksichtigenden Datenpunkte  $i$  entspricht:

Formel 2-3 
$$V(x, t) = \sum_i \phi_0(x - x_i, t - t_i) \cdot v_i$$

Als Wichtungsterm kann eine lokalisierte Funktion herangezogen werden, welche für große Werte  $|x - x_i|$  bzw.  $|t - t_i|$  hinreichend schnell auf null abfällt. Hier wird die symmetrische Exponentialfunktion verwendet:

Formel 2-4 
$$\phi_0(x - x_i, t - t_i) = \frac{1}{N} \exp \left[ - \left( \frac{|x - x_i|}{\sigma} + \frac{|t - t_i|}{\tau} \right) \right]$$

Die Exponentialfunktion wirkt dabei als „Tiefpass-Filter“, wodurch zeitliche Schwankungen und räumliche Fluktuationen geglättet werden. Für die Interpolation von über 1min aggregierten Detektorwerten werden Werte für  $\tau$  im Bereich von 30 s bis 60 s als geeignet betrachtet. Für die räumliche Glättung sollte  $\sigma$  Werte annehmen, die in der Größenordnung des halben mittleren Detektorabstands liegen.

Im Gegensatz zur isotropen Glättung beachtet die anisotrope, verkehradaptive Glättung die zwei typischen Geschwindigkeiten, mit denen sich Informationen im freien (mit dem Verkehrsfluss) und im gestauten (entgegen der Fahrtrichtung) Verkehr ausbreiten. Deshalb werden zwei geglättete Geschwindigkeitsfelder mit unterschiedlichen

Ausbreitungsgeschwindigkeiten bei freiem (positive Geschwindigkeit,  $c_f=70$  km/h für Autobahnen) und gestautem Verkehr (negative Geschwindigkeit,  $c_s=-15$  km/h) betrachtet.

$$\text{Formel 2-5} \quad V_f(x, t) = \sum_i \phi_0(x - x_i, t - t_i) \cdot v_i$$

$$\text{Formel 2-6} \quad V_s(x, t) = \sum_i \phi_0(x - x_i, t - t_i) \cdot v_i$$

Diese Transformation der Zeitkoordinate entspricht einer Scherung des Glättungskerns  $\phi_0(x-x_i, t-t_i)$  mit den Raten  $1/c_f$  bzw.  $1/c_s$ . Im Grenzfall  $c_f = c_s \rightarrow \infty$  geht die verkehrsadaptive Interpolation in eine isotrope Interpolation über.

Zur Unterscheidung dieser Richtungen wird ein nichtlinearer, adaptiver Geschwindigkeitsfilter verwendet und die mittlere Geschwindigkeit wird nun als Überlagerung der beiden Geschwindigkeitsfelder  $V_s$  und  $V_f$  aufgefasst:

$$\text{Formel 2-7} \quad V(x, t) = \omega(x, t) V_s(x, t) + [1 - \omega(x, t)] V_f(x, t)$$

Der Gewichtungsfaktor  $\omega(x, t)$  hängt von den beiden mittleren Geschwindigkeiten  $V_f$  und  $V_s$  ab. Bei niedrigen Geschwindigkeiten soll  $\omega$  ungefähr 1 sein, bei hohen Geschwindigkeiten ungefähr 0. Der unscharfe Übergang zwischen diesen beiden Grenzfällen ist durch die s-förmige nichtlineare Funktion

$$\text{Formel 2-8} \quad \omega(x, t) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \tanh\left(\frac{V_c - V^*}{\Delta V}\right) \right]$$

charakterisiert. Der Prädiktor  $V^*(x, t) = \min[V_f, V_s]$  wurde dabei durch die Minimumsfunktion so definiert, dass gestaute Verkehrszustände durch den resultierenden nichtlinearen Filter besser geglättet werden als freie. Der Übergang dieser s-förmigen Funktion wird durch die Breite  $\Delta V$  (z. B. ~20 km/h) charakterisiert. Der Schwellenwert zwischen gestautem und freiem Verkehr wird durch  $V_c$  (z. B. ~60 km/h) festgelegt.

Die Erkenntnisse aus der Literatur zeigen jedoch, dass auch über Abschnittsverfahren eine aussagekräftige Schätzung des Verkehrsablaufs auf Basis von Querschnittsdaten nur bis zu einem Maximalabstand der querschnittsbezogenen Sensoren untereinander von drei Kilometern eingesetzt werden kann (z. B. KESTING&TREIBER 2010, VOGEL 2010). Diese Dimension ist wirtschaftlich nur in Gebieten mit sehr hohem Verkehrsaufkommen (z. B. Ballungsräumen) sinnvoll, flächendeckend aber nicht denkbar. Darüber hinaus können lokale Messungen nur mehr punktuelle Kontrollfunktionen einnehmen und den realen Verkehrsablauf nicht mehr aussagekräftig schätzen.

### 2.5.5 Streckenbezogenen Daten

Eine flächendeckende Bewertung der Verkehrsqualität muss sich auf die real erlebte Verkehrssituation stützen. Dazu genügt das punktuelle Wissen aus lokaler Sensorik nur in sehr gut detektierten Gebieten (Abstände bis zu 3km (vgl. KESTING&TREIBER 2010), um ein räumliches Bild des Verkehrsablaufs zeichnen zu können. Darüber hinaus kann aus Querschnittsdaten keine verlässliche Aussage über die Qualität des Verkehrsflusses mehr getroffen werden. Aus der einschlägigen Literatur (z. B. SPANGLER 2009) geht zweifelsfrei hervor, dass eine direkte Erfassung mit der technologischen Weiterentwicklung heutzutage

zeitgemäß erscheint, diese allerdings ungleich aufwändiger und mit Schwierigkeiten behaftet ist (vgl. OFFERMANN 2001).

Streckenbezogene Daten (Reisezeiten, Streckengeschwindigkeiten) sind im Gegensatz zu Querschnittsdaten auch räumlich gesehen aussagekräftig, da sie einen Verkehrszustand nicht nur an einem lokalen Messquerschnitt, sondern den tatsächlichen Verkehrsablauf über einen Abschnitt beschreiben. Zusätzlich sinkt mit einer direkten Messung das Risiko von Ungenauigkeiten, die Schätzverfahren immer mit sich tragen.

Grundsätzlich kommt dabei „*der Bestimmung der Reisezeit für einen durchfahrenen Streckenabschnitt [...] eine Schlüsselposition zu*“ (LINAUER 2005, S.10), da sie die Grundlage für streckenbezogene Verkehrskennzahlen darstellt. Aus der Erkenntnis, dass sich streckenbezogene Daten in der Literatur als zeitgemäß erweisen und die Reisezeit als Grundlage dafür gesehen wird (z. B. in SPANGLER 2009, LINAUER 2005), gilt eine optimale Ermittlung dieser mit adäquater Genauigkeit als Schlüssel für ein praktikables Monitoringsystem. Dies ist aufgrund der räumlichen Aussagekraft der Reisezeit aufwändig und diffizil, wodurch es zu unterschiedlichen Ansätzen bei der Bestimmung kommt.

Direkte (datenbasierte) Methoden zur Bestimmung der Reisezeit, so genannte segmentbezogene Verfahren, ermöglichen eine direkte Ermittlung von streckenbezogenen Größen. Sie erfassen entweder Reisezeiten direkt (vgl. MAK E.A. 2009) oder ziehen allgemein bekannte mathematische Modelle wie eine Multivarianzanalyse zur Berechnung der Reisezeit aus historischen (aktuellen) Daten in Betracht (vgl. MEDINA 2010).

### **Messfahrten**

Die älteste Möglichkeit zur Ermittlung der Reisezeit stellt die Absolvierung von Messfahrten mit Aufzeichnung der benötigten Reisezeit dar. Diese wird dabei entweder von einem Beifahrer an bestimmten Punkten einer Strecke mit protokolliert oder über mitfahrende GPS (Global Positioning System)-Sensoren automatisch aufgezeichnet. Die größte Schwierigkeit dieser Methode ist klarerweise der geringe Stichprobenumfang, der damit zu erreichen ist. Aus wirtschaftlichen Gründen kann immer nur eine bestimmte Anzahl an Fahrten mit einer bestimmten Anzahl an Fahrzeugen realisiert werden und diese Methode kommt daher nicht für eine kontinuierliche, netzweite Ermittlung der Reisezeit in Frage (vgl. SPANGLER 2009).

### **Geschwindigkeit von Einzelfahrzeugen aus Luftbildern**

Dieses Verfahren zeichnet kontinuierlich über Kameras (an Masten oder hohen Gebäuden, selten aus Flugzeugen oder Satelliten) Übersichtsbilder über Streckenabschnitte auf, um die Bewegung von Einzelfahrzeugen auszuwerten und dadurch Reisezeiten bestimmen zu können (vgl. MARAULI 2007).

### **Floating Car Data**

Weiters können streckenbezogene Verkehrsdaten und hiermit auch direkt Reisezeiten aus in Fahrzeugen angebrachten, „mitfahrenden“ Sensoren zur kontinuierlichen Positionierungsübertragung ermittelt werden. Diese fahrzeuggeneierten Daten werden von sogenannten Floating Cars (Floating Car Data, FCD) geliefert, die im Verkehrsfluss „mitschwimmen“ und laufend unter anderem die Reisezeiten detektieren. Wichtigste Vertreter sind hierzu das GPS (Global Positioning System), das automatisch die Fahrzeugpositionierung übermittelt, oder die Mobiltelefonverfolgung (vgl. OECD 2007).

## Fahrzeugwiedererkennung

Bei dieser Methode werden Reisezeiten direkt ermittelt, indem an zwei bestimmten Querschnitten ein und dasselbe Fahrzeug manuell oder automatisch wiedererkannt wird und sich die Reisezeit somit aus der Differenz der Durchfahrtszeitpunkte zwischen erstem und zweitem Messquerschnitt berechnen lässt (vgl. SPANGLER 2009).

- manuelle/automatische KFZ-Kennzeichenerfassung

Eine Möglichkeit, Fahrzeuge als ein Individuum zu kennzeichnen und zu verfolgen, ist die Kennzeichenwiedererkennung. Die einfachste Variante ist es an zwei Abschnitten durch Messpersonal an beiden Querschnitten KFZ-Kennzeichen und den dazugehörigen Zeitpunkt der Durchfahrt mit zu protokollieren. Dieses Verfahren eignet sich aber klarerweise nicht für eine kontinuierliche Anwendung.

Durch die Weiterentwicklung der optischen Sensoren in den letzten Jahren kann diese Kennzeichenwiedererkennung durch eine automatisierte Erfassung geschehen, wozu hauptsächlich Infrarotkameras zum Einsatz kommen, die an zwei Messquerschnitten Bilder von Nummerntafeln machen und diese mittels OCR-Software („Optical Character Recognition“) vergleichen. Über die zu den anonym erfassten Kennzeichen zusätzlich bestimmten Durchfahrtszeitpunkte kann somit automatisch die Reisezeit ermittelt werden.

- automatisches Transpondersystem

Eine weitere Methode Fahrzeuge an zwei Messquerschnitten wiederzuerkennen, ist ein sogenanntes Transpondersystem, bei dem ein im Fahrzeug angebrachter Transponder über z. B. Mikrowellenbasis mit an den Messquerschnitten montierten Sendern kommuniziert. Auch auf diese Art und Weise kann nun über die Zeitpunkte der aufgezeichneten Messquerschnittsdurchfahrt die Reisezeit in diesem Abschnitt ermittelt werden. Während allerdings ein Anbringen eines Transponders in PKWs für eine flächendeckende Ermittlung der Reisezeit nicht vorstellbar ist, können z. B. in Österreich für die Fahrzeuggruppe KFZ>3,5t Daten aus dem vorherrschenden Mautabbuchungssystem auf Autobahnen (siehe Kapitel 4.1.2 und 0) zweckentfremdet für die Ermittlung von Reisezeiten herangezogen werden. Dabei kommuniziert ein mitfahrender Transponder (GO-Box) mit der streckenbezogenen Einheit. Im Gegensatz zu traditionellen FCD sind die erfassten Positionsdaten der Fahrzeuge statisch (Position der Abbuchungsstationen (Mautgantries)) während die Zeit zwischen der Detektion variiert.

### 2.5.6 Grundkonzepte zur Störungserkennung

Eine Möglichkeit, Störungserkennungsverfahren einzuteilen, basiert auf den algorithmischen Grundkonzepten, die den einzelnen Störungserkennungsverfahren zugrunde liegen. Dabei haben die Algorithmen die Aufgabe, auf unterschiedliche Art und Weise eine Verkehrssituation auf Überlastung zu überprüfen und gegebenenfalls diese zu melden. Nach SPANGLER (2009) können dahingehend die folgenden neun Gruppen algorithmischer Konzepte unterschieden werden.

#### 1. Vergleichende Algorithmen

Bei vergleichenden Algorithmen werden aktuelle Querschnittsdaten (Verkehrsstärke und -dichte, lokale Geschwindigkeiten) über bestimmte, im Vorhinein definierte Schwellenwerte

bewertet, wobei bei Unter- oder Überschreitung dieser auf Stau geschlossen wird. Beispiele für Verfahren auf Basis dieser Schwellenwerte sind das bereits genannte Geschwindigkeitsschwellenwertverfahren oder aber auch ein Verfahren auf Basis lokaler Geschwindigkeitsdifferenzen. Wichtigster Vertreter dieser Algorithmen sind die sogenannten „California Algorithmen“ und das im deutschsprachigen Raum häufig angewandte „VKDIFF-Verfahren“.

## **2. Statistische Algorithmen**

Statistische Algorithmen ziehen als Referenzwert zu den aktuellen, tatsächlichen Querschnittsdaten zuvor geschätzte Verkehrsgrößen heran. Eine Störung wird als solche identifiziert, wenn die tatsächlichen Werte nicht innerhalb der Vertrauensintervalle der geschätzten Verkehrsgrößen liegen. Als Beispiel für ein solches Intervall kennt die Literatur etwa die Standardabweichung des arithmetischen Mittels des Auslastungsgrades, zu dessen Berechnung historische Daten herangezogen werden. Dadurch steht hier im Gegensatz zu den vergleichenden Algorithmen nicht ein fixer Schwellenwert als Referenz zur Verfügung, sondern ein sich anpassendes Intervall.

## **3. Zeitreihenalgorithmen**

Zeitreihenalgorithmen basieren auf der Annahme, dass bei ungestörtem Verkehrsablauf zeitlich prognostizierbare Muster erkennbar sind, die hingegen von den bei Überlastung auftretenden Verkehrsgrößen stark abweichen. Wichtigster Vertreter der Zeitreihenalgorithmen ist der sogenannte ARIMA (Auto Regressiv Integrated Moving Average)-Algorithmus. Kompliziert ist bei diesen Algorithmen die Abwägung, ob tatsächlich ein Überlastungsfall oder nur eine zufällige Abweichung besteht.

## **4. Glättungs- und Filteralgorithmen**

Glättungs- und Filteralgorithmen identifizieren zufällig fehlerhafte („verrauschte“) Daten, entfernen diese und können aus den restlichen Daten direkt Störung ausmachen. Über reale Verkehrsdaten wird ein fiktiver Störfloss modelliert, bei dessen Überschreitung von definierten Schwellenwerten eine Störung gemeldet wird. Häufig angewandte Filteralgorithmen sind solche, die auf dem Prinzip des Kalman-Filters beruhen und exponentielle Glättungsverfahren.

## **5. Verkehrsmodellierungsalgorithmen**

Diese Algorithmen versuchen den Verkehrsfluss über einen Streckenabschnitt zu modellieren und starke Abweichungen der detektierten Querschnittsgrößen von Modellwerten, als Stöorzustand zu werten. AZTEK (Automatische zeitlich-räumliche Störungserkennung) ist ein Beispiel dieser Algorithmen, bei denen über ein Verkehrsflussmodell (mit Hilfe eines Kalman-Filters) der vorherrschende Verkehrsablauf geschätzt und automatisch Störungen in diesem identifiziert werden. Als Eingangsdaten dienen dabei die mittlere, lokale Geschwindigkeit und die Verkehrsstärke.

## **6. Algorithmen mit künstlicher Intelligenz**

Neuere computertechnologische Forschungsergebnisse bieten die Möglichkeit, schwierige Entscheidungs- und Datenanalyseprozesse für Echtzeitanwendungen zu realisieren. Dabei ist es möglich, Denkleistung oder Entscheidungsvorgänge des Menschen dem Computer über Trainingsaufwand beizubringen und somit diese zu simulieren. Wichtigste Vertreter dieser wissensbasierten Algorithmen sind die sogenannten Fuzzy-Logik-Verfahren und die Neuronalen Netze.

## 7. Bildverarbeitungsalgorithmen

Bei dieser Art von Algorithmus kommen als Eingangsgrößen neben Querschnittsdaten auch Videobilder zu Anwendung, wodurch eine streckenbezogene Aussage getroffen werden kann. Ziel ist es dabei, Bildausschnitte von langsam fahrenden bis stehenden Fahrzeugen als Stau zu werten. Bekannter Algorithmus dieser Gruppe ist der AIDA (Autoscope Incident Detection Algorithm).

## 8. Floating Car Algorithmen

Neuere Detektionsmöglichkeiten lösen das Problem der ortsfesten Verkehrsdatenerfassung, indem, wie unter 2.5.5 bereits erläutert, fahrzeuggenerierte Daten (z. B. GPS-Empfänger) eingesetzt werden und dadurch streckenbezogene Kenngrößen wie die Reisezeit oder die streckenbezogene Geschwindigkeit ermittelt werden können. Hierbei werden beispielsweise Grenzwerte von Abschnittsreisezeiten festgelegt, bei deren Überschreitung auf Stau geschlossen wird.

## 9. Datenfusionsansätze

Dieser Ansatz betrachtet verschiedene Datenquellen kombiniert, um die Zusammensetzung der Datenbasis zu berichtigen und zu verbessern. Dabei werden z. B. Daten von Induktionsschleifen mit FCD Daten vereint.

### 2.6 Kenngrößen zur Bewertung der Verkehrsqualität

In diesem Kapitel wird ein Überblick gegeben, über welche Kenngrößen eine Bewertung der Verkehrsqualität vollzogen werden kann. In diesem Zusammenhang sollen in der Literatur behandelte, theoretisch mögliche und tatsächlich in der Praxis anwendbare Kenngrößen, ihre Zusammensetzungen und mögliche Berechnungsmethoden der betrachteten Kriterien analysiert werden.

Kenngrößen zur Beurteilung der Verkehrsqualität haben einen hohen Stellenwert für Autobahnbetreiber, da sie ihren Kunden im Rahmen der finanziellen Möglichkeiten eine möglichst hohe Verfügbarkeit des Netzes bieten und diese auch kommunizieren möchten. Außerdem können über geeignete Kenngrößen die (positiven) Auswirkungen des Einsatzes finanzieller Mittel in Verbesserungsprogrammen beispielsweise gegenüber dem Management rasch überblicksmäßig gerechtfertigt und verantwortet werden.

Im Folgenden soll die Verkehrsqualität sowohl aus Sicht des Nutzers der Verkehrsanlage als auch aus einer volkswirtschaftlichen Betrachtungsweise gesehen werden. Im HBS (2001) beispielsweise wird die Qualität des Verkehrsablaufs hauptsächlich aus der Sichtweise des Verkehrsteilnehmer bewertet, wobei auch dort volkswirtschaftliche Grundsätze (z. B. die Inkaufnahme einiger Überlastungsstunden aufgrund der besseren Auslastung) zu finden sind. Eine klare Abgrenzung der Betrachtungsweisen ist schwierig. Während die volkswirtschaftliche Sichtweise nach einer gesamtheitlichen Betrachtung des Verkehrsablaufs über die gesamte Zeit verlangt, sollen hier auch die direkt spürbaren Auswirkungen auf den einzelnen Verkehrsteilnehmer berücksichtigt werden.

Aus der Literatur (z. B. HBS 2001, HCM 2000) sind bereits Möglichkeiten zur Bewertung der Verkehrsqualität an lokalen Querschnitten, bekannt. Nach diesen Ansätzen ergeben sich je nach Größe der Verkehrsnachfrage für Verkehrsanlagen mit vorbestimmten, festen Kapazitätswerten unterschiedliche Qualitäten des Verkehrsablaufs, welche auf Basis des

Auslastungsgrades bzw. der Verkehrsdichte nach einer Art Notensystem beurteilt werden (LOS, QVS - Qualitätsstufen A-F). Eine einfache Methodik zur kontinuierlichen Beurteilung einer netzweiten Verkehrsqualität steht aber bisher nicht zufriedenstellend zur Verfügung. Insbesondere die Tatsache, dass bisher nur eine Stufe für den Überlastungsbereich (Stufe F) existiert und somit keine Aussage zur Staudauer oder der räumlichen Ausdehnung gemacht werden kann, ist nicht zeitgemäß. Aufgrund dieser Bewertung werden somit komplett unterschiedliche Überlastungssituationen und Überlastungsdimensionen mit ein und derselben Qualitätsstufe beurteilt (vgl. BRILON&ESTEL 2008).

Mitte der 90er Jahre gab es verschiedene Ansätze zur differenzierten Überlastungsbewertung von Autobahnen in den USA. Der Vorschlag nach einer Kombination der Kenngrößen Auslastung und Überlastungsdauer wurde ebenso untersucht wie die Ausweitung der Beurteilung der Spitzenstunde auf die eines ganzen Tages. Dabei wird jede Stunde im Bereich des fließenden Verkehrs mit den bekannten LOS-Qualitätsstufen, der Bereich der Überlastung mit vier zusätzlichen, über Grenzwerte definierten Stufen F bis I bewertet und anschließend der sogenannte "Congestion Index" erstellt (Zusammenführung der 24 Einzelstundenbeurteilungen) (vgl. BRILON&ESTEL 2008).

Grundsätzlich können bei Kenngrößen zwei große Gruppen unterschieden werden. Primäre Kenngrößen sind im Stande direkt, sekundäre indirekt den Verkehrsablauf zu beschreiben. Dabei setzen sich nach BRILON&ESTEL (2008) sekundäre Beurteilungskriterien aus mehreren primären zusammen. Diese primären Kenngrößen können bereits jede für sich als endgültiges, kommunikationsfähiges Kriterium herangezogen werden, oder durch Kombination untereinander zu einem solchen geformt werden.

Im Folgenden sollen die aus eingehender Fachliteraturstudie (z. B. NCHRP 1997, SHAW 2003, FHWA 2006, OPS 2006, OECD 2007, BRILON&ESTEL 2008, SPANGLER 2009) für die Beurteilung der Verkehrsqualität auf Autobahnen und Schnellstraßen wichtigsten relevanten Kenngrößen dargestellt, beschrieben und ihre Berechnungsgrundlagen dargelegt werden. Dabei erfolgt eine Zuordnung in Gruppen zusammengehöriger Kenngrößen.

Die Liste erhebt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit, enthält jedoch einen Großteil der aus der Literatur bekannten und bereits in der Praxis der OECD – Länder (Organisation for Economic Cooperation and Development mit 34 Mitgliedern bestehend aus europäischen Staaten, der USA, Canada, Mexico, Australien, Neuseeland und Korea) angewandten und somit als wesentlich befundenen Kenngrößen.

### **2.6.1 Querschnittsbezogene Kenngrößen**

In diesem Kapitel werden Kenngrößen zur Bewertung des Verkehrsablaufs näher beschrieben, die über lokale Messung direkt ermittelt werden können. Dabei kann der Verkehrsfluss entweder für einzelne Fahrzeuge (mikroskopisch) oder für Fahrzeugkollektive über Festlegung eines Zeitraums oder Abschnitts (makroskopisch) beschrieben werden.

**Tabelle 2-6: Querschnittsbezogene, mikroskopische und makroskopische Kenngrößen**

Mikroskopische Kenngrößen	Makroskopische Kenngrößen
Lokale Geschwindigkeit einzelner Fahrzeuge	mittlere lokale Geschwindigkeit aller Fahrzeuge über einen Zeit- oder Wegabschnitt
Zeitlücke (zeitlicher Abstand zwischen zwei Fahrzeugen)	Verkehrsstärke (Anzahl aller Fahrzeuge bezogen auf einen Zeitabschnitt)

### Verkehrsstärke

Die Verkehrsstärke ist die Anzahl der Fahrzeuge je Zeiteinheit an einem Querschnitt und wird üblicherweise direkt aus einer lokalen Messung bestimmt. Dabei kann das Zeitintervall, in dem die Fahrzeuganzahl erfasst wird, in einer beliebigen Größe angenommen werden (z. B. KFZ/Min, KFZ/5Min, KFZ/15Min, KFZ/h).

Zusätzlich kann die Verkehrsstärke auch indirekt über andere Kenngrößen bestimmt werden. Die bekannteste Möglichkeit besteht im Einsetzen in die Zustandsgleichung des Verkehrs (Formel 2-1). Weiters kann man die Bruttozeitlücken der Fahrzeuge zur Berechnung heranziehen.

Formel 2-9  $q = \frac{n}{t} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \Delta t_{b,i}}$

mit

$q$	... Verkehrsstärke [KFZ/h]
$n$	... Anzahl der Fahrzeuge
$t$	... Zeitintervall
$\Delta t_{b,i}$	... Bruttozeitlücke des Fahrzeugs $i$

### Lokale Geschwindigkeit

Die lokale Geschwindigkeit wird an einem festen Messquerschnitt während eines bestimmten Zeitintervalls erfasst. Die mittlere lokale Geschwindigkeit ergibt sich aus den Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten aggregiert in einem gewissen Zeitintervall.

Formel 2-10  $\bar{v}_l = \frac{\sum_i v_{l,i}}{n}$

mit

$\bar{v}_l$	... mittlere lokale Geschwindigkeit [km/h]
$v_{l,i}$	... lokale Geschwindigkeit des Fahrzeugs $i$ [km/h]
$n$	... Anzahl der Fahrzeuge

## Zeitlücke

Als Zeitlücke bezeichnet man den lokal an einem Querschnitt ermittelten, zeitlichen Abstand zwischen zwei Fahrzeugen. Der Unterschied zwischen den Bezeichnungen Bruttozeitlücke (Abstand zwischen den Vorderkanten zweier Fahrzeuge) und Nettozeitlücke (Abstand zwischen der Hinterkante des vorausfahrenden bis zur Vorderkante des nachfolgenden Fahrzeugs) wird in Abbildung 2-9 dargestellt.

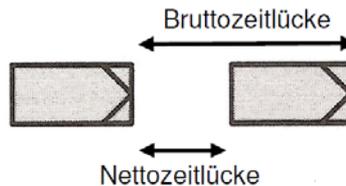


Abbildung 2-9: Brutto-/Nettozeitlücke (FENZL 2010, S. 33)

Berechnen wird der Mittelwert der Bruttozeitlücke über den Kehrwert der Verkehrsstärke:

Formel 2-11  $\overline{\Delta t_B} = \frac{t}{n}$

mit  $\overline{\Delta t_B}$  ... Mittelwert der Bruttozeitlücke [s]  
 $t$  ... Zeitintervall  
 $n$  ... Anzahl der Fahrzeuge

Daraus kann in weiterer Folge die Nettozeitlücke bestimmt werden:

Formel 2-12  $\Delta t_N = \Delta t_B - \frac{l_{FZ}}{v_l}$

mit  $\Delta t_N$  ... Nettozeitlücke [s]  
 $\Delta t_B$  ... Bruttozeitlücke [s]  
 $l_{FZ}$  ... Fahrzeuglänge  
 $v_l$  ... lokale Geschwindigkeit [km/h]

## Auslastungsgrad

Der Auslastungsgrad ist das Verhältnis von auftretender, aktueller Verkehrsnachfrage und einem dem Streckenabschnitt zugeordneten Kapazitätswert.

Formel 2-13  $A = \frac{q_{\text{aktuell}}}{q_{\text{max}}} = \frac{q_{\text{aktuell}}}{C}$

mit  $A$  ... Auslastungsgrad  
 $q_{\text{aktuell}}$  ... tatsächliche Verkehrsstärke [KFZ/h]  
 $q_{\text{max}}$  ... maximale Verkehrsstärke [KFZ/h]  
 $C$  ... Kapazitätswert [KFZ/h]

## 2.6.2 Reisezeit- und geschwindigkeitsbasierte Kenngröße

Unter diesem Punkt werden die Kenngrößen gelistet, die direkt aus gemessenen (mittleren) streckenbezogenen mittleren Geschwindigkeiten und Reisezeiten ermittelt oder errechnet werden können. Die Geschwindigkeit drückt einerseits gut eine Überlastungssituation aus und ist andererseits eine einfache, nachvollziehbare und aussagekräftige Kenngröße für den Nutzer der Verkehrsanlage. Eine Geschwindigkeitsreduktion wird für jeden Verkehrsteilnehmer im Falle einer Kapazitätsüberschreitung deutlich erkennbar. Die Kehrseite besteht allerdings darin, dass die Geschwindigkeit über ein Intervall nicht aus lokalen Querschnittsmessungen direkt ermittelt und auch nicht als Vergleichsgröße zu anderen Verkehrsabschnitten herangezogen werden kann, solange sie nicht als absolute Größe auf eine Referenzgeschwindigkeit (z. B. freie Geschwindigkeit) bezogen wird (vgl. BRILON&ESTEL 2008). In MUNK E.A. (2009) werden Kriterien im Zusammenhang mit ermittelten Geschwindigkeiten als zwei von drei im deutschsprachigen Raum hauptsächlich angewandten Kenngrößen genannt. Auch SPANGLER (2009) beschreibt die reisezeit- und geschwindigkeitsbasierten Kenngrößen als eine für Verkehrsqualitätsbewertungsverfahren häufig herangezogene und auch für die Zukunft brauchbare Gruppe an Kennzahlen.

### Reisezeit [s, min, h]

Die mittlere Reisezeit spiegelt den durchschnittlichen Zeitbedarf für das Durchfahren eines Streckenabschnitts wider. Sie ist allerdings oft mit häufig eingesetzten lokalen Detektionsmethoden (z. B. Überkopfsensoren, Induktionsschleifen) nicht ermittelbar (vgl. SPANGLER 2009). Deshalb kommen sowohl Querschnittsverfahren oder Abschnittsverfahren, als auch erst kürzlich entwickelte Verfahren (neuere Ermittlungsmethoden z. B. FCD oder Fahrzeugwiedererkennung) im Sinne der Bestimmung von Abschnittsreisezeiten zum Einsatz (siehe dazu Kapitel 2.5.4 und 2.5.5).

$$\text{Formel 2-14} \quad t_R = \frac{S_R}{V_R}$$

mit	$t_R$	... mittlere Reisezeit [h]
	$S_R$	... zurückgelegter Weg [km]
	$V_R$	... Reise- bzw. Streckengeschwindigkeit [km/h]

### Mittlere streckenbezogene Geschwindigkeit, Streckengeschwindigkeit, Reisegeschwindigkeit oder Geschwindigkeitsrate $v_R$ [km/h]

Die Reisegeschwindigkeit ist nach FGSV (2000) als „die mittlere Geschwindigkeit eines Fahrzeuges innerhalb eines Beobachtungsintervalls als Quotient aus zurückgelegtem Weg und benötigter Zeit“, definiert. Sie kann nicht direkt über vorhandene, querschnittsbezogene Sensorik erhoben werden, sondern muss entweder aus den lokalen Daten modelliert bzw. geschätzt werden oder aus direkt gemessenen Reisezeiten errechnet werden. Sie entspricht dabei dem streckenbezogenen Kehrwert der Reisezeit und wird deshalb als Streckengeschwindigkeit bezeichnet.

Liegen für Streckenabschnitte direkt gemessene Reisezeiten vor, kann die Reisegeschwindigkeit über das Wissen über die Länge des Abschnitts errechnet werden:

Formel 2-15  $\bar{v}_R = \frac{\sum_i^n v_{R,i}}{n}$

mit  $\bar{v}_R$  ... mittlere, streckenbezogene Geschwindigkeit [km/h]  
 $v_{R,i}$  ... Einzelfahrzeuggeschwindigkeit des Fahrzeugs i [km/h]  
 n ... Anzahl der Fahrzeuge

Die mittlere Streckengeschwindigkeit ergibt sich aus dem arithmetischen Mittel aus den Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten auf einem gewissen Streckenabschnitt.

Formel 2-16  $V_R = \frac{S_R}{t_R}$

mit  $V_R$  ... Reisegeschwindigkeit [km/h]  
 $S_R$  ... zurückgelegter Weg [km]  
 $t_R$  ... mittlere Reisezeit [h]

Häufig stehen aber nur querschnittsbezogene Verkehrsdatenerfassungsanlagen zur Verfügung und es müssen lokale Daten zur Schätzung der Streckengeschwindigkeit herangezogen werden. Die mittlere Streckengeschwindigkeit kann z.B. aus dem harmonischen Mittel der lokal erfassten Geschwindigkeiten abgeleitet werden (siehe Formel 2-2).

Bei freiem Verkehrsablauf ist nach OFFERMANN (2001) davon auszugehen, dass die lokalen Geschwindigkeiten ähnlich streuen wie die momentanen Geschwindigkeiten. Somit kann für ungestörte Verhältnisse die mittlere, momentane Geschwindigkeit aus den lokalen Größen nach Formel 2-15 ermittelt werden. Diese Vorgehensweise im Überlastungsfall wird in OFFERMANN (2001) allerdings auf Basis von Analysen der Weg-Zeit-Linien einer Luftaufnahme von einer Autobahn als problematisch eingestuft und folgende Schlussfolgerungen daraus gezogen:

- Nur der Mittelwert der streckenbezogenen Geschwindigkeit kann das tatsächliche Geschwindigkeitsniveau und damit die durchschnittliche Reisezeit in einem Streckenabschnitt aussagekräftig wiedergeben.
- Der Mittelwert der lokal erhobenen Geschwindigkeit ist stets größer als der momentane Wert. Somit werden auf der Grundlage einer lokalen Messung des Verkehrsablaufs die tatsächlichen Geschwindigkeiten meist überschätzt. Insbesondere bei instabilen, gestörten Verkehrsverhältnissen differieren die beiden Durchschnittsgeschwindigkeiten signifikant.
- Aus streckenbezogenen Geschwindigkeiten kann auf lokale Geschwindigkeiten geschlossen werden, andersherum kann die mittlere Streckengeschwindigkeit nur bei Kenntnis aller lokalen Einzelgeschwindigkeiten daraus abgeleitet werden.

### Personengeschwindigkeit [P·km/h]

Diese Kenngröße beschreibt die Effizienz eines Verkehrssystemabschnitts. Eingangsdaten sind dafür die mittlere Reisegeschwindigkeit und die Anzahl der Personen.

Formel 2-17	$V_{Pers} = Q_P \cdot V_R$
mit	$V_{Pers}$ ... Personengeschwindigkeit [P·km/h]
	$Q_P$ ... Personenverkehrsstärke [P]
	$V_R$ ... mittlere Reisegeschwindigkeit [km/h]

### Relative Geschwindigkeitsreduktion [%]

Formel 2-18	$r_V = 100 \cdot \frac{\bar{V}_{aktuell}}{V_{frei}}$
mit	$r_V$ ... relative Geschwindigkeitsreduktion [%]
	$\bar{V}_{aktuell}$ ... aktuelle mittlere Reisegeschwindigkeit [km/h]
	$V_{frei}$ ... mittlere/zulässige Reisegeschwindigkeit bei freiem Verkehr [km/h]

### 2.6.3 Verlustzeitbasierte Kenngrößen

Unter diesem Punkt werden im Unterschied zu den in Kapitel 2.6.2 vorgestellten Kenngrößen jene bekannten Kriterien beleuchtet, die eine Aussage über den zu erfahrenden Zeitverlust treffen. Auch diese Gruppe der Kriterien hat ihren Ursprung in den Reisezeiten. Zeitverluste entstehen bei Überlastung durch die dadurch erzwungene Reduktion der Geschwindigkeit und der damit verbundenen Erhöhung der Reisezeit. Für die Bestimmung von staubedingten Verlustzeiten muss eine Referenzgeschwindigkeit unter optimalen Bedingungen als Bezugsgröße (oder eine daraus ermittelte Referenzreisezeit) bestimmt werden (vgl. GEISTEFELDT&LOHOFF 2011). Als Referenzgeschwindigkeit für Pkw kommen verschiedene Werte in Frage. Es kann direkt die Geschwindigkeit des freien Verkehrs als Referenzgeschwindigkeit verwendet werden. Dieser „ideale“ Zustand mit sehr geringer Verkehrsstärke eignet sich allerdings nicht als Zielgröße einer wirtschaftlich effizienten Verkehrsplanung. Andererseits kann die Geschwindigkeit bei Erreichen der Kapazität als Referenzgröße verwendet werden. Allerdings befindet sich der Verkehrsfluss dort in einem instabilen Zustand, deshalb schlagen GEISTEFELDT&LOHOFF (2011) vor, die Referenzgeschwindigkeiten bei den nach HBS (2001) bestimmten Geschwindigkeiten bei einem Auslastungsgrad von 90 %, (Grenze zw. LOS D und E) anzusetzen. Darüber hinaus wird bei etwa 90 % Auslastung das Maximum der Verkehrsleistung auf Autobahnen erreicht (BRILON E.A. 2005). Für den „Regelfall“ von Autobahnen wählen GEISTEFELDT&LOHOFF (2011) deshalb 100 km/h, für Autobahnabschnitte in Ballungsräumen mit geringerem Geschwindigkeitsniveau 90 km/h als noch akzeptierte Referenzgeschwindigkeit für die Bestimmung staubedingter Fahrzeitverluste. Verlustzeitbasierte Kenngrößen sind gut geeignete, für den Verkehrsteilnehmer leicht verständliche Kennzahlen.

### Verlustzeit bzw. Reisezeitverlust [min, h]

Die Verlustzeit bzw. der gleichbedeutende Reisezeitverlust beschreibt die Zeiteinbußen bei überlasteten Fahrten im Vergleich zur Reisezeit bei freiem Verkehrsfluss. Die mittlere Reisezeit bei freiem wie auch bei überlastetem Verkehrsfluss kann direkt aus den streckenbezogenen Daten oder durch Berechnung aus den unterschiedlichen Reisegeschwindigkeiten ermittelt werden.

Formel 2-19	$t_{Verlust}$	$= t_{\ddot{U},Aktuell} - t_{R,frei}$
mit	$t_{Verlust}$	... Verlustzeit bzw. Reisezeitverlust [min]
	$t_{R,frei}$	... mittlere (optimale, akzeptierte) Referenzreisezeit bei freiem Verkehrsfluss [min]
	$t_{\ddot{U},Aktuell}$	... mittlere, aktuelle Reisezeit bei Überlastung [min]

### Verlustzeitrate [min/km]

Die Verlustzeitrate unterscheidet zwischen der erwarteten und der tatsächlichen Verkehrsqualität, indem eine akzeptable Reisezeit formuliert wird. Unklar bleibt allerdings, wie die akzeptable Reisezeit zu wählen ist.

Formel 2-20	$t_{Verlust,R}$	$= \frac{(T_{R,aktuell} - T_{R,akzept})}{L}$
mit	$t_{Verlust,R}$	... Verlustzeitrate [min/km]
	$T_{R,aktuell}$	... aktuelle Reisezeit [min]
	$T_{R,akzept}$	... akzeptable Referenzreisezeit [min]
	L	... Länge der Strecke [km]

### Gesamtverlustzeit [P·h oder Kfz·h]

Diese Kenngröße beschreibt die gesamten, staubedingten Zeitverluste eines Verkehrsnetzes oder Verkehrsnetzabschnittes. Es werden hier die Verlustzeiten von zusammengehörigen Verkehrsbereichen aufsummiert. Mittels der Gesamtverlustzeit können die Effekte einzelner Maßnahmen auf die Verkehrsqualität des Gesamt- oder Teilnetzes quantifiziert werden.

Formel 2-21	$T_{Verlust}$	$= t_{Verlust,R} \cdot q \cdot L \cdot \frac{1}{60}$
mit	$T_{Verlust}$	... Gesamtverlustzeit [km·h]
	$t_{Verlust,R}$	... Verlustzeitrate [min/km]
	q	... Fahrzeuganzahl, die sich im Streckenabschnitt befindet [KFZ]
	L	... Länge der Strecke [km]

### Relative Verlustzeitrate

Über die relative Verlustzeitrate besteht die Möglichkeit unterschiedliche Verkehrsanlagen miteinander vergleichen zu können. Es wird hier die Verlustzeitrate zu einer akzeptablen Geschwindigkeitsrate in Verhältnis gesetzt.

Formel 2-22	$t_{r,Verlust}$	$= \frac{t_{Verlust,R}}{t_{R,akzept}}$
mit	$t_{r,Verlust}$	... relative Verlustzeitrate
	$t_{Verlust,R}$	... Verlustzeitrate [min/km]
	$t_{R,akzept}$	... akzeptable Geschwindigkeitsrate [min/km]

### Verlustzeitanteil

Der Verlustzeitanteil ist der relativen Verlustzeitrate sehr ähnlich und ergibt sich aus dem Quotient dieser und der aktuellen Geschwindigkeitsrate. Der Referenzwert, die akzeptable Reisezeitrate, entfällt im Gegensatz zur relativen Verlustzeitrate und wird durch die aktuelle Geschwindigkeitsrate ersetzt.

Formel 2-23	$t_{A,Verlust}$	$= \frac{t_{Verlust,R}}{t_{R,aktuell}}$
mit	$t_{A,Verlust}$	... relative Verlustzeitrate
	$t_{Verlust,R}$	... Verlustzeitrate [min/km]
	$t_{R,aktuell}$	... aktuelle Geschwindigkeitsrate [min/km]

### Pufferzeit [s, min, h]

Die Pufferzeit ist jene zusätzliche Zeit, die sicherstellt, dass ein Reiseziel mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (z. B. 95 %) erreicht wird und muss daher zur mittleren Reisezeit addiert werden.

### 2.6.4 Kenngrößen der Überlastungsdauer

Die Ausdrucksweise von Kriterien zur Beschreibung der Qualität während der Überlastungsdauer führt zu einer gesamtheitlichen Betrachtung des Ausmaßes der Verkehrsüberlastung. Diese können auf unterschiedlichen Größen basieren (z. B. mittleren gefahrene Geschwindigkeiten bzw. mittleren Reisezeiten in einem Intervall über einem Schwellenwert). Es werden somit indirekt alle betroffenen Nutzer der Verkehrsanlage in die Bewertung mit einbezogen. Die Überlastungsdauer kann zur Bewertung der Verkehrsanlage herangezogen werden und basiert bezüglich der zu ermittelnden Daten auf Querschnittsgrößen oder auf streckenbezogenen Größen.

### Staudauer (Staufstunde) pro Betrachtungszeitraum (z. B. Staufstunden pro Tag, Monat, Jahr) [min, h]

Die Staudauer, häufig als Staufstunde bezeichnet oder wiedergegeben, basiert auf der Summe von zeitlich gestauten Intervallen. Die Bestimmung von überlasteten Intervallen erfolgt dabei entweder durch Verwendung eines querschnittsbezogenen Schwellenwertes (z. B. Grenzwert der Verkehrsstärke  $q$  oder des Auslastungsgrades  $A$ ) oder eines streckenbezogenen Grenzkriteriums (z. B. Überschreitung einer Intervallgrenzreisezeit).

- ◆ Querschnittsbezogene Staufstunde

Aufsummierung der an einem lokalen Messquerschnitt nacheinander überlasteten Staufintervalle. Die Staudauer gibt an, in wie vielen Stunden eines Zeitabschnittes (z. B. eines Jahres) Stau an einem Querschnitt vorliegt.

- ◆ Streckenbezogene Staufstunde

Aufsummierung von gestauten Intervallen bezogen auf einen Strecken- und Zeitabschnitt.

### Staudauer je Überlastung [min, h]

Diese Ausgabekenngröße gibt das zeitliche Ausmaß pro detektiertem Verkehrszusammenbruch wieder. Sobald über die mittlere Reisegeschwindigkeit und/oder die mittlere Reisezeit ein Verkehrseinbruch festgestellt wird (Grenzgeschwindigkeit, Grenzreisezeit) wird die Zeit bis zur Erholung gemessen und kann später für einen bestimmten Zeitraum aufaddiert werden (Tag, Monat).

### Staudauer prozentual zum Betrachtungszeitraum [%]

Hier werden die überlasteten Zeitintervalle in Verhältnis zur Gesamtanzahl aller Intervalle eines Beobachtungszeitraums gesetzt. Unbeachtet bleibt hier, welches Kriterium ein Intervall zu einem gestauten Intervall (erhöhte Reisezeit, detektierter Geschwindigkeitseinbruch usw.) macht.

Formel 2-24  $D_{Stau,proz} = \frac{\sum I_{gestaut}}{\sum I_{gesamt}}$

mit  $D_{Stau,proz}$  ... Staudauer [%]

$\sum I_{gestaut}$  ... Summe aller gestauten Intervalle im Beobachtungszeitraum

$\sum I_{gesamt}$  ... Summe aller Intervalle im Beobachtungszeitraum

### Stauausdehnung, Staudichte [h · km/ t]

Die Stauausdehnung gibt das räumlich-zeitliche Ausmaß der Staus auf Autobahnen pro Zeiteinheit (Tag, Monat, meistens Jahr) an. Sie wird als Produkt der ermittelten Staudauer und der Länge des dem Messquerschnitt (querschnittsweise Betrachtung) zugeordneten Streckenabschnitts oder des relevanten Streckenabschnitts (streckenbezogene Betrachtung) berechnet. Im Gegensatz zur Staudauer lässt sich dieser Parameter über das

Gesamtnetz aufsummieren. Durch Division der Stauausdehnung durch den mittleren Knotenpunktabstand lässt sich die Summe der abschnittsbezogenen Staudauern berechnen.

### 2.6.5 Kenngrößen zur Überlastungswahrscheinlichkeit

Die Überlastungswahrscheinlichkeit wird in der Literatur als Kenngröße sehr unterschiedlich definiert. Die meisten Ansätze beruhen auf der Annahme einer stochastisch verteilten Kapazität (z. B. ZURLINDEN 2003), wodurch die Überlastungswahrscheinlichkeit dem jeweiligen Perzentil der Kapazitätsverteilung entspricht.

#### Überlastungswahrscheinlichkeit eines Streckenabschnitts [%] (Variante 1)

In Variante 1 sind die Parameter a und b die für jeden Streckenabschnitt individuell zu bestimmenden Formparameter.

Formel 2-25

$$p_{\ddot{u}}(q) = 1 - e^{-\left(\frac{q}{b}\right)^a}$$

mit

$p_{\ddot{u}}(q)$  ... Überlastungswahrscheinlichkeit eines Streckenabschnittes [%]

q ... Verkehrsstärke [Kfz/h]

a,b ... Parameter der Verteilungsfunktion der Kapazität nach

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{für } x < 0 \\ 1 - e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^a} & \text{für } x > 0 \end{cases}$$

mit

a = Formparameter (beschreibt die Varianz)

b = Lageparameter der Verteilung

#### Überlastungswahrscheinlichkeit eines Streckenabschnitts [%], Variante 2

Die Variante 2 beschreibt die Wahrscheinlichkeit für den Nutzer der Verkehrsanlage bei gewisser Auslastung in einen Verkehrsstau zu kommen.

Formel 2-26

$$p_a = \frac{q_{\ddot{u}}}{DTV_{Mo-Fr}}$$

mit

$p_a$  ... Überlastungswahrscheinlichkeit eines Streckenabschnitts [%]

$q_{\ddot{u}}$  ... Anzahl der Fahrten eines Tages, die während Überlastungssituation stattfinden [Kfz/24h]

$DTV_{Mo-Fr}$  ... durchschnittliche werktägliche Verkehrsstärke [Kfz/24h]

### 2.6.6 Kenngrößen der Zuverlässigkeit

Qualitätskenngrößen werden bislang zumeist eingesetzt, um die Qualität des Verkehrsablaufs bei festgelegter Verkehrsnachfrage zu bewerten. Dies führt dazu, dass Kenngrößen häufig Mittelwerte von kurzen Zeiträumen (z. B. Tagesspitzenstunde, 30. Spitzenstunde eines Jahres) sind. In den letzten Jahren kommt es allerdings vermehrt zur Forderung der Fachwelt, zusätzlich auch die Schwankungsbreite der Verkehrszustände in die Bewertung miteinzubeziehen, weshalb immer häufiger Kriterien im Zusammenhang mit ermittelter Zuverlässigkeit einer Verkehrsanlage zum Einsatz kommen. In FHWA (2006) wird Zuverlässigkeit aufgrund der Möglichkeit, die Überlastungsauswirkungen auf den Nutzer zu beschreiben, als sehr geeignet eingestuft. In SHAW (2003) werden aus der Literatur mehrere Definitionen für die Zuverlässigkeit formuliert, wovon zwei hier festgehalten werden sollen:

- Zuverlässigkeit ist die „Wahrscheinlichkeit [...], dass sich die Erwartungen der Verkehrsteilnehmer erfüllen“, wobei die Zuverlässigkeit die Differenz aus erwarteter und tatsächlicher Reisezeit darstellt (SHAW 2003, zit. in: BRILON&ESTEL 2008, S. 32).
- Zuverlässigkeit ist die Streuung der Reisezeiten über mehrere Tage, wobei Mittelwert und Standardabweichung die Zuverlässigkeit beschreiben.

Auf Basis dieser Definitionen werden im Folgenden verschiedene Möglichkeiten angeführt, Kenngrößen zur Bewertung der Verkehrsqualität zu ermitteln:

#### Grenzwert der akzeptierten Reisezeit [min] - Florida Reliability Method

Bei dieser Methode wird die Reisezeit als eine Funktion aller Fahrten im Beobachtungszeitraum am Beobachtungsabschnitt beschrieben und deren Median als durchschnittlich zu erwartende Reisezeit bestimmt. Üblicherweise werden dazu Messkampagnen über vier bis sechs Wochen mit einer Intervalldauer von fünf bis 15 Minuten vollzogen. Hinzu kommt eine gerade noch akzeptierte, prozentuell zur Reisezeit aufgeschlagene Mehrreisezeit. In SHAW (2003) wird dieser Indikator als äußerst brauchbar angesehen, da es die Erwartungen der Verkehrsanlagennutzer beschreibt.

Formel 2-27	$T_{akzept,Grenz}$	$= \bar{x} + \Delta$
mit	$T_{akzept,Grenz}$	... Grenzwert der akzeptierten Reisezeit [min]
	$\bar{x}$	... Median der Reisezeit während des Beobachtungszeitraumes [min]
	$\Delta$	... akzeptierter Zeitzuschlag (ca. 15-20 % der erwarteten Reisezeit)

#### Überlastungshäufigkeit

Die Kenngröße „Überlastungshäufigkeit“ beschreibt die Anzahl der Überlastungsereignisse, die auf Basis bestimmter Grenzwerte (Geschwindigkeiten, Reisezeiten) detektiert werden.

### 95%-Perzentil der Reisezeit

Das 95 %-Perzentil spiegelt die Reisezeit wider, die von 95 % Prozent aller Verkehrsteilnehmer auf dem beobachteten Streckenabschnitt unterschritten oder genau erreicht wird.

### Pufferindex [%]

Dieser Index drückt die benötigte Zusatzzeit zur mittleren Reisezeit aus, um in 95 % der Fälle pünktlich am Ziel anzukommen. Wird die vom Nutzer eines Streckenabschnittes benötigte, durchschnittliche Reisezeit mit dem Pufferindex multipliziert und dann zu dieser addiert, kann mit 95%iger Sicherheit gesagt werden, dass man pünktlich sein Ziel erreicht. Der Wert des Pufferindex steigt aufgrund der Abnahme der Zuverlässigkeit und errechnet sich aus dem Quotienten aus der Differenz des 95. Perzentils der Reisezeit und dem Median der Reisezeit.

$$\text{Formel 2-28} \quad BI_i = \frac{T_{P95,i} - T_{mittel,i}}{T_{mittel,i}}$$

mit

- $BI_i$  ... Pufferindex in Intervall [%]
- $T_{P95,i}$  ... 95-Perzentil der Reisezeit im Intervall i [min]
- $T_{mittel,i}$  ... mittlere Reisezeit auf dem Streckenabschnitt im Intervall i [min]

### Reisezeitindex - Index der Reisezeitplanung - Planungszeitindex

Diese Kenngröße gibt das Verhältnis von stark überlastetem und freiem Verkehrsfluss wider. Es besagt, „in welchem Verhältnis sich die Reisezeit in der Überlastung gegenüber dem frei fließenden Verkehr erhöht, wenn das Ziel mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% pünktlich erreicht werden soll“, (BRILON&ESTEL 2008, S. 33).

Wie der auch häufig verwendete Name "Index der Reisezeitplanung" bereits verrät, ist dieser bei Planung von Fahrten für den Nutzer relevant.

$$\text{Formel 2-29} \quad PTI = \frac{T_{P95,i}}{T_{frei}}$$

mit

- $PTI$  ... Reisezeitindex bzw. Index der Reisezeitplanung
- $T_{P95,i}$  ... 95-Perzentil der Reisezeit im Intervall i [min]
- $T_{frei}$  ... Reisezeit bei frei fließendem Verkehr [min]

Damit auch verschiedene Streckenabschnitte, Anlagen oder Intervalle verglichen werden können, sind die Indexwerte noch über die Verkehrsleistung zu gewichten.

Formel 2-30 
$$I_{\text{mittel}} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{n=1}^n (I_{k,n} \cdot N_{PKW,k,n} \cdot L_n)}{\sum_{i=1}^k \sum_{n=1}^n (N_{PKW,k,n} \cdot L_n)}$$

mit

$I_{\text{mittel}}$  ... mittlerer Indexwert (Pufferindex, Reisezeitindex) über n Strecken und k Intervalle

$I_{k,n}$  ... Indexwert einer bestimmten Strecke n im Intervall k

$N_{PKW,k,n}$  ... Anzahl der Fahrzeuge in einer bestimmten Strecke n im Intervall k

$L_n$  ... Länge des Streckenabschnitts n [km]

## 2.6.7 Sonstige Kenngrößen

### LOS/QSV - Level of Service

Wie unter 2.3.2 bereits ausführlich beschrieben, werden im HCM (2000) und im HBS (2001) über die Verkehrsdichte bzw. den Auslastungsgrad der Spitzenstunde sechs verschiedene Qualitätsniveaus von A bis F formuliert.

### Verkehrsdichte

Die Verkehrsdichte ist die Anzahl der Fahrzeuge je Streckenabschnitt zu einem Zeitpunkt und kann direkt aus momentaner Messung bestimmt werden. Dabei kann der Streckenabschnitt, auf dem die Fahrzeugzahl erfasst wird, in einer beliebigen Größe angenommen werden (z. B. 1 Kilometer).

Aufgrund des großen Aufwands von direkten, momentanen Bestimmungen wird die Verkehrsdichte in der Regel aus lokalen Kenngrößen abgeleitet:

Formel 2-31 
$$k = \frac{q}{\bar{v}_m} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{v_{i,i}}}{t}$$

mit

k ... Verkehrsdichte [KFZ/km]

q ... Verkehrsstärke [KFZ/h]

$\bar{v}_m$  ... mittlere, momentane Geschwindigkeit [km/h]

$v_{i,i}$  ... lokale Geschwindigkeit des Fahrzeugs i [km/h]

t ... Zeitintervall [h]

Weiters besteht die Möglichkeit, die Verkehrsdichte ähnlich der Verkehrsstärke über die Bruttoweglücken der Fahrzeuge zu bestimmen.

$$\text{Formel 2-32} \quad q = \frac{n}{x} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \Delta x_{b,i}}$$

mit	q	... Verkehrsstärke [Kfz/h]
	n	... Anzahl der Fahrzeuge
	x	... Streckenabschnitt [km]
	$\Delta x_{b,i}$	... Bruttoweglücke des Fahrzeugs i

### Weglücke

Als Weglücke (oder Raumlücke) wird der räumliche Abstand zwischen zwei Fahrzeugen bezeichnet, der aus momentaner Messung bestimmbar ist. Wie bei den Zeitlücken wird auch bei den Weglücken von Brutto- und Nettolücken gesprochen, wobei die Definition identisch mit der der Zeitlücken (siehe Abbildung 2-9) ist. Der Mittelwert der Bruttoweglücken eines Verkehrsstroms ist der Kehrwert der Verkehrsdichte (Formel 2-31).

$$\text{Formel 2-33} \quad \overline{\Delta x_B} = \frac{x}{n}$$

mit	$\overline{\Delta x_B}$	... Mittelwert der Bruttozeitlücke [s]
	x	... Streckenabschnitt [m]
	n	... Anzahl der Fahrzeuge

Daraus kann in weiterer Folge die Nettozeitlücke bestimmt werden (Formel 2-10).

$$\text{Formel 2-34} \quad \Delta x_N = \Delta x_B - l_{FZ}$$

mit	$\Delta t_N$	... Nettoweglücke [s]
	$\Delta t_B$	... Bruttoweglücke [s]
	$l_{FZ}$	... Fahrzeuglänge

### Stochastische Ganzjahresanalyse

Bei der stochastischen Ganzjahresanalyse werden sowohl die Verkehrsnachfrage im Überlastungsbereich als auch die Kapazität softwareunterstützt modelliert, wobei lokale Kenngrößen als Eingangsgrößen dienen. Diese Simulation der Nachfrage und der Kapazität berücksichtigt den stochastischen Charakter beider Größen. Durch die Gegenüberstellung dieser in 5-Minuten-Intervallen können Verlustzeiten berechnet und über gewünschte Zeitspannen aufsummiert werden, woraus wiederum in weiterer Folge zusätzliche aussagekräftige Kenngrößen (z. B. Stautunden) ermittelt werden können. Ein Beispiel für so ein Simulationsprogramm ist KAPASIM (Kapazität und Simulation, ZURLINDEN 2003), das bereits im hessischen Raum Anwendung gefunden hat (vgl. BRILON&ESTEL 2008).

## Congestion Index

Für diese Kenngröße werden die einzelnen Stunden ähnlich einer Bewertung der Spitzenstunde über herkömmliche Kriterien beurteilt (siehe z. B. über den Auslastungsgrad, Verkehrsdichte, mittlere Reisezeit) und nach dem LOS-Konzept den Verkehrsqualitätsstufen zugeteilt. Dabei wird der Überlastungsbereich nochmals in vier weitere Bereiche von F bis I unterteilt und diesbezüglich werden neue Grenzwerte beispielsweise für Verkehrsdichte und Auslastungsgrad definiert. Für die Bildung dieses Kriteriums werden nun die Bewertungen aller 24 einzelnen Stunden eines Tages zu einer Bewertung zusammengefasst und der sogenannte „Congestion Index“ gebildet. Eine Kombination der einzelnen Qualitätsstufen führt dann zu einer Betrachtung des ganzen Tages (z. B. in Form von „G3F4“). Dies würde bedeuten, dass an jenem betrachteten Tag die Qualitätsstufe „G“ drei Stunden lang und die Qualität des Verkehrsablaufes vier Stunden lang QSV „F“ aufgetreten ist. Dieses System zur differenzierten Bewertung des überlasteten Bereichs hat bereits Anwendung in der Praxis in Tukwila in Washington gefunden. (vgl. BRILON&ESTEL 2008).

## 2.7 Zusammenfassung Literaturanalyse

Die kontinuierliche Identifikation von Verkehrsflussstörungen (Überlastungen) und ihre Kommunikation durch Kenngrößen wird in der Literatur als unabdinglich angesehen, um Kundenzufriedenheit zu erhöhen, bessere Ergebnisse bei der Stauentwicklung zu erzielen, die Vergleichbarkeit mit anderen Betreibern zu wahren, die Investition von Verbesserungsmaßnahmen zu bewerten und zu rechtfertigen und die eigene Arbeit beurteilen zu können. Qualitätskenngrößen zur Bewertung einer netzweiten Verkehrsqualität sollen dabei sowohl das räumliche und das zeitliche Ausmaß als auch den relativen Bezug zum Gesamtnetz beschreiben können. Auch sollte die hier nicht näher betrachtete Verkehrsnachfrageentwicklung bei gleichbleibenden bestehenden Infrastrukturanlagen mit in Betracht gezogen werden.

Herkömmliche Bemessungs- und Bewertungsverfahren (lt. HBS oder HCM) basieren auf den querschnittsbezogenen Kenngrößen der Verkehrsdichte, der Verkehrsstärke und der lokalen Geschwindigkeit (bzw. dem Auslastungsgrad) und beziehen nur die Spitzenstunde in ihre Betrachtung mit ein. Aus einschlägiger Literatur geht hervor, dass neben diesen gebräuchlichen lokalen Kriterien auch streckenbezogene Kenngrößen, im Speziellen die Reisezeit von Abschnitten und davon abgeleitete Kenngrößen, an Bedeutung gewinnen und diese kontinuierlich über den ganzen Tag betrachtet werden sollen. Die Reisezeit wird auch in der praktischen Anwendung als der wesentliche Indikator zur Beurteilung einer netzweiten Verkehrsqualität genannt, solange Betreiber nicht eine softwarebasierte Modellierung des Verkehrs auf Basis von Nachfrage- und Kapazitätsmodellierungen bzw. Simulationen zur Verkehrserzeugung im Gesamtnetz umsetzen.

Mittels der Reisezeit kann sowohl über die räumliche als auch über die zeitliche Verteilung des Verkehrs eine Aussage getroffen werden. Der Vorteil der Reisezeit liegt weiters darin, dass nicht jede noch so kleine Geschwindigkeitsreduktion an lokalen Querschnitten erfasst wird, solange diese keine relevante Veränderung der Reisezeit in dem betroffenen Abschnitt mit sich bringt. Ferner werden auch Bereiche zwischen zwei Messpunkten erfasst, die lokal nicht detektiert werden können, aber einen Einfluss auf die Segmentreisezeit haben. Der Nachteil streckenbezogener Größen wie der Reisezeit wiederum besteht darin, dass diese mit herkömmlichen lokalen Detektionsmethoden (z. B.

mit Überkopfbrücken, Induktionsschleifen) nicht ausreichend erfassbar sind. Daher ist es Aufgabe der Betreiber, geeignete Verfahren zur Ermittlung von Reisezeiten zu adaptieren.

Die Reisezeit spiegelt in der Praxis dabei eine nutzerrelevante Größe wider, denn – in der Regel soll ein Ziel in kürzest möglicher Zeit erreicht werden. Zur besseren Vergleichbarkeit mit anderen Streckenabschnitten wird oftmals der streckenbezogene Kehrwert der Reisezeit (streckenbezogene Geschwindigkeit, Reisegeschwindigkeit), manchmal auch der Kehrwert der Reisegeschwindigkeit (Reisezeitrate) verwendet. Basierend auf der Reisezeit können je nach beabsichtigter Aussagekraft unterschiedliche Kenngrößen abgeleitet werden. Ein Großteil der unter Kapitel 2.6 vorgestellten Indikatoren hat trotz der Zuordnung in verschiedene Gruppen (reisezeit- und geschwindigkeitsbasierte Kenngrößen, verlustzeitbasierte Kenngrößen usw.) ihren Ursprung in der Reisezeit.

Ein weiteres wichtiges Kriterium, dem besonders in den letzten Jahren von der Fachwelt Bedeutung zugesprochen wird, ist die auf der Reisezeit basierende Zuverlässigkeit von Streckenabschnitten, die die Schwankungen der Reisezeit in einem Netzelement berücksichtigen. Besonders für den Nutzer wird eine Vorhersehbarkeit der Reisezeit als wesentlich angeführt. Bis jetzt wird erst in zwei europäischen Ländern – in den Niederlanden und in Großbritannien – explizit ein Rahmen für die Verfolgung der Zuverlässigkeit der Reisezeiten auf nationaler Ebene definiert. In diesem Zusammenhang wird später im Bereich der internationalen Vergleiche unter Kapitel 3.5 das System der Highways Agency in Großbritannien und das der Rijkswaterstaat in den Niederlanden näher erläutert. Ob diesbezügliche Ansätze aus der Literatur auch wirklich aussagekräftig und somit geeignet für die hier betrachtete nachträgliche Beschreibung der Verfügbarkeit des Gesamtnetzes der österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen sind, muss sich erst zeigen. Eine kurzfristige Umsetzung wird allerdings bezweifelt.

Aus der Literatur ist somit ersichtlich, dass der Wunsch nach einer einzigen, aussagekräftigen Kenngröße für alle Ziele und Situationen (internationale Vergleichbarkeit, Kommunikation mit dem Verkehrsnutzer, Reporting an das Management, internes Monitoring von Verkehrsbeeinflussungsstrategien usw.) in der Realität schwer umsetzbar ist. Deshalb ist vielmehr je nach gewünschter Aussagekraft abzuwägen, welche Kenngrößen man in welchem Fall wählt.

### 3 Bewertung von Verkehrsqualität im internationalen Vergleich

Um als Unternehmen (hier speziell als Verkehrsbetreiber) über lange Sicht Leistungslücken identifizieren und auf dem neuesten Stand bleiben zu können, ist es notwendig, seine eigenen Methoden, Dienstleistungen usw. zu evaluieren und in Bezug auf andere, geeignete Referenzprojekte – entsprechende Benchmarking-Partner – zu vergleichen und zu bewerten. Durch ein internationales Benchmarking sollen Leistungsunterschiede zu Institutionen mit gleichen oder ähnlichen Aufgaben über systematische, aussagekräftige Kennzahlen oder Analyseinstrumente mit dem Ziel der Verbesserung objektiv aufgezeigt und geklärt werden und diese durch Orientierung am Branchenbesten ausgemerzt werden. Dabei ist auf die unterschiedlichen Rahmenbedingungen und vorherrschenden Verhältnisse besonders zu achten (vgl. MARAULI 2006).

In der Literatur wird im Allgemeinen eine Unterscheidung in internes und externes Benchmarking getroffen. Während beim internen Benchmarking nur Methoden und Prozesse innerhalb der Institution miteinander verglichen werden, werden beim externen Benchmarking Vergleiche mit Branchenbesten gezogen (konkurrenzbezogenes Benchmarking). Bei dieser Methode ist natürlich immer zu berücksichtigen, dass Vergleichspartner einen ungleichmäßigen Austausch von Erfahrungen in Erwägung ziehen und deshalb zum Schutz oder zum eigenen Vorteil sensible Informationen zurückhalten können. Gelingt es jedoch, objektiv vergleichbare Referenzprojekte zu finden, so können branchenbezogen allgemeine Trends festgemacht und Leistungsmaßstäbe gesetzt werden (vgl. SCHUBERT 2006).

Der Betreiber des österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetzes, die ASFINAG (Autobahn- und Schnellstraßen-Finanzierungs-AG) besitzt Monopolstellung als Infrastrukturanbieter im österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz. Im Sinne einer kundenorientierten Weiterentwicklung sollen in dieser Arbeit internationale Benchmarking-Partner identifiziert werden und die verschiedenen Bewertungsmethoden zur kontinuierlichen, netzweiten Beurteilung der Verkehrsqualität einander gegenübergestellt werden. Auf diesem Gebiet veröffentlichen vergleichbare Infrastrukturanbieter Informationen auf den jeweiligen Homepages in Form von einschlägiger Literatur und Berichten, die hier zur Vergleichbarkeit herangezogen werden können. Hauptsächlich wird hier zusätzlich im Sinne einer vertieften Aufklärung der Bewertungsprinzipien persönlich Kontakt zu Verantwortlichen von Ministerien, Verkehrsabteilungen, Verkehrszentralen, Verkehrsinformationsagenturen und Autobahnbetreibern aufgenommen und um Information über deren praxisrelevante Verkehrsqualitätsbeurteilungskonzepte gebeten. Auch von dieser Seite wurden zusätzlich Dokumente lukriert.

#### 3.1 Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen und Verkehrszentrale Hessen – GER

Die Verkehrszentrale Hessen ist (unter anderem) die zuständige Verkehrsbehörde für das Bundesautobahnen- und Bundesstraßennetz im Land Hessen, mit einer Gesamtstreckenlänge von 3950 Kilometern (davon 950 km Bundesautobahnen) und untersteht dem Hessischen Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen. Sie ist eine der leistungsfähigsten Verkehrszentralen Europas. Auf den Homepages der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung (HSVV 2011) und des Projektes „Staufreies Hessen

2015“ (HSVV 2011a) findet man Broschüren, Dokumente und Berichte, die zum freien Download zur Verfügung gestellt werden (HSVV 2009, HSVV 2010, HMWVL 2010). Auch aus RIEGELHUTH (2009), RIPPEGATHER (2010) und RIEGELHUTH (2011) können Informationen gewonnen werden. Weiters standen Herr DI Riegelhuth von der Verkehrszentrale Hessen und Frau Nilay Öz vom Hessischen Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen (Abteilung Verkehrsmanagement, Betrieb und Verkehr) als Ansprechpartner für Auskünfte zur Verfügung. Als weitere Auskunftsperson konnte Prof. Dr.-Ing. Justin Geistefeldt von der Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswesen, -planung und -management, gewonnen werden, der einige Zeit in der Verkehrszentrale Hessen tätig war.

Ein wesentlicher Bestandteil der Verkehrszentrale Hessen ist die integrierte Verkehrsmanagementzentrale, die sowohl für die Verkehrssteuerung als auch für das Informationsservice zuständig ist und durchgängig 24 Stunden, 7 Tage die Woche betrieben wird. In dieser werden auch die wichtigsten Projekte der Initiative „Staufreies Hessen 2015“ realisiert, das drei Hauptpunkte umfasst, nämlich Zukunftstechnologien (mit kooperativen Systemen), das Verkehrsmanagement selbst (temporäre Seitenstreifenfreigabe, dWiSta-Schilder usw.) und Mobilitätsdienste.

Derzeit ist in Hessen vor allem im Bereich der Autobahnen eine gute Informationslage gegeben. Verkehrsdaten werden über straßenseitige Messeinrichtungen erhoben (derzeit mehr als 3.000 Induktionsschleifen über das hessische Straßennetz verteilt) und mit Hilfe dieser wird in der Verkehrszentrale eine kollektive Verkehrslage erzeugt.

Grenzen erreicht die Verkehrszentrale dahingehend, dass straßenseitige Telematiksysteme (Verkehrsbeeinflussungsanlagen) zwar erheblich zur Sicherheits- und Effizienzsteigerung beitragen, diese aber nicht flächendeckend mit ausreichender Detektionsdichte verfügbar sind und es auch aus Kostengründen nie sein werden. Deshalb kommen in Hessen seit einiger Zeit sogenannte „kooperative Systeme“ zum Einsatz, welche unter Nutzung intelligenter Fahrzeuge als mobile Sensoren (Floating Car Data FCD) eine flächendeckende Verfügbarkeit von Verkehrsdaten sicherstellen sollen. Reisezeiten einzelner Fahrzeuge werden zusammen mit bestimmten Informationen anonymisiert direkt in die Verkehrszentrale übertragen. Auf dieser Technologie basierend kann eine zuverlässige Verkehrslage berechnet werden, wenn mindestens 2 % aller sich im Straßennetz befindlichen Fahrzeuge mit mobilen Sensoren ausgestattet sind. Dadurch kann die Verkehrsqualität auch auf Straßenabschnitten bestimmt werden, in denen keine straßenseitige Telematik angebracht ist.

Dazu finden in Hessen bereits seit einiger Zeit Pilotprojekte Pilotprojekte (z. B. Projekt DIANA - Dynamic Information And Navigation Assistance) statt, welche die Verkehrsdatenerfassung aus den Induktionsschleifen der Autobahnen mit FCD-Daten unterstützen. Somit kann eine Modellierung des Gesamtstraßennetzes erfolgen (vgl. RIEGELHUTH 2009). Als zukünftige Verkehrsdatenerfassung werden unter anderem die lokale Erfassung, FCD, Floating Phone Data, Staumelder, Baustellenmanagement, und Video-Bildauswertung genannt, die über GSM/GPRS, Funknetze, Lichtwellenleiter und das Internet kommunizieren sollen. In Zukunft sollen auch Fahrzeuge untereinander kommunizieren und nachfolgende Autos über Verkehrslage, Unfälle usw. informieren.

Als Indikatoren für die Verkehrsqualität beziehungsweise deren Beeinträchtigung veröffentlicht die Verkehrszentrale Hessen in unregelmäßigen Abständen Informationen zu maximalen Staulängen, maximalen Verlustzeiten sowie zu Stautunden pro Zeiteinheit

(meistens pro Jahr). Basis dieser Kenngrößen sind die Verkehrsmeldungen der Landesmeldestelle. Dort werden Meldungen über Verkehrsstörungen aus ganz Hessen zentral erfasst und verarbeitet. Der Anteil der Verkehrsmeldungen aus der Verkehrszentrale Hessen (über oben angeführte Verkehrsdatenerfassungsmethoden) ist dabei sehr hoch. Die Landesmeldestelle verfügt über einen Editor, mit dessen Hilfe weitere Verkehrsmeldungen generiert werden können. Um den Stauzustand als solchen zu werten und durch diesen eine Verkehrsmeldung an die Landesmeldestelle auszulösen werden in der Verkehrszentrale Hessen Grenzwerte der Verkehrsstärke  $q$  und der mittleren Geschwindigkeit  $v$  in Fundamentaldiagrammen des Verkehrsflusses definiert. Auch ein lokaler Geschwindigkeitseinbruch führt zu einer Überlastungsmeldung von Seiten der Verkehrszentrale Hessen. Grenzwerte sind interne Festlegungen, weshalb über sie keine Auskunft erteilt wird.

Die in Hessen im Rahmen der Staubilanz übliche, veröffentlichte Kennzahl zur nachträglichen und rückblickenden Bewertung der netzweiten Verkehrsqualität ist die Staustunde. In dieser Auswertung werden die Ergebnisse abschnittsbezogen summiert, das heißt 1 Staustunde bedeutet, dass 1 Streckenabschnitt (zwischen zwei TMC-Location-Codes) 1 Stunde gestaut war. Die Staubilanz basiert auf Störungsmeldungen und nicht auf Dauerzählstellendaten.

Auf der Homepage der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung wird für den Ballungsraum Frankfurt ein Reisezeitservice angeboten, welches Echtzeitinformationen zu Abschnittsreisezeiten bzw. Verlustzeiten (zusätzlich zur Reisezeit unter freiem Verkehrsfluss benötigte Zeit) zur Verfügung stellt. Die Ermittlung dieser Reise- bzw. Verlustzeiten erfolgt auf Basis von Verkehrsdetektionen (z. B. über Messschleifen), die in 1-Minuten-Intervallen Informationen über die Verkehrsstärke und Geschwindigkeit liefern. Eine Verkehrssoftware ermittelt daraus Verlustzeiten. Im Bereich der hessischen Autobahnen werden dazu seit vielen Jahren die Modelle ASDA und FOTO auf Basis der Kerner'schen Drei-Phasen-Theorie (siehe dazu KERNER&REHORN 1996a/b) eingesetzt, die eine Rekonstruktion und Verfolgung von zeitlich-räumlichen Verkehrsmustern durchführen. Es besteht zudem die Möglichkeit, Floating Car Data (FCD) sowie Floating Phone Data (FPD) in dieses System in naher Zukunft zu integrieren.

Im nachgeordneten Netz können Einrichtungen zur Verkehrsdatenerfassung nicht überall verdichtet vorliegen. Eine stetige Verdichtung der relevanten Abschnitte mit Verkehrsdetektion in diesen Bereichen hat sich Hessen jedoch zur Aufgabe gemacht - gerade im Sinne der optimalen Nutzung des vorhandenen Straßennetzes. Zudem gibt es Pilotprojekte, wie aktuell zum Beispiel ein neuartiges Bluetooth-System zur Ermittlung von Verkehrsströmen und Reisezeiten, die Verkehrsinformationen für weniger dicht erfasste Abschnitte liefern sollen. Mittelfristig sollen auch im nachgeordneten Netz geeignete Analysetools eingesetzt werden.

Das im Auftrag des Hessischen Landesamtes für Straßen- und Verkehrswesen von der Ruhr-Universität Bochum entwickelte KAPASIM (siehe ZURLINDEN 2003) ermöglicht ganzjährige Simulationen bzw. Schätzungen von verkehrlichen Auswirkungen. In der Verkehrszentrale Hessen wird KAPASIM meist bei der Erarbeitung von Vorentwürfen herangezogen. So können mitunter Potentialschätzungen für die temporäre Seitenstreifenfreigabe getroffen, sowie Auswirkungen von SBA oder Dauerbaustellen auf den Verkehr abgeschätzt werden - um an dieser Stelle nur einige Beispiele zu nennen.

### 3.2 Autobahndirektion Südbayern und Verkehrsinformationsagentur Bayern – GER

Die Autobahndirektion Südbayern ist eine Behörde des Freistaates Bayern, die ursprünglich als oberste Bauleitung für die Autobahn München - Staatsgrenze Österreich (Salzburg) gegründet worden ist. Heute ist sie jedoch für die Planung, die Erhaltung und Verwaltung des südbayerischen Autobahnnetzes mit einer Gesamtstreckenlänge von 1200 Kilometern inklusive kontinuierlicher Betreuung dieser Verkehrswege durch die Autobahnmeistereien zuständig. Informationen stammen in erster Linie von Ansprechpartnern der Autobahndirektion Südbayern, Herrn Franz Custodis, Abteilungsleiter für Betrieb und Verkehr, Herrn Gerald Reichert, zuständig für die Bereiche Verkehr, Telematik, Verkehrsrechner- und Betriebszentrale, und von Herrn Gert Friederich vom Verkehrsinformationsportal der bayerischen Straßenbauverwaltung. Unterstützend stehen noch die Homepages der Autobahndirektion Südbayern (ABDSB 2011) und des Verkehrsinformationsportals der bayerischen Straßenbauverwaltung (BAYERINFO 2011) zur Verfügung.

Im Bereich der Autobahndirektion Südbayern gibt es bisher noch kein System zur kontinuierlichen Beurteilung der Verkehrsqualität im Gesamtnetz. Hierfür fehlt es bis jetzt an der notwendigen, flächendeckenden Verkehrsdatenerfassung. Die erforderlichen automatisch erhobenen Verkehrsdaten liegen im Moment nur in den Bereichen vor, die mit Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) ausgestattet sind. Zu diesen Bereichen zählen die Ballungsräume München, Nürnberg und Regensburg. In diesen Regionen erfolgt derzeit ein vor allem qualitatives Monitoring anhand von sogenannten Contourplots. In diesen werden täglich, jeweils für eine Strecke und Fahrtrichtung, die gemittelten Geschwindigkeiten grafisch in verschiedenen Farben dargestellt. Einem bestimmten Geschwindigkeitsbereich (13 Farbabstufungen in 10 km/h-Schritten von grün = 120 – 130 km/h nach gelb = 70 – 80 km/h bis zu rot = 0 -10 km/h) wird eine bestimmte Farbe zugeordnet, anhand dieser auf einen Blick festgestellt werden kann, in welchem Bereich zu welcher Uhrzeit die mittlere lokale Geschwindigkeit eingebrochen ist. Die Verkehrslage bzw. das Geschwindigkeitsniveau wird offline mit einer anisotropen Interpolationsmethode (Adaptive Smoothing Method, ASM) nach KESTING&TREIBER (2010) berechnet. Die adaptive Glättungsmethode ASM ermöglicht eine plausible und detailgetreue Rekonstruktion der "echten" Verkehrssituation, falls benachbarte Messquerschnitte nicht weiter als 3 km auseinander liegen.

Die Auswertungen mit den Contourplots liefern allerdings kein objektives Bild über das gesamte Netz. Diese Auswertung ist eher für die Strecken von Bedeutung, auf denen ein Vergleich mit ein und derselben Strecke in unterschiedlichen Monaten sinnvoll erscheint. Dies kann bei Baustellensituationen ein guter Indikator sein.

In erster Näherung kann bei Geschwindigkeiten von  $v < 35$  km/h von einer Stausituation ausgegangen werden, ähnlich der RDS-TMC-Meldungsgenerierung. Das ASM-Modell zerlegt jedoch die Strecke zwischen den Abschnitten in Modellabschnitte, damit werden die verkehrlichen Aspekte (z. B. Stauausbreitung, Stauauflösung) berücksichtigt.

Aus den gemessenen Geschwindigkeiten werden auch die Reisezeiten und damit die Reisezeitverluste ermittelt. Für jeden Monat wird jeweils ein standardisierter Monatsbericht gefertigt, aus dem die Anzahl der Staus, der Stauanteil, räumliche und zeitliche Stauausmaße (Staustunden) nach den einzelnen Streckenabschnitten für einen Monat

hervorgehen. Die Statistik der Stauereignisse basiert dabei auf der adaptiven Glättungsmethode (ASM). Das ASM-Verfahren identifiziert dabei die Lage (räumlich/zeitlich) im Contourplot und zeichnet das Ereignis (Stau) als Rechteck ein. Das Rechteck entspricht einer klassischen Verkehrsmeldung. Durch diese Vorgehensweise werden die Staus ein wenig überschätzt, da in der Realität eher Trapeze als geometrische Elemente vorhanden sind. Die Staustunde baut dabei auf diese Rechtecke auf.

Darüber hinaus werden durch das Beratungsbüro TRANSVER in Kooperation mit der Verkehrsinformationsagentur Bayern, dem Verkehrsinformationsportal der bayerischen Straßenbauverwaltung bayernweit monatlich "Staukarten" erstellt, die ebenfalls in diesen vier Ballungsgebieten München, Nürnberg, Regensburg und Würzburg den prozentuellen Stauanteil zum Betrachtungszeitraum an einem Streckenabschnitt darstellen. Der Stauanteil in Prozent wird über die Strecke/Zeit in der Zusammenfassung ausgegeben. Die Streckenabschnitte sind jeweils die gut detektierten Bereiche der SBA. Dabei fließen alle Verkehrsmeldungen ein, die in einer einheitlichen Landesmessstelle archiviert werden. Die Verkehrsmeldungen kommen aus unterschiedlichen Quellen, welche vom Meldungsmanagement zum Zwecke einer höheren Genauigkeit übereinander gelegt werden und wodurch eine komplette Lage, über alle Straßen und alle Zeiten entsteht.

Bayerninfo hat nun außerdem eine Verkehrsredaktion direkt in der Verkehrsrechenzentrale Südbayern eingerichtet. BayernInfo ist dadurch in der Lage, in den Bereichen mit Verkehrsdatenerfassung auf Autobahnen abhängig von der aktuellen Verkehrslage automatisch eine Staumeldung oder stockenden Verkehr zu detektieren und in der Verkehrslageübersicht entsprechend zur Anzeige zu bringen:

- Meldungen der Polizei (Landesmeldestelle) aus dem öffentlichen Verkehrswarndienst. Aktuelle Störungs- und Gefahrenmeldungen werden für das Straßennetz von Bundesstraßen und Autobahnen sowie für weitere wichtige Stadt-, Staats- und Kreisstraßen erfasst, ähnlich den Meldungen aus dem Radio oder von RDS-TMC Diensten.
- Meldungen über koordinierte Maßnahmen zu Arbeitsstellen auf Autobahnen (aus der Straßenbauverwaltung des Freistaats Bayern). Die Baustellenmeldungen beinhalten vor allem auch zukünftig geplante Maßnahmen.
- Meldungen von Warnanhängern der Autobahnmeisterei.
- Meldungen, die über ein Verkehrsmodell gewonnen werden.

Ein großer Teil aller Verkehrsmeldungen wird durch die zuletzt genannte Gruppe automatisch durch das implementierte Verkehrsmodell im System abgegeben - allerdings nur in Bereichen guter lokaler Verkehrsdatenerfassung. Je dichter das Detektionsnetz ist, desto zuverlässiger und genauer sind daher auch die Verfahrensergebnisse mit diesem Modell. Derzeit kann ein solches Verfahren in den Ballungszentren Würzburg, Regensburg, Nürnberg und München im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen eingesetzt werden. Es kommt das Verkehrsmodell ASDA-Foto von KERNER&REHBORN (1996) und Daimler Research zur Anwendung, um Staus und deren Entwicklung in nichtdetektierten Bereichen zwischen zwei Messquerschnitten zu schätzen. In Minutenintervallen werden dabei fahrstreifenbezogen die Verkehrsstärken und die für dieses Intervall gemittelten lokalen Geschwindigkeiten (getrennt für PKW und LKW) erfasst, lokale Verkehrszustände ermittelt und über diese Daten mit dem Modell auch Bereiche ohne Detektion ausgewertet. Liegt keine Detektion vor, muss auf manuelle Meldungen (z. B. Polizei) gesetzt werden,

wobei auch in Bereichen automatischer Erfassung in Zweifelsfällen auf manuelle Meldungen vertraut wird.

Für die Erstellung der monatlichen Staukarten wird Stau dabei als „erhebliche Behinderung und zähfließender Verkehr“ definiert. Dabei werden manuelle Staumelder angehalten, erst bei teilweisem Stillstand (Stop-and-Go-Verkehr bei ca. 30 km/h) eine Überlastungsmeldung abzugeben und dieser Schwellenwert ist auch für die automatisierten Methoden festgelegt.

Derzeit laufen Vorbereitungen für ein bayernweites Projekt zur Verkehrslenkung und -information über sogenannte „DWiSta-Schilder“ (Dynamische Wechselverkehrszeichen mit integrierter Staufunktion), bei denen für alle maßgeblichen Netzmaschen auch Systeme zur Reisezeitermittlung und Störfallerkennung durch Fahrzeugwiedererkennung (Kennzeichenwiedererkennung) realisiert werden sollen. Damit sollen neben einer kontinuierlichen, automatischen und netzweiten Bewertung der Verkehrsqualität im Nachhinein auch die erforderlichen Informationen für ein quasi netzweites Online-Verkehrsmonitoring zur Verfügung stehen.

Querschnittsdetektoren bilden zusätzlich noch die Grundlage für die Bereitstellung einer aktuellen Verkehrslage und einer Kurzfristprognose. Liegt in Bereichen keine Detektion vor, werden für die Prognosen umlegungs-basierte Verfahren herangezogen. Dabei wird das Wissen über das Verhalten von Verkehrsteilnehmern genutzt, um die Anzahl an Fahrten mit Start und Ziel, die typischerweise unternommen werden (z. B. für Montag, Dienstag-Donnerstag, Freitag, Samstag, Sonntag) zu bestimmen. Über dieses richtig über den Tagesverlauf abgebildete Wissen ist es möglich für jede Stunde zu schätzen, wie sich der Verkehr auf dem gesamten Straßennetz verteilen wird. Dies geschieht mit der so genannten Langfristprognose. Zusätzlich soll auch noch Wissen über geplante Einschränkungen im Straßennetz in den Prognosen Berücksichtigung finden. In sogenannten Mittelfristprognosen werden jeden Abend für 14 Tage im Voraus die bereits „angemeldeten“ und somit bekannten Baustellen im System eingetragen, wodurch eine Schätzung für die nächsten Tage noch genauer wird.

### **3.3 Bundesamt für Strassen (ASTRA) – SUI**

Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) ist die Schweizer Fachbehörde für die Straßeninfrastruktur und den individuellen Straßenverkehr und hat seit 2008 Bauherren- und Betreiberaufgaben für das Nationalstrassennetz (vergleichbar mit dem österreichischen A&S-Netz) mit einer derzeitigen Gesamtlänge von 1800 km übernommen. Als zuständige Institution veröffentlicht das ASTRA jährlich rückwirkende, standardisierte Jahresberichte, die einerseits die Entwicklung der Verkehrsnachfrage und andererseits das Stauaufkommen des jeweiligen Jahres zeigen (ASTRA 2008, ASTRA 2009, ASTRA 2010, ASTRA 2011). Für die durchgeführte Untersuchung der Schweizer Praxis steht aber auch ein Bericht zu Nachhaltigkeitsindikatoren für Straßeninfrastrukturprojekte (ASTRA 2003) zur Verfügung. Weiters liefert die Homepage der nationalen Verkehrsinformationszentrale Viasuisse (VIASUISSE 2011) verwertbare Informationen.

Im Bereich der veröffentlichten Staudaten ist die Qualität und Aussagekraft jedoch wenig zuverlässig. Die Staudatenermittlung basiert auf den Verkehrsmeldungen der Viasuisse, der nationalen Verkehrsinformationszentrale (VMZ-CH) der Schweiz. Einschließlich des Jahres 2009 erfolgte die Erfassung der Verkehrsmeldungen noch ausschließlich manuell. Im Jahr 2010 konnte erstmals auf automatisierte Verkehrsdatenerfassungsmöglichkeiten

(270 Online-Zählstellen, 502 Videokameras) zur Überwachung des Verkehrs auf den Nationalstrassen in die nationale Verkehrsmanagementzentrale zurückgegriffen werden. Trotzdem erfolgte die Erfassung der Verkehrsmeldungen 2010 zu einem überwiegenden Teil manuell. Diese Dateneingabe erfolgte bei folgenden Organisationen:

- ◆ der Viasuisse-Redaktion in Biel (Staumeldungen)
- ◆ der Viasuisse-Lokalredaktion für den Großraum Zürich in Dielsdorf (Staumeldungen)
- ◆ der nationalen Verkehrsmanagement-Zentrale des ASTRA in Emmenbrücke (Verkehrsmeldungen, Staumeldungen, Baustellenmeldungen und Meldungen im Kontext Verkehrsmanagement)
- ◆ den Leitzentralen der Kantonspolizei (Staumeldungen)
- ◆ den lokalen Verkehrsmanagementzentralen in Agglomerationen (z. B. Dienstabteilung Verkehr der Stadt Zürich für Baustellenmeldungen).

All die manuell erfassten Verkehrsinformationsdaten zum Aufbau der Verkehrsmeldungen werden bei Viasuisse in einer Datenbank (SQL Datenbank des Systems TIC) zusammengeführt, in der über ein Statistikmodul, die Daten gemäß den Vereinbarungen (definierten Bereinigungs- und Filterprozessen) mit dem ASTRA bereinigt, validiert und aufbereitet werden. Beispielsweise werden demnach auf Nationalstraßen nur Informationen mit den Ereignissen „Stau“ und „stockender Verkehr“ gemäß der Schweizer Norm berücksichtigt und nach deren Ursachen aufgeschlüsselt. Die Polizeiinformationen zu den Verkehrsvorkommnissen werden von der VMZ-CH überprüft. Die Aufforderung an Polizeistellen zu raschem und korrektem Meldeverhalten führte kürzlich zu einer Verbesserung der Meldungsqualität und -quantität.

Das Gesamtdatenvolumen an Meldungen in der Viasuisse-Datenbank hat sich in den letzten fünf Jahren verdreifacht, wobei allerdings die tatsächlich für den Staubericht genutzten Meldungen nur leicht angestiegen sind. Daraus kann gefolgert werden, dass die Zahl an Meldungen, die für den Staubericht nicht relevant sind, überproportional angestiegen ist.

Die Aussagekraft der Staudaten hängt allerdings durch die hauptsächlich manuelle Erfassung von Stauzuständen über Verkehrsteilnehmer und Polizeistellen klarerweise von der Vollständigkeit und Richtigkeit dieser Meldungen ab. Auch die kommunizierten Stautunden basieren auf dieser Art der Staudatenermittlung. Es besteht somit keinerlei Gewähr dafür, ob sämtliche Staus tatsächlich erfasst worden sind. Auch die räumlich und örtlich präzise Angabe des Staubeginns und -endes kann durch diese Methodik nur bedingt gewährleistet werden.

Eine Quelle mit zunehmender Wichtigkeit sollen in der Schweiz aber auch GPS-generierte Daten aus FCD-Systemen (Floating Car Data) werden, ergänzt mit Sensor-Systemen und Kamerabildern. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Qualität und Zuverlässigkeit der Staumeldungen durch die Inbetriebnahme der nationalen Verkehrsmanagementzentrale (VMZ-CH, Februar 2008) und den schrittweisen Ausbau der Onlinezähler und der Videoüberwachung schrittweise verbessern wird.

Die Schweizer VSS-Norm SN 671 921 unterscheidet bei der Definition von Überlastungssituationen zwischen „Stau“ und „stockendem Verkehr“. Von „Stau“ spricht die Norm, wenn auf dem übergeordneten Straßennetz, den sogenannten Nationalstraßen (das Pendant zu den österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen) die

Fahrzeuggeschwindigkeit für mindestens eine Minute unter 10 km/h liegt und die Überlastung tatsächlich häufig zu Stillstandperioden führt. Zusätzlich zu dieser Staudefinition findet sich in der Schweizer Norm auch noch eine differenzierte Bestimmung des Verkehrszustandes „stockender Verkehr“. Zu diesem kommt es laut Norm, wenn mindestens eine Minute lang die Geschwindigkeit unter 30 km/h liegt oder die Überlastung teilweise zu kurzen Stillstandperioden führt. Für die genaue Unterscheidung dieser beiden Verkehrssituationen bedürfte es netzweiter, dynamischer Verkehrs- und Geschwindigkeitsdaten. Diese sind bisher allerdings nicht verfügbar. Deshalb werden trotz der unterschiedlichen Definitionen beide Überlastungszustände „Stau“ und „stockender Verkehr“ zusammengefasst als Stauzustand gewertet und veröffentlicht.

Die Staustunden werden definiert als die Dauer der Staus von deren Beginn bis zu deren Auflösung auf Basis von Verkehrsmeldungen in einem bestimmten, charakteristischen Streckennetz (z. B. Nordumfahrung Zürich – Winterthur, Großraum Baregg, Umfahrung Genf, Gotthard Nord usw.).

Außerdem unterscheidet die VSS-Norm SN 640 018a die Verkehrsqualität angelehnt an das LOS-System ebenfalls in sechs Qualitätsstufen von A („vollkommen frei“) bis F („Unterbrechung bzw. Stillstand“).

### 3.4 Rijkswaterstaat - NED

In den Niederlanden ist die Rijkswaterstaat (RWS), die für das 3250 km lange nationale Autobahn- und Schnellstraßennetz (davon 2350 km Autobahn) verantwortliche Abteilung des niederländischen Ministeriums für Verkehr und Wasserbau (Ministerie van Verkeer en Waterstaat) mit dem Bau, Unterhalt und Betrieb dieses Netzes beauftragt. Für einen Vergleich der niederländischen Methoden zur Erfassung und Bewertung der Verkehrsqualität liegen über die Homepage der RWS (RIJKSWATERSTAAT 2011) Jahresberichte und andere Dokumente zum Download vor (RIJKSWATERSTAAT 2007, VAN DER ELBURG (2009), RIJKSWATERSTAAT 2010). Auch aus HALL (2001), RIJKSWATERSTAAT AVV (2006), DE VRIES (2006), MIDDELHAM (2006), MIDDELHAM (2006a), MOLENKAMP (2007), ADAMS (2007), MIDDELHAM (2008), MEDIAN (2010), VAN STRIEN (2010) UND DE HAAN (2011) kann Information gewonnen werden, wobei diese Literatur teilweise von Verantwortlichen der Rijkswaterstaat zur Verfügung gestellt wurde. Als Ansprechpartner und für weitere diverse Fragestellungen fungierten Herr M.Sc. Henk Jan de Haan, National Traffic Management Centre der Rijkswaterstaat, Herr Richard van der Elburg, Senior Advisor des Centre for Transport and Navigation der Rijkswaterstaat, Ministry of Infrastructure and Environment und Herr Frans Middelham, pensionierter Senior Consultant for Road Infrastructure and Traffic Management des Transport Research Centre (AVV) des niederländischen Verkehrsministeriums.

Für die Koordinierung der Verkehrsdaten und Zusammenführung aller relevanten Größen aus fünf regionalen Verkehrskontrollcentern ist die nationale Verkehrszentrale (National Traffic Control Center (NTCC)), der Dreh- und Angelpunkt aller verkehrsbetrieblichen Abläufe der niederländischen Autobahnen, zuständig. Die Niederlande haben ein sehr fortschrittliches System in Bezug auf die telematische Verkehrslenkung.

Um Verkehrsqualität bewerten zu können, kommen in den Niederlanden folgende fünf Methoden der Verkehrsdatenermittlung zur Anwendung:

- ◆ Induktionsschleifen zur Bestimmung lokaler Kenngrößen (Punktdetektion, Querschnittsverfahren)
- ◆ Doppelte Induktionsschleifen (Abstand weniger als 10 Meter) zur direkten Bestimmung der Fahrzeuglänge und der lokalen Geschwindigkeiten
- ◆ Fahrzeugwiedererkennungssysteme für die Bestimmung von Reisezeiten mittels Abschnittsverfahren (automatische Kennzeichenwiedererkennung)
- ◆ Informationen von Fahrzeugen, die mit FCD-Sensoren ausgestattet sind
- ◆ Manuelle Verkehrsmeldungen durch Verkehrsteilnehmer

Die existierenden Bewertungsverfahren konzentrieren sich hauptsächlich auf die Verkehrsdatenerfassung über Geschwindigkeitsschleifen, wobei in den Niederlanden seit 1996 üblicherweise Doppelinduktionsschleifen alle 500 Meter im gesamten übergeordneten Straßennetz zum Einsatz kommen. Aus diesen Daten können leicht die Verkehrsnachfrage und die lokalen (mittleren) Geschwindigkeiten bestimmt werden. Unterstützt wird die lokale Erfassungstechnik - auch um Echtzeit-Reisezeiten mit einer sehr hohen Genauigkeit wiedergeben zu können - durch an vielen Streckenabschnitten angebrachte Fahrzeugwiedererkennungsdetektoren zum Zweck einer Kennzeichenwiedererkennung, woraus direkt Reisezeiten ermittelt werden können. Diese straßenseitige Telematik wird jedoch allmählich von fahrzeuggenerierten Daten wie FCD abgelöst (Ziel bis 2020). Die Niederlande sind einer der Staaten, die sich stark für den Einsatz neuer Technologien auf diesem Gebiet einsetzen und führen dementsprechend viele Pilotprojekte in Kooperation mit privaten Partnern oder Partnerländern in ihrem Straßennetz durch. Ziel ist es, FCD-Systeme im gesamten Straßennetz einsetzen zu können, um daraus neue innovative Kennzahlen zur Bewertung des Verkehrsflusses und folglich zur Verkehrsflusssteuerung zu entwickeln.

Die aus den Ermittlungsmethoden erhaltenen Informationen (Ort, Verkehrsstärke und lokale Geschwindigkeit) werden in einer Staudatenbank, der sogenannten „Monica - Database“ gespeichert, um anschließend daraus eine Gesamtverkehrsnetzlage erzeugen zu können. Diese basiert auf mittleren Reisezeiten, die aus den lokalen Querschnittsdaten unterstützt durch FCD, Abschnittsreisezeiten aus Fahrzeugwiedererkennung, Kameras und Videos geschätzt werden. Dabei bedient man sich in den Niederlanden einer datenorientierten, linearen Regressionsmethode, basierend auf Daten über ein gesamtes Jahr (vgl. MEDINA 2010). Es können somit für das gesamte Autobahn- und Schnellstraßennetz der Niederlande Reisezeiten bestimmt werden, die wiederum die Basis für Bewertungsindikatoren der Verkehrsqualität darstellen.

Bezüglich der Definition von Überlastung werden in den Niederlanden drei Zustände des Verkehrsflusses unterschieden: Mittlere Geschwindigkeit größer als 50 km/h über mindestens zwei Kilometer wird als freier Verkehrsfluss gewertet, darunter als zähfließender Verkehr (slow moving traffic). Stau (stopped traffic) wird über eine mittlere Geschwindigkeit über einen Bereich von mindestens 2 Kilometern unter 25 km/h definiert. Dazwischen werden verbal auch noch die Stufen „slow-moving until stopped traffic“ verwendet.

Kenngrößen, über die Überlastung aktuell hauptsächlich gemessen und veröffentlicht wird, sind die auf den Reisezeiten basierenden, staubedingten Verlustzeiten (Vehicle hours lost) (vgl. MOLENKAMP 2007), aber auch Staudunden und besonders zu statistischen Zwecken die Staudichte, die bestimmt wird aus der Länge des Staus in Kilometern multipliziert mit

der Dauer des Stauereignisses in Minuten. In den Niederlanden wird daran gearbeitet, die Verlustzeiten bis zum Jahr 2020 um 40 % bezogen auf das Vergleichsjahr 2000 zu reduzieren, und das bei steigendem Verkehrsaufkommen (vgl. RIJKSWATERSTAAT 2007, VAN DER ELBURG 2009).

Die wichtigste und am häufigsten veröffentlichte Kennzahl ist in den Niederlanden allerdings die Zuverlässigkeit der Reisezeiten (Travelling Time Reliability). Hier ist das Ziel, dass im Jahr 2020 95 % aller Reisenden pünktlich am Zielort ankommen. Definiert wird die Zuverlässigkeit der Reisezeiten dabei als die Dauer einer Reise, wobei die zu erwartenden Verzögerungen wie tägliche Staus im Straßenverkehr Berücksichtigung finden. Typischerweise ist es der Fall, dass Reisen je nach Grad der Überlastung oder übertragenen Problemen kürzer oder länger dauern. Die Zuverlässigkeit der Reisezeit ist daher die Abweichung rund um die durchschnittlich erwartete Reisezeit, einschließlich des erwarteten Zeitverlustes, der vorausgesehen werden kann.

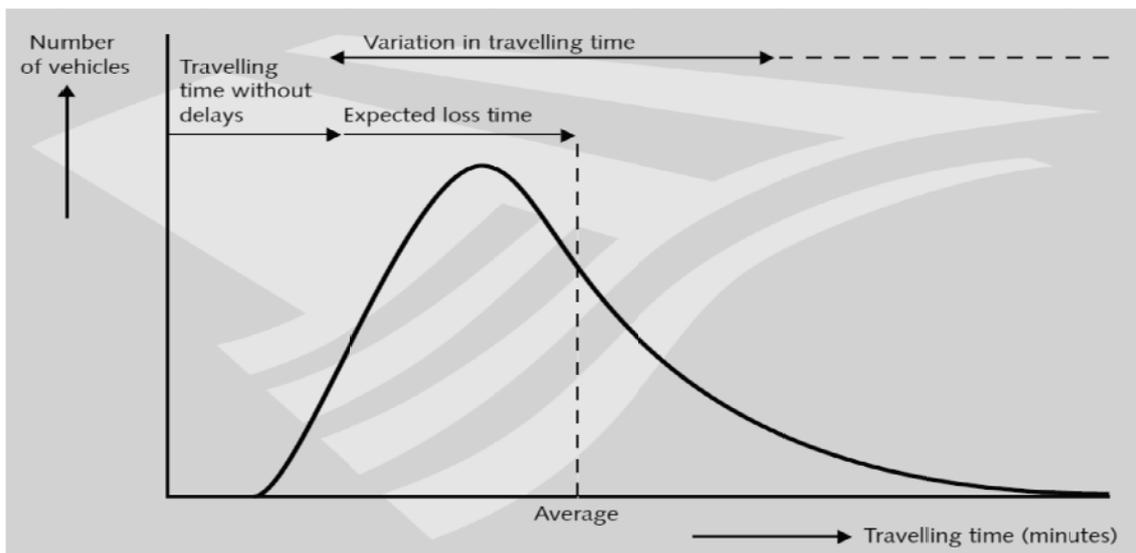


Abbildung 3-1: Travelling Time Reliability (Rijkswaterstaat AVV 2006, S. 2)

Abbildung 3-1 verdeutlicht die Definition der Zuverlässigkeit der Reisezeit nochmals. Sie wird mit Hilfe der sogenannten Standardabweichung (standard deviation) der Reisezeit bestimmt, welche die Verteilung der erwarteten Reisezeiten darstellt. Ist die Standardabweichung sehr groß, so ist die Reisezeit sehr unzuverlässig. Die Standardabweichung wird dabei verwendet, um die tatsächliche Situation zu messen, aber auch den Trend der Zuverlässigkeit zu überwachen. Genaue Daten für die Bestimmung der Standardabweichung der Reisezeiten sind derzeit für das gesamte hochrangige Straßennetz der Niederlande vorhanden.

### 3.5 Highways Agency / Department of Transport – GBR

Die Highways Agency ist eine dem Verkehrsministerium (Department For Transport) unterstellte Behörde, die für Betrieb, Instandhaltung und Verbesserung des „strategischen Straßennetzes in England“ (Strategic Road Network „SRN“) verantwortlich ist, welches wiederum alle Autobahnen (Motorways) und ausgewählte Schnellstraßen (Trunk ‚A‘ Roads) mit einer Gesamtnetzlänge von 12.600 km (davon 3.500 km Motorways) umfasst. Um Einblick in die in Großbritannien angewandten Methoden zu gewinnen, wurde auf der Homepage der Highways Agency (HIGHWAYS AGENCY 2011) nach brauchbarer Information

recherchiert. Mit dem Director der Abteilung Traffic Management der Highways Agency, Herrn Simon Sheldon-Wilson, und mit Herrn Jay Symonds von der Abteilung „Business Planning and Network Performance“ der Highways Agency konnten Auskunftspersonen gewonnen werden, die Detailfragen geklärt und ihrerseits Dokumente übergeben haben. Somit standen die Dokumente und Berichte des englischen Department For Transport (DFT 2009, DFT 2010a, DFT 2010b, DFT 2010c, DFT 2011) als Informationsquelle zur Verfügung. Auch in OECD (2007) wird auf die englischen Praktiken eingegangen.

Im Zuständigkeitsbereich der Highways Agency findet man ein äußerst fortschrittliches, dynamisches Verkehrsmanagementsystem, das sowohl die verfügbare Verkehrsflächensteuerung (Seitenstreifenfreigabe, dynamische Fahrbreitenveränderungen, usw.) beinhaltet, als auch eine aktive Kontrolle des Verkehrsflusses (variable Geschwindigkeitsbegrenzungen, Alternativroutenanzeige usw.).

Die nationale Verkehrskontrollzentrale (National Traffic Control Center NTCC) stellt das Drehkreuz für dieses funktionierende Verkehrsmanagementsystem dar und ist als Schlüsselement im nationalen 10-Jahres-Verkehrsplan der Regierung aus dem Jahr 2010 mit dem Ziel der Entwicklung und Modernisierung des Verkehrssystems in England verankert. Das NTCC bietet dem Verkehrsteilnehmer exakte Echtzeit-Verkehrsinformationen unter Verwendung verschiedener Methoden, verringert durch Verkehrssteuerung die Auswirkung von Überlastungen und liefert Alternativrouteninformationen, um Stau zu vermeiden. Um diesen Ansprüchen gerecht werden zu können, holt das NTCC aus verschiedenen Quellen Informationen zum Verkehrsablauf ein, um diese in weitere Folge zu analysieren, anschließend dem Verkehrsteilnehmer zu kommunizieren und steuernd in den Verkehrsfluss eingreifen zu können.

### **Datenerfassung**

Wichtiger Bestandteil eines funktionierenden Verkehrsmanagements ist die genaue Erfassung und Bestimmung des Verkehrsablaufs. Durch diese umfassenden Möglichkeiten zur Verkehrsdatenerfassung im Sinne der Verkehrssteuerung und -leitung stehen der Highways Agency diese auch zum Zweck einer flächendeckenden, a posteriori Beurteilung des Verkehrsablaufs zur Verfügung. In die Datenbank der Highways Agency (Highways Agency Traffic Information System (HATRIS)) fließen Verkehrsdaten aus unterschiedlichen Quellen ein:

- **Querschnittssensorik**

Zu den automatisierten Detektionsmethoden zählen über 1.500 solarbetriebene Querschnittsdetektoren (Traffic Flow Monitoring Equipment), die lokale Durchschnittsgeschwindigkeiten und Informationen zum Verkehrsfluss in 5-Minuten-Intervallen an die Verkehrskontrollzentrale übermitteln. Diese werden unterstützt durch Daten aus Induktionsschleifen, die auf 30 % des Autobahnnetzes in 500 Meterabständen in den am stärksten belasteten Streckenabschnitten unter der Fahrbahnoberfläche angebracht sind (Motorway Incident Detection Automatic Signalling „MIDAS“). Durch die Zusammenarbeit mit dem privaten Partner „Trafficmaster“ können der Highways Agency weiter Querschnittsdaten aus 5.200 lokalen Sensoren im Abstand von durchschnittlich 2 km auf Autobahnen 3,5 km auf Schnellstraßen übermittelt werden.

- **Fahrzeugwiedererkennungskameras**  
An Brücken oder an Masten, die am Streckenrand angebracht sind, werden Kamerasysteme zur anonymisierten und automatischen Kennzeichenwiedererkennung (Automatic Number Plate Recognition (ANPR)) eingesetzt, wodurch mittlere Sektorreisezeiten bestimmt werden können. Im Netz der Highways Agency finden sich flächendeckend über 1.000 solcher ANPR-Kameras an 480 Schlüsselorten des Netzes im Abstand von ungefähr 25 km. Daraus generiert die Highways Agency durchschnittliche Sektorreisezeiten für 761 Abschnitte. ANPR-Kameras sind dabei am Anfang und am Ende eines solchen Reisezeitsektors angebracht, erfassen und wiedererkennen anonymisiert das Fahrzeug über das Kennzeichen auf der Nummerntafel. Aus der Zusammenarbeit mit „Trafficmaster“ stehen weitere ANPR-Kameras im Abstand von durchschnittlich 4 km in 100 % des Autobahn- und 95 % des Schnellstraßennetzes zur Verfügung.
  
- **Fahrzeuggenerierte Daten (GPS/FCD)**  
Aus der Zusammenarbeit mit „Trafficmaster“ können fahrzeuggenerierte Daten (kontinuierliche Information zur Geschwindigkeit und Ort) von über 60.000 GPS-Fahrzeugen genutzt werden.
  
- **manuelle Verkehrsdatenerhebung**  
Neben den automatisierten Möglichkeiten der Erfassung von Verkehrsdaten ist der Bereich der Highways Agency an manuelle Meldesysteme gekoppelt. Das NTCC steht in ständigem Kontakt mit 42 Polizeistellen und hat zudem noch selbst angestelltes Personal (sogenannte „Traffic Officer“), das nur in seinem Netzbereich für die Störungsmeldung und Störungsbehebung (durchschnittlich 26.500 Störungsmeldungen pro Monat von Seiten der Traffic Officer) zuständig und zu diesem Zweck durchgehend im Netz unterwegs ist. Kooperiert wird auch mit Gemeinden bezüglich lokaler Baustellen, mit Hauptverkehrserzeugern (z. B. Flughäfen, Fußballvereinen usw.) und mit Wetterstationen, um frühzeitig auf Situationen eingestellt zu sein, die die Reisezeit verzögern könnten.

### **Stauidentifikation und Definition der Kenngröße „Zuverlässigkeit der Reisezeit“**

Die Bestimmung von Kenngrößen beruht aufgrund der Vielzahl an Datenquellen auf der Kombination dieser erfassten Verkehrsgrößen. Es ist möglich, netzweit streckenbezogene Kenngrößen wie Reisezeiten oder streckenbezogene Geschwindigkeiten zu ermitteln.

Das UK-Verkehrsministerium (DFT) hat eine Vereinbarung über die Reduktion von Unzuverlässigkeit von Außerortsreisezeiten (auf Autobahnen- und Schnellstraßen) getroffen, für deren Einhaltung das Department seit 2007 selbst zuständig ist (vgl. OECD 2007). Dazu wird jährlich eine statistische Veröffentlichung über die Zuverlässigkeit der Reisezeiten des jeweiligen Jahres präsentiert, die die Entwicklung dieser auf dem SRN bewertet.

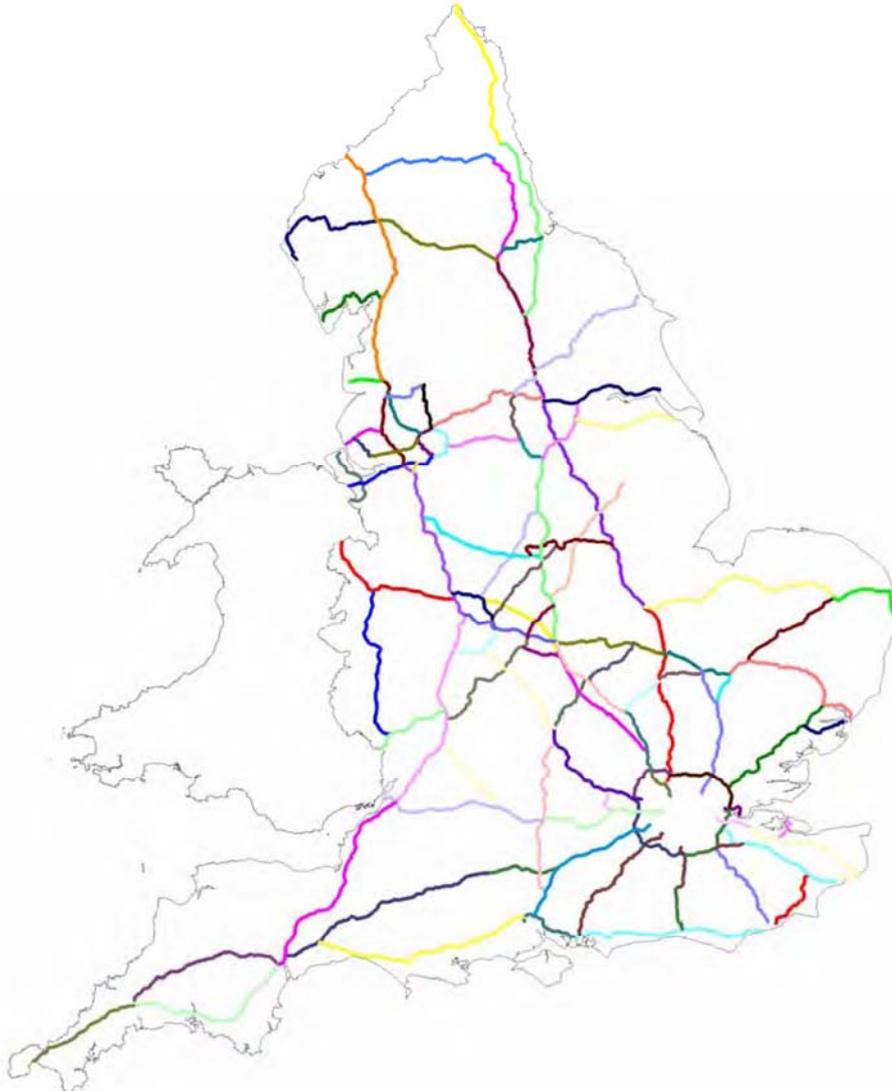
Die Zuverlässigkeit als Kenngröße der Performance wird in DFT (2010a) wie folgt definiert:

*„Die Zuverlässigkeit der Reisezeit ist die durchschnittliche Verlustzeit (Verspätung) eines Fahrzeuges, berechnet aus Differenz zwischen beobachteter, tatsächlicher Tagesreisezeit der langsamsten 10 % aller 103 Routen des SRN Netzes und einer vorgegebenen Referenzreisezeit, für 15-Minuten-Intervalle zwischen 06:00 Uhr morgens und 20:00 Uhr abends in Minuten pro 10 Fahrzeugmeilen (16,1 Kfz,km).“*

Dabei ist auf die unterschiedliche Definition von Zuverlässigkeit im Gegensatz zu z. B. den Niederlanden (Standardabweichung) zu achten.

Kurz zusammengefasst bedeutet dies, dass das Ziel nach Reduktion der Unzuverlässigkeit erreicht wird, wenn im Vergleich zum Vorjahr die durchschnittliche Verlustzeit auf den langsamsten 10 % aller Reisen des gesamten SRN abnimmt. In diesem Zusammenhang werden Reisen („journeys“) als die benötigte Reisezeit für einen Abschnitt zwischen zwei Anschlussstellen („links“) bezeichnet. Die langsamsten 10 % der Reisen werden für jede Route des SRN, für jede Fahrtrichtung getrennt nach Wochentagen und Tageszeiten in 15-Minuten-Intervallen aufgeschlüsselt.

In diesem Sinne wird das SRN-Netz der Highways Agency in 103 für den Verkehrsteilnehmer bedeutende Routen eingeteilt (siehe Abbildung 3-2), die durchschnittlich rund 40 Kilometer lang sind und beide Richtungen (d. h. 206 richtungsbezogene Routen) beinhalten.



**Abbildung 3-2: Routen des SRN-Netzes (DFT 2010a, S. 17)**

Jede dieser Routen besteht wiederum aus rund 20 Abschnitten zwischen zwei Anschlussstellen, so genannten „links“. Im Netz der Highways Agency, dem SRN, befinden sich 2.500 dieser Abschnitte, sogenannte Anschluss-„links“. Der Datenbank der Highways Agency (Highways Agency Traffic Information System (HATRIS) Database) stehen mittlere Reisezeiten und Verkehrsstärken für jeden „link“ für alle 15-Minuten eines Tages zur Verfügung.

Die Kenngröße Zuverlässigkeit wertet dabei flächendeckend Reisen („journeys“) als gestaut, die über einer für diesen Abschnitt individuell berechneten Referenzreisezeit liegen - der Prozentsatz an diesen gestauten Abschnitten bildet die Kenngröße Zuverlässigkeit. Die Referenzreisezeit ist dabei jene Zeit, die als Schwellenwert einen Abschnitt oder eine „journey“ als gestaut und somit unzuverlässig identifiziert. Sie wird dabei zuerst über die Bildung von mittleren (Mediane an Werktagen außerhalb von Hauptverkehrszeiten/Spitzenzeiten) Abschnittsreisezeiten aus historischen Daten generiert. Die Mediane der Abschnittsreisezeiten sind an die jeweiligen Geschwindigkeitsbeschränkungen gekoppelt. Zusätzlich zu diesen Medianen wird eine Zeit von drei Sekunden pro Meile als Toleranz addiert und dieses Resultat als Referenzzeit für jeden Abschnitt („link“) herangezogen.

Eine weitere Art Referenzreisezeiten zu bestimmen, besteht in der Möglichkeit abhängig von der höchstzulässigen Geschwindigkeit eines Abschnittes fixe Reisezeiten im Vorhinein festzulegen. Dies geht einher mit der Wahl einer Referenzgeschwindigkeit, die in der Regel allerdings aufgrund von Zeitverlusten (z. B. Bremsvorgänge und Verzögerungen bei Anschlussstellen) nicht als die maximal erlaubte Geschwindigkeit, sondern als eine geringere angenommen wird.

Dieses System wurde im Zuständigkeitsbereich der Highways Agency bis 2011 angewandt. Tabelle 3-1 zeigt die fixen Werte der Referenzgeschwindigkeiten abhängig von der Straßenkategorie und der höchstzulässigen Geschwindigkeit.

**Tabelle 3-1: Referenzgeschwindigkeiten der Highways Agency vor 2011 (DFT 2010a, S.4)**

Speed Limit (mph)	Reference Speed (mph)		
	Trunk 'A' road, single carriageway	Trunk 'A' road, dual carriageway	Motorway
30	22	25	-
40	32	30	-
50	40	37	50
60	45	57	60
70	-	62	67

Diese Referenzgeschwindigkeiten wurden aus einer Serie von Geschwindigkeitserhebungen des Verkehrsministeriums im Zeitraum von 1995-2007 ermittelt und festgelegt und beziehen sich auf die durchschnittlich erreichten Geschwindigkeiten außerhalb von Hauptverkehrszeiten oder Spitzenzeiten. Diese Erhebungen werden alle zwei bis drei Jahre mit Hilfe von Untersuchungsfahrzeugen durchgeführt. Die Fahrer dieser Fahrzeuge werden angehalten, während der Durchfahrt aller Abschnitte des SRN eine Geschwindigkeit zu fahren, die den allgemeinen Verkehrsfluss am besten repräsentiert.

Das bedeutet, dass die Referenzdaten zwar aus empirischen Erhebungen mit der Intention gewonnen worden sind, einen Benchmark für beobachtete Geschwindigkeiten auf verschiedenen Straßentypen aufzubauen, allerdings nicht die Geschwindigkeiten, die besonders zu Spitzenzeiten zu erwarten sind, repräsentieren.

#### Identifikation der langsamsten 10 % aller Reisen:

Die langsamsten 10 % der Reisen werden für jede der SNR-Routen (siehe Abbildung 3-2) täglich auf Basis von 15-Minuten-Intervalle bestimmt. Die Kenngröße Zuverlässigkeit der Reisezeit zielt dabei auf die Reisezeit dieser 10 % ab. Für alle Reisen werden die Gesamtverlustzeit und die Fahrzeugmeilen nach Tabelle 3-2 abgeschätzt:

**Tabelle 3-2: Bestimmung von Gesamtverlustzeit und Fahrzeugmeilen (nach DFT 2010a, S.6)**

<b>Für die langsamsten 10 % der Reisen</b>
<b>Gesamtverlustzeit [min]</b> = mittlere Verkehrsstärke $q$ [Kfz/t] · (Routenreisezeit [min] - Referenzroutenreisezeit [min])
<b>Fahrzeugmeile [Kfz Mi /t]</b> = mittlere Verkehrsstärke $q$ [Kfz/t] · Routenlänge [Mi]
<b>Mittlere Verlustzeit [min]</b> = (Summe aller Gesamtverlustzeiten aller Reisezeiten der langsamsten 10%) / (Summer aller Fahrzeugmeilen aller Routen mit den langsamsten 10% der Reisen)

Ist eine aktuelle Reisezeit kürzer als die Referenzreisezeit, wird diese als zeitlich identisch gewertet und geht nicht als negativer Wert in die Gesamtverlustzeit mit ein.

Abschließend ist die mittlere Verlustzeit in Minuten noch mit 10 zu multiplizieren, um die Verspätung in Minuten pro 10 Fahrzeugmeilen zu ermitteln (vgl. DFT 2010a).

### Veröffentlichung

In monatlichen und jährlichen Berichten präsentiert das Verkehrsministerium dem Verkehrsteilnehmer die im jeweiligen Zeitraum gebotene Verkehrsqualität (Zuverlässigkeit, Verlustzeiten) (siehe Abbildung 3-3).

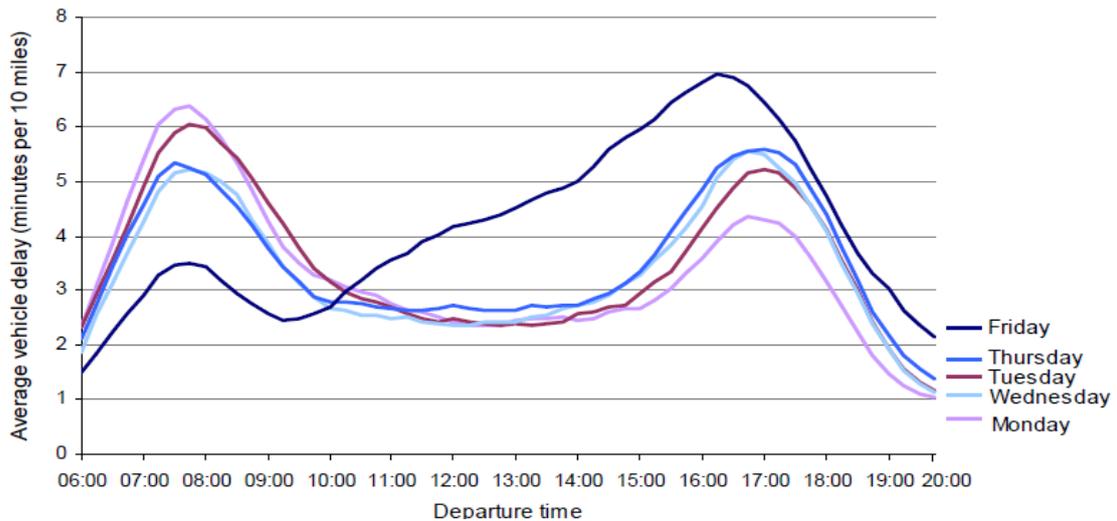


Abbildung 3-3: Mittlere Verlustzeit der langsamsten 10 % aller Reisen des SNR nach Wochentag und Tageszeit (Jahresende März 2009) (DFT 2009, S. 50)

Eine weitere Kenngröße, die im Bereich der Highways Agency im Sinne der Bestimmung verschiedener Performance Levels verwendet wird, stellt die streckenbezogenen Geschwindigkeiten auf Basis der Reisezeiten dar (siehe Abbildung 3-4).

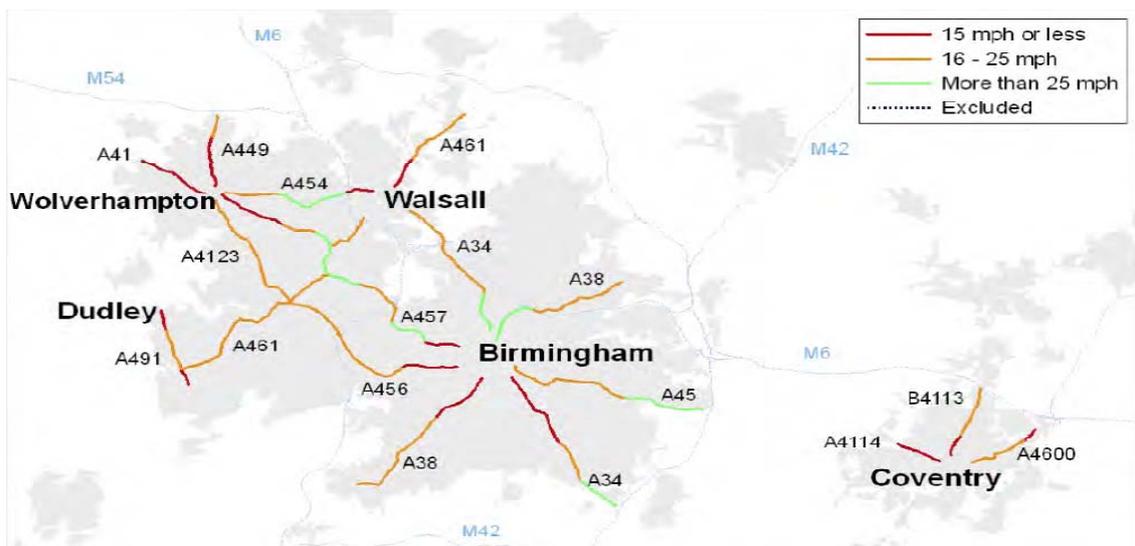


Abbildung 3-4: Mittlere Geschwindigkeiten von nichtstoppendem Verkehr auf Schlüsselrouten, West Midlands: Jahresende August 2008, (DFT 2009, S. 59)

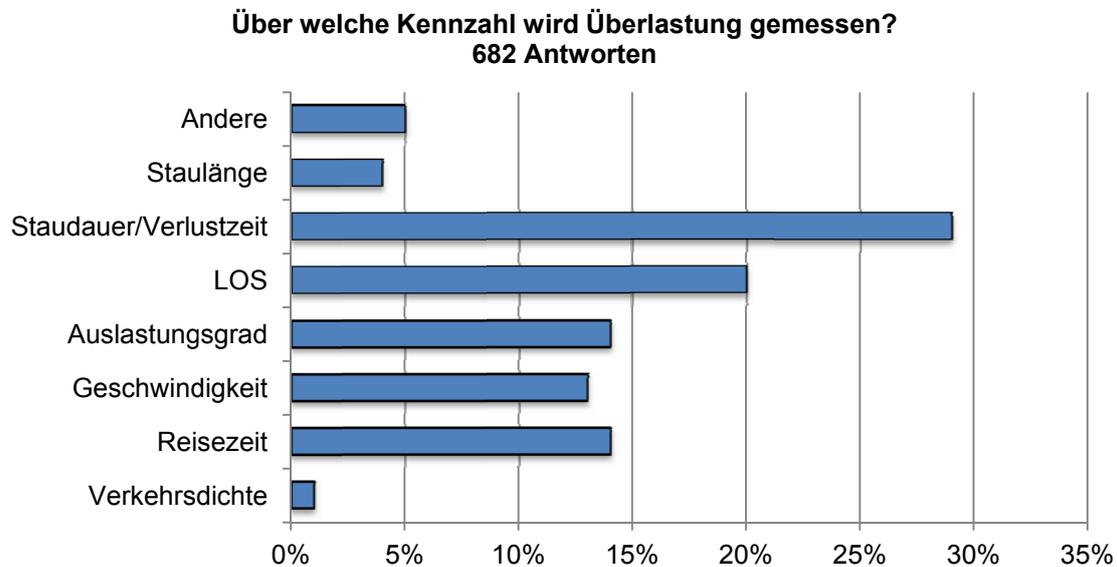
### 3.6 Federal Highway Administration (FHWA) - USA

Die Federal Highway Administration (FHWA) ist eine Behörde innerhalb des US-amerikanischen Verkehrsministeriums (U.S. Department of Transportation), welche die einzelnen Bundesstaats- und Lokalregierungen beim Bau, bei der Instandhaltung und beim Design von nationalen Autobahnssystemen unterstützt. Durch die finanzielle und technische Betreuung dieser ist die FHWA verantwortlich für die Weiterentwicklung eines der sichersten und am technologisch fortschrittlichsten Autobahnnetzes der Welt. Die FHWA bietet Regierungen, der Industrie und der Öffentlichkeit hochqualifizierte Information in einer verständlichen Art und Weise an. Sie gibt auch Empfehlungen zur Bewertung der Verkehrsqualität im Autobahnnetz, beurteilt diese laufend und ergreift notwendige Verbesserungsmaßnahmen. Informationen zur amerikanischen Praxis können aus BERTINI (2005), TURNER (2006), TRB (2006), SWTDI (2007) und FHWA (2011) gewonnen werden.

Aufgrund der Größe des übergeordneten Netzes der USA und der damit verbundenen Vielzahl an regionalen und überregionalen Zuständigkeiten ist keine einheitliche Methodik zur Datenerfassung vorhanden. Die in den USA verbreiteten, gängigen aber nicht flächendeckend im gesamtamerikanischen Netz verfügbaren Datenerfassungstechnologien werden in TRB (2006) und SWTDI (2007) näher erläutert. Generell basiert das amerikanische System zur Erfassung der Verkehrsqualität einerseits auf automatischen, andererseits auch auf manuellen Methoden. Die am häufigsten verwendete automatische Detektionsart in bestehenden Systemen sind Induktionsschleifen. Sie werden üblicherweise als einzelne Schleifen an diskreten Stellen verlegt, aus denen das Verkehrsaufkommen und die Fahrstreifenbelegung bestimmt werden können. Daraus können auch die Parameter Verkehrsdichte und die lokale Geschwindigkeit abgeleitet werden. Zur direkten Messung der lokalen Geschwindigkeiten und der Fahrzeuglänge kommen doppelte Induktionsschleifen - wenige Meter hintereinander verlegt - zur Anwendung. Zusätzlich sind in der amerikanischen Praxis neue automatische Erfassungstechnologien basierend auf Mobiltelefonlokalisierung und mit GPS ausgestatteten Fahrzeugen zu finden. Auch CCTV (Closed Circuit Television) -Kameras kommen in sogenannten Arterial Vehicle Detection Systems (AVDS) zur Anwendung, bei denen über diese manuell an Bildschirmen Verkehrszustände identifiziert werden können. Freeway Vehicle Detection Systems (FVDS) verwenden auf Straßenbrücken angebrachte Mikrowellensensoren zur Identifikation des Verkehrsflusses. Zur Bestimmung von Streckenabschnittsreisezeiten kommen Fahrzeugwiedererkennungssysteme (Automatic Vehicle Identification (AVI)) zum Einsatz. Die zunehmende flächendeckende Nutzung von Mobiltelefonen durch Autofahrer führt dazu, dass Überlastungssituationen sehr häufig durch manuelle Staumeldungen der Verkehrsteilnehmer per Telefon angezeigt werden können. Polizei und andere Notdienstflotten sowie Service-Patrouillen ergänzen diese manuelle Erfassung. Aus der Vielzahl dieser Erfassungsmöglichkeiten können in einigen Bereichen des Netzes flächendeckend Reisezeiten bestimmt werden.

BERTINI (2005) befragte im Rahmen der bereits unter Abbildung 2-5 vorgestellten Umfrage mehr als 3.500 amerikanische Verkehrsexperten aus Wissenschaft und Praxis zu den bei ihnen in der Praxis angewandten Qualitätskenngrößen, um Überlastung und Verkehrsqualität bewerten und darstellen zu können (siehe Abbildung 3-5). Diese Umfrageergebnisse zeigen, dass Verlustzeiten und Staudauern auf Basis von mittleren Reisezeiten am häufigsten errechnet werden (29 %). An zweiter Stelle folgt mit 20 % die Anwendung des Levels of Service, wobei nicht erkenntlich ist, nach welchem Kriterium (z. B. HCM: Verkehrsdichte, hier eher auf Reisezeiten oder Geschwindigkeiten basierend)

dieser bestimmt wird. Die am dritthäufigsten genannte Kenngröße ist bereits die Reisezeit an sich als veröffentlichtes Qualitätsmerkmal.



**Abbildung 3-5: Umfrageergebnisse auf Basis von 682 Antworten auf die Frage über welche Kennzahl Überlastung gemessen wird (nach BERTINI 2005, S. 3)**

Aus dieser Umfrage geht klar hervor, dass Reisezeiten die Basis für alle wesentlichen praktikablen Verkehrskenngrößen in den USA darstellen.

Die FHWA hat zusätzlich ein Mobilitätsmonitoringprogramm initiiert, welches als Empfehlung für die praktische Umsetzung dienen soll, das auf den eben genannten ermittelten Reisezeiten basiert und folgende Qualitätskriterien beinhaltet (vgl. BERTINI 2005):

- **Travel time index (Reisezeitindex PTI):**  
Diese Kenngröße gibt das Verhältnis von stark überlastetem und freiem Verkehrsfluss wieder. Es besagt, „in welchem Verhältnis sich die Reisezeit in der Überlastung gegenüber dem frei fließenden Verkehr erhöht, wenn das Ziel mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % pünktlich erreicht werden soll“ (BRILON&ESTEL 2008, S. 33). Ein PTI von 1,3 bedeutet beispielsweise, dass der Trip um 30 % länger dauern würde.
- **Average duration of congested travel per day (hours): (mittlere Dauer an überlasteten Fahrten pro Tag (Stunden))**  
Fahrten werden über dem gesamten Autobahnnetz über den gesamten Tag in 5-minütigen Intervallen betrachtet, wobei eine Fahrt dann als überlastet gilt, wenn bei irgendeinem Zeitintervall die Dauer 130 % der benötigten Zeit bei freiem Verkehrsfluss übersteigt. Wenn mehr als 20 % aller Fahrten in einem Straßenabschnitt in einem 5-Minuten-Intervall überlastet sind, gilt der gesamte Straßenabschnitt für dieses Intervall als gestaut. Die Summe dieser überlasteten Intervalle der Streckenabschnitte bildet die hier genannte Kenngröße.
- **Buffer index (Pufferindex):**  
Dieser Index drückt die benötigte Zusatzzeit zur mittleren Reisezeit aus, um in 95 % der Fälle pünktlich am Ziel anzukommen. Wird die vom Nutzer eines Streckenabschnittes

benötigte durchschnittliche Reisezeit mit dem Pufferindex multipliziert und dann zu dieser addiert, kann mit 95 %iger Sicherheit gesagt werden, dass das Ziel pünktlich erreicht wird. Der Wert des Pufferindex steigt mit der Abnahme der Zuverlässigkeit und errechnet sich aus dem Quotienten der Differenz des 95. Perzentil der Reisezeit und dem Median der Reisezeit.

Die Recherche zu praxisrelevanten Qualitätskenngrößen zeigt, dass regionale Verkehrsbehörden in den USA teilweise die Definition von Stau an ihre Verkehrsnetze individuell angepasst haben und damit andere Kriterien als die von der FHWA verwenden.

INCOG, das regionale Regierungsparlament in Tulsa, Oklahoma definiert Überlastung als Reisezeit oder Verspätung im Vergleich zu normalen Verhältnissen bei leichtem oder freiem Verkehrsfluss. Um wiederkehrende Staus zu identifizieren werden Verkehrsstärken mit einer determinierten Kapazität verglichen und über den Auslastungsgrad der Level of Service bestimmt.

In Rhode Island wird festgehalten, dass Stau „verschiedenste Auswirkungen für verschiedenste Personen haben kann“, wodurch dort versucht wird, objektive Qualitätskenngrößen wie Prozent an Fahrten bei ausgeschilderten Geschwindigkeiten wiederzugeben.

In Minnesota ist ein Stau ab Unterschreitung der Grenzgeschwindigkeit von 45 mph (72 km/h) für beliebige Zeiträume richtungsfrei zwischen 6:00 Uhr und 9:00 Uhr morgens und 14:00 Uhr bis 19:00 Uhr an Wochentagen definiert. Das California Department of Transportation (Caltrans) detektiert Stau, wenn die mittlere Geschwindigkeit für 15 Minuten oder mehr an einem Wochentag unter 35 mph (56 km/h) fällt. Dort ist im Moment ein Vorschlag im Gespräch, Staudauer als die Fahrzeit unter einer Grenzgeschwindigkeit von 60 mph (96 km/h) zu definieren, wobei die Informationen von 3.363 Induktionsschleifen an 1.324 Orten des kalifornischen Netzes geliefert werden.

Der Bundesstaat Washington hingegen bietet Kenngrößen zur Echtzeitreiseinformation und bewertet getrennt voneinander Stausituationen, die aufgrund von Verkehrsüberlastung wiederkehrend sind und solche, die aufgrund von Unfällen als nicht wiederkehrend zu bezeichnen sind. Dies inkludiert die Bewertung über Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, Stauhäufigkeit, Staudauer und -länge, Reisezeit und Zuverlässigkeit. In Washington wird ebenfalls die Zuverlässigkeit der Reisezeit als wichtiges Kriterium angesehen, bei der durch die Ermittlung einer "worst case"-Reisezeit für einen Streckenabschnitt eine Reisezeit angegeben wird, die in 19 von 20 Fällen (95 % aller Fahrten) unterschritten wird (vgl. BERTINI 2005).

### **3.7 Egnatia Odos A.E. (EOAE) - GRE**

Egnatia Odos A.E. (EOAE) baut, erhält und betreibt 670 Autobahnstreckenkilometer auf dem Egnatia Festland und seinen vertikalen Achsen, die die wichtigsten Straßenverbindungen, sowie die ersten Autobahnen in Nordgriechenland von West nach Ost darstellen. Informationen darüber sind auf der Homepage der EOAE (vgl. EOAE 2011) und aus EOAE (2005) bekannt.

Die EOAE beschafft Verkehrsdaten in ihrem Zuständigkeitsbereich und stellt diese aufbereitet als Verkehrslageprognosen und als Bewertung der Verkehrsqualität bereit. Als

wichtigen Bestandteil des Betriebs der "Egnatia Motorways" in Griechenland hat die zuständige Behörde EOAE auf ihren wichtigsten Streckenabschnitten automatische Verkehrserfassungsanlagen installiert (65 automatische Induktionsschleifen und Mikrowellensensoren), um den Zustand des Verkehrsablaufs ermitteln zu können und diesen über telematische Einrichtungen direkt an die Zentrale in Thessaloniki übermitteln zu können. Diese Daten werden dort anschließend mit einem eigens entwickelten Verkehrsflussmodell aufbereitet, um aus den lokal erhobenen Daten streckenbezogene Aussagen über die Verkehrsqualität treffen zu können. Ähnliche Verkehrsdatenerfassungsanlagen und deren Aufbereitungssysteme findet man auch zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf den Autobahnen rund um Athen.

### **3.8 Metropolitan Express Public Corporation (MEX) - JPN**

Die Metropolitan Expressway Public Corporation (MEX) ist eine der wichtigsten Anbieter von Verkehrsserviceleistungen im Großraum Tokio. Sie ist der Betreiber der Stadtautobahn Tokio, die mit rund 300 km Netz den Großteil der Autobahnen in und um Tokio ausmacht. Japan zählt definitiv zu den Anführern, was die Entwicklung und Anwendung von ITS (Intelligent Transport Systems) betrifft. MEX verwendet automatische Verkehrsdatenerfassungsanlagen und hat auch eine eigene Fahrzeugflotte, um Störfälle melden und bei diesen reagieren und eingreifen zu können. Die über Induktionsschleifen und CCTV - Kameras (Closed Circuit Television) automatisch erhobenen Verkehrsdaten werden minütlich aktualisiert. Vertreter der Polizei befinden sich durchgehend in der Verkehrsmanagementzentrale, um im Störfall sofort die richtigen Maßnahmen setzen zu können. Um eine kontinuierliche Bewertung der im Zuständigkeitsbereich der MEX liegenden Autobahnen vollziehen zu können, werden die Kenngrößen mittlere Geschwindigkeit, Staudauer und Verlustzeit (basierend auf Überlastungsereignissen) ermittelt (vgl. FHWA 2004).

### **3.9 Zusammenfassung – internationale Vergleichbarkeit**

Mit dem Bestreben, für das österreichische A&S-Netz ein Kriterium zu bestimmen, über das zukünftig auch eine internationale Vergleichbarkeit sichergestellt werden kann, wurden im Rahmen dieser Arbeit acht Betreiber von Autobahnen und Schnellstraßen kontaktiert, auf die angewandten Praktiken bei der flächendeckenden Bewertung von Verkehrsqualität untersucht und verschiedene Vorgehensweisen bei der rückwirkenden Beurteilung dieser (zur Verfügung stehende Daten, Berechnungsmethoden der angewandten Kennzahl) beleuchtet. Während für allgemeine Fragen große Auskunftsbereitschaft bestand, war diese bezüglich tatsächlich angewandter Berechnungsdefinitionen oder gar Schwellenwerte meist gering (Hinweis auf interne Festlegungen).

Nachfolgend werden die wesentlichen Erkenntnisse des internationalen Benchmarkings zusammenfassend dargestellt (Tabelle 3-3).

Tabelle 3-3: Zusammenfassung des internationalen Benchmarkings

Land Behörde	Netzlänge an A&S	Staudefinition	Verkehrszustände	Verkehrsdaterhebungsmöglichkeiten	Netzweite Kennzahlen
<b>GER VZ Hessen</b>	950 km Bundesautobahnen, 3.000km Bundesstraßen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grenzwerte der Verkehrsstärke <math>q</math> oder der mittleren Geschwindigkeit <math>v</math> in Fundamentaldiagrammen</li> <li>lokaler Geschwindigkeitseinbruch</li> </ul>		<u>automatisiert:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>3000 Induktionsschleifen (<math>v_{\text{lokal,mittel}}, q</math>)</li> <li>FCD-Pilotprojekte</li> </ul> <u>manuell:</u> Verkehrsmelder (Staumelder)	<b>Stautunden,</b> Verlustzeiten
<b>GER ABDSB/ VIB</b>	1.200 km Autobahnen	mittlere Geschwindigkeit unter Schwellenwert: <ul style="list-style-type: none"> <li>Stau/stockender <math>v</math>: <math>\leq 35\text{km/h}</math></li> <li>zäher Verkehr: <math>35\text{km/h} &lt; v &lt; 70\text{ km/h}</math></li> <li>freier Verkehr: <math>\geq 70\text{ km/h}</math></li> </ul>	3	<u>automatisiert:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>nur in Ballungsräumen in Bereichen von Streckenbeeinflussungsanlagen</li> </ul> <u>manuell:</u> Autobahnmeisterei, Polizei	Reisezeit u. Verlustzeit auf Basis $v_{\text{lokal}}$ <b>Stautunden</b>
<b>Schweiz ASTRA</b>	1.800 km Nationalstraßen	mittlere Geschwindigkeit mindestens 1min unter Schwellenwert: <ul style="list-style-type: none"> <li>Stau: <math>&lt; 30\text{ km/h}</math></li> </ul>	3	Bis 2009 <u>manuell:</u> Polizei, Staumelder  Seit 2010 zusätzlich 270 Online-Zählstellen, 502 Videokameras	<b>Stautunde,</b> Reisezeitverluste (ab 2012)
<b>NED Rijkswaterstaat</b>	3.250 km, davon 2.350 km Autobahnen	mittlere Geschwindigkeit über mindestens 2km unter Schwellenwert: <ul style="list-style-type: none"> <li>zäher Verkehr: <math>&lt; 50\text{ km/h}</math></li> <li>Stau: <math>&lt; 25\text{ km/h}</math></li> </ul> verbal weitere Unterteilung: <ul style="list-style-type: none"> <li>travelling slowly, stationary</li> <li>travelling slowly or stationary</li> </ul>	3	<u>automatisiert:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>(Doppel)Induktionsschleifen (<math>v_{\text{lokal,mittel}}, q</math>) in 500m-Abständen</li> <li>Fahrzeugwiedererkennung</li> <li>FCD</li> <li>Nutzung privater Datenquellen: FCD (Bluetooth, GPS, Mobile Phone)</li> </ul> <u>manuell:</u> Verkehrsmelder (Verkehrsteilnehmer)	mittlere Abschnitts- geschwindigkeiten, Reisezeiten, Staudichte, Verlustzeiten, Stautunden <b>Zuverlässigkeit der Reisezeit</b>
<b>UK Highway Agency</b>	12.600 km trunk roads davon 3.500 km motorways,	Stau definiert über Abschnittsreferenz-- reisezeiten  für jeden Abschnitt ("link") individuell berechnete Reisezeit  Referenzzeit berechnet sich aus dem Mittelwert (Median) historischer Abschnittsreisezeiten plus Addition von 3 Sekunden Toleranzzeit pro Meile		<u>automatisiert:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>1.500 Messquerschnitte (<math>v_{\text{lokal,mittel}}, q</math> in 5min-Intervallen)</li> <li>30 % des Netzes VBA mit 500m Sensorabstand</li> <li>1.100 ANPR-Kameras zur Fahrzeugwiedererkennung im Abstand von 25 km-&gt;761 Abschnittsreisezeiten</li> <li>2.500 Abschnitte zwischen Autobahnkreuzen mit bekannter Reisezeit und <math>q</math></li> <li>Nutzung privater Datenquellen</li> </ul> 1) 5.200 Sensoren alle 2-max. 3,5 km 2) ANPR Kameras durchschn. alle 4 km in 100 % des A und 95 % des S-Netzes 3) 50 000 GPS Fahrzeuge->FCD <u>manuell:</u> angestellte Traffic Officers, Polizei	Reisezeiten, Verlustzeit, <b>Zuverlässigkeit der Reisezeit</b>

<b>USA</b> FHWA	nicht direkt zuordenbar	<u>individuell verschieden:</u> •Minnesota: Stau<72 km/h •California: Stau< 56 km/h für 15 Minuten (zukünftig zusätzlich noch 96 km/h) •Portland: Stau<40 km/h zählfließender Verkehr<80 km/h •Washington: 95. Perzentil der Reisezeit		<u>automatisiert:</u> •(Doppel)Induktionsschleifen ( $v_{\text{lokal,mittel}}, q$ ) •Automatic Vehicle Identifiaction (AVI) •FCD (Mobiltelefone, GPS) •CTTV-Kameras  <u>manuell:</u> Verkehrsmelder (Verkehrsteilnehmer) Polizei, Service Patrouille	Stautunden, Verlustzeiten, Zuverlässigkeit der Reisezeit (Pufferindex, PTI) Stautunden
<b>GRE</b> EOAE	670 km			<u>automatisiert:</u> •65 Induktionsschleifen und Mikrowellensensoren ( $v_{\text{lokal,mittel}}, q$ )	
<b>JPN</b> MEX	300 km			<u>automatisiert:</u> •Induktionsschleifen ( $v_{\text{lokal,mittel}}, q$ ) in 1-minuten Intervallen •CCTV-Kameras <u>manuell:</u> Polizei	mittlere Geschwindigkeit, Staudauer und Verlustzeit

Die hervorgehobenen Kennzahlen aus obiger Tabelle stellen dabei die bereits veröffentlichten Kriterien (z.B. in Monatsberichten) dar, die anderen werden zum Großteil nur für die interne Verwendung gebildet. Dies ist auch der Grund, warum von vielen Betreibern keine Auskunft zu den Berechnungsgrundalgen, der Methodik oder konkreten Werten (z.B. Staudefinition) im Sinne einer Kennzahlenbildung zu erfahren ist.

Die am häufigsten auch der Öffentlichkeit bereitgestellten Kriterien sind auf Basis der Umfrage im Rahmen der Arbeit die Stautunde und die Zuverlässigkeit. Während sich in den Niederlanden und Großbritannien die Zuverlässigkeit als das meist veröffentlichte Kriterium etabliert hat, steht der Öffentlichkeit im deutschsprachigen Raum die Stautunde in regelmäßigen Berichten zur Verfügung. Die Verlustzeit wird meist nur intern kalkuliert und nicht kommuniziert.

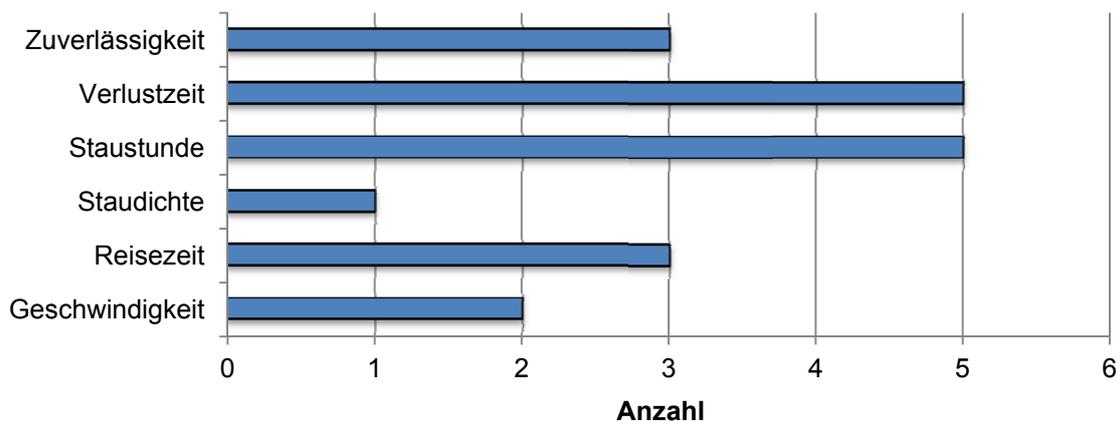


Abbildung 3-6: Häufigkeit der verwendeten Kenngrößen

Diese Kenngrößen basieren dabei jedoch auf unterschiedlichsten Datengruppen, da die für die Bewertung herangezogenen Datenerfassungsmöglichkeiten qualitativ sehr unterschiedlich sind. Es kommen dabei sowohl ausschließlich manuelle, d. h. nicht

automatisierte als auch hoch moderne Detektionsverfahren oder eine Kombination dieser zum Einsatz.

Es geht aus dem Benchmarking hervor, dass das Bestreben nach einer einheitlichen Beurteilung kurzfristig gesehen im internationalen Vergleich kein leichtes ist. Die einzelnen Länder und Regionen (Bundesländer, Städte etc.) einander gegenüberzustellen, ist eine schwere Aufgabe, da die verwendeten Indikatoren und die Annahmen für die Berechnung dieser oft von Land zu Land und sogar von Region zu Region innerhalb des gleichen Landes verschieden sind. Es ist daher eine große Bandbreite an Ansätzen und Bewertungsmethoden vorzufinden und es ist in der Tat selten, ein einheitliches praktikables Konzept zwischen den einzelnen Ländern oder Regionen für die Beurteilung der Überlastung festzumachen. Auch wird die Wichtigkeit der Stauproblematik und damit verbunden der netzweiten Verkehrsqualitätsbeurteilung in den verschiedenen Ländern und den verschiedenen Ebenen der Regierungen und/oder Behörden innerhalb der einzelnen Länder unterschiedlich bewertet.

Einigkeit besteht jedoch darin, dass die streckenbezogenen Kriterien (v.a. die Reisezeit) für die rückwirkende Beschreibung des Verkehrsablaufs die Grundlage für weitere Kenngrößen darstellen sollten. In Bereichen mit geringer Distanz zwischen zwei Messquerschnitten gilt eine Kombination von querschnittsbezogenen Daten mit streckenbezogenen als zeitgemäß.

Aufgrund der Tatsache, dass international eine Vielzahl an verschiedenen Kenngrößen existiert, die auf streckenbezogenen Daten basieren, werden diese als zentrale Datengruppe betrachtet und der Generierung dieser aus vorhandenen Daten am hochrangigen Netz für die Entwicklung eines kurzfristigen Bewertungskonzeptes in Österreich hohe Bedeutung beigemessen.

## 4 Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung der Verkehrsqualität am hochrangigen Straßennetz in Österreich

In diesem Kapitel wird ein Konzept erarbeitet, auf dessen Basis über eine ausgewählte Kennzahl eine Bewertung der Verkehrsqualität im gesamten österreichische Autobahnen- und Schnellstraßennetz (A&S-Netz) möglich sein soll. Hierfür wird zuerst die Verfügbarkeit der zur Bewertung vorliegenden Verkehrsdaten geprüft und die Eignung dieser für den Einsatz geklärt. Auf diesen Daten aufbauend wird anschließend ein Schema entworfen, über das letztendlich eine aussagekräftige Kennzahl im Sinne einer Beurteilung der Verkehrsqualität bestimmt werden kann.

Das österreichische A&S-Netz (Abbildung 4-1) mit einer Streckenlänge von 2.175 km (davon 340 Tunnelfahrtrichtungskilometer und 340 Brückenfahrtrichtungskilometer, Stand: Mai 2011) wird von der Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-AG (ASFINAG) betrieben.



Abbildung 4-1: Das Streckennetz der ASFINAG (ASFINAG 2010a, S.2)

Die ASFINAG ist ein kundenfinanzierter und wirtschaftlich agierender Betreiber und Errichter von Autobahnen und Schnellstraßen. Die Bereitstellung eines bedarfsgerechten Streckennetzes mit hoher Verfügbarkeit für den Verkehrsteilnehmer ist dabei wesentlicher Teil der ASFINAG-Mission. Zielsetzung ist, dem Kunden ein verkehrssicher ausgebautes und gut serviertes Netz mit hoher Verfügbarkeit zu bieten.

Die „Streckenverfügbarkeit“ beschreibt dabei nicht nur die Existenz von Straßen, sondern auch deren Qualität und vor allem auch temporär veränderliche Faktoren wie Geschwindigkeitsbegrenzungen, Baustellen oder besondere Verkehrsereignisse.

Um die Entwicklung der Verfügbarkeit verfolgen und bewerten zu können, wird ein Monitoring-System in mehreren Teilbereichen definiert und umgesetzt (vgl. ASFINAG 2010a). Dabei wird einerseits die generelle Bereitstellung von Fahrstreifen in Form der geometrischen Verfügbarkeit (Anzahl verfügbarer Fahrstreifen in Relation zur

Gesamtanzahl der Fahrstreifen) beurteilt. Andererseits werden notwendige verkehrliche Einschränkungen und darüber hinausgehende Behinderungen (Staus) bewertet.

Für die Beurteilung der Verkehrsqualität, die über notwendige Einschränkungen hinausgeht, wird aus den aus der Literaturrecherche und der Expertenbefragung gewonnenen Erkenntnissen der vorliegenden Arbeit eine Kenngröße vorgeschlagen. Die Kombination der Parameter aller Teilbereiche soll eine Beschreibung der Gesamtnetzverfügbarkeit des Autobahn- und Schnellstraßennetzes ermöglichen.

#### **4.1 Datenverfügbarkeit der ASFINAG**

Kenngrößen zur Bewertung der Verkehrsqualität finden ihre Grundlage unterschiedlichen Verkehrsdaten. Aus Fachliteratur und dem internationalen Benchmarking zu Qualitätskennzahlen geht hervor, dass eine geeignete Kenngröße sowohl das räumliche und zeitliche Ausmaß, als auch den relativen Bezug zum Gesamtnetz beschreiben kann. Neben den gebräuchlichen, lokal gültigen Querschnittsdaten ist es daher zeitgemäß, auch streckenbezogene - im Speziellen reisezeitbasierte - Größen als Datengrundlage heranzuziehen. Mit Hilfe dieser kann sowohl über die räumliche als auch über die zeitliche Verteilung des Verkehrs eine Aussage getroffen werden.

Das Problem besteht darin, dass eine Investition in Sensorik zur Datenerfassung nur dann als wirtschaftlich gilt, wenn eine möglichst vielseitige Verwendung dieser vorhergesehen werden kann. Kein Verkehrsbetreiber kann rein zum Zweck einer Bewertung des Verkehrsablaufs eine flächendeckende Verkehrsdatenerfassung verantworten und installieren, sondern muss sich auf vorhandene Datenquellen stützen oder neue unter Berücksichtigung anderer Teilgebiete diskutieren. Deshalb erweist es sich meist als schwierig, die flächendeckende Bestimmung von Reisezeiten, die sich theoretisch für die netzweite Beurteilung besonders eignen, durchzusetzen.

In diesem Sinne wird hier zunächst untersucht, welche Daten der ASFINAG im österreichischen A&S-Netz zur Verfügung stehen und aufbauend darauf die Eignung dieser für den Einsatz zur netzweiten Bewertung von Verkehrsqualität analysiert. Mit der Installation von Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) in Gebieten mit hohem Verkehrsaufkommen und der flächendeckenden Verkehrsdatenerfassung (FVE) in Gebieten ohne VBA, können mit wenigen Ausnahmen im gesamten österreichischen A&S-Netz querschnittsbezogene Verkehrsdaten zur Verfügung gestellt werden. Ungefähr 2.000 Sensoren verteilt über das Gesamtnetz erheben verkehrsrelevante Querschnittsdaten wie Verkehrsstärke, lokale Geschwindigkeit und Fahrzeugklasse. Mit der Ausnahme von VBA-Gebieten, in denen eine ausreichende Dichte an lokaler Detektion vorhanden ist, kann allerdings eine Abschätzung über den nicht detektierten Streckenbereich nur unzureichend getroffen werden. Deshalb gilt es in diesen Gebieten für die Bewertung der Verkehrsqualität zusätzlich noch andere Datengruppen hinzuzuziehen. Daher werden hier zweckentfremdete Daten aus dem vollautomatisierten Mautsystem für Kraftfahrzeuge über 3,5t (LKW, Bus) mit einbezogen, wodurch eine Reisezeitermittlung zwischen zwei Mautabbuchungsstationen anonymisiert für diese Fahrzeugklasse möglich ist.

#### 4.1.1 Querschnittsdaten

Im österreichischen A&S-Netz können mit der vorhandenen Ausstattung an querschnittsbezogenen Verkehrsdatenerfassungsanlagen über den gesamten Tag lokale Verkehrskennzahlen erhoben werden. Dazu sind mit Stand November 2010 insgesamt 1016 Messquerschnitte, das bedeutet 1.922 Querschnittssensoren (ASFINAG 2010, S.21) installiert. Dabei werden hauptsächlich die bereits vorgestellten Überkopf-Detektoren der Serie TDC3 eingesetzt. Diese verwenden Doppler Radar, Ultraschall und Passiv Infrarot Technologie zur genauen Verkehrsdatenerfassung. Die vom Detektor via RS 485 ausgegebenen Daten beinhalten Fahrzeugklassifizierung, Geschwindigkeiten, Fahrzeuglänge, Belegungszeiten und Netto-Zeitlücken, und stehen meist in Form von aggregierten Daten (1-Minuten-Intervalle) für die weitere Verwendung zur Verfügung.

Die querschnittsbezogene Datenerfassung kann dabei in zwei Arten unterschieden werden. Einerseits stehen lokale Daten in rund 19 % des A&S-Netzes aus der Verkehrsdatenerfassung für den Betrieb von Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) zur Verfügung (ASFINAG 2010, S.18). Dabei gilt es bezüglich der Anzahl von Sensoren je Abschnitt in voll-funktionale Verkehrsbeeinflussung „VBA“ (alle 1-3km ein Sensor) und Verkehrsbeeinflussungsanlage Umwelt „VBA-Umwelt“ (mindestens ein Sensor je Abschnitt) zu unterscheiden, wobei ein Abschnitt jene Strecke zwischen zwei Anschlussstellen meint. Andererseits werden Querschnittsdaten über Sensorik zur flächendeckenden Verkehrsdatenerfassung „FVE“ ermittelt. Diese setzt sich zum Ziel in mindestens jedem zweiten Abschnitt einen Sensor zu installieren und soll nach der Erweiterung in den nächsten Jahren das gesamte, restliche A&S-Netze in Österreich abdecken (siehe Abbildung 4-2).



Abbildung 4-2: VBA-Bereiche und FVE-Sensorstandorte

#### 4.1.2 LKW-Reisezeiten aus dem Mautsystem

In Österreich wurde für die Fahrzeuggruppe KFZ>3,5t (z. B. LKW, Busse) mit 1. Jänner 2004 das erste flächendeckende „Multi-Lane-Free-Flow-Mautsystem“ entlang Autobahnen und Schnellstraßen eingeführt, welches auf einem unter Kapitel 2.5.5 beschriebenen Transponder-System beruht. Für diese Fahrzeuge fällt andererseits die Vignettenpflicht

und die Straßenbenutzungsabgabe weg. Dieses System hat den Vorteil, dass es die Mautgebühr dem Namen nach automatisiert ohne jegliche Geschwindigkeitsverringerung und ohne Benutzung spezieller Fahrstreifen abbucht. Dazu wird die Kommunikation zwischen zwei für den Fahrzeuglenker sichtbaren Komponenten, nämlich den straßenseitigen Mautportalen und den fahrzeugseitigen Geräten ausgenutzt. Hierfür werden in den Fahrzeugen so genannte „GO-Boxen“ angebracht, die auf DSRC (Dedicated Short Range Communication)-Mikrowellenbasis mit den angebrachten Mautportalen im Netz interagieren, während das mautpflichtige Fahrzeug unter dem Portal hindurch fährt. Passiert ein „Schwerfahrzeug“ z. B. LKW) ein Abbuchungsportal, wird die GO-Box im Fahrzeug über dessen Mikrowellensender aktiviert und es können Daten ausgetauscht werden (vgl. ASFINAG 2011b).

Mautportale, sogenannte Abbuchungsstationen oder Mautgantries sind am A&S-Netz errichtete Überkopfbrücken, an denen die zu einer korrekten Mautverrechnung erforderliche Kommunikation zwischen straßenseitiger Einrichtung (Abbuchungsstationen) und fahrzeugseitiger (GO-Box) erfolgt. Enforcement-Stationen sind dagegen eigens für die Erfassung von Mautprellern und zur Ahndung von Mautvergehen eingerichtete stationäre, portable und mobile Stationen. Für jeden Streckenabschnitt zwischen zwei Anschlussstellen ist jeweils je Fahrtrichtung ein Mautportal angebracht. Über das gesamte A&S-Netz sind über 400 Mautportale aufgestellt, wobei ein Großteil beide Richtungsfahrbahnen überragt, wodurch ungefähr 800 Mautabbuchungsstationen existieren. Von diesen Portalen sind ca. 100 als Enforcement-Stationen ausgestattet.

Abhängig von der Fahrzeugklasse (2-Achsen, 3-Achsen, 4-Achsen oder Bus) und der EURO-Emissionsklasse (drei Kategorien und Tarifgruppen (A, B und C)) wird die Mautgebühr für die Fahrzeuge über 3,5t berechnet. Die Verrechnung dieser kann dabei auf zwei Arten erfolgen. Entweder werden die Verrechnungsdaten in der Datenzentrale der ASFINAG Maut Service GmbH gespeichert und die Mautgebühr im Nachhinein (Postpaid-Verfahren) vom Kunden beglichen, oder sie wird direkt von einem im Vorhinein (Prepaid-Verfahren) auf der GO-Box gespeicherten Guthaben abgezogen (vgl. ASFINAG 2011b).

Für die weiteren Untersuchungen wird die Fahrzeuggruppe „KFZ>3,5t“ folgend auch als „Gruppe LKW“ bezeichnet.

### **Anonymisierte Bestimmung von LKW-Reisezeiten aus dem Mautsystem**

Durch das Wissen über die Tauglichkeit und die gute Aussagekraft von Reisezeiten zur Qualitätsbestimmung des Verkehrsablaufs, wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Go Smart“ (LINAUER E.A. 2005) unter Mitwirkung der ASFINAG die Idee geboren, die für die Mautabrechnung der Fahrzeuggruppe „KFZ > 3,5t“ erfassten Daten zweckentfremdet für die anonymisierte Berechnung von Streckenreisezeiten der LKW und Busse heranzuziehen. Über die ermittelten Durchfahrtszeiten an zwei Mautportalen stehen der ASFINAG dadurch für das gesamte österreichische A&S-Netz LKW-Abschnittsreisezeiten anonymisiert zur Verfügung.

Dabei ist die unterschiedliche Definition von Mautabschnitten für die Verrechnung der Maut und den Abschnitten für die LKW-Reisezeitermittlung zu beachten (siehe Abbildung 4-3). Für die korrekte Abbuchung der Maut befindet sich zwischen zwei Anschlussstellen jeweils ein Mautportal. Dieser Streckenabschnitt wird demnach für die Mautverrechnung als Definition eines Mautabschnitts herangezogen.

Für diese Arbeit und im Sinne der anonymisierten Ermittlung von Abschnittsreisezeiten sind allerdings die Abschnitte von Interesse, die von zwei Mautportalen gebildet werden und das Segment zwischen den beiden begrenzen. Daher wird in weiterer Folge unter den Begriffen Mautabschnitt und Abschnitt ausnahmslos die Strecke zwischen zwei Abbuchungsstationen verstanden. Mit Hilfe der Mautportale können im österreichischen A&S-Netz somit von rund 1000 solcher Relationen LKW-Reisezeiten bestimmt werden.

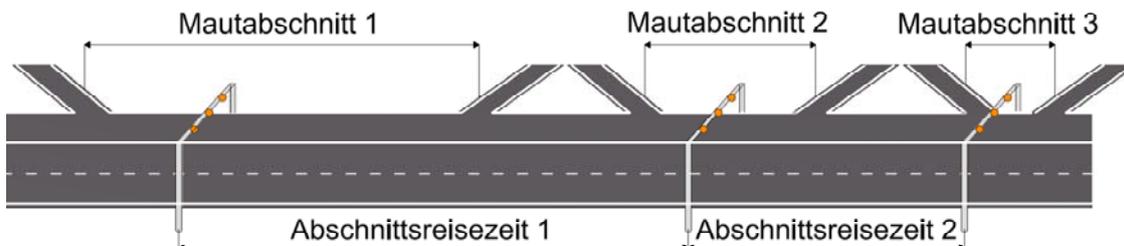


Abbildung 4-3: Definition von Abschnitten für die Reisezeitermittlung

#### 4.1.3 Referenzgebiete

Als Test- und Kalibrierungsdaten für die Überprüfung der Eignung der Datengruppen und in weiterer Folge für die Entwicklung eines Schemas für das österreichische A&S-Netz sind seitens der ASFINAG SERVICE GMBH, Abteilung Verkehrsmanagement, Realdaten von drei Testfeldern der Autobahnen A1, A2 und A10 zur Verfügung gestellt worden.

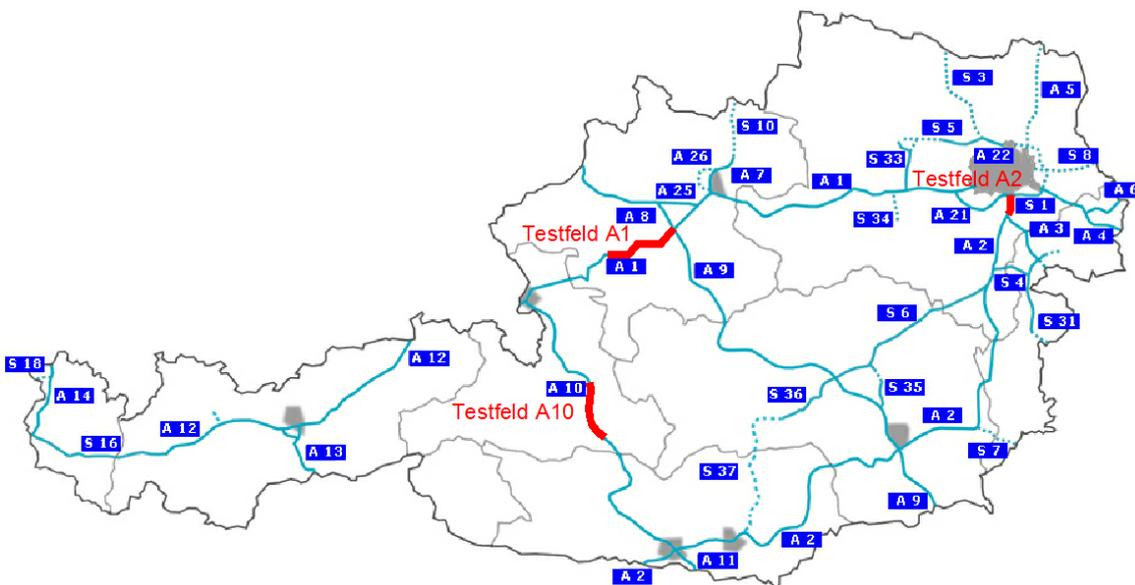


Abbildung 4-4: Übersichtskarte Testfelder

Für diese Testfelder des österreichischen A&S-Netzes liegen dabei richtungsfein für mindestens einen Monat zum einen Querschnittsdaten und zum anderen streckenbezogene Daten in Form von mittleren 15-Minuten-LKW-Abschnittsreisezeiten aus anonymisierten Mautdaten. Auf die unterschiedliche Qualität der Datenerfassung wird dabei besonders geachtet. Die Daten werden dabei in einheitlichem Datenformat (Microsoft Office Excel-Tabellen) übergeben.

Die Querschnittsdaten liegen in 1-Minuten-Intervallen (minutenweise aggregiert) vor und enthalten folgende Informationen:

- Messquerschnittsnummer  
z. B.: MQ\_A02\_2\_006,525 (Messquerschnitt, Autobahn A2, Fahrtrichtung 2 (Wien), bei km 6,525)
- Datum und Uhrzeit
- Fahrstreifen
- Verkehrsstärke getrennt nach Fahrzeugklassen [ $q_{LKW}/min$ ,  $q_{PKW}/min$ ]
- mittlere, lokale Fahrzeuggeschwindigkeit getrennt nach Fahrzeugklassen und Fahrstreifen [km/h]

Die LKW-Reisezeiten aus dem Mautsystem liegen in 15-Minuten-Aggregationsintervallen über alle Fahrzeugklassen und Fahrstreifen gemittelt vor und enthalten folgende Information:

- Streckenabschnitt von - bis
- Locationcodes der abschnittsbegrenzenden Mautportale  
z. B.: A02-\_007,536\_2 (Autobahn A2, Mautportal bei Kilometer 7,536, Fahrtrichtung 2 (Wien)).
- Name der abschnittsbegrenzenden Mautportale
- Kilometer von-bis
- Datum und Uhrzeit des Beginns des 15-Minuten-Intervalls
- Datum und Uhrzeit des Endes des 15-Minuten-Intervalls
- LKW-Anzahl zur Reisezeitermittlung [ $q_{LKW}/15min$ ]
- mittlere Abschnittsreisezeit von KFZ>3,5t Kategorie 4 (4 oder mehr Achsen) im 15-Minuten-Intervall [sec]
- minimale Abschnittsreisezeit von KFZ>3,5t Kategorie 4 (4 oder mehr Achsen) im 15-Minuten-Intervall [sec]

#### **4.1.3.1 Testfeld A02 - Süd Autobahn**

##### **Testfeld A02\_A – Querschnittsdaten (FVE) und LKW-Reisezeiten**

Von einem rund 13,5 km langen Streckenabschnitt der A2 zwischen dem Knoten Wien-Inzersdorf (Wien) und dem Knoten Guntramsdorf (NÖ) stehen für beide Fahrtrichtungen Querschnittsdaten aus der FVE-Sensorik in einem Zeitraum von rund drei Monaten (01.10.2010-31.12.2010) zur Verfügung. In diesem Bereich liegen für beide Fahrtrichtungen Daten von vier lokalen Messquerschnitten mit maximalen Abständen von ungefähr fünf Kilometern zueinander vor. Zusätzlich befinden sich in diesem Bereich sechs Mautabbuchungsstationen zur elektronischen Mautgebührenerhebung, woraus je Fahrtrichtung für fünf Abschnitte die LKW-Reisezeiten gewonnen werden können. Die Querschnittsensoren sind dabei an den Mautportalen angebracht. Die beiden Testfelder sind in Abbildung 4-5 und Abbildung 4-6 dargestellt.

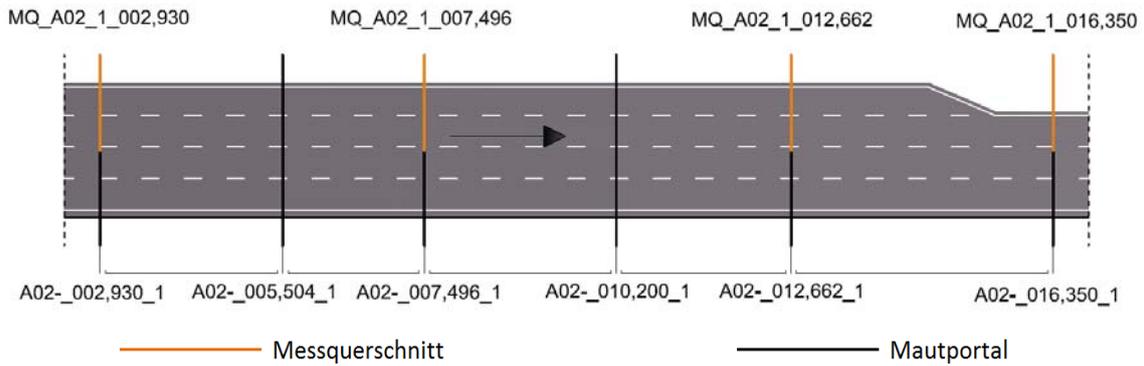


Abbildung 4-5: Testfeld A02\_1\_A, Messquerschnitte (FVE-Sensorik) und Mautportale in Fahrtrichtung Graz

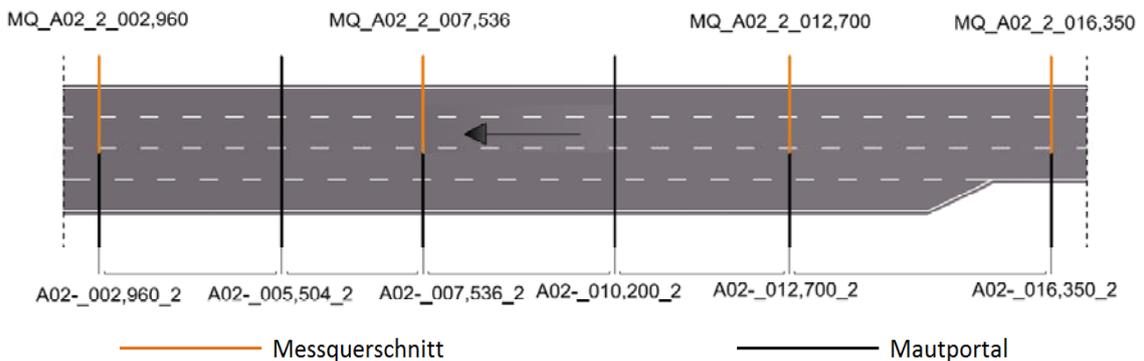


Abbildung 4-6: Testfeld A02\_2\_A, Messquerschnitte (FVE-Sensorik) und Mautportale in Fahrtrichtung Wien

### Testfeld A02\_B – Querschnittsdaten (VBA) und LKW-Reisezeiten

Von selbigem Streckenabschnitt der A2 zwischen dem Knoten Wien-Inzersdorf (W) und dem Knoten Guntramsdorf (NÖ) stehen für die Fahrtrichtung Wien Querschnittsdaten aus der VBA-Sensorik für den Zeitraum von rund einem Monat (01.06.2011-01.07.2011) zur Verfügung. Die Sensoren sind in weitaus geringeren Abständen zueinander angebracht als die FVE-Sensoren (Testfeld A02\_2\_A) und werden für die Verkehrssteuerung verwendet. Dies führt in diesem Streckenabschnitt zu einer weit dichteren, lokalen Detektion als im Testfeld A02\_2\_A mit insgesamt 11 Messquerschnitten in einem Bereich von rund 11 Kilometern. Die maximalen Abstände betragen hier rund 2 km.

Über dieselben Mautportale wie in Testfeld A02\_2\_A können fünf Mautabschnitte gebildet werden, für die für den Zeitraum (01.06.2011-01.07.2011) die LKW-Abschnittsreisezeiten aus dem Mautsystem vorliegen.

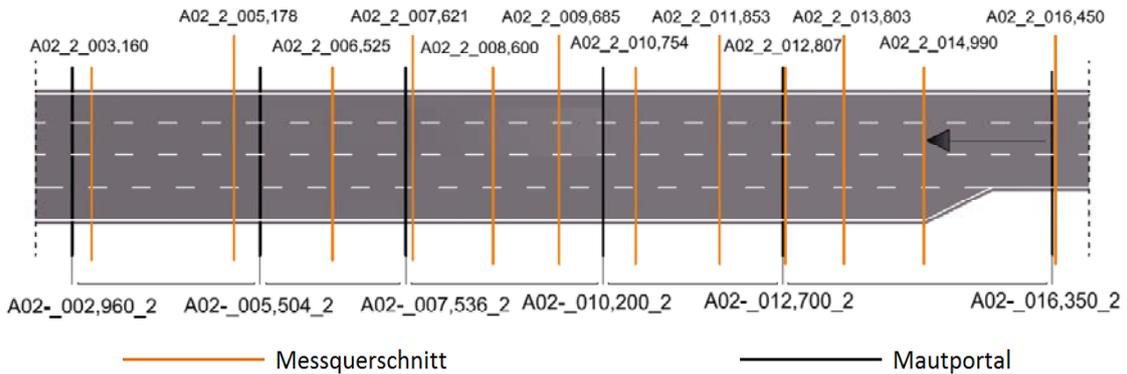


Abbildung 4-7: Testfeld A02\_2\_B, Messquerschnitte (VBA-Sensorik) und Mautportale in Fahrtrichtung Wien

#### 4.1.3.2 Testfeld A1 West Autobahn

Von einem rund 38 km langen Streckenabschnitt der A1 zwischen dem Knoten Voralpenkreuz (OÖ) und der Ausfahrt Seewalchen (OÖ) stehen für beide Fahrrichtungen Querschnittsdaten aus der FVE-Sensorik in einem Zeitraum von ungefähr einem Monat (23.09.2010-31.10.2010), die anonymisierten LKW-Reisezeiten aus dem Mautsystem für vier Monate (01.08.2010 - 31.12.2010) zur Verfügung. Die beiden Bereiche sind in Abbildung 4-8 und Abbildung 4-9 dargestellt. In diesem Bereich liegen für die Fahrtrichtung Salzburg fünf lokale Messquerschnitte und acht Mautportale zur elektronischen Mauterhebung, woraus für sieben Abschnitte die LKW-Reisezeiten gewonnen werden können.

In Fahrtrichtung Linz gibt es vier lokale Messquerschnitte und acht Mautabbuchungsstationen zur elektronischen Mauterhebung, woraus für sieben Abschnitte die LKW-Reisezeiten gewonnen werden können. Die Abstände der lokalen Messsensoren betragen maximal 14 km.

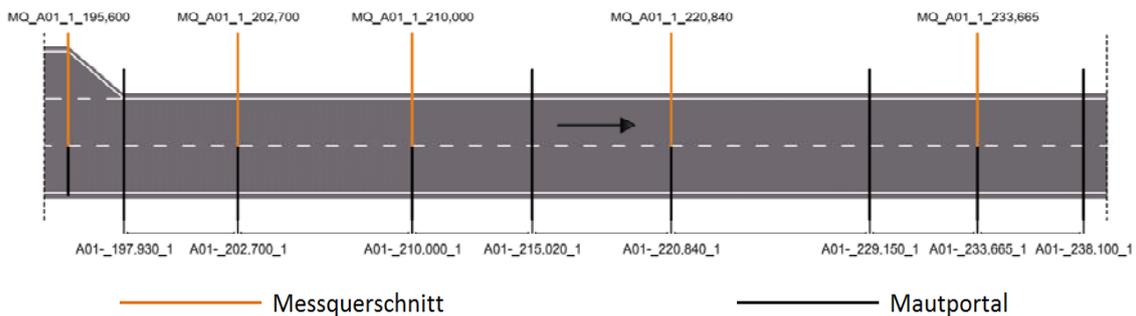


Abbildung 4-8: Testfeld A01\_1, Messquerschnitte (FVE-Sensorik) und Mautportale in Fahrtrichtung Salzburg

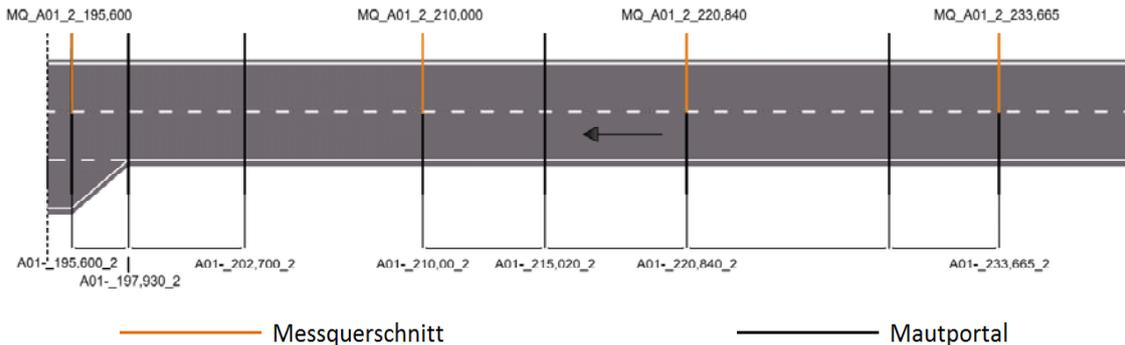


Abbildung 4-9: Testfeld A01\_2, Messquerschnitte (FVE-Sensorik) und Mautportale in Fahrtrichtung Linz

### 4.1.3.3 Testfeld A10 Tauernautobahn

Von einem rund 60 Kilometer langen Streckenabschnitt der A10 zwischen der Anschlussstelle Altenmarkt (S) und der Abfahrt Rennweg/Katschberg (K) stehen für beide Fahrrichtungen (Villach und Salzburg) LKW-Abschnittsreisezeiten von 4 Mautabschnitten in einem Zeitraum von drei Monaten (01.08.2010-31.10.2010) zur Verfügung.

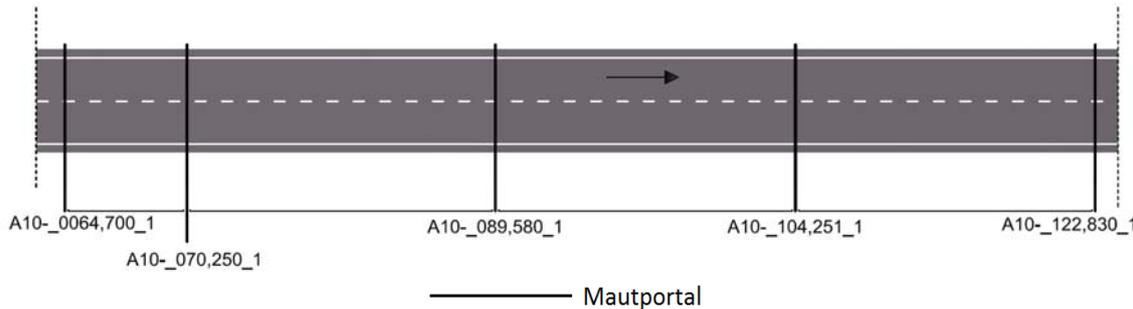


Abbildung 4-10: Testfeld A10\_1, Mautportale in Fahrtrichtung Villach

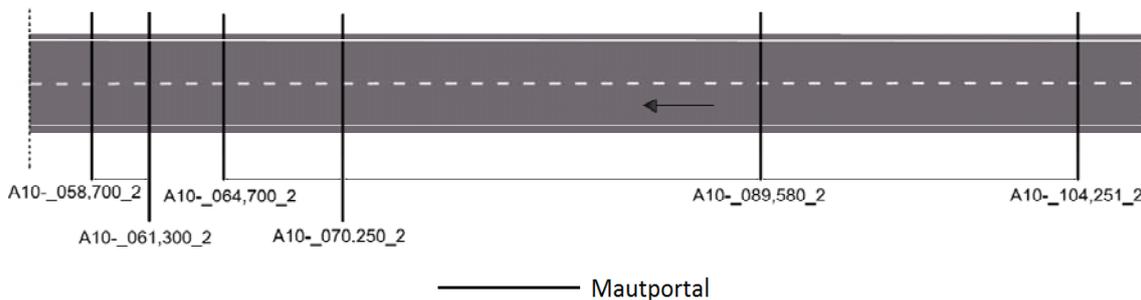


Abbildung 4-11: Testfeld A10\_2, Mautportale in Fahrtrichtung Salzburg

## 4.2 Bewertung der Verkehrsqualität auf Basis von LKW-Reisezeiten

In diesem Kapitel werden die Eignung der anonymisiert erfassten LKW-Streckenreisezeiten aus dem Mautsystem zur netzweiten Bestimmung der Verkehrsqualität überprüft und Problematiken diesbezüglich näher erläutert. Der Hauptfokus eines Mautsystems richtet sich auf die richtige und zuverlässige Verrechnung der Mautgebühren und nicht auf die Detektion von LKW-Reisezeiten. Es besteht allerdings seit dem Forschungsprojekt „Go

Smart“ (LINAUER E.A. 2005) die Idee über die bekannten Durchfahrtszeiten an zwei Mautportalen für das gesamte österreichische A&S-Netz im Sinne einer Bewertung des Verkehrsablaufs, Reisezeiten der Fahrzeuggruppe KFZ>3,5t anonymisiert zu ermitteln. Der ASFINAG als Betreiber des gesamtösterreichischen A&S-Netzes stehen somit neben den verfügbaren querschnittsbezogenen Daten, auch direkt messbare, streckenbezogene Daten (Reisezeiten) zur Verfügung, ohne zusätzliche Sensorik (z. B. Fahrzeugwiedererkennungskameras) installieren zu müssen.

#### 4.2.1 Lokale Analysen von PKW- und LKW-Geschwindigkeiten

Für die Bewertung des Verkehrsablaufs eignen sich - so zeigen die Recherchen aus den vorigen Kapiteln - insbesondere direkt messbare, streckenbezogene Größen, da nur diese den tatsächlichen, realen Verkehrsfluss (Streckengeschwindigkeit, Reisezeit) erfassen können, ohne auf Unsicherheiten (z. B. bei Schätzverfahren aus lokalen Daten) zu stoßen (siehe dazu z. B. Kapitel 2.1.1, 2.5.4 oder 2.5.5).

Reisezeiten (Streckengeschwindigkeiten) bilden daher die Grundlage eines aussagekräftigen Bewertungsverfahrens (siehe Kapitel 2 und 3). Diese stehen im österreichischen A&S-Netz in Form von anonymisierten LKW-Abschnittsreisezeiten aus dem Mautsystem flächendeckend zur Verfügung (siehe Kapitel 4.1.2).

Um jedoch Daten, die ausschließlich für die Fahrzeuggruppe KFZ>3,5t vorliegen, für die Beschreibung des Verkehrsflusses heranziehen zu können, muss sich das Fahrverhalten dieser Fahrzeuggruppe ähnlich oder gleich einstellen wie das des Gesamtverkehrs. In §58 der Kraftfahrzeuggesetz-Durchführungsverordnung 1967 (KDV 1967) werden für das österreichische A&S-Netz für KFZ>3,5 t (einschließlich Gelenkbusse, Sattelkraftfahrzeuge und ausgenommen ((Omni)-Busse) jedoch höchstzulässige Fahrgeschwindigkeiten von 80 km/h, für Busse (ausgenommen Gelenkbusse) 100 km/h festgelegt, während für die Fahrzeuggruppe KFZ≤3,5t bis auf Ausnahmefälle eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 130 km/h gilt (StVO 1960).

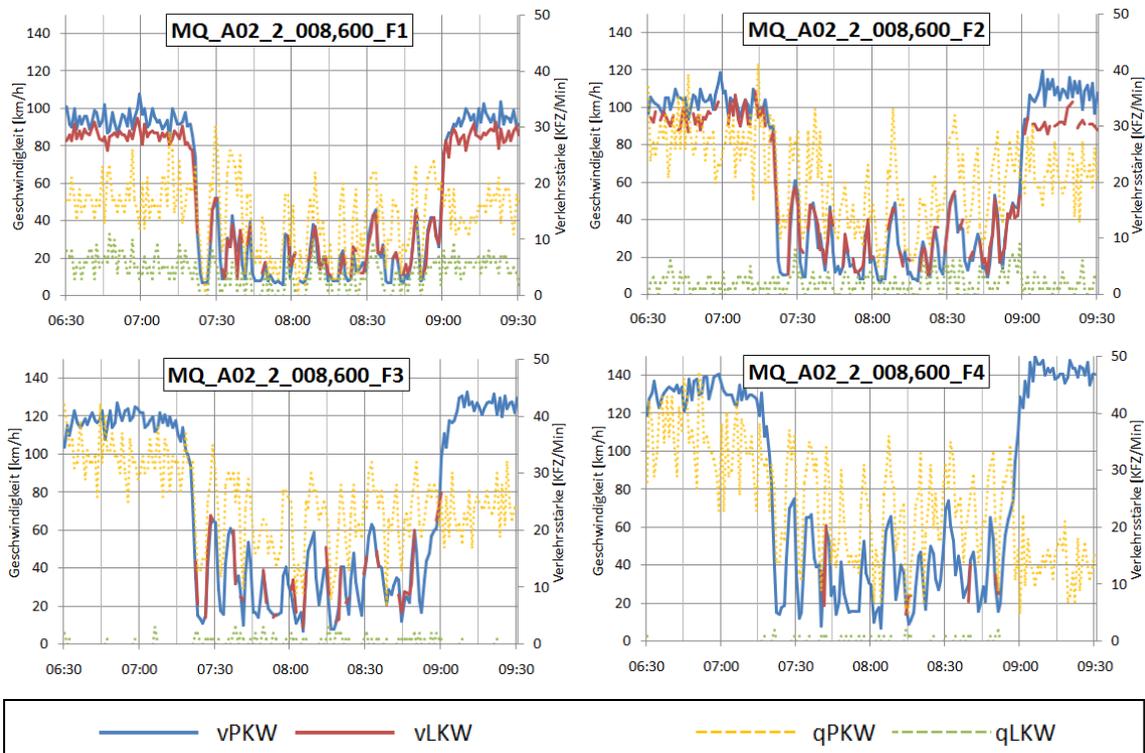
Um die Eignung von LKW-Daten zur Detektion von Verkehrszusammenbrüchen, d. h. zur Bewertung der Verkehrsqualität zu untersuchen, werden in diesem Kapitel PKW-Daten den LKW-Daten an lokalen Querschnitten vergleichend gegenübergestellt.

#### Fahrstreifenbezogene Betrachtung des Fahrverhaltens von LKW und PKW

Für die Untersuchung des Fahrverhaltens der Fahrzeuggruppen im Staufall werden hier zunächst fahrstreifenbezogene Auswertungen durchgeführt. In Abbildung 4-12 wird dabei jene Situation dargestellt, in der für beide Fahrzeuggruppen unterschiedliche Geschwindigkeitsbegrenzungen gelten. Dabei werden getrennt nach Fahrklassen die jeweiligen Geschwindigkeiten im 1-Minuten-Intervall und die zugehörigen, minütlichen Verkehrsstärken bei höchstzulässigen Geschwindigkeiten von 80 km/h bzw. 100 km/h für KFZ>3,5t und 130 km/h für KFZ≤3,5t abgebildet.

Die Auswertungen zeigen dabei unabhängig vom Fahrstreifen einen zeitlich und wertemäßig homogenen LKW- und PKW-Geschwindigkeitsverlauf im Überlastungsfall. Während im Bereich ungestörten Verkehrsflusses konstante Geschwindigkeiten sowohl für den PKW-Verkehr als auch für den LKW-Verkehr zu beobachten und die bekannten Geschwindigkeitsdifferenzen feststellbar sind, verhalten sich die Fahrzeuggruppen ab dem

Zeitpunkt identisch, ab dem sich die mittlere Geschwindigkeiten aller Fahrzeuggruppen im unteren Bereich eingestellt haben. Dies bestätigen auch andere Forschungsergebnisse (z. B. SCHNEIDER E.A. 2009), die feststellen, dass Stau beide Fahrzeuggruppen im selben Ausmaß trifft und sich die Geschwindigkeitswerte im Überlastungsfall fahrklassenunabhängig verhalten.



**Abbildung 4-12: Fahrstreifenbezogene Betrachtung des Fahrverhaltens von LKW und PKW, Messquerschnitt A02\_2\_008,600, fahrstreifenfein, zulässige Höchstgeschwindigkeiten 80 km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,5t) und 100 km/h (KFZ<3,5t), 1-Minuten-Intervalle, 17.06.2011**

Weiters kann anhand der getrennten Darstellung der minütlichen LKW- bzw. PKW-Verkehrsstärken die Verteilung der LKW auf der Fahrbahn gezeigt werden. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass die LKW bei freiem Verkehrsfluss beinahe ausschließlich auf den ersten beiden Fahrstreifen zu beobachten sind. Im Staufall findet man Fahrzeuge der Klasse KFZ>3,5t vereinzelt auch auf den beiden linken Fahrstreifen 3 und 4. Aus KERNER (2004) ist jedoch bekannt, dass in gebundenen Verkehrszuständen die Geschwindigkeiten über alle Fahrstreifen „synchronisiert“ vorliegen und sich für die Detektion von Überlastung somit auch Durchschnittsgeschwindigkeiten über alle Fahrstreifen eignen.

### Fahrbahnbezogene Betrachtung des Fahrverhaltens von LKW und PKW

Da LKW hauptsächlich auf den beiden rechten Fahrstreifen fahren (siehe Abbildung 4-12) und die Reisezeiten aus dem Mautsystem nicht fahrstreifenfein vorliegen, ist von Bedeutung, ob die über alle Fahrstreifen gemittelten Geschwindigkeiten ähnliche Verhältnisse für die beiden Fahrzeuggruppen hervorbringen wie die fahrstreifenbezogene Betrachtungsweise. Aus der Literatur (siehe Kapitel 2.5.1) ist bekannt, dass der Geschwindigkeitsverlauf der einzelnen Fahrstreifen bei Verkehrsüberlastung ähnlich ist und sich Durchschnittsgeschwindigkeiten aller Fahrstreifen grundsätzlich für die Detektion eines Verkehrszusammenbruchs eignen. KESTING&TREIBER (2010) ziehen aufgrund des

homogenen, fahrstreifen- und fahrzeugklassenunabhängigen Geschwindigkeitsverhaltens aggregierte Daten bezüglich der Fahrstreifen und der Fahrklassen für ihre Auswertungen heran. Dies soll nun auch mit Hilfe von Realdaten untersucht werden.

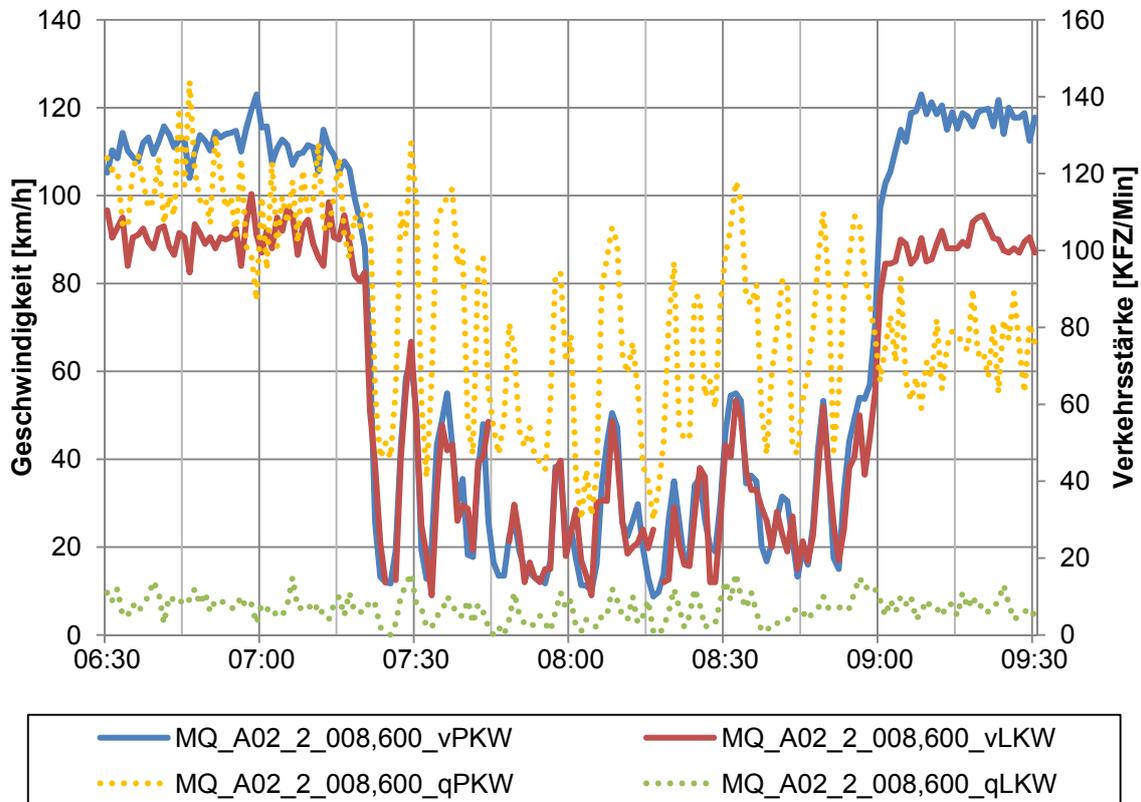


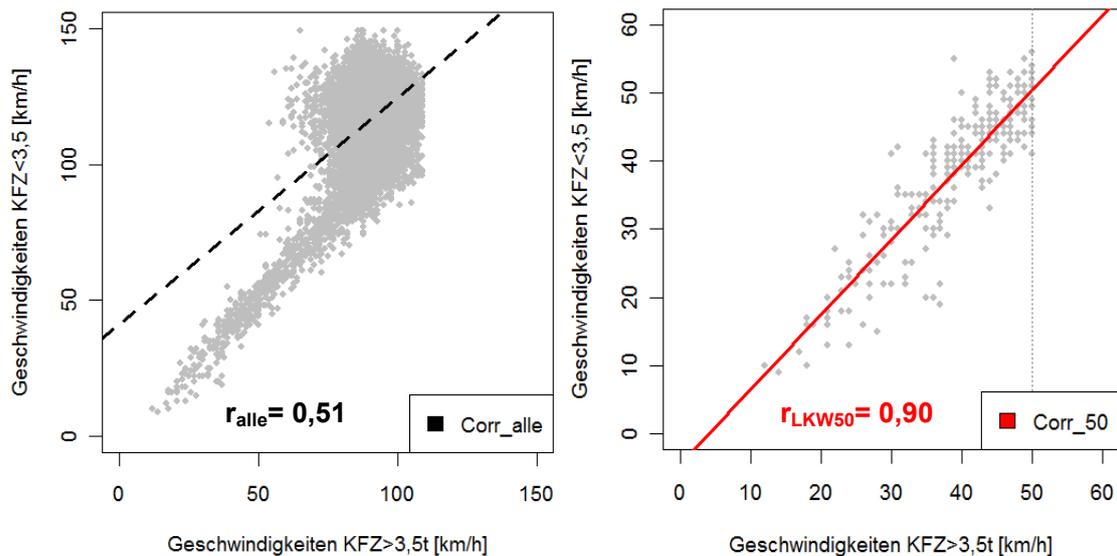
Abbildung 4-13: Homogenes Stauverhalten der Fahrzeuggruppen KFZ>3,5t und KFZ<3,5t, MQ\_A02\_2\_008,600, 4 Fahrstreifen, Durchschnittsgeschwindigkeiten, zulässige Höchstgeschwindigkeiten 80 km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,5t) und 130 km/h (KFZ<3,5t), 17.06.2011

In Abbildung 4-13 werden die mittleren, nicht gewichteten Minutengeschwindigkeiten der vier Fahrstreifen getrennt nach Fahrzeugklassen dargestellt. Durch die Verläufe der beiden Graphen ist sofort zu beobachten, dass sich die Geschwindigkeiten im Überlastungsfall sowohl zeitlich identisch verhalten, als auch wertemäßig vereinigen.

Die Einschätzung, dass LKW den Verkehrsablauf auf Autobahnen im Überlastungsfall unabhängig von den Fahrstreifen aussagekräftig abbilden können und somit die direkt messbaren LKW-Reisezeiten ein geeignetes Mittel zur Beschreibung der Verkehrsqualität darstellen, wird weiters über eine Korrelationsanalyse von PKW- und LKW-Querschnittsdaten beispielhaft am lokalen Messpunkt A02\_2\_007,621 (Abbildung 4-14) überprüft. Die hier nach „Bravais-Pearson“ durchgeführte Korrelationsanalyse untersucht, ob ein linearer Zusammenhang zwischen zwei Variablen X und Y, hier zwischen den Geschwindigkeiten von LKW und PKW besteht und gibt über die normierte Maßzahl, den sogenannten Produktmoment-Korrelationskoeffizient r nach Bravais-Pearson, den Grad dieses an:

Formel 4-1 
$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

- mit
- x ... Geschwindigkeit der KFZ>3,5t (vLKW)
  - y ... Geschwindigkeit der KFZ<3,5t (vPKW)



**Abbildung 4-14: Lineare Korrelationsanalyse (PKW-/ LKW-Geschwindigkeiten, 1-Minuten-Intervalle), Messquerschnitt A02\_2\_007,621, zulässige Höchstgeschwindigkeit 80 km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,5t) und 130 km/h (KFZ<3,5t), Zeitraum: 01.06.2011-31.06.2011**

In Abbildung 4-14 werden zwei Korrelationsgeraden mit  $y=kx+d$  für unterschiedliche Geschwindigkeitsbereiche berechnet. Einerseits werden alle Datenpunkte (Corr\_alle) berücksichtigt, andererseits nur jene Geschwindigkeitswerte herangezogen, bei denen die LKW-Geschwindigkeiten kleiner oder gleich 50 km/h (Corr\_50) sind. Es ist zu beobachten, dass sich mit Einschränkung des Geschwindigkeitsbereichs die Korrelationsgerade in Richtung Nullpunkt entwickelt und der Grad des linearen Zusammenhangs stark zunimmt. Für den Überlastungsbereich unter 50 km/h besteht mit  $r_{LKW,50}=0,90$  bereits ein sehr starker, linearer Zusammenhang zwischen den PKW- und LKW-Geschwindigkeiten. Es kann gezeigt werden, dass sich die beiden Fahrzeugklassen umso ähnlicher verhalten, je geringere Geschwindigkeiten gefahren werden. Dies ist auch plausibel zu erklären, wenn man bedenkt, dass bei niedrigen Geschwindigkeiten aufgrund fehlender Überholmöglichkeiten alle Fahrzeugtypen etwa gleich schnell sein müssten.

Diese Verhältnisse können in Analysen im Rahmen dieser Arbeit systematisch an allen Messquerschnitten beobachtet werden.

Die These, dass LKW aufgrund des fahrzeugklassenunabhängigen Geschwindigkeitsverhaltens im Überlastungsfall repräsentativ das Fahrverhalten des Gesamtverkehrs widerspiegeln, wird aufgrund der Ergebnisse der Auswertungen in dieser Arbeit und der Erkenntnisse aus der Literatur (z. B. SCHNEIDER 2009) als allgemein gültig angenommen. Während für die detaillierte Analyse der Phasenübergänge der Verkehrszustände fahrstreifenbezogene Betrachtungen zweckmäßig sind, werden für die hier gewünschte, netzweite Verkehrsqualitätsbewertung die Durchschnittsgeschwindigkeiten aus allen Fahrstreifen als ausreichend genau erachtet.

### Streckenbezogene LKW-Daten

LKW-Daten liegen am österreichischen hochrangigen Straßennetz dabei nicht nur querschnittsbezogen, sondern auch streckenbezogen in Form von anonymisierten Reisezeiten aus dem Mautsystem vor (siehe 4.1). Die Eignung von streckenbezogenen Daten im Vergleich zu lokalen Daten für die Bewertung des realen Verkehrsablaufs über

einen Abschnitt steht in einschlägiger Literatur (z. B. OFFERMANN 2001, SPANGLER 2009) außer Frage und soll hier mit Hilfe von Probefahrten mit mitgeführtem GPS-Sensor (GPS Lap Timer, BT-Q1000eX) verdeutlicht werden.

Besonders instabile Verkehrszustände, die von lokalen Messungen ab gewissen Distanzen zwischen den Querschnitten unberücksichtigt bleiben können, werden über streckenbezogene Daten (z. B. Reisezeiten) uneingeschränkt erfasst und das Ausmaß richtig wiedergegeben. Als Streckenabschnitt wird das Testfeld A02\_B herangezogen (siehe Abbildung 4-15), in dem sich drei Mautabschnitte befindet und somit die Möglichkeit zur Bestimmung von LKW-Abschnittsreisezeiten gegeben ist.



**Abbildung 4-15: Streckenabschnitt der Probefahrt, Testfeld A02\_2, 4 Fahrstreifen, zulässige Höchstgeschwindigkeiten von 80 km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,57) und 130 km/h (KFZ<3,5), Freitag 09.09.2011**

In diesem Streckenabschnitt werden im Morgenverkehr in Fahrtrichtung Wien fünf Probefahrten durchgeführt, bei denen über den mitgeführten GPS-Sensor die Geschwindigkeit und die zugehörigen GEO-Koordinaten kontinuierlich übermittelt werden. Da direkt gemessene, streckenbezogene Daten in Form von Reisezeiten aus dem Mautsystem nur für LKW vorhanden sind, erfolgen die Fahrten ausschließlich im Pulk von LKW auf den rechten beiden Fahrstreifen, um das Verhalten des LKW-Verkehrs bestmöglich abzubilden.

Bei diesen Auswertungen in Abbildung 4-16 ist die Tatsache zu beachten, dass es sich bei den einzelnen Graphen der fünf Fahrten um Einzelfahrzeugdaten handelt und somit die Schwankungsbreite deutlich höher ausfällt als bei aggregierten Daten. Die Auswertungen der GPS-Daten werden in Abbildung 4-16 dargestellt, die zugehörigen charakteristischen

Punkte des Streckenabschnittes (lokale Messquerschnitte MQ, Mautabbuchungsstationen MA und Auffahrten) angeführt und die Mautabschnitte farbige hinterlegt.

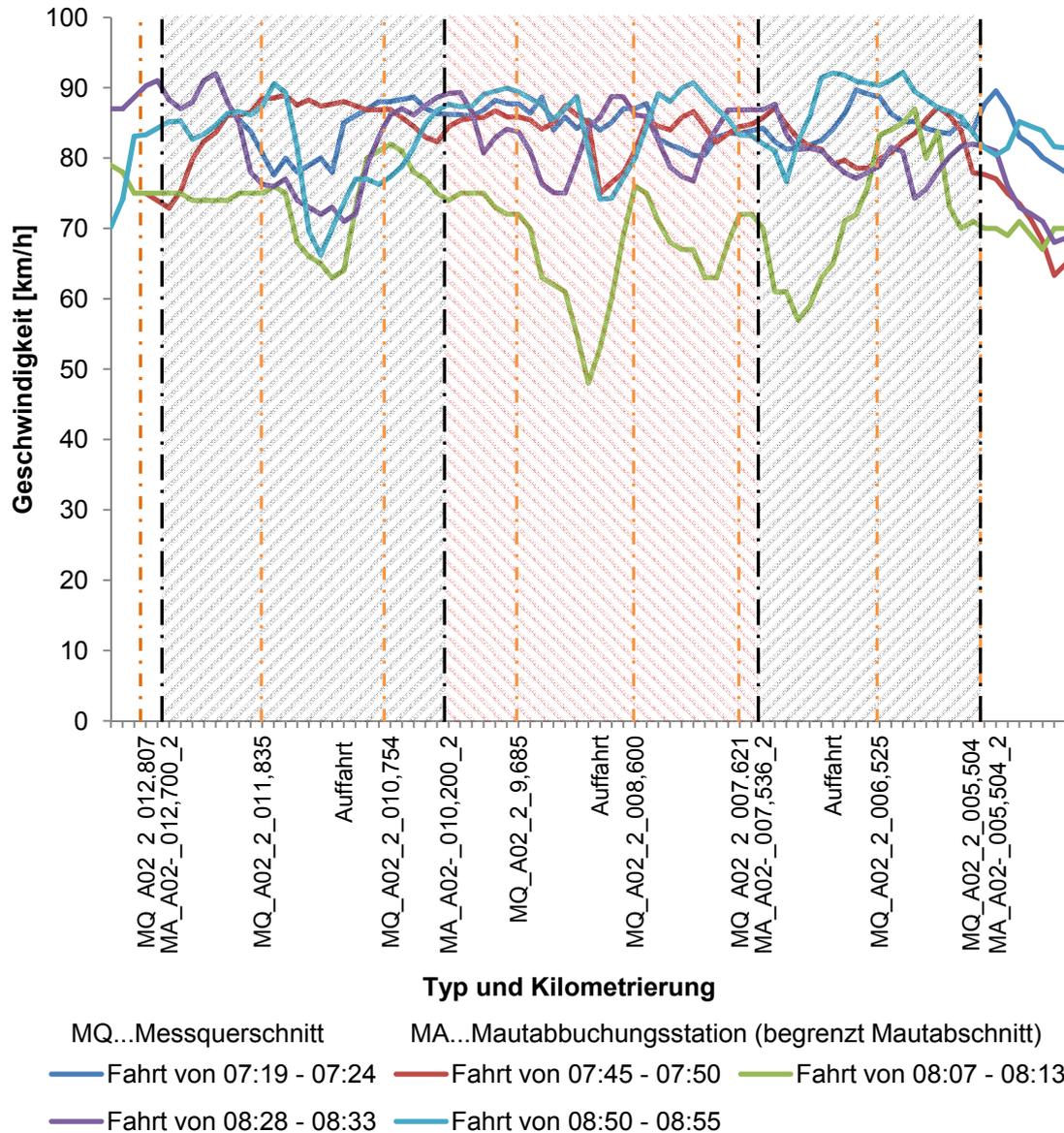


Abbildung 4-16: Fünf Verfolgungsfahrten von LKW mit GPS-Sensor, Testfeld A02-B, Freitag 09.09.2011

Der dynamische Charakter des Verkehrsflusses auf Basis von Einzelfahrzeugdaten zeigt sich in Abbildung 4-16 grundsätzlich für alle fünf Messfahrten. Die Inhomogenität der Geschwindigkeitsverläufe zwischen den Messquerschnitten ist dabei sehr deutlich zu erkennen. Besonders vor Auffahrten gehen die Geschwindigkeiten kurzfristig zurück, erholen sich in diesem Fall aber zumeist bis zum nächsten Messquerschnitt. Zu beachten ist allerdings, dass all diese Fahrten im Großen und Ganzen Reisen bei freiem Verkehrsfluss repräsentieren und der Einfluss dieser Schwankungen auf Kennzahlen zur Bewertung von schwerer Überlastung gering erscheint. Der Fehler, den auch bei freiem Verkehr eine Übertragung der lokalen Geschwindigkeit auf den umliegenden Streckenabschnitt in sich birgt, kann allerdings anhand der Darstellung in Abbildung 4-16 beschrieben werden. Die Messquerschnitte können nur lokale Aussagen treffen und nehmen die an den Messquerschnitten ermittelte Geschwindigkeit für den umliegenden

Streckenabschnitt als konstant an. Es können somit auf Basis von lokalen Messungen Störungen zwischen Erfassungseinrichtungen bei regenerierten Geschwindigkeiten am Querschnitt, ebenso wenig festgehalten, wie auch kurzfristige, lokal detektierte Reduktionen, die keine Auswirkung auf die Abschnittsreisezeiten haben, aber detektiert und möglicherweise überbewertet werden.

Die Fahrt von 08:07 Uhr bis 08:13 zeigt, dass LKW vor Auffahrten reduzierte Geschwindigkeiten fahren. Die Auswirkung auf die Durchschnittsgeschwindigkeit für den 2,7 km langen Abschnitt zwischen den Mautportalen MA\_A02-\_0010,200\_ und MA\_A02-\_007,536\_2 ist allerdings gering. So stellt sich die Durchschnittsgeschwindigkeit aller über den GPS-Sensor gemessenen Werte über den Streckenabschnitt bei 67 km/h ein, während in Höhe von relevanten, lokalen Querschnitten gemessene Geschwindigkeitswerte 82 km/h (MQ\_A02\_2\_010,754), 72km/h (MQ\_A02\_2\_009,685), 76 km/h (MQ\_A02\_2\_008,600) und 72 km/h (MQ\_A02\_2\_007,621) betragen.

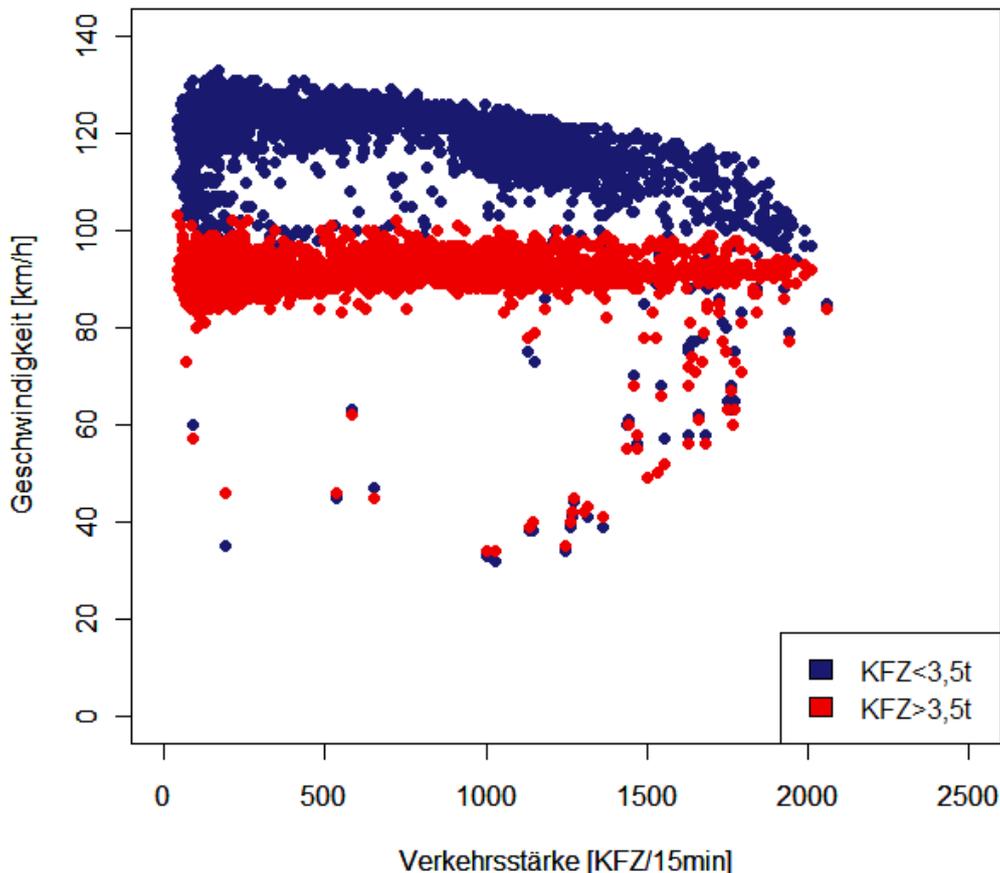
Die Aussagekraft von lokalen Messungen sinkt mit dem Abstand zwischen zwei Messquerschnitten. Daher werden die streckenbezogenen Daten besonders flächendeckend in Bereichen, in denen eine hohe Dichte an lokaler Sensorik wirtschaftlich nicht sinnvoll erscheint, als besonders geeignet erachtet.

#### **4.2.2 Einschränkung bei der Verwendung der LKW-Reisezeiten**

Die in Kapitel 4.2.1 durchgeführten Analysen von LKW-Daten (insbesondere streckenbezogene LKW-Reisezeiten) zur Bewertung der Verkehrsqualität zeigen, dass diese den Verkehrszustand im Überlastungsbereich aussagekräftig beschreiben können. Der obere Geschwindigkeitsbereich (über rund 80-90 km/h) kann allerdings alleine darüber nicht abgebildet werden. Dies kann über ein q-v-Diagramm in Abbildung 4-17 sehr schön verdeutlicht werden.

Dieses zeigt, dass allein mit Hilfe von LKW-Daten (lokal oder streckenbezogen) für den oberen Bereich des Fundamentaldiagrammes, d. h. für Geschwindigkeiten über den für KFZ>3,5t erlaubten Höchstgeschwindigkeiten (80 km/h bzw. 100 km/h), so gut wie keine Aussage über den Verkehrsablauf getroffen werden kann, da bis dorthin keinerlei Beeinträchtigung des LKW-Verkehrsflusses stattfindet.

Dies ist die Folge einer Kapazitätsreduktion, die wie hier in Abbildung 4-17 über hohe Verkehrsnachfragen oder über andere Ursachen wie Fahrstreifenreduktionen, Baustellen, Unfälle usw. erklärt werden kann. Ab einer gewissen Verkehrsstärke (hier um 2000 KFZ/15min) vereinigen sich die Geschwindigkeiten aller Fahrzeuggruppen und pendeln sich in einem Bereich um 90 km/h ein.



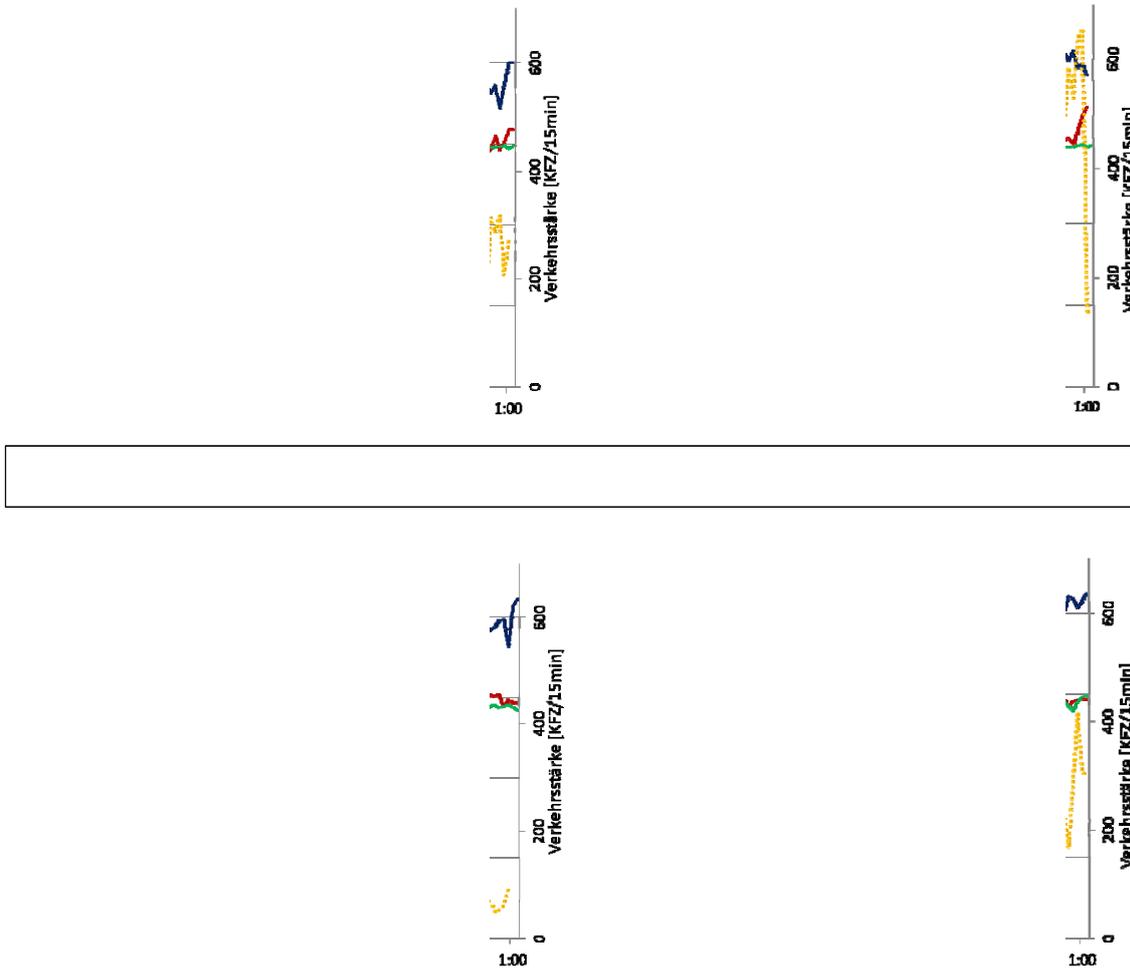
**Abbildung 4-17: Q-v-Diagramm auf Basis von 15-Minuten-Werten, Messquerschnitt A02\_2\_007,621, 4 Fahrstreifen, zulässige Höchstgeschwindigkeiten 80km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,5t) und 130 km/h(KFZ<3,5t), Zeitraum 01.06. 2011-01.07.2011**

Der Bereich von reduziert gefahrenen PKW-Geschwindigkeiten von 130 km/h bis auf 80 km/h - 90 km/h, der für den PKW-Verkehr bereits als Einschränkung der Qualität des Verkehrsablaufes gewertet werden könnte, kann auf Basis von LKW-Daten daher nicht erfasst werden.

Dies soll über einen Linienplot für Daten des Streckenabschnitts „Testfeld A01\_1“ (FR Salzburg) in einem Zeitraum ohne schwere Überlastungserscheinungen verdeutlicht werden. Es werden für die vorliegenden Querschnitte des Testfeldes die mittleren, nicht gewichteten, lokalen PKW- bzw. LKW-Richtungsfahrbahngeschwindigkeiten zu 15-Minuten-Intervalle aggregiert, die lokalen Gesamtverkehrsstärken in 15-Minuten-Intervallen [KFZ/15min], sowie die aus den Reisezeiten ermittelten LKW-Reisegeschwindigkeiten abgebildet.

Für den Vergleich mit lokalen Geschwindigkeiten an einem Querschnitt können streckenbezogene Abschnittsgeschwindigkeiten über die Kenntnis der Abschnittslängen aus den LKW-Abschnittsreisezeiten (Aggregationsintervall von 15-Minuten) berechnet werden. Diese werden wiederum mit den lokal erfassten (aggregierten) 15-Minuten-Geschwindigkeiten an einem Messquerschnitt verglichen. Die Umrechnung der LKW-Reisezeiten erfolgt dabei auf zwei Arten. Liegt bei einem Messquerschnitt nur ein angrenzender Mautabschnitt vor, so kann nur dieser zur Berechnung der Vergleichsgeschwindigkeiten herangezogen werden. Stehen bei einem Messquerschnitt auf beiden Seiten umschließende Mautabschnitte zur Verfügung, werden für den lokalen Vergleich am Messquerschnitt diese beiden verwendet, indem die beiden

Abschnittslängen addiert und durch die Summe der beiden Abschnittsreisezeiten dividiert werden.



**Abbildung 4-18: Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe, Messquerschnitte Testfeld A01\_1, 2 Fahrstreifen, zulässige Höchstgeschwindigkeiten 80 km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,5t) und 130 km/h (KFZ<3,5t), 21.10.2010**

Aus Abbildung 4-18 ist ersichtlich, dass sich bei ungestörtem Verkehrsablauf die LKW-Geschwindigkeiten (vLKW, vLKW\_Maut) in dem betrachteten Zeitraum bei rund 90km/h einstellen. Das bedeutet, dass bis zu dieser Geschwindigkeit der Verkehrsfluss mit Hilfe der LKW-Reisezeiten aus dem Mautsystem beschrieben werden kann. Die Schwankungen der lokalen LKW-Geschwindigkeiten (vLKW) werden durch die streckenbezogenen LKW-Geschwindigkeiten geglättet. Da die Spitzen jeweils an nur einem der Messquerschnitte auftreten, ist hier von natürlichen, verkehrsdynamischen Schwankungen im freien Verkehrsfluss auszugehen.

Über den Geschwindigkeitsbereich ab 80-90km/h ist mittels der LKW-Daten jedoch keinerlei Aussage möglich. Bei lokalen Einbrüchen der PKW-Geschwindigkeit auf knapp unter 100 km/h reagiert der Graph der Streckengeschwindigkeit aus den LKW-Reisezeiten überhaupt nicht.

Neben der angesprochenen Einschränkung für den Bereich über 80 km/h, müssen allerdings noch weitere Faktoren berücksichtigt werden, die bei einer Beurteilung über die LKW-Reisezeiten aus dem Mautsystem noch beachtet werden müssen:

- Die Güte der Bewertung auf Basis der LKW-Reisezeiten steigt mit der Anzahl an LKW in den einzelnen Abschnitten. An Wochenenden und Feiertagen ist daher ein Monitoring über LKW-Reisezeiten nur bedingt möglich, da nur wenige mautpflichtige LKW im Streckennetz unterwegs sind.
- In einigen wenigen Abschnitten können die topologischen Rahmenbedingungen nur bedingt in der Berechnung bereinigt werden: z. B. Abschnitte mit erhöhter bzw. verringerter Reisezeit aufgrund überdurchschnittlicher Steigung bzw. überdurchschnittlichen Gefälles (z. B. A13 Brenner Autobahn).

#### **4.3 Bewertung der Verkehrsqualität auf Basis von Querschnittsdaten**

In Kapitel 4.1 zur Datenverfügbarkeit im österreichischen A&S-Netz werden neben den streckenbezogenen Daten (LKW-Reisezeiten) auch querschnittsbezogene Daten zur Bewertung der Verkehrsqualität vorgestellt. Wie bereits in Kapitel 2 besprochen und geklärt, baut ein aussagekräftiges System zur Bewertung der Verkehrsqualität auf einer realen Beschreibung des Verkehrsflusses auf. Daher gelten streckenbezogene Daten und hier insbesondere die Reisezeit als die zentralen Kriterien für hochwertige Beurteilungskonzepte. Dies wiederum führt dazu, dass sich Querschnittsdaten nur dann als Datengrundlage eignen, wenn diese genau und aussagekräftig über Modellierungs- und Interpolationsverfahren streckenbezogene Daten schätzen können. Aus anderen Forschungsarbeiten (z. B. TREIBER&KESTING 2010) ist bekannt, dass in gut detektierten Gebieten eine realgetreue Rekonstruktion des Verkehrsablaufs gut möglich ist.

Den einfachsten Fall stellen die bereits unter Kapitel 2.5.4 vorgestellten Querschnittsverfahren dar, bei denen ein isoliert betrachteter Querschnitt das umliegende Gebiet repräsentiert. Eine Verbesserung dieser Aussagekraft kann unter Berücksichtigung mehrerer Messquerschnitte erreicht werden, indem in sogenannten Abschnittsverfahren der Bereich zwischen zwei Sensoren über Interpolationsmethoden beschrieben wird.

Voraussetzung für die brauchbare Anwendung von Querschnitts- und Abschnittsverfahren ist eine ausreichend dichte, gute lokale Detektion. Die Güte der Verkehrsqualitätsbewertung aus lokaler Messeinrichtung hängt direkt mit der Qualität der Datenerfassung, d. h. mit dem Abstand der Messquerschnitte zueinander zusammen. In schlecht detektierten Bereichen kann deshalb auf Basis von Querschnittsdaten der Streckenabschnitt zwischen zwei Messquerschnitten überhaupt nicht mehr repräsentativ abgebildet werden, da sich dort das Gebiet auch über Interpolationsverfahren als nicht mehr abschätzbar einstellt. Aus der Literatur und der Expertenbefragung im Zuge des internationalen Benchmarkings ist bekannt, dass die Abschätzung nicht detektierter Bereiche zwischen Messquerschnitten aus lokalen Kenngrößen über Interpolationsverfahren oder aber auch über Verkehrsflussmodelle nur dort sinnvoll und möglich ist, in denen die Dichte zwischen zwei Messquerschnitten bei maximal drei Kilometern liegt (vgl. Vogel 2010). Auch aus dem Benchmarking mit anderen Betreibern ist zu sehen, dass Streckenabschnitte mit Abständen von maximal 3,5 km zur Bewertung mit lokaler Messsensorik herangezogen werden (siehe Kapitel 3). Diese Dimensionen sind im österreichischen A&S-Netz flächendeckend aufgrund vieler auch oftmals schwach frequentierter Netzbereiche wirtschaftlich nicht vorstellbar, in Bereichen mit hohem Verkehrsaufkommen aber bereits in dieser Größenordnung vorhanden (Ballungsräume, VBA-Bereiche, Testfelder A02\_A, A02\_B).

Im Folgenden werden zuerst q-v-Diagramme für die relevanten Querschnitte des Testfeldes A02\_2\_B für den Monat Juni 2010 erstellt (Kapitel 4.3.1), von denen anschließend aus den lokalen Geschwindigkeiten Streckengeschwindigkeiten geschätzt werden. Diese sind zum Vergleich der Aussagekraft und zum Zweck einer detaillierten Analyse gemeinsam mit den direkt gemessenen, streckenbezogenen Größen aus den LKW-Reisezeiten in Linienplots dargestellt (Kapitel 4.3.2). Die Erkenntnisse finden abschließend in Kapitel 4.3.3 und 4.3.4 Berücksichtigung, in denen die Streckengeschwindigkeiten für einen Streckenabschnitt generiert werden und eine Übersichtskarte erstellt wird, aus der die querschnittsbezogene Datenerfassungsqualität, d. h. die Dichte der lokalen Messsensorik, im österreichischen A&S-Netz hervorgeht.

#### 4.3.1 Analysen anhand von q-v-Diagrammen

Für die Prüfung der Tauglichkeit von Querschnittsdaten zur Bewertung der Verkehrsqualität eignet sich besonders das Referenzgebiet der A02 und hier das Testfeld A02\_2\_B, für das über die VBA-Sensorik eine sehr hohe Dichte an lokalen Messungen zur Verfügung steht.

An dieser Stelle sollen nun für die relevanten Querschnitte des Testfeldes A02\_2\_B (FR Wien) über die gesamte Zeitspanne (Juni 2011) q-v-Diagramme erzeugt werden, in denen die stündlichen Verkehrsstärken und die nicht gewichteten PKW- und LKW-Durchschnittsgeschwindigkeiten im Stundenintervall dargestellt sind. Einerseits kann damit gezeigt werden, in welchen Bereichen die über alle Fahrstreifen gemittelten Geschwindigkeiten in diesem Zeitraum liegen (Anzahl der Einbrüche etc.), andererseits soll überprüft werden, wie und in welchem Bereich sich PKW- und LKW-Geschwindigkeiten wertemäßig vereinen.

Die Auswertungen zu den sechs Messquerschnitten in Abbildung 4-19 zeigen bezüglich der mittleren, stündlichen Geschwindigkeiten und den erreichbaren Verkehrsstärken ein sehr einheitliches Bild. Es werden an allen lokalen Querschnitten mit vier Fahrstreifen Kapazitäten von bis zu 8000 KFZ/h erreicht. Ab 4000 KFZ/h beginnt die PKW-Geschwindigkeit abzufallen, die mittlere, stündliche LKW-Geschwindigkeit bleibt dabei noch unberührt. Die durchschnittlichen Geschwindigkeiten der Gruppe KFZ>3,5t bei freiem Verkehrsfluss pendeln sich bei 90 km/h ein. Mit der Nähe zum Ballungsraum Wien (kleiner werdende Kilometrierung), nimmt die Anzahl der Geschwindigkeitseinbrüche auf Basis von mittleren Stundenwerten zu.

Auch die q-v-Diagramme der unter Abbildung 4-20 dargestellten Messquerschnitte zeigen ähnliche Verhältnisse, wobei die Zahl an Geschwindigkeitseinbrüchen mit kleiner werdender Kilometrierung der Querschnitte weiter deutlich größer wird. Die wertemäßigen Unterschiede der Geschwindigkeiten der beiden Fahrzeuggruppen werden bereits im freien Verkehr immer kleiner. Die starke Annäherung der Geschwindigkeiten für die Fahrzeuggruppe KFZ>3,5t und die Fahrzeuggruppe KFZ<3,5t an den Messquerschnitten A02\_2\_005,176 und A02\_2\_003,160 erklärt sich jedoch aufgrund der verringerten, höchstzulässigen Geschwindigkeit von 100 km/h für PKW. Weiters ist zu beachten, dass an Messquerschnitt A02\_2\_003,160 eine Verringerung der Fahrstreifen von vier auf zwei zu einer Reduktion der Kapazitäten auf rund 4000 KFZ/h führt. An allen Messquerschnitten können die unter 4.2 nachgewiesenen Verhältnisse beobachtet werden, dass sich LKW- und PKW-Geschwindigkeiten im Überlastungsfall in gleichen Bereichen bewegen.

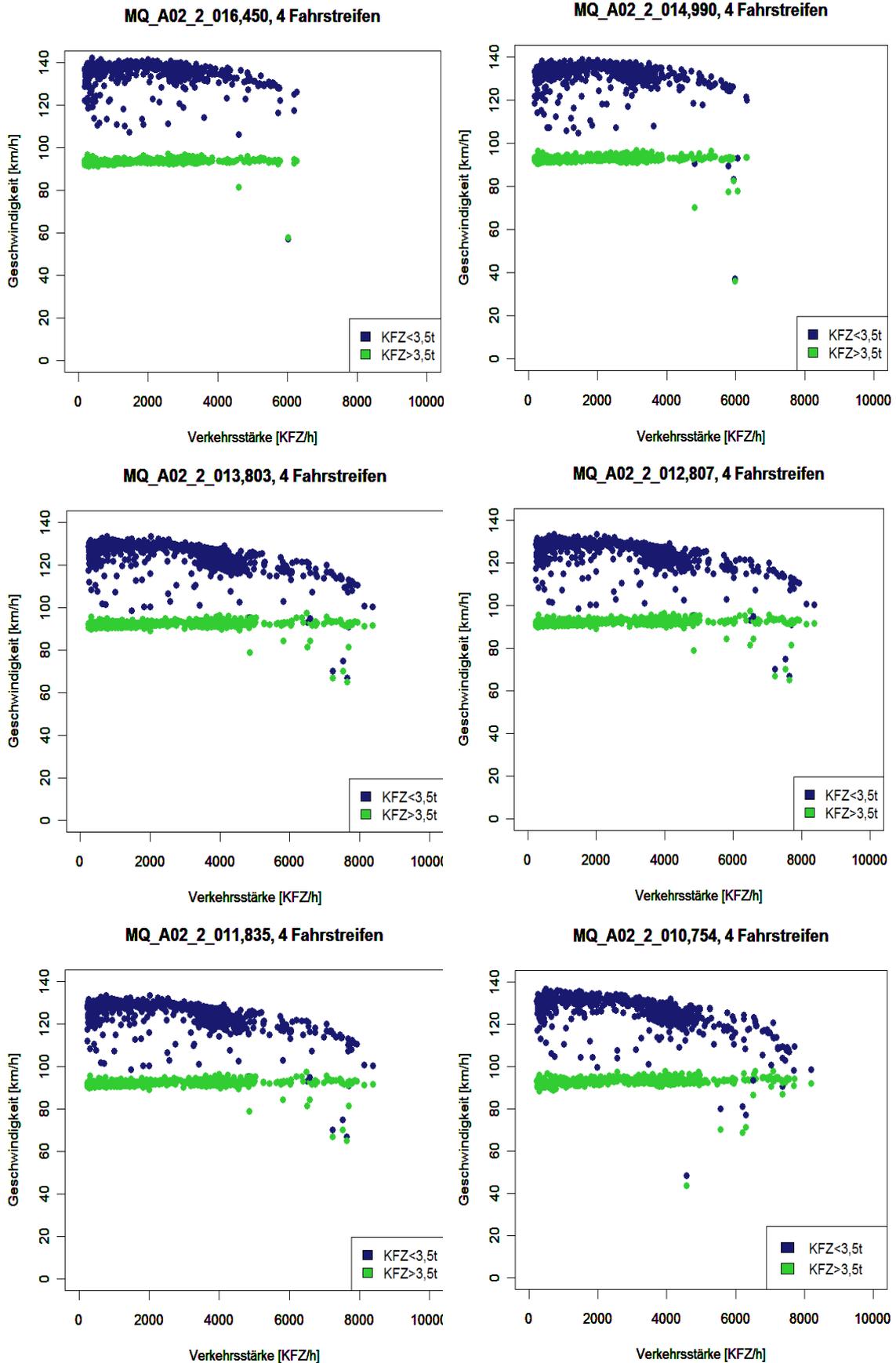


Abbildung 4-19: q-v-Diagramme Messquerschnitt A02\_2\_016,350 bis Messquerschnitt A02\_2\_010,754 in Fahrtrichtung Wien

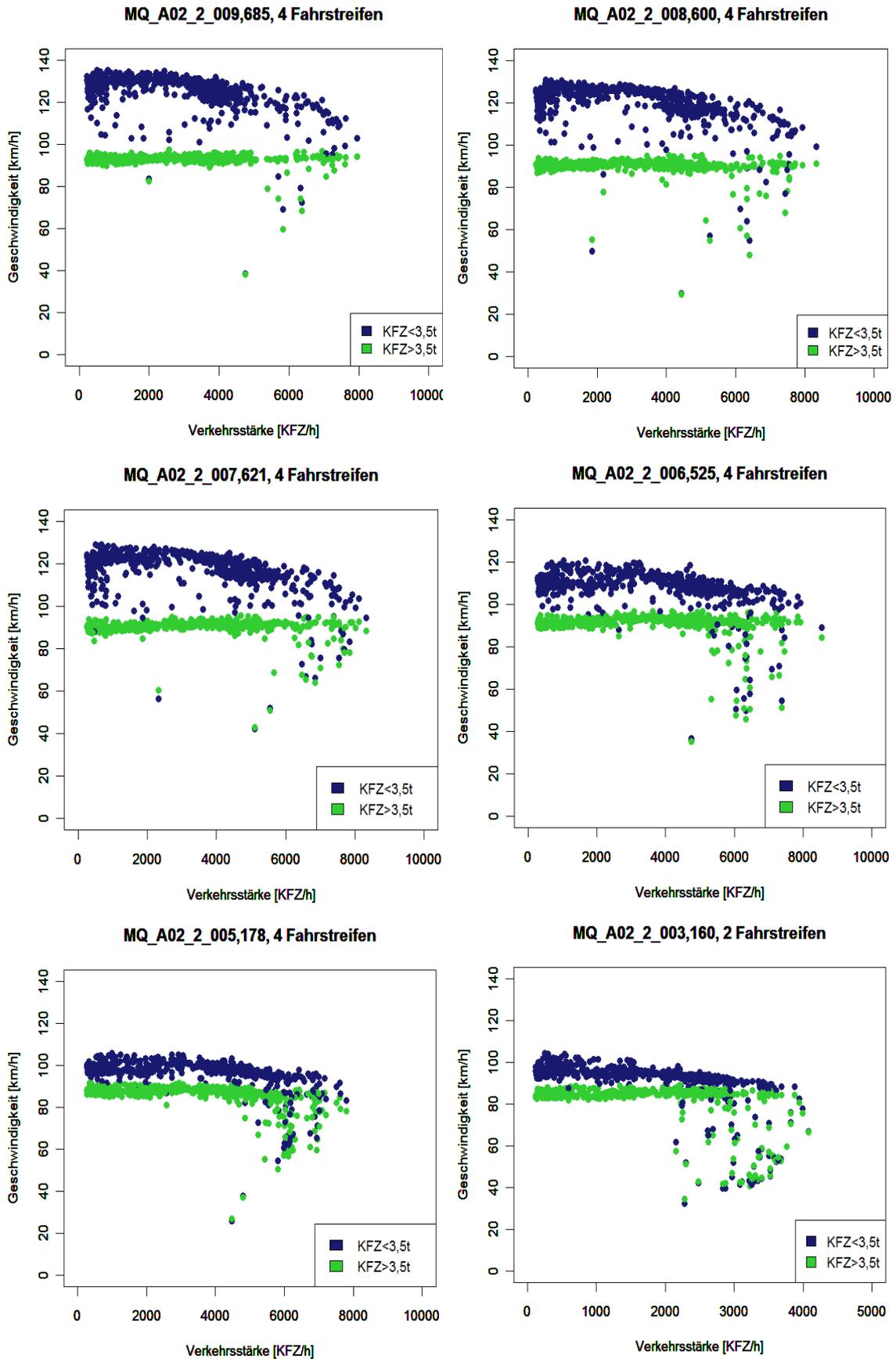


Abbildung 4-20: q-v-Diagramme ab Messquerschnitt A02\_2\_009,685 bis Messquerschnitt A02\_2\_005,176 in Fahrtrichtung Wien

### 4.3.2 Analysen anhand von Linienplots

In dieser Arbeit durchgeführte Analysen (Kapitel 4.2) bestätigen die bereits untersuchte Annahme (z. B. in SCHNEIDER 2009), dass Verkehrsverzögerungen und Staus PKW und LKW gleichermaßen treffen und mittels der direkt messbaren LKW-Reisezeiten aus dem Mautsystem der tatsächliche Verkehrsablauf im Überlastungsbereich gut abgebildet werden kann. Somit können diese LKW-Abschnittsreisezeiten für die Analyse der räumlichen Aussagekraft von Querschnittsdaten als Validierungsgrößen herangezogen werden.

Aus der Literatur ist bekannt, dass sich eine isolierte Betrachtung eines einzelnen Querschnitts nur in bestimmten, besonderen Situationen (sehr lang anhaltende und räumlich ausgedehnte Überlastungssituationen) eignet (siehe Kapitel 2.5.4). Diese Analyse an einem Querschnitt bildet den einfachsten Fall einer Gegenüberstellung von querschnitts- und streckenbezogenen Daten ab und nimmt den lokalen Geschwindigkeitswert als repräsentativ für den umliegenden Mautabschnitt an (Querschnittsverfahren). Die Aussagekraft der lokalen Messung wird insbesondere bei Querschnittsverfahren umso größer, je kürzer das zu repräsentierende Streckenstück, d. h. hier der Mautabschnitt ist. In der Literatur (FGSV 1992) werden maximale Abstände von 1km für den Einsatz von Querschnittsverfahren vorgeschlagen. Forschungserkenntnisse (z. B. BOGENBERGER 2003) zeigen allerdings, dass für eine Schätzung des Verkehrsablaufs aus lokalen Daten vielmehr sogenannte Abschnittsverfahren (siehe Kapitel 2.5.4) zweckmäßig sind, bei denen unter Berücksichtigung mehrerer Querschnitte mit Hilfe von Interpolationsverfahren streckenbezogene Daten aus Querschnittsdaten generiert werden (bis zu maximal 3 km Sensorabstand; siehe dazu z. B. KESTING&TREIBER 2010). Dabei sind die Anforderungen an die Interpolationsmethoden umso geringer, je geringer die Distanzen innerhalb der maximal 3 km zwischen den Querschnitten in einem Bereich sind.

Für die Prüfung der Aussagekraft von Querschnittsdaten eignet sich insbesondere das Testgebiet A02\_2\_B (Südautobahn, Fahrtrichtung Wien) mit Distanzen von maximal rund 2km in diesem Bereich (siehe Kapitel 4.1.3.1). Hier erfolgt nun eine Analyse der lokalen Geschwindigkeiten anhand von Linienplots auf Abschnittsebene, indem zu Beginn jedem Messquerschnitt in einem Mautabschnitt die streckenbezogene Geschwindigkeit aus den LKW-Abschnittsreisezeiten gegenübergestellt wird. Anschließend werden alle lokalen Daten eines Mautabschnitts gemeinsam betrachtet.

Aufgrund einer sehr guten Datenerfassung im gewählten Testfeld wurde für die nachfolgend dargestellten Beispiele als einfaches Interpolationsverfahren das gewichtete, harmonische Mittel gewählt. Jedem lokal gemessenen Geschwindigkeitswert wird ein Einflussbereich für ein fiktives Segment zugesprochen, für das dieser als repräsentativ und räumlich gültig angenommen wird. Die Länge dieser fiktiven Segmente ergibt sich durch die jeweiligen Distanzen der Querschnitte untereinander bzw. zu den Mautportalen. Jedem lokalen Querschnitt wird demnach beidseitig die Hälfte der Strecken zwischen zwei Messquerschnitten als Einflussbereich zugeordnet. Dieser kann durch Abschnittsgrenzen verkürzt werden (siehe Abbildung 4-21).

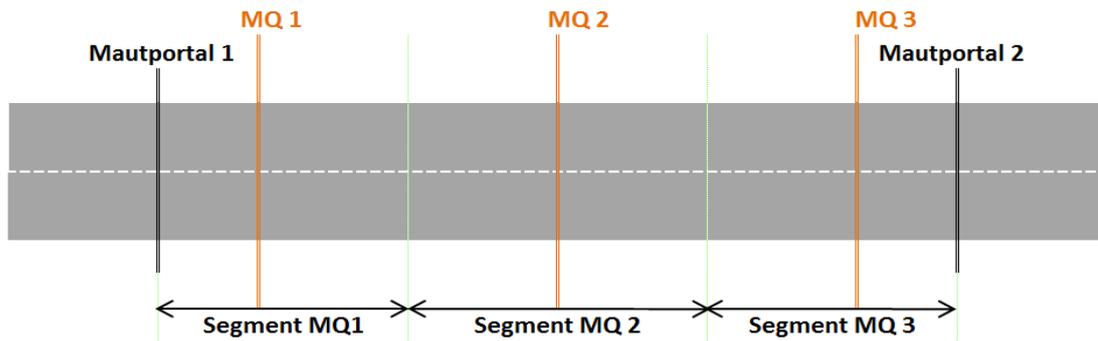


Abbildung 4-21: Einteilung in Einflussbereichssegmente

Querschnitte, die räumlich knapp außerhalb eines Mautabschnitts liegen, finden bei der Mittelwertbildung Berücksichtigung. Die Durchschnittsgeschwindigkeit ergibt sich somit für einen Mautabschnitt über das mit den jeweiligen Segmentlängen gewichtete, harmonische Mittel der Segmentgeschwindigkeiten:

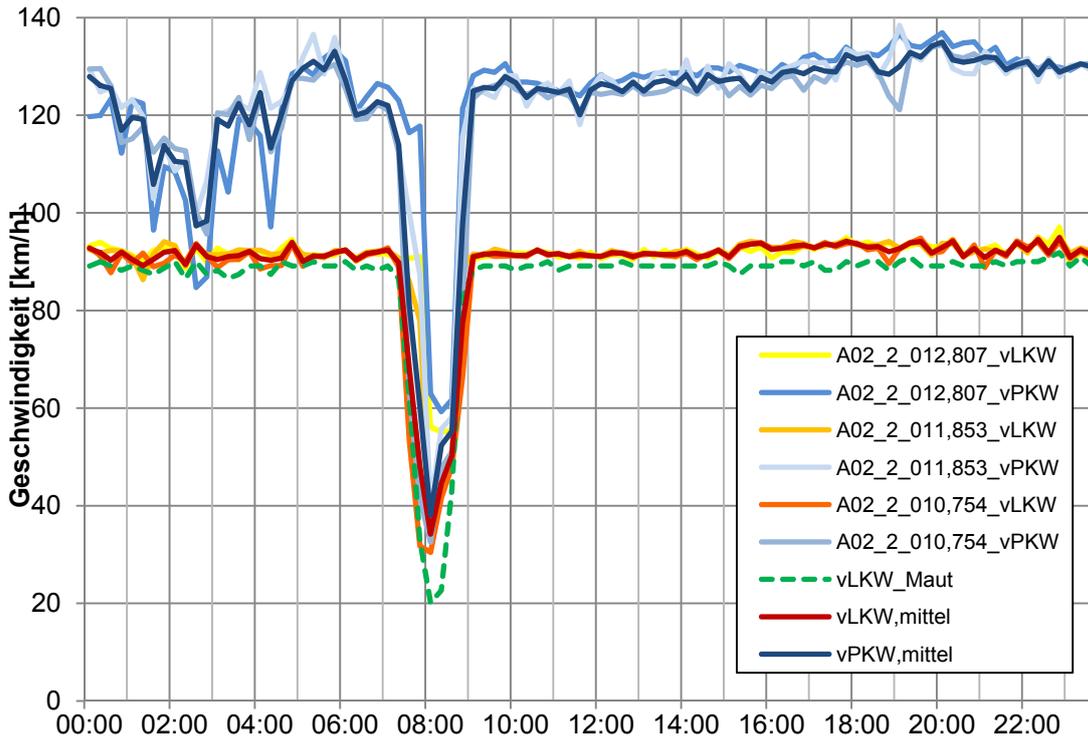
Formel 4-2 
$$\bar{v}_{KFZ, str, lok, 15} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{\sum_{i=1}^n \frac{s_i}{v_{lok, 15, i}}}$$

- mit
- $\bar{v}_{KFZ, str, lok, 15}$  ... streckenbezogene Abschnittsgeschwindigkeit aus Querschnittsdaten im 15-Minuten-Intervall [km/h]
  - $s_i$  ... Länge der Einflussbereichssegmente [km]
  - $v_{lok, 15}$  ... lokale Geschwindigkeit im 15-Minuten-Intervall [km/h]

In den Liniendiagrammen werden die über die Fahrstreifen aggregierten 15-Minuten-Intervalle der lokalen LKW- und PKW-Geschwindigkeiten dargestellt, und den streckenbezogenen Geschwindigkeiten aus den LKW-Abschnittsreisezeiten aus dem Mautsystem gegenübergestellt.

#### 4.3.2.1 Mautabschnitt: A02-\_012,700\_2 - A02-\_010,200\_2

In diesem Mautabschnitt befinden sich die zwei Messquerschnitte A02\_2\_011,853 und A02\_2\_010,754. Ein weiterer Sensor A02\_2\_012,807 ist knapp außerhalb angebracht und wird hier mitberücksichtigt. Es werden jeweils die Verläufe der lokal gemessenen Geschwindigkeiten für LKW und PKW getrennt zu 15-Minuten-Intervallen aggregiert, sowie der Graph des gewichteten, harmonischen Mittels daraus dargestellt ( $v_{LKW, mittel}$ ;  $v_{PKW, mittel}$ ). Diese werden dem Verlauf der über die LKW-Abschnittsreisezeiten berechenbaren Geschwindigkeiten ( $v_{LKW\_Maut}$ ) gegenübergestellt (siehe Abbildung 4-22 u. Abbildung 4-23).

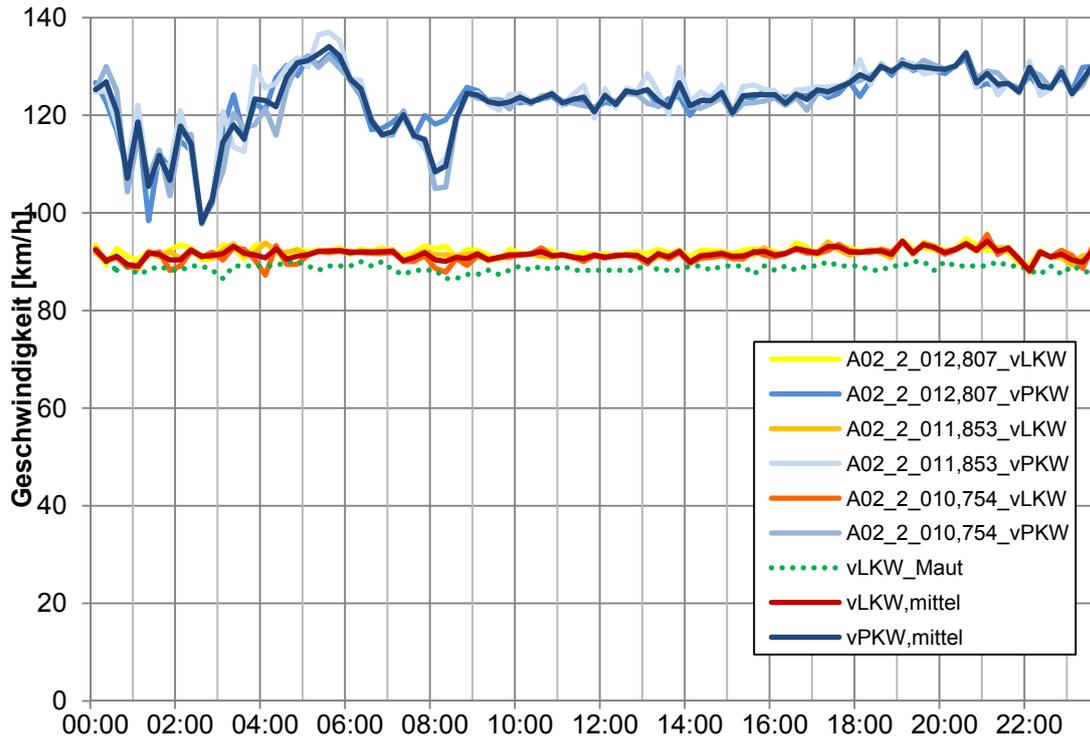


**Abbildung 4-22: Abschnittsbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe bei gestörtem Verkehrsfluss: Abschnitt A02\_012,700 - A02\_010,200\_2, zulässige Höchstgeschwindigkeiten 80 km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,5t) und 130 km/h (KFZ<3,5t), 17.06.2011**

Auf den ersten Blick ist ersichtlich, dass der Trend aller lokal erfassten Geschwindigkeitsverläufe (Einzelgeschwindigkeiten, gemittelte Geschwindigkeiten) im Überlastungsfall jenem der streckenbezogenen Geschwindigkeiten aus den LKW-Reisezeiten (vLKW\_Maut) entspricht. Die Zunahme sowie der Abfall der Geschwindigkeit werden vor allem zeitlich sehr gut erfasst.

Auffallend ist dabei allerdings eine konstante wertemäßige Überschätzung der lokalen Geschwindigkeit, sowohl bei freiem Verkehrsfluss als auch im Überlastungsfall. Die Abweichungen zwischen den lokalen und streckenbezogenen Geschwindigkeitswerten betragen im Überlastungsfall maximal 49 % und durchschnittlich über den dargestellten Tag (01.06.2011) rund 4 %. Im Überlastungsfall bestätigen sich somit andere Forschungsergebnisse (z. B. OFFERMANN 2001), bei denen eine konstante Überschätzung der lokal ermittelten Werte in Überlastungssituationen festzustellen war. Kein einzelner Geschwindigkeitswert fällt auf das Niveau der direkt gemessenen Geschwindigkeit aus den LKW-Reisezeiten ab, somit kann die Situation auch über das gewichtete, harmonische Mittel nicht verbessert beschrieben werden.

Bei ungestörtem Verkehrsablauf ist grundsätzlich davon auszugehen, dass lokale Geschwindigkeiten in etwa den streckenbezogenen Geschwindigkeiten entsprechen (siehe Kenngröße „Streckengeschwindigkeit“, Kapitel 2.6.2). Die Untersuchungen für den Mautabschnitt A02\_012,700\_2 - A02\_010,200\_2 zeigen allerdings auch für den freien Verkehrsfluss eine systematische Überschätzung der Geschwindigkeiten in diesem Mautabschnitt (siehe Abbildung 4-23). Im Maximalfall wird die lokale Geschwindigkeit um 6 % höher geschätzt; durchschnittlich über den Tag um rund 3 %.

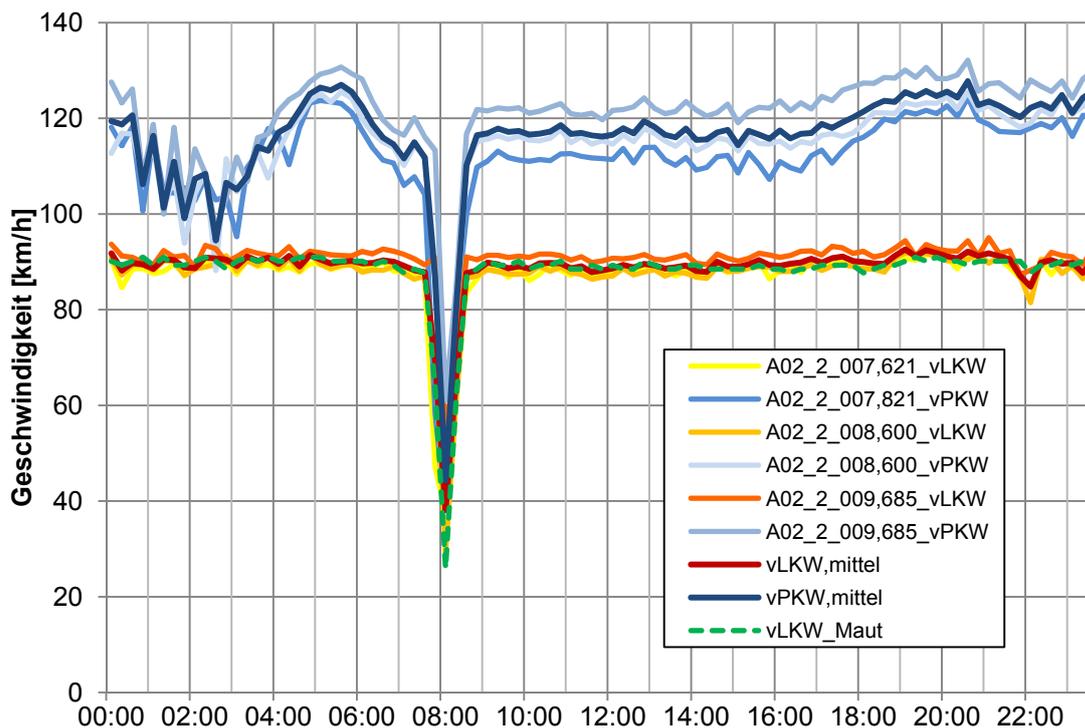


**Abbildung 4-23: Abschnittbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe bei annähernd freiem Verkehrsfluss: Abschnitt A02-\_012,700 - A02-\_010,200\_2, zulässige Höchstgeschwindigkeiten 80 km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,5t) und 130 km/h (KFZ<3,5t), 01.06.2011**

Für den Mautabschnitt A02-\_012,700\_2 - A02-\_010,200\_2 kann somit festgehalten werden, dass die lokalen Sensoren in diesem Bereich bereits im freien Verkehr zu jeder Zeit leicht höhere Geschwindigkeiten messen. Die Rekonstruktion einer realen Verkehrslage im Überlastungsfall wird zeitlich aussagekräftig wiedergegeben.

#### 4.3.2.2 Mautabschnitt: A02-\_010,200\_2 - A02-\_007,536\_2

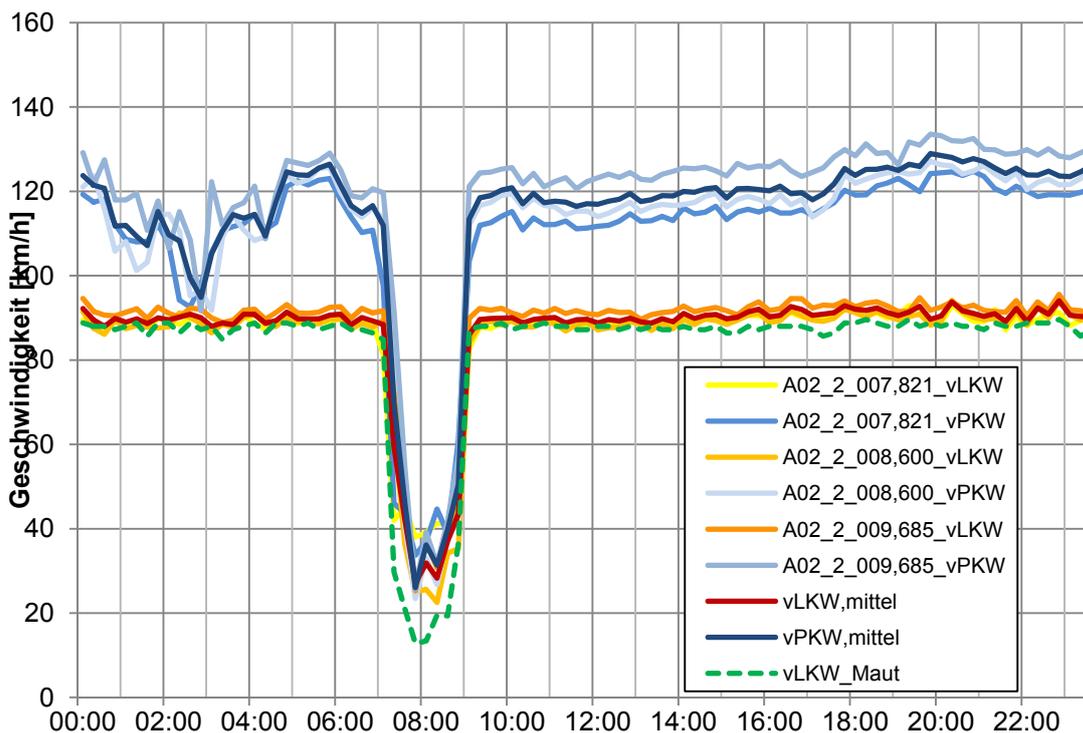
In diesem Mautabschnitt befinden sich die drei lokalen Messquerschnitte A02\_2\_9,685, A02\_2\_008,600 und A02\_2\_007,621. Es werden jeweils die Verläufe der drei lokalen Geschwindigkeiten für LKW und PKW getrennt zu 15-Minuten-Intervallen aggregiert, sowie der Graph des gewichteten, harmonischen Mittels daraus dargestellt (vLKW,mittel; vPKW,mittel). Diese werden dem Verlauf der direkt über die LKW-Abschnittsreisezeiten aus dem Mautsystem ermittelten Geschwindigkeiten (vLKW\_Maut) gegenübergestellt (Abbildung 4-24 u. Abbildung 4-25).



**Abbildung 4-24: Abschnittsbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe bei gestörtem Verkehrsfluss: Abschnitt A02-010,200\_2 - A02-007,536\_2, zulässige Höchstgeschwindigkeiten 80 km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,5t) und 130 km/h (KFZ<3,5t), 01.06.2011**

In Abbildung 4-24 stimmen für den dargestellten Mautabschnitt die lokal erfassten Geschwindigkeiten aller Einzelmessquerschnitte sowie die gemittelten Geschwindigkeiten sowohl bei freiem Verkehrsfluss als auch im Überlastungsfall sehr gut mit den streckenbezogenen Geschwindigkeiten aus den LKW-Reisezeiten (vLKW\_Maut) überein. Die Zunahme sowie der Abfall der Geschwindigkeit werden zeitlich und wertemäßig (von den lokalen LKW-Geschwindigkeiten) sehr gut erfasst. Die Abweichungen zwischen den lokal ermittelten (vLKW,mittel) und den streckenbezogenen Geschwindigkeiten (vLKW\_Maut) ergeben sich im Maximalfall zu 6 % und durchschnittlich über den betrachteten Tag (01.06.2011) zu 0,3 %. Am repräsentativsten kann der streckenbezogene Geschwindigkeitsverlauf im äußersten Überlastungsfall über die lokalen Messungen am Messquerschnitt A02\_2\_008,600 beschrieben werden. Eine geringe, systematische Überschätzung der lokalen Geschwindigkeit ist allerdings auch hier festzuhalten.

Ähnliche Verhältnisse können in Abbildung 4-25 für den gleichen Mautabschnitt an einem anderen Tag (17.06.2011) beobachtet werden. Die lokal gemessenen Geschwindigkeitswerte sind stets größer als die über die Strecke direkt ermittelten Größen. Zeitlich stimmen alle Verläufe sehr gut überein, wertemäßig unterscheiden sich die Geschwindigkeitswerte im Maximalfall um 11 % (v\_LKW,mittel; vLKW\_Maut), durchschnittlich über den betrachteten Tag (17.06.2011) um 0,6 %.

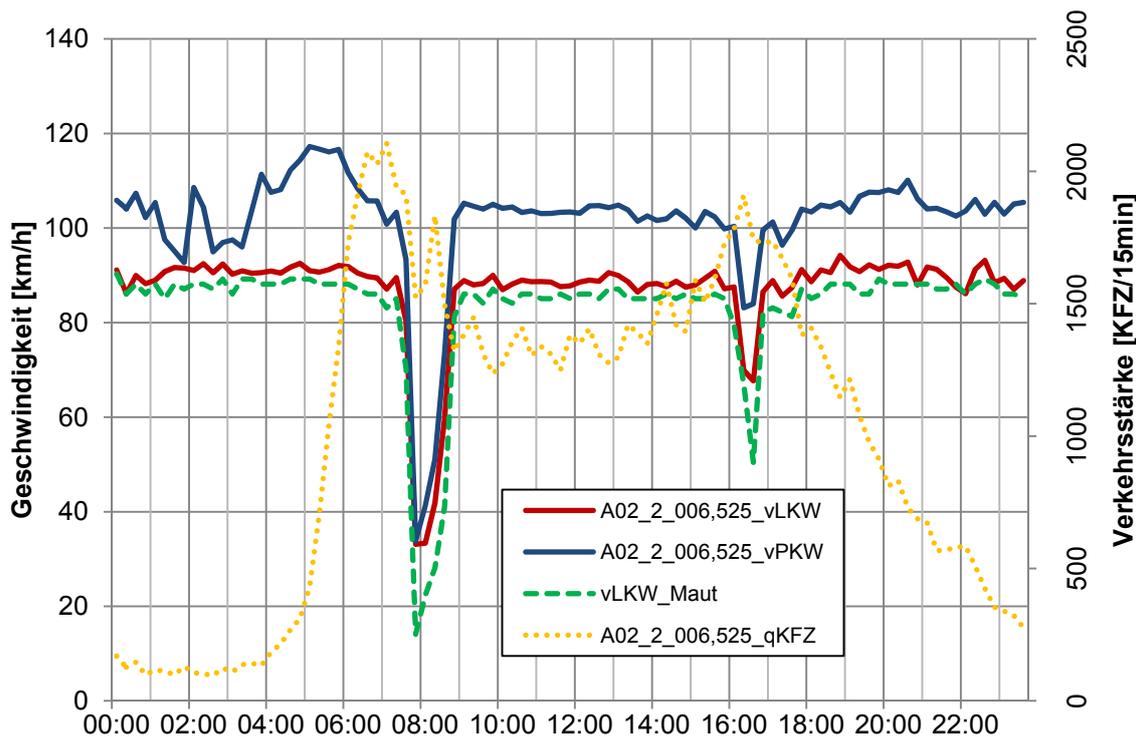


**Abbildung 4-25: Abschnittsbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe bei gestörtem Verkehrsfluss: Abschnitt A02\_010,200\_2 - A02\_007,536\_2, zulässige Höchstgeschwindigkeiten 80 km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,5t) und 130 km/h (KFZ<3,5t), 17.06.2011**

Für den Mautabschnitt A02\_010,200\_2 - A02\_007,536\_2 kann eine bessere Übereinstimmung der lokal erfassten mit den streckenbezogenen Geschwindigkeiten beobachtet werden. Besonders im freien Verkehr decken sich die Graphen der LKW-Geschwindigkeiten. Im Überlastungsfall überschätzen lokale Messungen stets die Geschwindigkeiten in geringem Maße. Die Rekonstruktion einer realen Verkehrslage im Überlastungsfall wird zeitlich aussagekräftig wiedergegeben.

#### 4.3.2.3 Mautabschnitt: A02\_007,536\_2 - A02\_005,504\_2

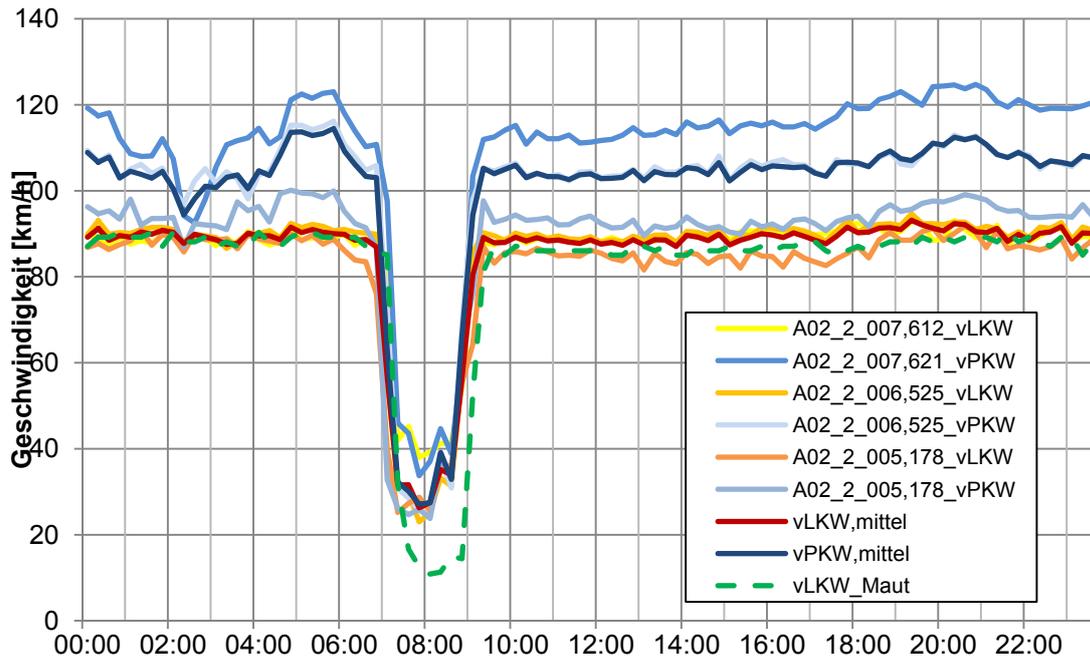
An der Strecke dieses Mautabschnittes ist nur der lokale Sensor A02\_2\_006,525 angebracht. Deshalb werden zu Beginn auch die lokalen Geschwindigkeiten dieses Querschnitts für den Mautabschnitt als repräsentativ angenommen. Anschließend werden im Sinne einer räumlichen Interpolation noch die knapp außerhalb des Abschnittes liegenden Messquerschnitte A02\_2\_007,621 und A02\_2\_005,178 mitberücksichtigt und daraus das gewichtete, harmonische Mittel gebildet. Für alle Auswertungen werden jeweils die Verläufe der beiden lokalen Geschwindigkeiten für LKW und PKW getrennt zu 15-Minuten-Intervallen aggregiert, sowie der Graph des gewichteten, harmonischen Mittels daraus dargestellt (vLKW,mittel; vPKW,mittel). Diese werden dem Verlauf der direkt über die LKW-Abschnittsreisezeiten aus dem Mautsystem ermittelten Geschwindigkeiten (vLKW\_Maut) gegenübergestellt (siehe Abbildung 4-26 und Abbildung 4-27). Für die querschnittsbezogene Betrachtung des Messquerschnittes A02\_2\_006,525 werden weiters die jeweiligen 15-minütigen Verkehrsstärken (qKFZ) aufgetragen (nur Abbildung 4-26).



**Abbildung 4-26: Abschnittsbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe bei gestörtem Verkehrsfluss: Abschnitt A02\_007,536\_2 - A02\_005,504\_2, zulässige Höchstgeschwindigkeiten 80 km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,5t) und 130 km/h (KFZ<3,5t), 01.06.2011**

Bereits bei Geschwindigkeiten, die einem freien Verkehrsfluss zugeordnet werden können, sind konstante Abweichungen zwischen den lokal am Messquerschnitt A02\_2\_006,525 ermittelten und den für den Abschnitt gültigen Streckengeschwindigkeiten zu sehen. Im Überlastungsfall nimmt die lokale Überschätzung der Geschwindigkeit zu. Die Abweichungen zwischen den Geschwindigkeitswerten von lokaler und streckenbezogener LKW-Geschwindigkeit betragen im Überlastungsfall maximal 58 % und durchschnittlich über den dargestellten Tag (01.06.2011) rund 5 %. Zeitlich werden die Einbrüche korrekt erfasst.

Auch die Mitberücksichtigung von knapp außerhalb des Mautabschnittes liegenden Sensoren an einem anderen Tag (17.06.2011) ändert nichts an den Verhältnissen (Abbildung 4-27). Besonders im äußersten Überlastungsfall kommt es zu deutlichen Überschätzungen der Geschwindigkeitswerte auf Basis von lokalen Messungen, maximal zu rund 74 % (durchschnittlich ca. 7 %). Die Zunahme sowie der Abfall der Geschwindigkeit werden zeitlich jedoch korrekt erfasst.



**Abbildung 4-27: Abschnittbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe bei gestörtem Verkehrsfluss: Abschnitt A02\_007,536\_2 - A02\_005,504\_2, zulässige Höchstgeschwindigkeiten 80 km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,5t) und 130 km/h (KFZ<3,5t), 17.06.2011**

Die Auswertungen für den Mautabschnitt A02-\_007,536\_2 - A02-\_005,504\_2 zeigen, dass sowohl basierend auf lokalen Messungen eines Sensors, als auch unter Berücksichtigung mehrerer Querschnitte, die Geschwindigkeiten stets überschätzt werden. Besonders im äußersten Überlastungsfall ist eine Differenz deutlich zu beobachten. Die Rekonstruktion einer realen Verkehrslage in Stausituationen wird zeitlich aussagekräftig wiedergegeben.

#### 4.3.2.4 Mautabschnitt: A02-\_005,504\_2 - A02-\_002,960\_2

In diesem Mautabschnitt befinden sich die zwei Messquerschnitte A02\_2\_005,178 und A02\_2\_003,160. Es werden jeweils die Verläufe der zwei lokal gemessenen Geschwindigkeiten für LKW und PKW getrennt zu 15-Minuten-Intervallen aggregiert, sowie der Graph des gewichteten, harmonischen Mittels daraus dargestellt (vLKW,mittel; vPKW,mittel). Diese werden dem Verlauf der direkt über die LKW-Abschnittsreisezeiten aus dem Mautsystem ermittelten Geschwindigkeiten (vLKW\_Maut) gegenübergestellt (Abbildung 4-28 und Abbildung 4-29). Zu beachten ist, dass an diesen beiden Querschnitten für PKW eine höchstzulässige Geschwindigkeit von 100 km/h bzw. 80 km/h festgesetzt ist.

Für den untersuchten Zeitraum (01.06.2011) in Abbildung 4-28 ergibt sich eine große Streuung der lokalen Geschwindigkeitswerte am Messquerschnitt A02\_2\_005,178. Besonders in sehr geringen Geschwindigkeitsbereichen wird die lokal erfasste Geschwindigkeit deutlich überschätzt (maximal 74 %, durchschnittlich rund 10 %). Bei dem Geschwindigkeitseinbruch um 18:00 Uhr würde eine isolierte Betrachtung des Querschnittes A02\_2-003,160 zu besseren wertemäßigen Ergebnissen bei der Beschreibung des Ausmaßes der Überlastung führen als das gewichtete, harmonische Mittel (vLKW, mittel, vPKW, mittel). Der Zeitpunkt und die Dauer der Überlastung wird sehr genau wiedergegeben.

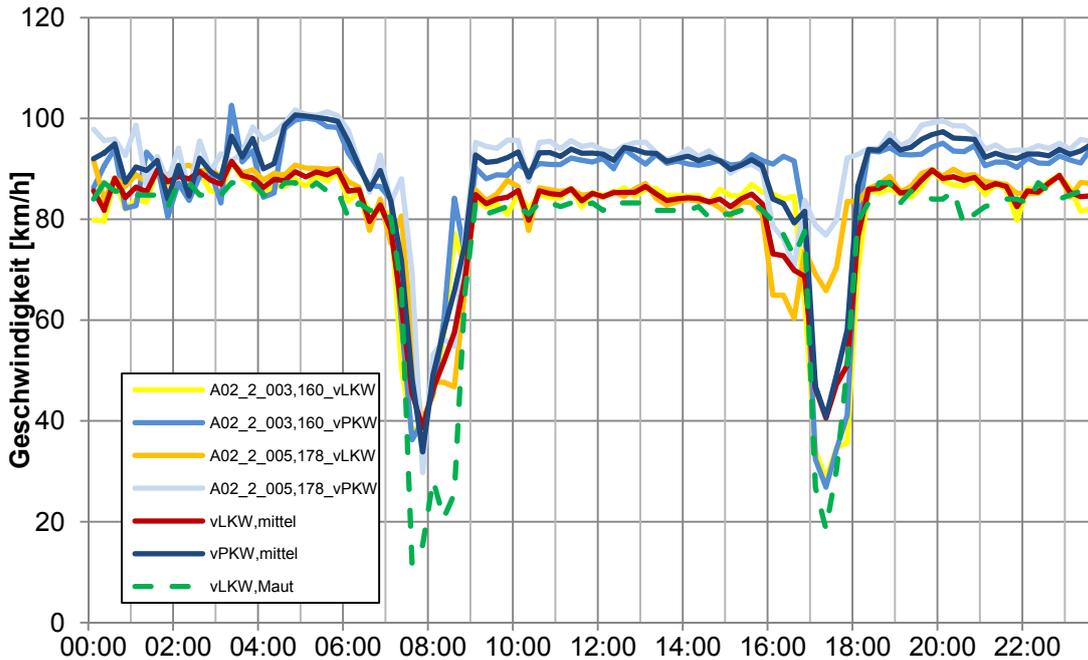


Abbildung 4-28: Abschnittsbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe bei gestörtem Verkehrsfluss: A02-005,504\_2 - A02-002,960\_2, zulässige Höchstgeschwindigkeiten 80 km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,5t, KFZ<3,5t), 01.06.2011

Ein ähnliches Bild zeigt Abbildung 4-29, in der eine stetige Überschätzung der realen, abschnittsbezogenen Geschwindigkeit an lokalen Sensoren zu beobachten ist. Wiederum liefern die Messungen an Messquerschnitt A02\_2\_003,160 repräsentativere Ergebnisse, als das gewichtete, harmonische Mittel (vLKW,mittel, vPKW,mittel). Die Abweichungen zwischen den Geschwindigkeitswerten von lokaler und streckenbezogener LKW-Geschwindigkeit betragen im Überlastungsfall maximal 67% und durchschnittlich über den dargestellten Tag (17.06.2011) rund 9 %.

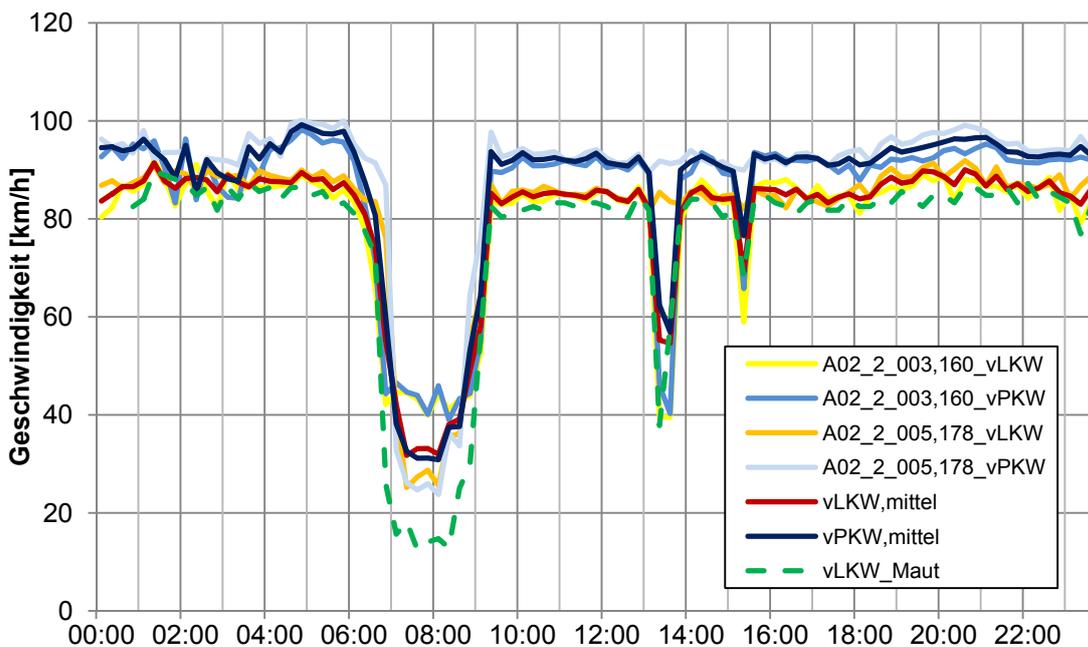


Abbildung 4-29: Abschnittsbezogene Analyse der Geschwindigkeitsverläufe bei gestörtem Verkehrsfluss: Abschnitt A02-005,504\_2 - A02-002,960\_2, zulässige Höchstgeschwindigkeiten 80 km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,5t, KFZ<3,5t), 17.06.2011

Für den Mautabschnitt A02-\_005,504\_2 - A02-\_002,960\_2 kann somit festgehalten werden, dass die lokalen Sensoren die Geschwindigkeiten in diesem Bereich besonders im äußersten Überlastungsfall zu jeder Zeit überschätzen. Die Rekonstruktion einer realen Verkehrslage ist zeitlich aussagekräftig möglich.

#### ► Teilfazit

- In VBA-Gebieten (bei 1-1,5 km Sensorabstand) ist eine aussagekräftige Schätzung des realen Verkehrsablaufs aus Querschnittsdaten grundsätzlich gut möglich, bis 3 km Detektorabstand funktionieren Abschnittsverfahren.
- Lokale Messungen überschätzen stets die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten in unterschiedlichem Ausmaß. Dabei kann dies teilweise auf das lokal nicht erfasste Verkehrsverhalten an/vor charakteristischen Punkten (z. B vor Auffahrten) zwischen zwei Querschnitten zurückgeführt werden.
- Bei freiem Verkehr dürften die geringen Unterschiede im Geschwindigkeitsniveau der Querschnittsdaten im Vergleich zu den streckenbezogenen Daten in der Klassifizierung der LKW liegen. Teilweise werden größere Transporter, die es im Bereich von unter 3,5t bis 5,5t gibt, bei der Querschnittsbetrachtung als LKW gezählt, auch wenn diese mit genau 3,5t keiner 80 km/h Begrenzung unterliegen und auch keine Maut bezahlen, d. h. keine Reisezeiten liefern. Dies zeigen Vergleiche der lokal gemessenen LKW-Verkehrsstärken und der zur Ermittlung der Abschnittsreisezeiten herangezogenen Anzahl an LKW. Unterschiede bei den Geschwindigkeiten im freien Verkehr könnten weiters zu einem geringen Teil durch die ausschließliche Verwendung von LKW der Kategorie 4 (4 oder mehr Achsen) erklärt werden.
- Über einfache Interpolationsverfahren können die groben Dimensionen, die Dauer und der Zeitpunkt von Geschwindigkeitseinbrüchen stets korrekt dargestellt werden.
- In einigen (homogenen) Streckenabschnitten (z. B Mautabschnitt A02-\_010,200\_2- A02-\_007,536\_2) genügen einfache Interpolationsverfahren (z. B gewichtetes, harmonisches Mittel) für eine sehr exakte Darstellung (zeitlich und wertemäßig) der realen Verkehrssituation.
- In inhomogenen Streckenabschnitten (z. B Mautabschnitt A02-\_005,504\_2 - A02-\_002,960\_2) mit Fahrstreifenreduktionen, Änderung der höchstzulässigen Geschwindigkeiten, hohe Anzahl an Auf- und Abfahrten ist eine wertemäßig exakte Abbildung des äußersten Überlastungsbereiches nur bedingt möglich. Dabei werden die Geschwindigkeitswerte deutlich zu hoch geschätzt.
- Mit Hilfe von anspruchsvollen Interpolationsverfahren unter Berücksichtigung von Analysen historischer Datenbestände und streckenspezifischer Faktoren kann die Aussagekraft von Abschnittsverfahren zur Schätzung von streckenbezogenen Größen aus Querschnittsdaten jedoch für gut detektierte Streckenabschnitte gesteigert werden (vgl. KESTING&TREIBER 2010).
- Auf alle Fälle müssen diese systematischen Abweichungen (Überschätzung von lokalen Messungen) und die Aussagekraft des Modellierungsverfahrens bei einer kombinierten Betrachtung von Datenquellen oder einer Vergleichbarkeit in einem Bewertungsschema berücksichtigt werden.

### 4.3.3 Rekonstruktion der Verkehrsqualität auf Basis von Querschnittsdaten

Die Analysen im Rahmen dieser Arbeit bestätigen, dass in Gebieten mit einer hohen Dichte an lokaler Sensorik eine Nachbildung der realen Verkehrssituation gut möglich ist. Über einfache Interpolationsverfahren können dabei jederzeit die Dauer und der Zeitpunkt von Geschwindigkeitseinbrüchen korrekt dargestellt werden.

Hier soll nun die räumliche Rekonstruktion der Verkehrslage auf Basis von Abschnittsverfahren zum Zweck einer aussagekräftigen Beurteilung beispielhaft aufgezeigt werden. Aufgrund einer sehr guten Datenerfassung im gewählten Testfeld A02\_2\_B wird für das nachfolgend dargestellte Beispiel (Abbildung 4-31 und Abbildung 4-32) ein einfaches Interpolationsverfahren für ein Raum-Zeit Geschwindigkeitsfeld gewählt.

Da Querschnittsdaten von LKW und PKW zur Verfügung stehen, können Richtungsfahrbahngeschwindigkeiten gemittelt über Fahrzeugklassen und Fahrstreifen in die Schätzung eingehen. Dies erfolgt angelehnt an die Auswertungen von KERNER (2004), der in gebundenen Verkehrszuständen bezüglich der Fahrstreifen weitgehend synchronisierte und von der Fahrzeugklasse unabhängige Geschwindigkeiten feststellt. Basierend auf der lokalen Messung der Geschwindigkeiten werden 15-Minuten-Geschwindigkeitswerte gebildet und diese entsprechend ihrer räumlichen und zeitlichen Abfolge als eine Matrix angeordnet (siehe Abbildung 4-30).

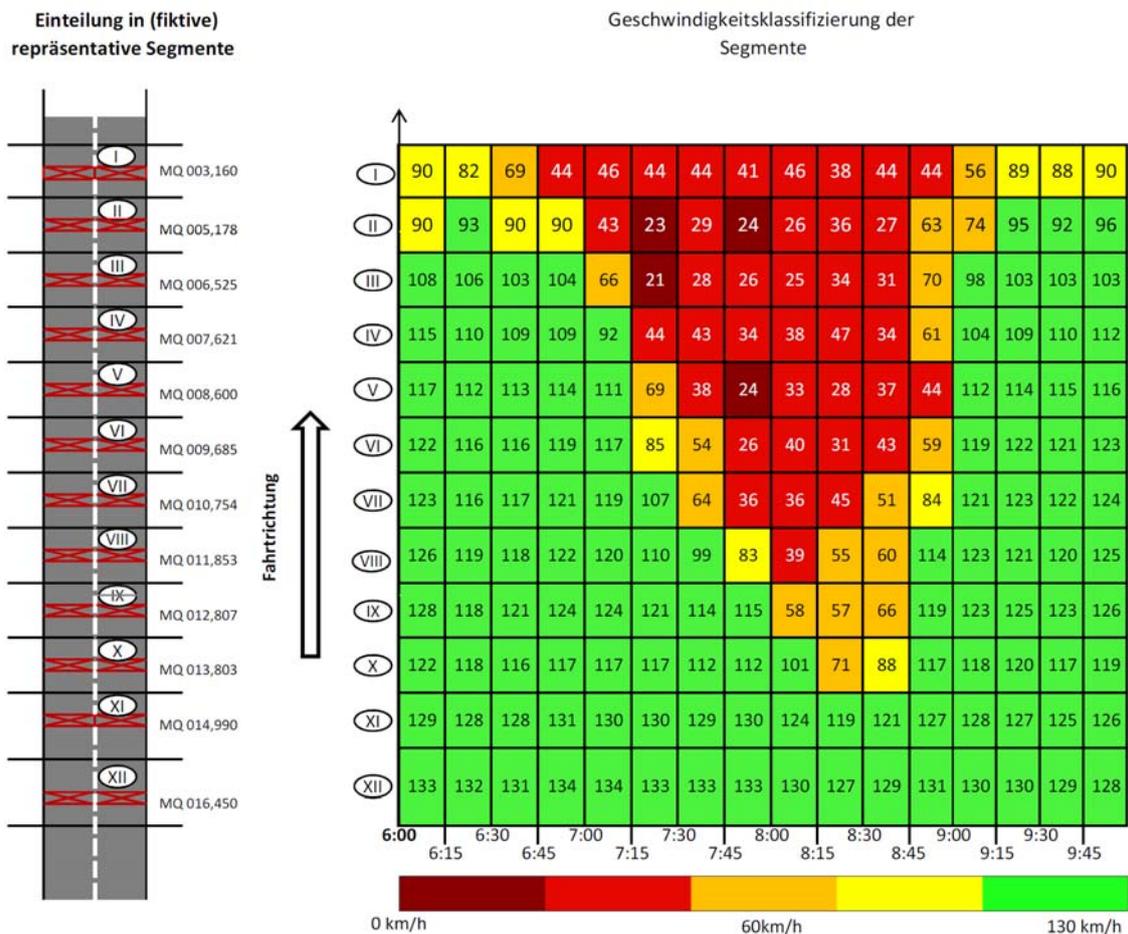
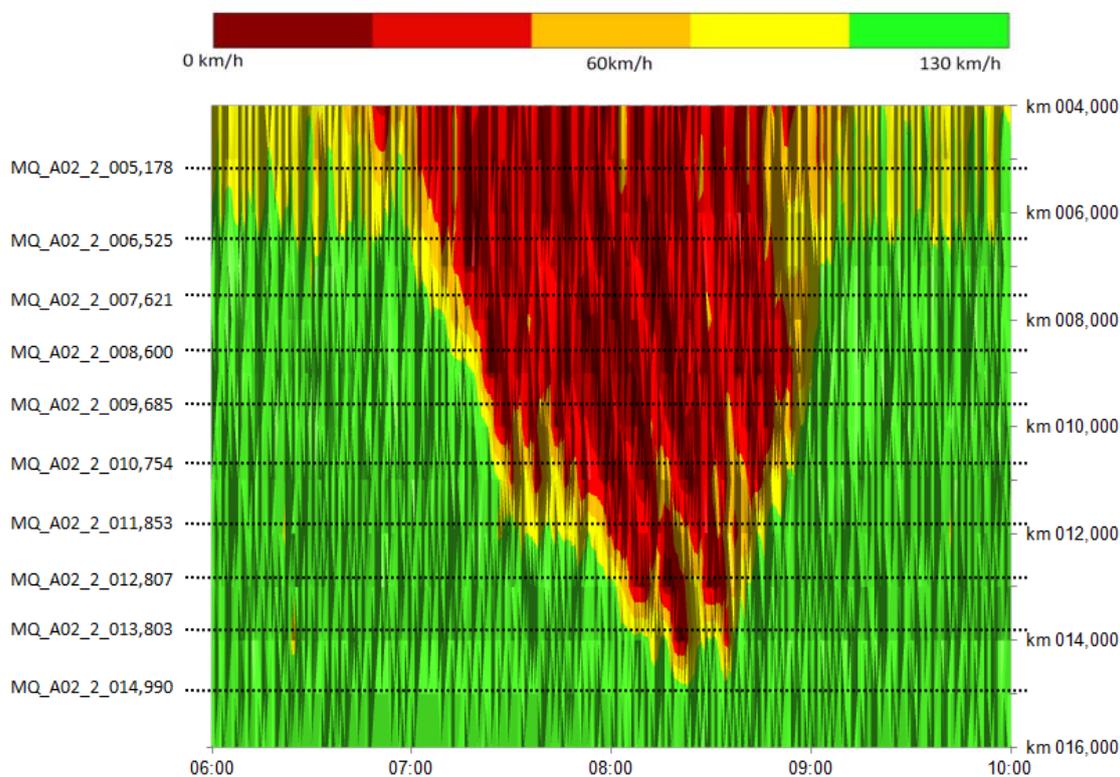


Abbildung 4-30: Festlegung von Segmenten und zugehöriger Geschwindigkeitsklassifizierung basierend auf Durchschnittsgeschwindigkeiten: Testfeld A02\_2\_B, Freitag 17.06.2011

Diesen aggregierten 15-Minuten-Intervallen der lokalen Geschwindigkeit an den betrachteten Messquerschnitten des Testfeldes A02\_2\_B wird ein fiktives Segment zugesprochen, für das diese als repräsentativ und räumlich gültig angenommen werden. Die Länge der fiktiven Segmente ergibt sich durch die jeweiligen Distanzen der Querschnitte untereinander (siehe dazu Abbildung 4-21). Jedem lokalen Querschnitt wird demnach beidseitig die Hälfte der Strecken zwischen zwei Messquerschnitten als Segmentbereich zugeordnet.

Durch eine räumlich-zeitlich lineare Interpolation zwischen den Elementen bzw. Farben ergibt sich eine sehr gute Schätzung der realen Verkehrssituation für die Zeit von 06:00 Uhr bis 10:00 Uhr über den ausgewählten Streckenabschnitt. Dabei ist die sich fortbewegende Stauwelle sowohl bei der 2-D-, als auch bei der 3-D-Darstellung gut zu erkennen (Abbildung 4-31 und Abbildung 4-32).



**Abbildung 4-31: Ergebnisse der räumlich-zeitlichen Interpolation: Contourplot (17.06.2001, Testfeld A02\_2\_B)**

Die in Abbildung 4-31 und Abbildung 4-32 dargestellte Überlastungssituation entsteht demnach erstmals bei Kilometer km 004,000 um ungefähr 06:45 Uhr und hält dort bis rund 09:00 Uhr an. Der Einfluss kann bis zu Kilometer km 014,000 zurück beobachtet werden. Dieses Überlastungsereignis ist auf ein hohes Verkehrsaufkommen während der morgendlichen Spitzenzeit in Fahrtrichtung Wien zurückzuführen und kann in diesem Streckenabschnitt in unterschiedlichem Ausmaß regelmäßig an Werktagen beobachtet werden.

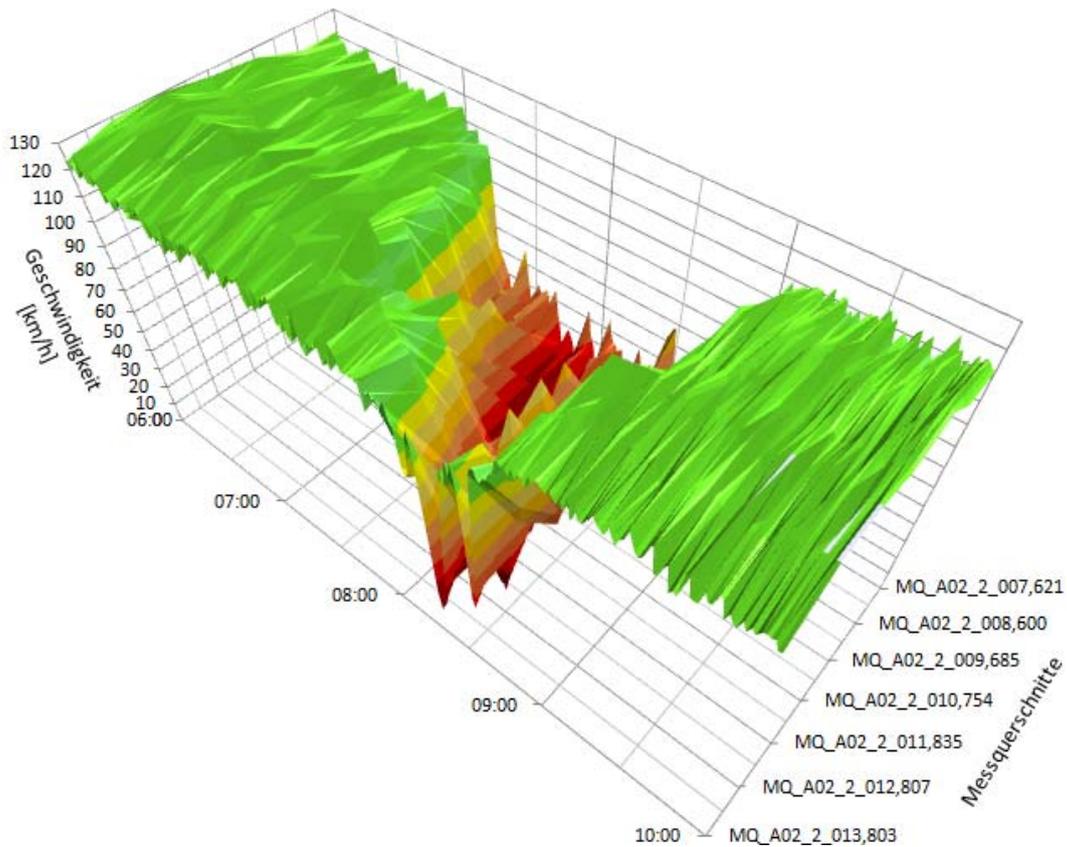


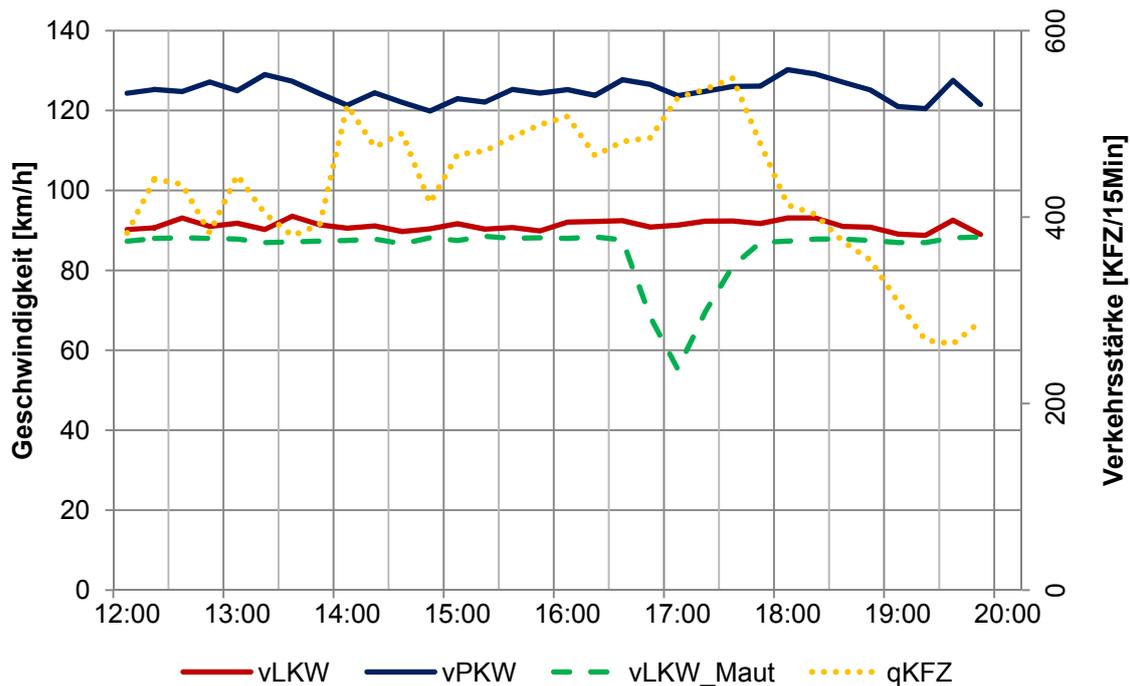
Abbildung 4-32: Ergebnisse der räumlich-zeitlichen Interpolation: 3D-Darstellung (17.06.2001, Testfeld A02\_2\_B)

#### 4.3.4 Einschränkung bei der Verwendung von Querschnittsdaten

Die Beschränktheit der Aussagekraft von Querschnittsdaten wird unter Kapitel 2.5.4 theoretisch ausführlich diskutiert. Grundsätzlich ist bekannt, dass ein Bereich zwischen zwei Messquerschnitten bis zu maximal einem Kilometer über Querschnittsverfahren (z. B. FGSV 1992) und bis zu maximal 3 km über Abschnittsverfahren (z. B. VOGEL 2010) beschrieben werden kann, wobei die tatsächliche, streckenbezogene Geschwindigkeit über einfache Interpolationsverfahren und ohne Berücksichtigung streckenspezifischer Faktoren nur bedingt abschätzbar ist (siehe 4.3.2).

Eine aussagekräftige Schätzung von streckenbezogenen Geschwindigkeiten ist in Bereichen von Messquerschnitten mit einer Distanz von über 3 km zueinander über Modellierungen aus lokalen Daten überhaupt nicht mehr möglich.

Die Auswertung in Abbildung 4-33 soll über einen lokalen Vergleich verdeutlichen, dass lokale Daten bei langen, nicht detektierten Streckenabschnitten zur Beschreibung des Verkehrsflusses nicht mehr herangezogen werden können. In diesem Sinne werden für den Querschnitt A01\_1\_210,000 die zu 15-Minuten-Intervallen aggregierten, lokalen PKW- und LKW-Geschwindigkeiten ( $v_{PKW}$ ,  $v_{LKW}$ ), den direkt gemessenen, streckenbezogenen LKW-Geschwindigkeiten ( $v_{LKW\_Maut}$ ) aus den Reisezeiten der umliegenden Mautabschnitte (A01\_202,700\_1 - A01\_210,000\_1 und A01\_210,000\_1 - A01\_215,020\_1) gegenübergestellt. Weiter ist die lokale Verkehrsstärke ( $q_{KFZ}$ ) an diesem Messquerschnitt zu sehen.



**Abbildung 4-33: Einschränkung der Aussagekraft von Querschnittsverfahren: Messquerschnitt A01\_1\_ 210,000, 2 Fahrstreifen, zulässige Höchstgeschwindigkeiten von 80km/h bzw. 100 km/h (KFZ>3,5t) und 130 km/h (KFZ<3,5t), Donnerstag 30.09.10**

Aus obiger Abbildung 4-33 geht die Problematik von lokaler Detektion hervor, wenn die Messquerschnitte zu weit voneinander entfernt liegen. Betrachtet man rein die lokalen Geschwindigkeiten, kann von einem ungestörten Verkehrsfluss ausgegangen werden. Die lokalen Geschwindigkeiten reagieren in dem betrachteten Zeitraum überhaupt nicht. Zieht man allerdings die streckenbezogenen LKW-Geschwindigkeiten in Betracht, so zeigt sich, dass in der Zeit von 16:30 Uhr bis 18:00 Uhr im repräsentativen, nicht über punktuelle Messungen erfassbaren Gebiet ein Störfall vorgelegen haben muss.

Der Verkehrsablauf in Netzbereichen, in denen keine dichte Anordnung von Messquerschnitten wirtschaftlich möglich ist, kann deshalb auch nicht unter Berücksichtigung von mehreren lokalen Querschnitten (Abschnittsverfahren) und mit Hilfe von anspruchsvollen Modellierungsverfahren geschätzt werden.

Somit kommen Querschnittsdaten nur in den Bereichen für die Bewertung der Verkehrsqualität in Frage, in denen aufgrund guter lokaler Detektion streckenbezogene Geschwindigkeiten geschätzt werden können.

#### 4.3.5 Qualität der lokalen Datenerfassung

In Gebieten mit hohem Verkehrsaufkommen oder aus Gründen der Verkehrssicherheit sind in den letzten Jahren vollfunktionale Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) installiert worden. Diese Bereiche kennzeichnet eine sehr hohe Sensordichte (Abstände zwischen Messquerschnitten von 1-3 km). Somit ist in solchen Gebieten die Qualität der lokalen Datenerfassung im österreichischen A&S-Netz am besten und eine Abschätzung der Streckengeschwindigkeit aus Querschnittsdaten mit Berücksichtigung der Erkenntnisse aus Kapitel 4.3.2. grundsätzlich möglich.

In einigen Abschnitten des ASFINAG-Netzes kommen weiters sogenannte „VBA’s - Umwelt“ zum Einsatz, über die im Sinne der Vorgaben des Immissionsschutzgesetzes Luft eine immisionsbedingte Reduzierung des Tempolimits möglich ist und über flexible gestaltbare Überkopfanzeigen dem Verkehrsteilnehmer auch Warnungen (z. B. Glatteis, Unfälle) oder Hinweise (z. B. Baustellen) kommuniziert werden können. Hier ist zumindest ein Sensor je Abschnitt zwischen zwei Anschlussstellen angebracht. Diese Dichte an Sensoren reicht allerdings aufgrund der Streckenlänge zwischen zwei Anschlussstellen für eine Schätzung von streckenbezogenen Größen in vielen Fällen nicht mehr aus (durchschnittliche Länge eines Abschnittes 4-5 km).

In Gebieten ohne VBA ist in größeren Abständen eine Sensorik im Sinne einer flächendeckenden Verkehrsdatenerfassung (FVE) installiert. Aus verkehrstechnischen und verkehrstatistischen Gründen wird hier etwa jeder zweite Abschnitt zwischen zwei Anschlussstellen mit einem Messquerschnitt ausgestattet. In Gebieten in denen eine VBA- oder FVE-Ausstattung geplant ist, jedoch noch nicht umgesetzt wurde, ist die Datenlage derzeit am geringsten.

Abbildung 4-34 zeigt eine Übersicht der unterschiedlichen Sensordichte für die querschnittsbezogene Datenerhebung im ASFINAG Streckennetz. Die unterschiedliche Einfärbung des Netzes entspricht der verfügbaren Datendichte. Für eine Schätzung der streckenbezogenen Geschwindigkeit aus Querschnittsdaten können aufgrund des bekannten Anspruchs an die Sensordichte nur die rot und eingeschränkt die grün dargestellten Streckenabschnitte herangezogen werden. Die restlichen Gebiete sind in der Regel über lokale Größen nicht aussagekräftig zu beurteilen.



Abbildung 4-34: Übersichtskarte der Qualitätsbereiche der Querschnittsdatenerfassung (Stand : April 2011)

In den kommenden Jahren (bis ca. 2013) werden in den Ballungsräumen Linz, Salzburg und Graz weiter VBA's errichtet. Ebenso wird die FVE in derzeit grau dargestellten Bereichen weiter verdichtet.

#### **4.4 Kenngrößen für das ASFINAG-Straßennetz**

Ein effizientes Verkehrsmanagement erfordert aussagekräftige Kenngrößen auf Basis der bereits beschriebenen Verkehrsdaten (Kapitel 4.1), um im Bereich der Qualitätssicherung die Güte des Verkehrsablaufs repräsentieren zu können. Die Kennzahlen liefern Aussagen über die Qualität der Verfügbarkeit des Streckennetzes, einerseits für den Betreiber selbst, andererseits für den Verkehrsteilnehmer als Kunden.

Damit Kennzahlen schlussendlich in der Praxis von Autobahnbetreibern eingesetzt werden können, müssen diese den folgenden Ansprüchen genügen:

- Genauigkeit bei den Ergebnissen
- Klarheit und gute Aussagekraft
- geringe Sensitivität gegenüber den Eingangsdaten
- Bedeutung und Begreifbarkeit für den Verkehrsteilnehmer
- Quantifizierbarkeit durch ein Modell sowie anhand empirischer Daten

In dieser Arbeit steht die Entwicklung eines im Nachhinein zu beurteilenden Verkehrsqualitätsmaßes für das österreichische A&S-Netz im Sinne einer internen aber auch externen Vergleichbarkeit für den österreichischen Betreiber ASFINAG im Blickpunkt. Ziel ist es die Verkehrsqualität über einen Indikator in regelmäßigen Reportings selbst zu bewerten, um die Entwicklung erkennen, Probleme identifizieren und Verbesserungsstrategien ableiten zu können. Der Indikator soll dabei kompakt sowohl intern als auch extern dem Kunden zur Verfügung stehen.

Auf der anderen Seite wird auch die Vergleichbarkeit zu anderen internationalen Verkehrsbetreibern im Sinne eines Benchmarks angestrebt. Dazu müssten allerdings die gleichen Kenngrößen international Einsatz finden. Aus den Erkenntnissen der vorangegangenen Kapitel ist dies allerdings als schwierig einzustufen.

Es soll daher vorausschauend auf mögliche vereinheitlichte, internationale Darstellungsweisen das bestmögliche Kriterium, sowohl die Literaturrecherche, als auch das Benchmarking mit internationalen Betreibern und die Datengrundlage berücksichtigend, vorgeschlagen werden, um die Entwicklung intern aber in naher Zukunft auch im Vergleich zu anderen Betreibern beobachten zu können.

##### **4.4.1 Datengrundlage**

Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse führen dazu, dass streckenbezogene Größen (v.a. die Reisezeit) die Grundlage für den hier angestrebten Entwurf eines Konzeptes zur netzweiten Beurteilung der Verkehrsqualität im österreichischen A&S-Netz bilden sollen. Diese können, wie bereits geklärt, in Österreich direkt über die Messung der LKW-Reisezeiten anonymisiert aus dem Mautsystem gewonnen werden, oder über Modellierung in Bereichen sehr guter lokaler Detektion aus Querschnittsdaten geschätzt werden.

Aus den Untersuchungen zur Eignung der beiden zur Verfügung stehenden Datengruppen (LKW-Reisezeiten und Querschnittsdaten) werden die direkt gemessenen, streckenbezogenen Daten (anonymisiert aus dem Mautsystem gewonnen) als geeignet für den flächendeckenden Einsatz zur Bewertung der Verkehrsqualität befunden. Dabei zeigen Untersuchungen z. B. Projekt GO SMART(LINAUER E.A. 2005) und die in dieser Arbeit

durchgeführten Analysen, dass die streckenbezogenen Größen aus dem LKW-Mautsystem aufgrund des ähnlichen Verhaltens des LKW- und PKW-Verkehrs in Überlastungssituationen (Verkehrsverzögerungen und Staus treffen PKW und LKW gleichermaßen) diese repräsentativ und genau beschreiben. Es ist zu beobachten, dass die streckenbezogenen Geschwindigkeiten und die Querschnittsdaten umso stärker miteinander korrelieren, je geringere Geschwindigkeiten gefahren werden. Die Erkenntnisse aus der Literatur und der internationalen Analyse, dass der Bereich über 70 km/h niemals zur Staudefinition herangezogen wird und mit Hilfe dieser Arbeit auch keine Einteilung des Verkehrsablaufs im oberen Geschwindigkeitsbereich, sondern vielmehr die Detektion von schweren Überlastungssituationen ermöglicht werden soll, prädestinieren die direkt gemessenen Reisezeiten für den Einsatz in der Verkehrsqualitätsbewertung.

Zusätzlich stehen LKW-Abschnittsreisezeiten im Gegensatz zu Querschnittsdaten netzweit zur Verfügung. Querschnittsdaten können ausnahmslos in Bereichen mit sehr dichter lokaler Erfassung (VBA-Gebieten) zur Bildung von streckenbezogenen Daten herangezogen werden. (siehe Abbildung 4-34).

Auch der Wunsch nach einer einheitlichen Datengrundlage für die zu ermittelnde Kenngröße, über die die Verkehrsqualität des Gesamtnetzes messbar sein soll, lassen zweitens als zweckmäßig erscheinen. Besonders aber aufgrund der Tatsache, dass streckenbezogene Daten über die LKW-Reisezeiten direkt gemessen zur Verfügung stehen und Schätzverfahren immer mit Unsicherheiten behaftet sind, werden in weiterer Folge für die Entwicklung eines Schemas und einer Kenngröße primär die anonymisiert ermittelten LKW-Abschnittsreisezeiten aus dem Mautsystem als Datenbasis vorgeschlagen.

In Bereichen von guter lokaler Detektion (siehe Abbildung 4-34) soll das Wissen aus den Querschnittsdaten allerdings nicht vernachlässigt, sondern als Ergänzung für die netzweite Beurteilung der Verkehrsqualität dienen. Dies ist speziell in Zeiträumen, in denen in bestimmten Abschnitten keine mautpflichtigen LKW unterwegs sind und somit keine Reisezeiten zur Verfügung stehen, der Fall. Weiters können in diesen Gebieten die Ergebnisse aus den LKW-Reisezeiten laufend auf ihre Plausibilität überprüft und im Zweifelsfall korrigiert werden. In Bereichen, in denen Messquerschnitte in Abständen größer als drei Kilometer vorhanden sind, kann man lokale Daten nur als punktuelle Überprüfung sehen und nicht als repräsentativ einstufen. Auch die Plausibilisierung ist nur in abgespeckter Form mit Einschränkungen möglich.

In diesem Sinne wird in dem zu entwerfenden Schema eine Unterteilung bei der Sicherheit der Bewertung in zwei Fälle getroffen:

### 1) $d_{MQ1-MQ2} \leq 3$ km: Hohe Sicherheit bei der Bewertung

Auf Streckenabschnitten mit Abständen von maximal drei Kilometern zwischen zwei Messquerschnitten erweisen sich neben streckenbezogenen Größen aus dem Mautsystem auch lokale Kenngrößen über Abschnittsverfahren als anwendbar, sodass der nicht detektierte Bereich daraus geschätzt werden kann. Hier ist, wenn gewünscht, auch eine stetige Überprüfung der LKW-Reisezeiten auf deren Plausibilität möglich. Es kann aber in erster Linie auch in Zeiträumen, in denen kein ausreichendes LKW-Vorkommen in bestimmten Abständen herrscht, eine Aussage über den Verkehrszustand getroffen werden.

## 2) $d_{MQ1-MQ2} > 3$ km: Eingeschränkte Sicherheit bei der Bewertung

Auf Teilstrecken, bei denen die Dichte an lokaler Detektion nicht ausreicht, um rein auf dieser Basis streckenbezogen Auskunft über den Verkehrsablauf geben zu können, werden für die Bestimmung eines Maßes ausnahmslos die streckenbezogenen Daten aus dem Mautsystem verwendet, da die Querschnittsdaten den nicht detektierten Bereich nicht mehr repräsentativ beschreiben können. Die Sicherheit bei der Bewertung ist insofern eingeschränkt, als im Gegensatz zu gut detektierten Streckenabschnitten nur noch eine Datengruppe für die Erzeugung der streckenbezogenen Kenngrößen zur Verfügung steht. In eingeschränkter Form können Querschnittsdaten unter Umständen zur Plausibilisierungszwecken herangezogen werden.

Generell stellen die Reisezeiten aus den Mautdaten, sofern sie plausibilisiert und vertrauenswürdig zur Verfügung stehen, die genaue Basis zur Beschreibung des Verkehrsablaufs im Staufall dar, da sie auf direkten Messungen und nicht auf Schätzungen beruhen.

### 4.4.2 Wahl des geeigneten Verkehrsqualitätsmaßes

Als Basis zur Bestimmung der Qualitätskenngröße zur Quantifizierung der Verkehrsqualität im ASFINAG-Streckennetz sollen wie vorgeschlagen primär die LKW-Abschnittsreisezeiten aus dem vollautomatischen Mautsystem herangezogen werden.

Darauf aufbauend soll nun herausgearbeitet werden, welche Qualitätskennzahl eine netzweite Bewertung der Verkehrsqualität als Teil der Gesamtverfügbarkeit im österreichischen A&S-Netz einheitlich und zugleich praxistauglich möglich macht, ohne die an sie gestellten Anforderungen unberücksichtigt zu lassen. Eine Listung theoretisch denkbarer Qualitätskenngrößen auf Basis einer ausführlichen Literaturrecherche ist in Kapitel 2.6 zu finden. In Kapitel 3 wiederum werden tatsächlich in der Praxis angewandte Vorgehensweisen und Kenngrößen dargestellt.

Die Literaturrecherche und die Expertenbefragung kommen grundsätzlich zu ähnlichen Ergebnissen, welche Kriterien die Basis einer zeitgemäßen, aussagekräftigen Kennzahl darstellen sollten. Dabei wird die Wichtigkeit der Bestimmung von streckenbezogenen Kenngrößen betont, die automatisiert einerseits indirekt über Interpolationsmethoden in Bereichen mit hoher Dichte an lokalen Messeinrichtungen, andererseits direkt aus alternativen, neuen Erfassungsmöglichkeiten (Fahrzeugwiedererkennung, FCD) und auch aus einer Kombination dieser beiden Verfahren ermittelt werden können. Es gibt zwei wesentliche Gruppen, die demnach häufig für Verkehrsqualitätsbewertungsverfahren herangezogen werden. Der eine Block basiert auf den vorgestellten makroskopischen, querschnittsbezogenen Kenngrößen Verkehrsstärke  $q$  (KFZ/h), Verkehrsdichte  $k$  (KFZ/km) und lokale Geschwindigkeit  $v$  (km/h). Die zweite Gruppe wird von den Kenngrößen gebildet, deren Basis die Reisezeit und die streckenbezogene Geschwindigkeit sind.

Unter Berücksichtigung der Literaturrecherche und der Erkenntnisse der Umfrage, dass grundsätzlich ein Konsens darüber besteht, dass eine zeitgemäße Beschreibung einer netzweiten Verkehrsqualität auf streckenbezogenen Größen beruht, kommen aus der Vielzahl an in Kapitel 2.6 vorgestellten Indikatoren zur Bewertung von Verkehrsqualität somit die folgenden Qualitätskenngrößen in Frage:

- Streckengeschwindigkeit (streckenbezogene Geschwindigkeit)
- Reisezeiten
- Verlustzeiten
- Zuverlässigkeit der Reisezeit
- Staudauer (Stautunden)

Die beiden Erstgenannten können direkt aus den Daten des Mautsystems erfasst (Reisezeiten) oder berechnet (Streckengeschwindigkeit) werden. Die Eignung dieser beiden Kenngrößen als kommunizierte Größe über einen längeren Zeitabschnitt (z. B. eines Monats, eines Jahres) ist allerdings schwierig, da sie jeweils nur den momentanen Zustand widerspiegeln und nicht aufsummierbar sind. Dies bedeutet, dass die Verkehrsqualität in einem Streckenabschnitt rückwirkend über einen längeren Zeitabschnitt (Tag, Woche, Monat, Jahr) nicht direkt über diese beiden Kriterien (streckenbezogene Geschwindigkeit, Reisezeit), bewertet werden kann. Sie liefern aber die Basis für die weiteren drei ausgewählten Kennzahlen. Alle drei weiteren Kenngrößen, die „Verlustzeit“, die „Zuverlässigkeit der Reisezeit“ und die „Stautunde“ unterscheiden sich rein in der Aussage, nicht aber in den Grundlagen der Daten oder ihrer Bestimmung von Schwellenwerten zur Staudefinition. Wird ein Abschnitt für einen gewissen Zeitraum über bestimmte Verkehrsdatenerfassungsverfahren über Grenzwerte als gestaut beurteilt, so kann in diesem Fall die Differenz zu einer Referenzreisezeit oder -geschwindigkeit als Verlustzeit angesehen, dieses Zeitintervall über Abweichungen von der Referenzreisezeit als unzuverlässig betrachtet oder aber auch zur Stautunde aufsummiert werden. Dies wiederum lässt alle drei Kriterien als brauchbar und gut erscheinen. Daher soll nun die Möglichkeit einer zukünftigen, internationalen Vergleichbarkeit im Vordergrund stehen.

Für die Bewertung der Verkehrsqualität würde sich sowohl aus Sicht des Verkehrsanlagennutzers, als auch aus volkswirtschaftlicher, gesamtheitlicher Betrachtungsweise nach BRILON&ESTEL (2008) die Kenngröße „Verlustzeit“ (siehe Kapitel 2.6.3) eignen. Auch geht aus dem internationalen Benchmarking hervor, dass Verlustzeiten tatsächlich innerbetrieblich kalkuliert werden. Problematisch erscheint dieses Kriterium, wenn es darum geht, von anderen Verkehrsbetreibern Informationen zu diesen Verlustzeiten zu bekommen, da diese die Verkehrsqualität oftmals als sehr negativ erscheinen lassen und deshalb meist rein zur internen Verwendung und nicht zur Veröffentlichung berechnet werden. Unter besonderer Berücksichtigung der zukünftig angestrebten Vergleichbarkeit mit anderen Betreibern wird die Verlustzeit daher für das hier zu entwickelnde Schema mit dem Ziel einer Veröffentlichung der Kennzahl nicht berücksichtigt.

Die „Zuverlässigkeit der Reisezeit“ gewinnt an Bedeutung. In den USA, aber auch europaweit gesehen, ist sie bereits eine offiziell angewandte und veröffentlichte Kenngröße zur Bewertung der Verkehrsqualität und wird in den Kapiteln 3.4 und 3.5 bezüglich ihrer Berechnungsweisen näher beleuchtet. Die Problematik ergibt sich bei dieser Kenngröße besonders im Hinblick auf die Unterschiedlichkeit in der Definition. Auch findet die „Zuverlässigkeit der Reisezeit“ im deutschsprachigen Raum bisher kaum Berücksichtigung und wird hier infolgedessen primär nicht näher betrachtet. Für eine zukünftige internationale Vergleichbarkeit ist die Kenngröße „Zuverlässigkeit der Reisezeit“ bei Festlegung einer gemeinsamen, einheitlichen Definition dieser jedoch vorstellbar. Die Reisezeiten, die auch hier die Basis bilden, stehen dafür ohnehin flächendeckend zur Verfügung.

Die „Staudauer“ betrachtet das Ausmaß der Überlastungssituation aus einer gesamtheitlichen Perspektive. Mit zunehmender Staudauer nehmen sowohl die mittleren Verlustzeiten als auch deren Summen zu, wodurch indirekt alle von der Überlastung betroffenen Verkehrsteilnehmer in die Bewertung miteinbezogen werden können. Häufig findet für die Staudauer der Begriff „Staustunde“ Verwendung, so auch in dieser Arbeit. Dabei basiert die hier besprochene Staustunde auf Reisezeiten (LKW-Reisezeiten) oder daraus berechneten Streckengeschwindigkeiten und auf zu bestimmenden Schwellenwerten dieser, um ein Intervall als überlastet zu identifizieren. Die Staustunde ist auch die in der Praxis (vor allem im deutschsprachigen Raum) am häufigsten berechnete und veröffentlichte Kenngröße. Aufgrund der Tatsache, dass die Staustunde neben einer guten Einsetzbarkeit für interne Zwecke auch international als am weitverbreitetsten eingestuft werden kann und somit das Kriterium darstellt, über das die Verkehrsqualität zukünftig auch extern verglichen werden kann, wird die Staustunde hier als die für die Bewertung des österreichischen A&S-Netzes herangezogene Kennzahl identifiziert.

#### 4.4.3 Staustunde - nationaler Vergleich

Als Ergebnis der bisherigen Analysen sollen in Österreich für die Berechnung des Verkehrsqualitätsmaßes „Staustunde“ primär Reisezeiten aus dem vollautomatisierten Mautsystem als Datengrundlage herangezogen werden (siehe Kapitel 4.1.2) und über diese streckenbezogene Beurteilungen möglich gemacht werden. Die für die Realisierung in Österreich als geeignet erachtete Möglichkeit eine Staustunde zu berechnen, besteht daher in einer streckenbezogenen Betrachtung. Voraussetzung dafür sind die bereits geklärten Alternativen zur Ermittlung von abschnittsbezogenen Daten, aber auch die Definition eines solchen Abschnitts. Je nach Verfügbarkeit von straßenseitigen Einrichtungen können verschiedene Segmente für die Bildung der streckenbezogenen Staustunde herangezogen werden:

- Abschnitte zwischen zwei Anschlussstellen
- Abschnitte zwischen zwei TMC-Locations-Codes
- Abschnitte zwischen zwei Fahrzeugwiedererkennungssensoren (z. B. CCTV-Kameras)
- Abschnitte zwischen zwei Mautabbuchungsstationen

Aus den oben angeführten Möglichkeiten werden für das österreichische Modell im ersten Schritt jene Segmente herangezogen, die bereits zur abschnittsweisen Ermittlung von LKW-Reisezeiten genutzt werden. Als Abschnitt dient somit die Strecke zwischen zwei Mautabbuchungsstationen, d. h. 1 Staustunde bedeutet, dass 1 Streckenabschnitt (zwischen zwei Mautgantries) 1 Stunde gestaut war. Eine mögliche Normierung wird in Kapitel 4.4.4 behandelt.

Für jeden Abschnitt wird demnach für jedes n-Minuten-Aggregationsintervall bestimmt, ob in diesem Intervall ein Stau vorliegt. Wird ein Zeitintervall über einen vorher festgelegten Schwellenwert (Reisezeitgrenzwerte, streckenbezogene Grenzgeschwindigkeiten oder auch Störungsmeldungen) als gestaut identifiziert, so erhöht sich die Anzahl der Staustunden in dem betroffenen Abschnitt um die Intervallgröße. Die Anzahl der Staustunden berechnet sich zu:

Formel 4-3 
$$D_{Stau,AS,i,t} = \sum_{i=0}^{N_t} k_{Stau,AS}$$

mit  $D_{Stau,AS}$  ... abschnittsbezogene Stautunden (Staudauer im Abschnitt i über den Zeitraum t [h/t\*AS])

$N_t$  ... Anzahl der n-Minuten Intervalle im Zeitraum t

$k_{Stau,AS,i}$  ... gestautes n-Minuten Intervall im Abschnitt i

#### 4.4.4 Stautundenkilometer - internationaler Vergleich

Die abschnittsweise Stautundenberechnung auf Basis der LKW-Reisezeiten zwischen zwei Mautportalen bezogen auf eben diese Streckenabschnitte stellt ein probates Mittel dar, um ein und denselben Abschnitt über verschiedene Zeiträume vergleichen zu können. Es können auch Auswirkungen von vorübergehenden oder anhaltenden Eingriffen (Unfälle, Baustellen, Verkehrssteuerungsmaßnahmen) auf die Staudauer festgemacht werden. Somit ist ein Maß geschaffen, über das man sich intern regelmäßig monitoren kann.

Für die internationale Vergleichbarkeit stellt sich die Situation schwieriger dar, zumal in keinem anderen Straßennetz die „gleichen“ Mautabschnitte zur Verfügung stehen und somit auch nicht als Basis zur Stautundenberechnung zum Einsatz kommen können. Die unterschiedlichen Möglichkeiten, Abschnitte zu definieren, führen demnach auch zu unterschiedlichen Abschnittslängen. Daher eignet sich eine streckenbezogene Analyse auf Basis der Mautabschnitte nur dann für die internationale Vergleichbarkeit, wenn diese aufgelöst wird und einer einheitlichen Normierungsgröße folgt. Die Stautunden müssen sich auf eine vereinheitlichte Bezugsgröße beziehen, um eine vergleichbare Basis schaffen zu können.

Als vereinheitlichte und somit vergleichbare Größe könnte die Einführung einer Kennzahl angelehnt an die Verkehrsleistung sein, die in Personenkilometern ausgedrückt wird. Somit könnte die Stauausdehnung als Kenngröße ausgedrückt durch Stautundenkilometer [h\*km] (in den Niederlanden: „Staudichte“) über die Multiplikation der Kenngröße Stautunde mit den Kilometern des Abschnittes definiert werden:

Formel 4-4 
$$SD_{Stau,km,AS,i,t} = \sum_{i=0}^{N_t} k_{Stau,AS} \cdot s_i$$

mit  $SD_{Stau,km,AS,i,t}$  ... abschnittsbezogene Stautundenkilometer im Abschnitt i über den Zeitraum t  $\left[\frac{h \cdot km}{AS \cdot t}\right]$

$N_t$  ... Anzahl der n-Minuten Intervalle im Zeitraum t

$k_{Stau,AS,i}$  ... gestautes n-Minuten Intervall im Abschnitt i

$s_i$  ... Abschnittslänge des Abschnittes i

Dadurch können wiederum die Segmente, auf denen die abschnittsbezogene Berechnungsart beruht, unabhängig von deren Länge aufgelöst und vergleichbar gemacht werden. Das Einfließen der Stautunden und des Streckenabschnittes führt dazu, dass ein kurzer Abschnitt mit langer Staudauer gleich in die Berechnung eingeht wie ein langer Abschnitt, der sich als kurz gestaut einstellt.

Die Stauausdehnung gibt das räumlich-zeitliche Ausmaß der Staus auf Autobahnen pro Zeiteinheit an. Im Gegensatz zur Staustunde lässt sich dieser Parameter über das Gesamtnetz aufsummieren. Durch Division der Stauausdehnung durch die mittlere Abschnittslänge lässt sich die Summe der abschnittsbezogenen Staudauern berechnen.

#### **4.5 Schema zur Bewertung der österreichischen A&S-Netzqualität**

Den Abschluss dieses Kapitels stellt die Aufstellung eines Schemas zur Ermittlung des Verkehrsqualitätsmaßes dar, der basierend auf den vorangegangenen Recherchen und den hier durchgeführten Auswertungen mit Realdaten den grundsätzlichen Weg zur Bestimmung der Kenngröße Staustunde aufzeigt. Die Datengrundlage bilden die LKW-Reisezeiten aus dem vollautomatisierten Mautsystem (siehe Kapitel 4.1.2). In lokal gut detektierten Bereichen (Distanzen zwischen Querschnitten von maximal 3 Kilometern) können diese Eingangsdaten mit Hilfe der aus Querschnittsdaten geschätzten Größen auf ihre Plausibilität überprüft und ergänzt werden (z. B. in Zeiten ohne LKW-Aufkommen).

Nach der möglichst flächendeckenden Ermittlung von streckenbezogenen Kenngrößen gilt es zunächst eine einheitliche, geeignete Größe des Aggregationsintervalls zu finden, um Intervalle anschließend als gestaut oder nicht gestaut identifizieren zu können. Dies erfolgt über die Festlegung geeigneter Schwellenwerte, entweder auf Basis von Grenzreisezeiten oder Grenzgeschwindigkeiten. Abschließend soll eine abschnittsbezogene oder normierte Aufsummierung der gestauten Intervalle zur Kenngröße „streckenbezogene Staustunde“ erfolgen (siehe 4.4.3).

Das Schema ist in Abbildung 4-35 dargestellt.

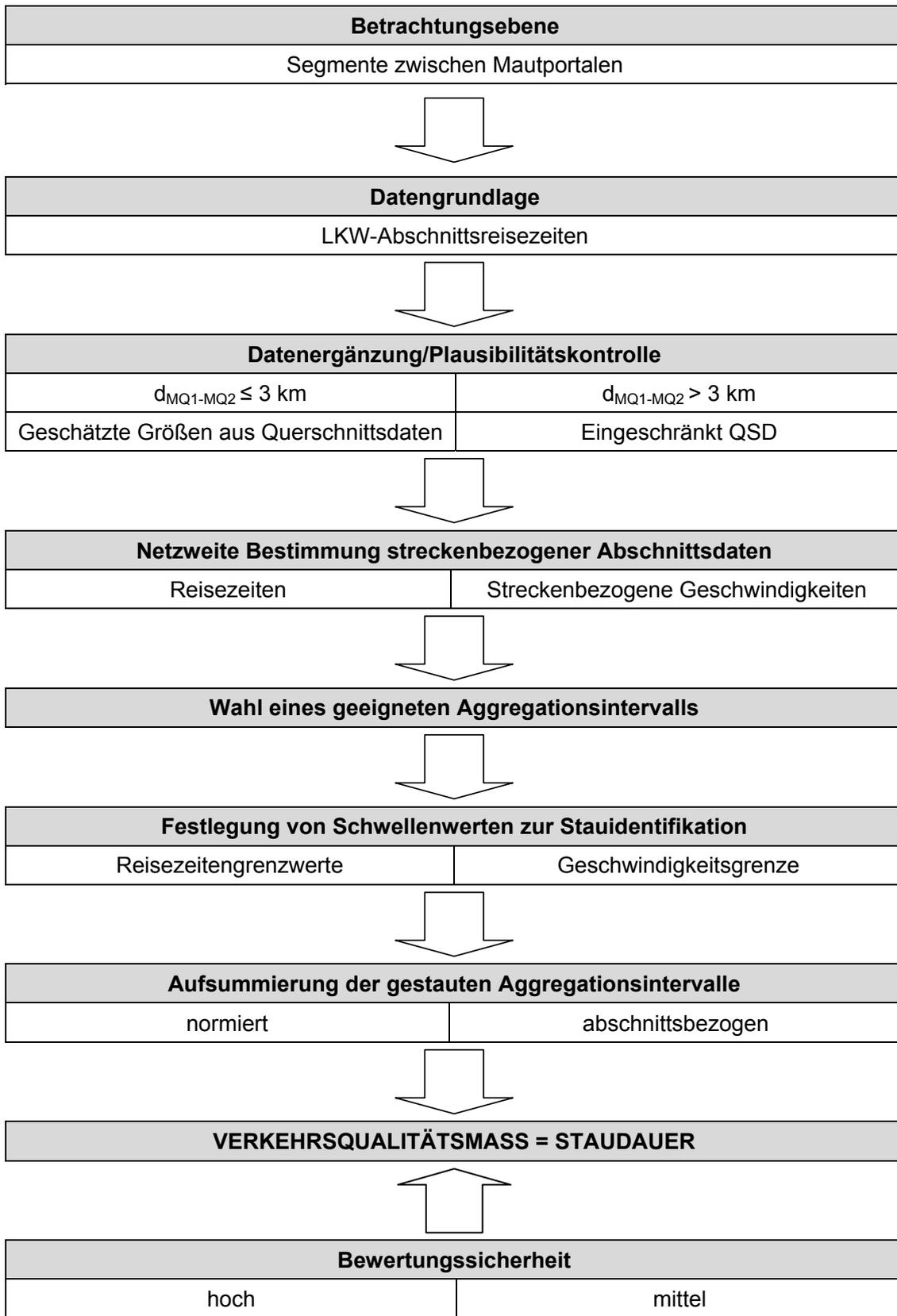


Abbildung 4-35: Schema zur Bewertung der Verkehrsqualität im österreichischen A&S-Gesamtnetz

## 5 Analyse der Einflussfaktoren auf das Konzept zur Bewertung der Verkehrsqualität

In diesem Kapitel werden anhand von Auswertungen mit vorliegenden Realdaten Einflussfaktoren auf die Definition der Kenngrößen „Stautunden“ und „Stautundenkilometer“ sowie auf das Berechnungsergebnis analysiert. Die einzelnen Kriterien, die Einfluss auf die Kennzahl nehmen können, werden im Rahmen einer umfassenden Datenanalyse in den Referenzgebieten geprüft und festgelegt. Dabei werden zuerst verschiedene Aggregationsintervalle untersucht (Kapitel 5.1), anschließend die Berechnungsmethoden der Kenngröße „Stautunde“ und deren Einfluss auf das Ergebnis geprüft (Kapitel 5.2) und im Anschluss geeignete Schwellenwerte festgelegt (Kapitel 5.3). Abschließend werden diese Ergebnisse in einem Flussdiagramm konkretisiert und auf Basis dieses auf ausgewählten Streckenabschnitten die Verkehrsqualität bestimmt.

### 5.1 Einfluss des Aggregationsintervalls

Die Thematik der Wahl des Aggregationsintervalls wurde bereits in Kapitel 2.5.2 theoretisch behandelt. Sie wird hier über Auswertungen mit Realdaten nochmals aufgegriffen und das für die Bestimmung der Kenngröße „Stautunde“ als geeignet betrachtete Intervall festgelegt. Die Wahl des Aggregationsintervalls erfolgt einerseits unter Berücksichtigung der Datenanwendung. Dabei ist die gewünschte Aussagekraft der Ergebnisse zu beachten. In der Verkehrssteuerung und Verkehrslenkung spielen der Zeitpunkt der Erkennung von Störungen und die rasche Reaktion im Sinne des Aufrechterhaltens des Verkehrsflusses eine bedeutende Rolle, das geringe Aggregationsintervallgrößen voraussetzt. Für die Bewertung der Verkehrsqualität im Nachhinein verliert dies an Bedeutung und es werden tatsächlich aufgetretene, zeitlich relevante Verkehrszusammenbrüche gesucht.

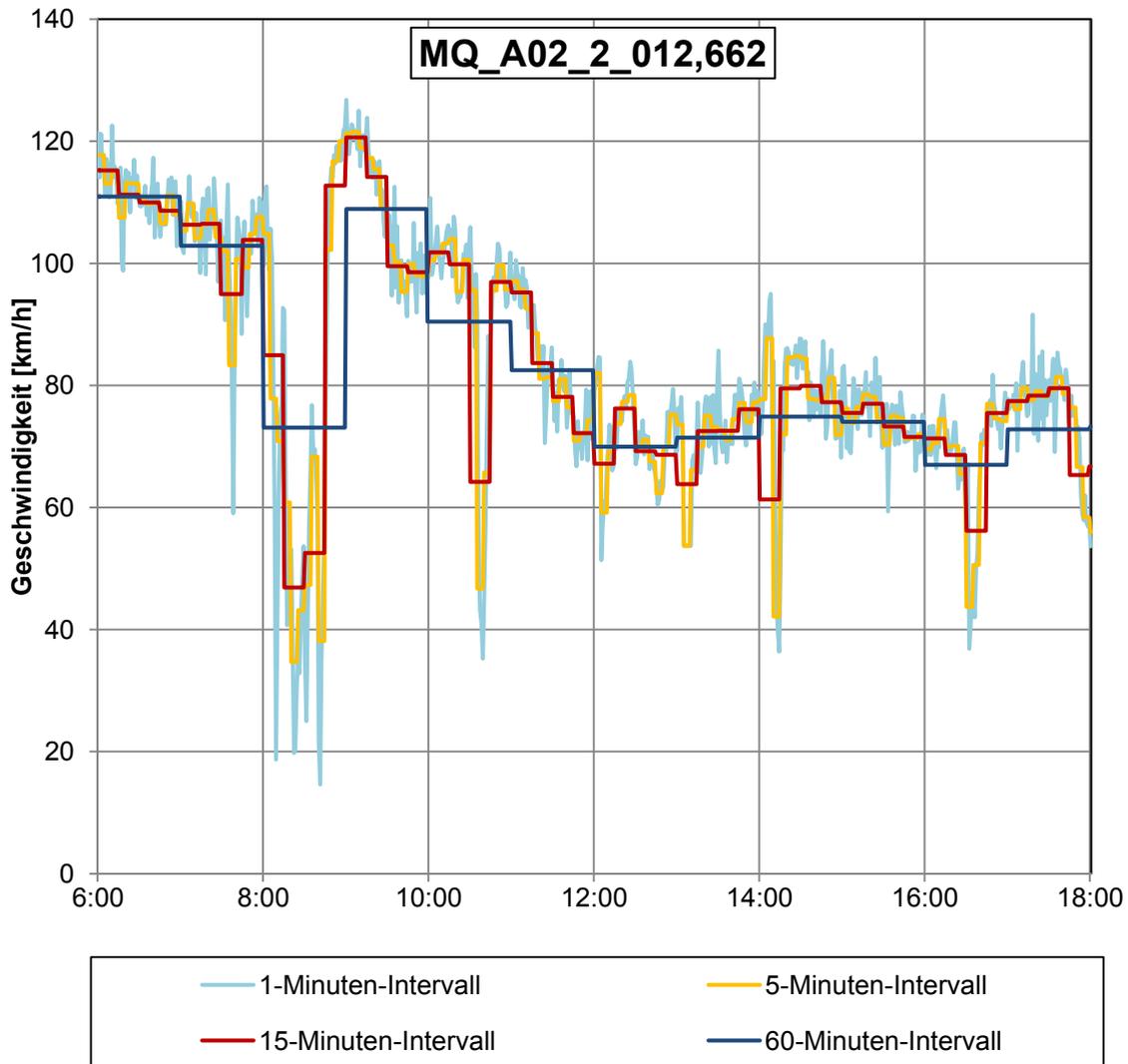
Zusätzlich muss allerdings auch die Tatsache berücksichtigt werden, dass die Qualität der LKW-Reisezeiten aus dem Mautsystem eng mit der Anzahl an LKW, die zur Berechnung der Abschnittsreisezeiten herangezogen werden können, verbunden ist. Diese LKW-Verkehrsstärke ist rein rechnerisch in größeren Intervallen höher.

Für diese Auswertungen wird nur eine querschnittsbezogene Betrachtung auf Basis von lokalen Geschwindigkeiten durchgeführt, ohne die streckenbezogenen Daten aus dem Mautsystem mit einzubeziehen oder die Staudauer abschnittsweise aufzusummieren, da LKW-Reisezeiten für diese Arbeiten nur in 15-Minuten-Intervallen aggregiert vorliegen. Dass querschnittsbezogene Analysen für die Bewertung von Einzelmaßnahmen (z. B. Pannestreifenfreigabe) oder Einzelauswirkungen (wie hier der Einfluss des Aggregationsintervalls) auf die Stautunden ausreichend sind, bestätigen andere Forschungsarbeiten (z. B. GEISTEFELDT&LOHOFF 2011).

Im Rahmen der Datenanalyse kann als kleinstes Aggregationsintervall für Geschwindigkeiten das 1-Minuten-Intervall gewählt werden, da dies die kleinste Erfassungsgröße der Messquerschnitte in den Referenzgebieten darstellt. Zudem werden 5-, 15-, und 60-Minuten-Intervalle untersucht, die durch gleitende, nicht gewichtete Mittelwertbildung für den Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe erzeugt werden.

### 5.1.1 Trivialer Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe

Im Folgenden wird ein Ausschnitt eines Tages am Messquerschnitt A02\_2\_012,662 gezeigt, in denen die lokalen PKW-Geschwindigkeitsverläufe über eine Minute, fünf Minuten, 15 Minuten und 60 Minuten aggregiert vergleichsweise gegenübergestellt werden.



**Abbildung 5-1: Vergleich der Aggregationsintervalle (1-, 5-, 15-, 60-Minuten-Intervalle) auf Basis von lokalen PKW-Geschwindigkeiten, 4 Fahrstreifen, zulässige Höchstgeschwindigkeiten von 130 km/h (KFZ<3,5t), Mittwoch 01.12.2010**

Aus den Auswertungen zum Messquerschnitt A02\_2\_012,662 (Abbildung 5-1) geht hervor, dass die Verläufe der 5- und 15-Minuten-Intervalle die starken, kurzzeitigen und dynamischen Ausprägungen glätten sich grundsätzlich sehr gut eignen. Große Schwankungen bei 1-Minuten-Intervallen können viele Sprünge zwischen unterschiedlichen Verkehrszuständen zur Folge haben und scheinen für die rückwirkende Beurteilung nicht geeignet. Die 60-Minuten-Intervalle beschreiben dagegen den Verkehrsablauf zu ungenau, weder das wertemäßige Ausmaß großer noch das Vorhandensein von kleineren Überlastungszuständen wird wirklich registriert. Somit scheinen 5- und 15-Minuten-Intervalle in der ersten Betrachtung am praktikabelsten zu

sein, da sie Sprünge der kürzeren Bezugsintervalle ausgleichen und die gewünschte Bestimmung der Schwere der Überlastung wertemäßig ermöglichen.

Der Einfluss des Intervalls wurde für mehrere Tage und unterschiedliche Querschnitte untersucht. Dabei konnten die unter Abbildung 5-1 dargelegten und beschriebenen Verhältnisse systematisch festgestellt werden.

### 5.1.2 Einfluss auf das Stautundenberechnungsergebnis

Nach der Gegenüberstellung der Geschwindigkeitsverläufe unter 5.1.1 wird hier nun der Einfluss des Aggregationsintervalls auf das Ergebnis bei der Berechnung der Qualitätskenngröße „Stautunde“ näher untersucht. Dafür werden für den Zeitraum, für den Daten des Testfeldes A02\_2\_B vorliegen, die Summen an gestauten Stunden an lokalen Querschnitten analysiert.

Für einen ausgewählten Messquerschnitt  $i$  wird für jedes  $n$ -Minuten-Aggregationsintervall über einen im Vorhinein festgelegten Schwellenwert (lokale Geschwindigkeiten, Verkehrsstärken) bestimmt, ob in diesem Intervall ein Stau vorliegt. Wird ein Zeitintervall als gestaut identifiziert, so erhöht sich die Anzahl der Stautunden an dem betroffenen Querschnitt um die Intervalllänge. Die querschnittsbezogene Stautunde ergibt sich somit zu:

Formel 5-1	$D_{Stau,QS,i,t}$	$= \sum_{i=0}^{N_t} k_{Stau,QS}$
mit	$D_{Stau,QS}$	... querschnittsbezogene Stautunden am Querschnitt $i$ über den Zeitraum $t$ [h/(t*MQ)]
	$N_t$	... Anzahl der $n$ -Minuten Intervalle im Zeitraum $t$
	$k_{Stau,QS,i}$	... gestautes $n$ -Minuten Intervall am Querschnitt $i$

Für die Identifikation eines gestauten Intervalls  $k_{Stau,QS}$  beliebiger Größe werden zwei Geschwindigkeitsgrenzwerte von 30 km/h und von 70 km/h festgelegt. Die Grenzgeschwindigkeit zwischen dem fließenden und dem zähfließenden (teilgebundenen) Verkehr liegt auf Autobahnen mit Geschwindigkeitsbeschränkungen von 130 km/h und darüber üblicherweise in einer Größenordnung von 70 bis 80 km/h. Dies zeigen neuere Forschungsergebnisse (z. B. SCHWIETERING 2010) und wurde bereits in Kapitel 2.5.3 ausführlich behandelt. Ein zweiter Geschwindigkeitsbereich der häufig zur Definition von Stau herangezogen wird ist jener um 30 km/h. Über diesen können schwere Überlastungssituationen festgemacht werden, die wirkliche Immobilität (Stop&Go Verkehr) im Gegensatz zu teilgebundenen Zuständen repräsentieren. Diese beiden Grenzwerte werden hier allerdings nur beispielhaft gesehen und erst in Kapitel 5.3 näher betrachtet und festgelegt. Die Grenzgeschwindigkeit kennzeichnet dabei die mittlere Geschwindigkeit in den jeweiligen Intervallen, ab der ein Intervall zur Stautunde addiert wird. Als durchschnittliche Geschwindigkeit wird einerseits die gewichtete, mittlere Geschwindigkeit aus PKW- und LKW-Verkehr (vKFZ) gewählt, andererseits nur die LKW-Geschwindigkeit (vLKW) herangezogen.

Liegt der über arithmetische Mittelung der 1-Minuten-Werte erzielte Geschwindigkeitswerte der Aggregationsintervalle (bzw. beim 1-Minuten-Intervall der Minutenwert selbst) nun unter 70 km/h bzw. 30 km/h wird das Intervall als gestaut aufgefasst und die Minutenanzahl (1, 5, 15 oder 60) zur Stautunde am jeweiligen Querschnitt aufsummiert. In Abbildung 5-2 und Abbildung 5-3 werden die verschiedenen Anzahlen an gestauten Stunden an den einzelnen Messquerschnitten dargestellt. Es soll gezeigt werden, ob und inwieweit die Wahl des Intervalls das Ergebnis einer Stautundenberechnung beeinflussen kann.

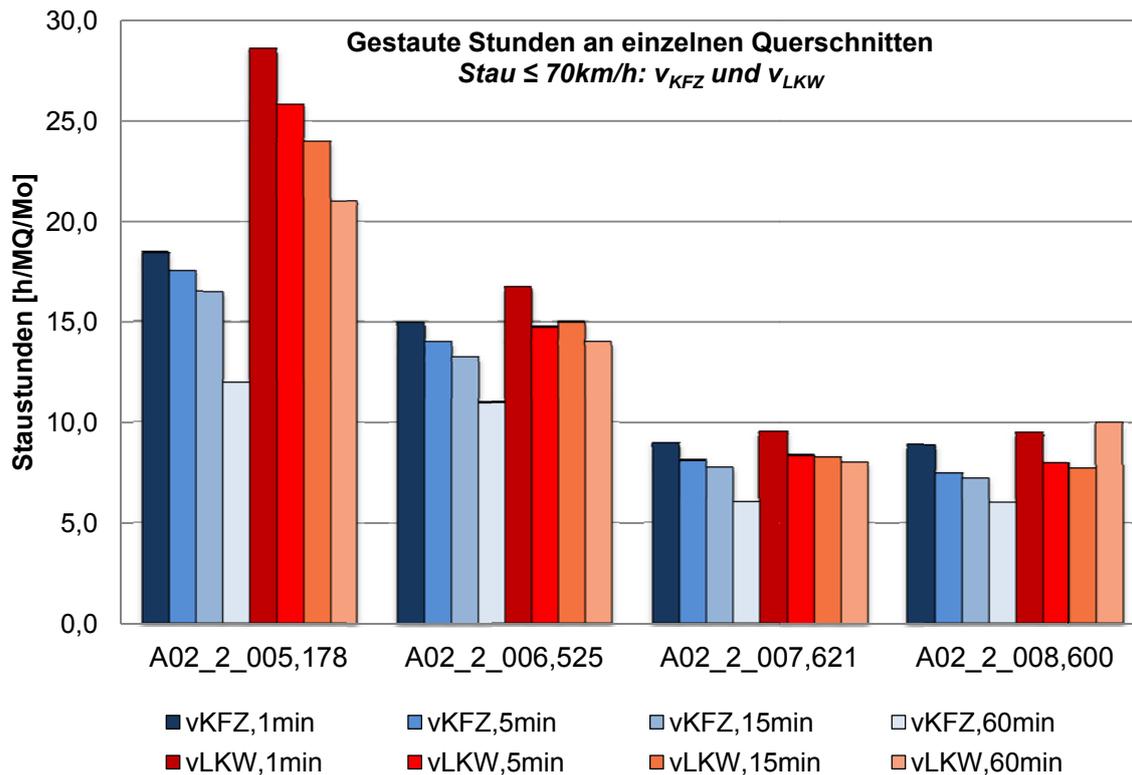
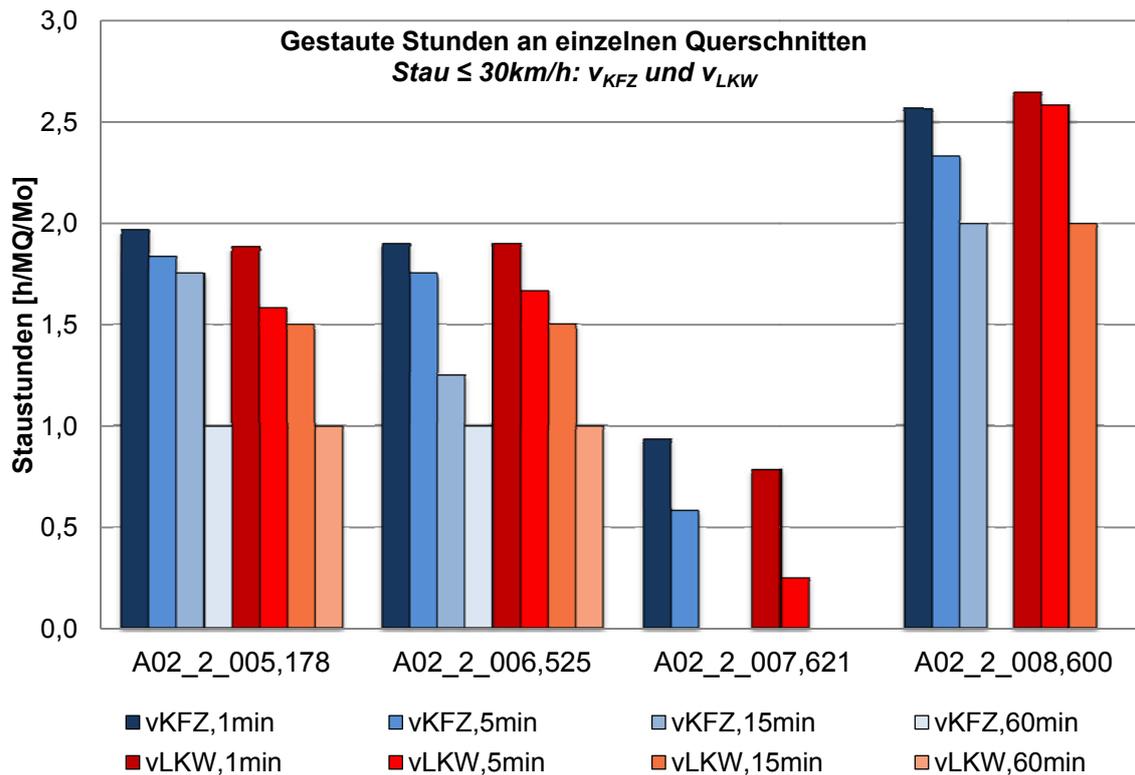


Abbildung 5-2: Querschnittsbezogene Analyse des Einflusses des Aggregationsintervalls: Stautunden ( $v < 70$  km/h), Juni 2011



**Abbildung 5-3: Querschnittsbezogene Analyse des Einflusses des Aggregationsintervalls: Stautunden ( $v < 30$  km/h), Juni 2011**

Aus den in Abbildung 5-2 betrachteten Stautunden ( $v_{\text{GRENZ}}=70$  km/h) geht zuerst hervor, dass die Ergebnisse auf Basis von LKW-Geschwindigkeiten ( $v_{\text{LKW}}$ ) höher ausfallen (besonders am Querschnitt A02\_2\_005,17), als jene, die auf Geschwindigkeiten basieren, die über alle Fahrzeugklassen gemittelt werden ( $v_{\text{KFZ}}$ ). Diese Tatsache kann über den hohen Grenzwert zur Staudefinition von 70 km/h erklärt werden. LKW-Geschwindigkeiten fallen aufgrund ihrer höchstzulässigen Geschwindigkeit von 80 km/h-100 km/h häufig auch bei annähernd freiem Verkehr unter diese Schranke, ohne dass eine Überlastung für den Gesamtverkehrsablauf feststellbar sein muss. Weiters wird bei Mitberücksichtigung von PKW ( $v_{\text{KFZ}}$ ) eine niedrige Geschwindigkeit auf den rechten Fahrstreifen oftmals über die noch hohen Geschwindigkeiten auf den linken Fahrstreifen ausgeglichen.

Dieses Bild ändert sich in Abbildung 5-3, in der ein Schwellenwert von 30 km/h zur Staudefinition herangezogen wird. Hier bestätigt sich die Aussage, dass schwere Überlastungen den PKW- wie auch den LKW-Verkehr in gleichem Ausmaß treffen und sich deren Geschwindigkeiten in einem ähnlichen Bereich einpendeln. Somit sind auch die Ergebnisse der Stautundenberechnung aus LKW-Geschwindigkeiten nahezu identisch mit denen aus fahrzeugklassenunabhängigen Geschwindigkeiten.

Unabhängig von der Wahl des Schwellenwertes kann für alle betrachteten Messquerschnitte die gleiche Auswirkung der Intervalllänge auf das Ergebnis der Stautundenberechnung festgestellt werden. Ungeachtet der Tatsache, dass unterschiedliche Messquerschnitte verschieden lang gestaut waren und dass die Anzahl der Stautunden daher stark voneinander abweicht, nimmt die Staudauer, d. h. auch der Stauanteil, mit der Vergrößerung des Aggregationsintervalls ab.

Die Auswertungen zu den Analysen des Intervalleinflusses auf die Stautundenergebnisse zeigen, dass bei 1-Minuten-Intervallen die Staudauer überschätzt, d. h. die höchste Anzahl an Stautunden ermittelt und bei 60-Minuten-Intervallen der Stau unterschätzt und somit die wenigsten Stautunden erzielt werden. Diese Tatsache kann mit einer Ausnahme (60-Minuten-Intervall Messquerschnitt A02\_2\_008,600,  $v_{LKW} < 30$  km/h) unabhängig von der Festlegung des Geschwindigkeitsgrenzwertes und des Messquerschnitts festgestellt werden.

Der maximale Unterschied beim Ergebnis der Stautundenbestimmung ergibt sich für ein- und denselben Messquerschnitt rein aufgrund der Wahl des Aggregationsintervalls von 7,6 Stunden für den betrachteten Monat (Querschnitt A02\_2\_005,178,  $v_{LKW} < 70$  km/h). Besonders ins Gewicht fällt weiters der Unterschied am Querschnitt A02\_2\_008,600 bei einer Staudefinition über 30 km/h. Während für Intervalle von einer Minute bis 15 Minuten 2,0 bis 2,7 Stautunden pro Monat ermittelt wurden, ergibt die Stautundenberechnung über 60-Minuten-Aggregationsintervalle keine einzige gestaute Stunde.

Die Erkenntnis dieser Analyse, dass bei geringen Intervallgrößen die Staudauer über- und bei großen Intervalllängen diese unterschätzt wird, erscheint auch sehr plausibel, wenn man die zuvor dargestellten starken, kurzzeitigen und dynamischen Schwankungen der Minutendaten bedenkt. Während die Stundenintervalle die Ausprägungen zu sehr glätten und so der gemittelte stündliche Geschwindigkeitswert nur selten unter die Grenzgeschwindigkeit fällt, wirken sich zu viele Sprünge der kurzen Aggregationsintervalle zu negativ auf ein realistisches Gesamtbild aus.

Aus Basis dieser eingeschränkten Analyse eignen sich prinzipiell 5-Minuten- und 15-Minuten-Intervalle. Die Tatsache, dass rechnerisch allerdings bei den 15-Minuten-Intervalle dreimal so viel LKW zur Bestimmung der Reisezeiten berücksichtigt werden können und somit die Qualität dieser gesteigert werden kann, wird ein Aggregationsintervall der Daten von 15-Minuten als geeignet festgelegt. Für jeden Abschnitt wird demnach für jedes 15-Minuten-Intervall über noch zu bestimmende Schwellenwerte definiert, ob in diesem Intervall ein Stau vorliegt. Wird dieser Grenzwert überschritten, so zählt dieses Intervall an diesem Abschnitt als gestaut und die Anzahl der Stautunden in dem betroffenen Gebiet (Querschnitt oder Abschnitt) erhöht sich um 15 Minuten.

## **5.2 Einfluss der Betrachtungsweise**

In Kapitel 5.1.2 werden bereits Analysen auf Basis einer querschnittsbezogenen Betrachtungsweise durchgeführt. In Österreich soll die Stautunde jedoch abschnittsbezogen berechnet werden (siehe Kapitel 4.4). In diesem Sinn wurde in Kapitel 4.4.3 die „abschnittsbezogene Stautunde“ definiert und als Abschnitt die Streckensegmente zwischen zwei Mautportalen festgelegt.

Die beiden vorgestellten, konträren Berechnungsansätze von Stautunden, unterscheiden sich grundsätzlich voneinander. Die unterschiedliche Betrachtungsweise (räumlich oder lokal) und die Verwendung von strecken- und querschnittsbezogenen Größen als Datengrundlage lassen auf den ersten Blick eine repräsentative Gegenüberstellung nur schwer zu. Aufgrund der Tatsache, dass international beide Berechnungsweisen bereits bekannt sind, soll versucht werden, ob für den Wunsch einer internationalen Vergleichbarkeit zumindest in Bereichen hoher Dichte an lokaler Detektion ein Zusammenhang hergestellt werden kann, über den die streckenbezogenen den

querschnittsbezogenen Stautunden bzw. in weiterer Folge den Stautundenkilometern gegenübergestellt werden können.

Als Ansatz dient dabei die Idee, die an einem oder mehreren Querschnitten je Mautabschnitt erfassten querschnittsbezogenen Stautunden nach Formel 5-1 als Repräsentant den abschnittsbezogenen Stautunden nach Formel 4-3 gegenüberzustellen. Dabei kann in dieser Arbeit nur ein Mautabschnitt zur Analyse herangezogen werden, der sich über ein einfaches Schätzverfahren ohne Berücksichtigung von streckenspezifischen Faktoren als zeitlich und wertemäßig aussagekräftig für die Abbildung der Verkehrslage aus Querschnittsdaten erwiesen hat. Für andere Bereiche muss zuerst ein geeignetes, streckenspezifisches Modellierungsverfahren gefunden werden, um eine einheitliche, vergleichbare Grundlage zu schaffen.

Deshalb wird in dieser Arbeit beispielhaft der Mautabschnitt A02-\_2\_010,200 - A02\_2\_007,536 näher untersucht, indem drei lokale Sensoren angebracht sind. Auswertungen haben gezeigt, dass sich für diesen Abschnitt die Betrachtung des mittleren Querschnittes A02\_2\_008,600 alleine bereits für die exakte Abbildung der streckenbezogenen Geschwindigkeit sehr gut eignet (siehe Kapitel 4.3.2.2). Daher werden für die querschnittsbezogene Betrachtung für alle 15-Minuten-Intervalle des Monats Juni 2011 die Stauintervalle auf Basis von lokalen LKW-Geschwindigkeiten am Querschnitt A02\_2\_008,600 gemäß der Definition aus Formel 5-1 aufsummiert. Dabei orientiert man sich wieder an den unter 5.1 herangezogenen Schwellenwerten von 30 km/h und 70 km/h bezüglich der Definition eines Intervall als „gestaut“ oder „nicht gestaut“.

Die abschnittsbezogene Betrachtung basiert auf den 15-Minuten-Intervallen der LKW-Reisezeiten, die über die Länge des Mautabschnittes (2,66 km) auf Streckengeschwindigkeiten umgerechnet und anschließend mit den selben Geschwindigkeitsgrenzwerten im Sinne der Stauidentifikation verglichen werden.

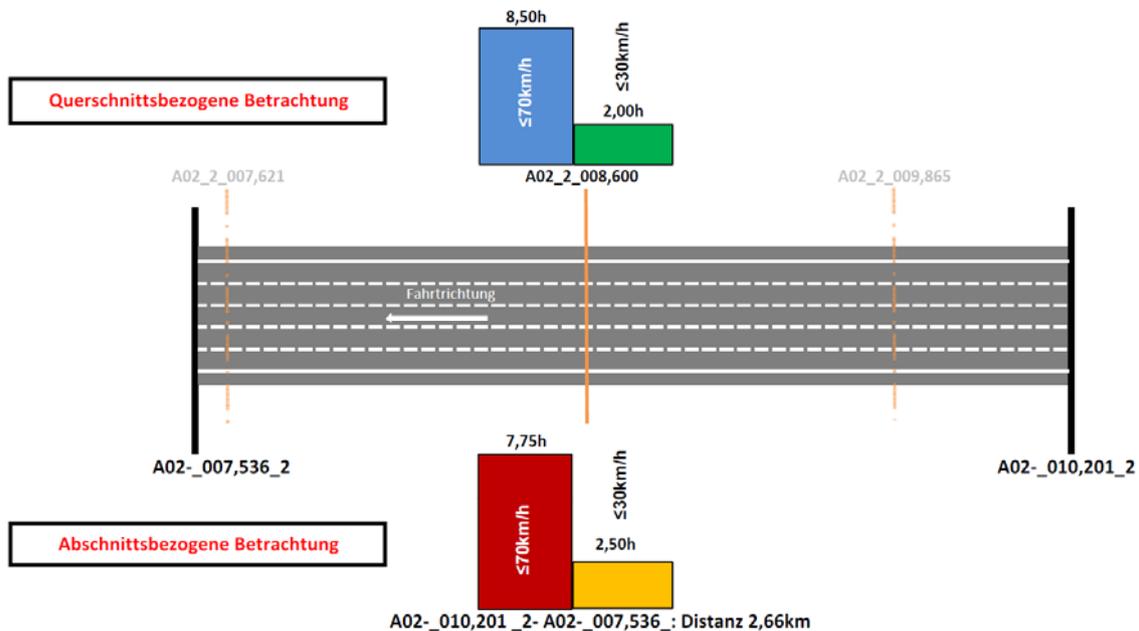


Abbildung 5-4: Vergleich zwischen strecken- und querschnittsbezogenen Stautunden, Abschnitt A02-\_007,536\_2 - A02-\_010,200\_2, 01.06.2011-31.06.2011

Die Gegenüberstellung der beiden Ergebnisse in Abbildung 5-4 zeigt für den betrachteten Zeitraum von einem Monat und dem als geeignet erachteten Mautabschnitt von A02-

\_010,200\_2 bis A02-\_ 007,536\_2 in Fahrtrichtung Wien eine tendenziell gute Übereinstimmung der beiden Staustundenberechnungsergebnisse. Bei der Staudefinition über Grenzggeschwindigkeiten von 70 km/h ergeben sich Differenzen von 0,75 Stunden (3 Stauintervalle) pro Monat und Abschnitt, bei Grenzggeschwindigkeiten von 30 km/h zeigt sich ein Unterschied von 0,5 Stunden (2 Stauintervalle) pro Monat und Abschnitt. Betrachtet man die Gesamtheit an 2880 möglichen Stauintervalle im Juni 2011, erscheint diese Abweichung verschwindet klein.

Das Ergebnis bei einem Schwellenwert von 30 km/h lässt sich zudem aus der geringen Überschätzung der Geschwindigkeiten aus lokalen Messungen ableiten. Wird der Schwellenwert zur Definition von Stau bei den Reisezeitintervallen auf 25 km/h gesenkt, verringern sich sie abschnittsbezogenen Staustunden im Juni 2011 auf die querschnittsbezogen bei 30 km/h errechneten 2 Stunden pro Monat und Abschnitt.

Die höhere Anzahl an Staustunden bei der querschnittbezogenen Betrachtung bei einer Identifikation von Überlastung bei 70 km/h dürfte in der Staudefinition selbst begründet sein. In diesen Analysen wurden ausschließlich LKW-Daten für die Berechnung der Staustunden herangezogen. Diese Daten eignen sich für die Detektion von schweren Überlastungen sehr gut, Fahrzeuge der Gruppe KFZ>3,5t fallen aufgrund ihrer höchstzulässigen Geschwindigkeiten von 80 km/h - 100 km/h häufig jedoch auch bei annähernd freiem Verkehr unter diese Schranke, ohne dass eine Überlastung für den Gesamtverkehrsablauf festzumachen sein muss. Daher kann bei einem Schwellenwert von 70 km/h und LKW-Geschwindigkeiten als Datenbasis keine Systematik festgestellt werden.

Eine Verbesserung der Vergleichbarkeit unter Berücksichtigung der Staustundenergebnisse an den beiden anderen Querschnitten in diesem Mautabschnitt ist für diesen Monat und Abschnitt nicht gegeben.

Für Abschnitte, in denen bereits deutliche Abweichungen der lokalen und streckenbezogenen Daten in den Analysen mit Hilfe der Linienplots zu beobachten waren (siehe 4.3.2), zeigen sich auch die Staustundenergebnisse sehr unterschiedlich. Beispielhaft sind jene des Mautabschnitts A02-\_007,536 - A02-\_005,504\_2 (vgl. dazu auch die Linienplots unter 4.3.2.3) angeführt. In diesem Abschnitt wird der Querschnitt A02\_006,525 als Repräsentant für den Vergleich der beiden Berechnungsergebnisse am Querschnitt bzw. über den Abschnitt herangezogen, da bei bekannten Analysen auch eine Berücksichtigung der knapp außerhalb liegenden Querschnitte zu keiner besseren Übereinstimmung geführt hatte. Die lokalen Messungen überschätzen dabei die Überlastungsgeschwindigkeiten in einem Ausmaß, das unabhängig von der Staudefinition über 30 km/h oder 70 km/h für den Monat Juni 2011 zu einer deutlich geringeren Staustundenanzahl führt als bei der abschnittsbezogenen Betrachtung.

**Tabelle 5-1: Staustundenergebnisse für die querschnitts- bzw. abschnittsbezogene Betrachtungsweise**

<b>Abschnitt: A02-_007,536 - A02-_005,504_2</b>			
Querschnittsbezogene Betrachtung		Abschnittsbezogene Betrachtung	
A02_2_006,525		Länge: 2,03km	
D <sub>(Stau, QS, i, t)</sub>		D <sub>(Stau, AS, i, t)</sub>	
70 km/h	30 km/h	70 km/h	30 km/h
17,00h	2,00h	20,75h	5,00h
		<b>+3,75h</b>	<b>+3,00h</b>

### ► Teilfazit

- Auf Basis der beschränkten Analysen im Rahmen dieser Arbeit scheint eine Vergleichbarkeit von querschnittsbezogenen und abschnittsbezogenen Staustunden in jenen Bereichen gut möglich, in denen
  - ♦ eine ausreichende Dichte an lokaler Sensorik vorhanden ist.
  - ♦ ein Verfahren (einfache Interpolation, komplizierte (anisotrope) Interpolationsmethoden, Berücksichtigung von Streckencharakteristika z.B. Auffahrten usw.) gefunden worden ist, um mit Hilfe von Querschnittsdaten die realen Verkehrsverhältnisse exakt abbilden zu können.
- Wichtig erscheint die Berücksichtigung, dass lokale Messungen grundsätzlich die reale Geschwindigkeit (in unterschiedlichem Ausmaß) überschätzen. Daher ergeben die Berechnungsergebnisse bei Querschnittsbetrachtung stets geringere Anzahlen an Staustunden als jene der abschnittsbezogenen Betrachtungsweise. Die Abweichungen beider Resultat werden umso größer, je größer das Ausmaß der lokalen Überschätzung ist.
- Eine exakte Beschreibung des Verkehrsablaufs auf Basis von direkt gemessenen, räumlich gültigen Größe (z.B. LKW-Reisezeiten) darf nicht gleichbedeutend mit der Verschlechterung der Verkehrsqualität sein, wenn diese auf die Genauigkeit der Methodik selbst zurückzuführen ist.
- Die Form, in welcher (z. B. Reduktion des Schwellenwertes zur Staudefinition für streckenbezogene Geschwindigkeiten) eine Berücksichtigung dieser Tatsachen zu erfolgen hat, sollte in weiteren Analysen untersucht werden.

## 5.3 Einfluss von Schwellenwerten

In diesem Abschnitt werden Untersuchungen durchgeführt, um geeignete Schwellenwerte im Sinne einer Stauidentifikation eines 15-Minuten-Intervalls für das Konzept zur Bestimmung der Staustunden festlegen zu können. Grundsätzlich wird zunächst geklärt, welche Grenzwerte unter Berücksichtigung der LKW-Reisezeiten als primäre Datengrundlage herangezogen werden können, wobei auch die Frage diskutiert wird, ob Grenzwerte zur Stauidentifikation als Festwerte oder als dynamisch angepasste Grenzen in das Bewertungsschema eingehen sollen. Aufbauend darauf wird abschließend ein Vorschlag für eine distanzabhängige Schwellenwertdefinition eingebracht.

### 5.3.1 Analyse verschiedener Schwellenwerte

Grenzwerte zur Stauidentifikation können als Festwerte oder als dynamisch angepasste Schwellen in das Bewertungskonzept eingehen. Als Basis für bewegliche Grenzwerte innerhalb eines Abschnittes könnten dabei die stündlichen, täglichen oder wöchentlichen in dem jeweiligen Abschnitt gefahrenen, mittleren Reisezeiten oder Geschwindigkeiten herangezogen werden, auf die aufbauend über eine dynamische Referenzreisezeit oder Referenzgeschwindigkeit (z. B. doppelte Reisezeit) Stau identifiziert wird.

Für die Analyse der Schwellenwerte zur Staudefinition stehen mit der vorhandenen Datengrundlage, nämlich primär den LKW-Reisezeiten aus dem Mautsystem und sekundär

den streckenbezogenen Geschwindigkeiten aus Querschnittsdaten, zwei Gruppen an Grenzwerten zur Auswahl:

- Geschwindigkeitsschwellenwerte  $v_{\text{GRENZ}}$
- Reisezeitschwellenwerte  $tt_{\text{GRENZ}}$

### **Geschwindigkeitsschwellenwerte $v_{\text{GRENZ}}$**

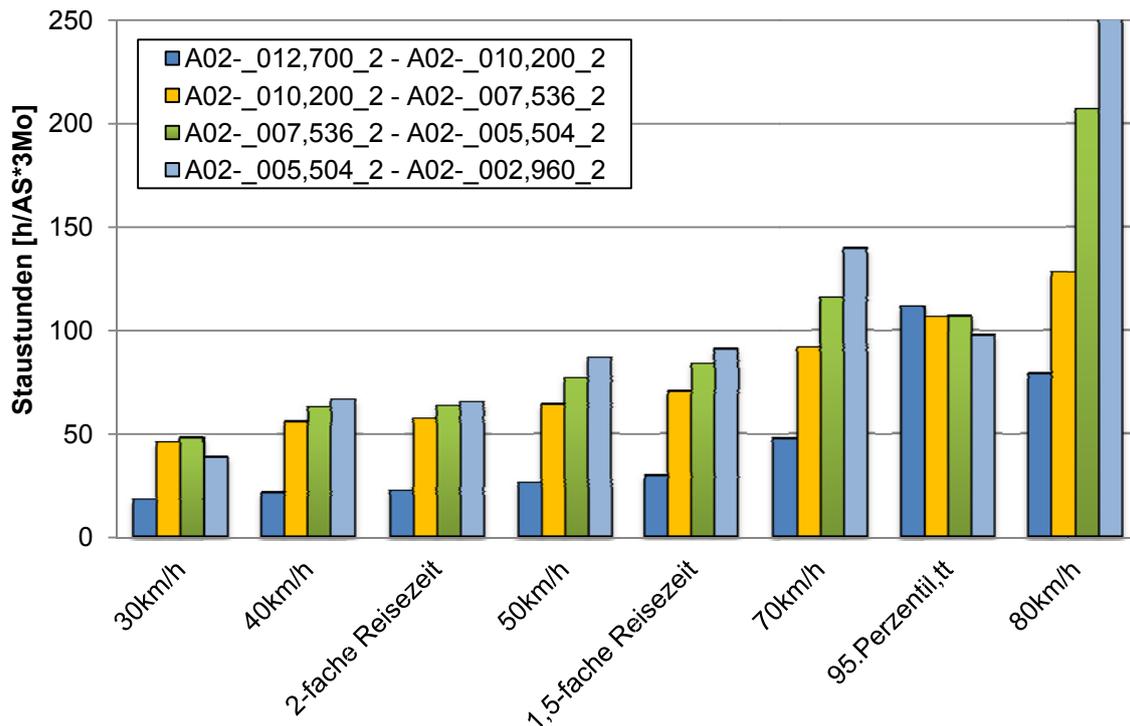
Grenzwerte der streckenbezogenen Geschwindigkeit identifizieren ein Intervall als gestaut, wenn die aus den LKW-Reisezeiten umgerechnete mittlere 15-Minuten-Geschwindigkeit unter diesem liegt. In diesem Sinne werden für die folgenden Analysen des Einflusses von Schwellenwerten auf das Ergebnis der Stautundenbestimmung fünf dieser Gruppe zuordenbare Schwellenwerte untersucht. Dabei wird bewusst eine große Bandbreite gewählt, um einerseits den Unterschied deutlich darstellen zu können, andererseits auch nach der Schwere der Überlastung differenzieren zu können:

- 70 km/h und 80 km/h  
Der Übergang zwischen dem fließenden und dem zähfließenden Verkehr liegt auf Autobahnen mit Geschwindigkeitsbeschränkungen von 130 km/h und darüber üblicherweise in einer Größenordnung von Geschwindigkeiten von 70 km/h bis 80 km/h (z. B. GEISTEFELDT&LOHOFF 2011).
- 50 km/h  
Auch in Österreich dienen manuelle, meist telefonische Staumeldungen durch Verkehrsteilnehmer, die als Betroffene oder Beobachter eine Überlastungssituation erkennen, als aktuelle Information über die Verkehrslage (z. B. Radio-Verkehrsservice). Diese Verkehrsmeldungen wurden in Untersuchungen der ASFINAG den automatisiert ermittelten Geschwindigkeiten an den relevanten Orten zu den Zeitpunkten, an denen die Meldungen eingehen, gegenübergestellt. In diesen Analysen hat sich ein Geschwindigkeitsbereich von 50 km/h als jener herauskristallisiert, bei dem die meisten Benachrichtigungen eingelangt sind (MARIACHER, ASFINAG, Test- und Technologiemanagement Lakeside, mündliche Auskunft 26.07.2011).
- 30 km/h und 40 km/h  
Aus den Erkenntnissen der Literaturrecherche und des Benchmarkings geht hervor, dass Immobilität, d. h. schwere Überlastungssituationen mit Stop&Go-Verkehr, häufig über den Geschwindigkeitsbereich von 30 km/h - 40 km/h definiert wird.

### **Reisezeitschwellenwerte $tt_{\text{GRENZ}}$**

Grenzwerte der Reisezeit definieren Stau als Überschreitungen dieser durch mittlere 15-Minuten-LKW-Reisezeiten. Für die folgenden Analysen werden die 1,5-fache und die 2-fache Reisezeit der jeweiligen freien Abschnittsreisezeit berücksichtigt. Weiter wird das aus der Literatur zu Staudefinition bekannte 95. Perzentil der Reisezeiten untersucht. Für die Bestimmung der freien Reisezeit wird angelehnt an die Definition der Highways Agency (siehe dazu Kapitel 3.5) der Median der historischen Reisezeiten über drei Monate herangezogen und zu diesem je Kilometer 2 Sekunden als Toleranzzeit addiert. Auch für die Bestimmung der Perzentile bedient man sich der Reisezeiten dieser drei Monate.

In diesem Sinne werden für das Testfeld A02\_2\_A, FR Wien und für den erhaltenen Zeitraum von drei Monaten für vier Mautabschnitte Stautunden auf Basis der oben dargelegten Staudefinitionen und der bekannten abschnittsbezogenen Berechnungsart bestimmt. Für diese Gegenüberstellung werden ausschließlich die LKW-Abschnittsreisezeiten herangezogen, die, wenn für Geschwindigkeitsschwellenwertverfahren notwendig, über die bekannten Abschnittslängen in Streckengeschwindigkeiten umgerechnet werden. Abbildung 5-5 veranschaulicht die Anzahl der Stautunden im betrachteten Zeitraum von drei Monaten (Oktober 2010-Dezember 2010) je nach zugehörigem Schwellenwert.

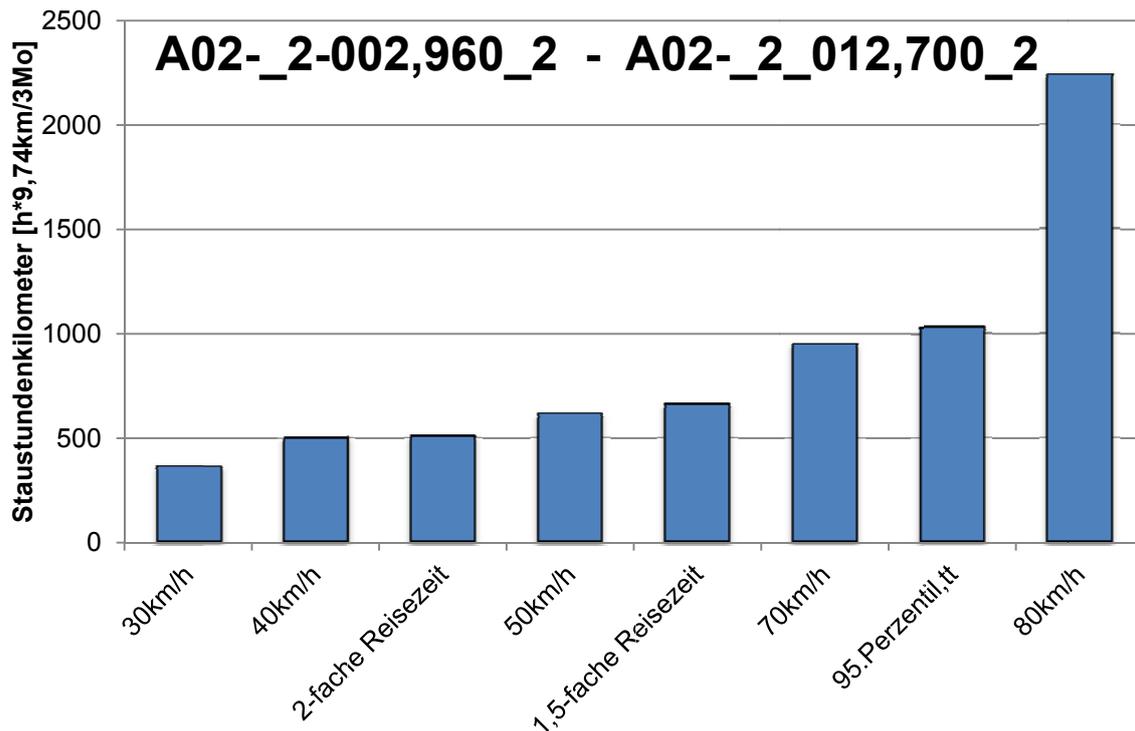


**Abbildung 5-5: Stautunden auf Basis unterschiedlicher Staudefinitionen am Testfeld A02\_2\_A im Zeitraum Oktober 2010-Dezember 2010**

Auf den ersten Blick wird ersichtlich, dass die Ergebnisse der Stautundenbestimmung für die betrachteten drei Monate drastisch voneinander abweichen. Die meisten Stautunden je Abschnitt in den drei Monaten bringt jeweils die Definition von Stau über eine Geschwindigkeitsschwelle von 80 km/h mit sich, da diese in allen Mautabschnitte beinahe der historischen, freien LKW-Abschnittsreisezeit entspricht und deshalb hier bereits als Kriterium zu Identifikation von Stau ausgeschieden werden kann.

Bei Betrachtung der Staudauer auf Basis der ersten fünf Grenzwerte (30 km/h, 40 km/h, 2-fache Reisezeit, 50 km/h, 1,5-fache Reisezeit) kann aber eine vernünftige Größenordnung der Unterschiede in den Stautundenergebnissen festgestellt werden.

Für den selben Zeitraum werden nun basierend auf den einzelnen Stautunden je Abschnitt und deren bekannten Abschnittslängen für das Gesamtstreckenstück Stautundenkilometer berechnet und zum Vergleich in Abbildung 5-6 dargestellt.



**Abbildung 5-6: Stautundenkilometer am Streckenabschnitt A02-2-002,960\_2 bis A02-2\_012,700\_2 für den Zeitraum von Oktober 2010 - Dezember 2010 unter Berücksichtigung der verschiedenen Grenzwerte**

Aus Abbildung 5-6, in der die Stautundenkilometer für den Abschnitt zwischen Mautbacken A02-2-002,960\_2 und A02-2\_012,700\_2 mit 9,74 Kilometern in der Zeit von Oktober bis Dezember 2010 dargestellt sind, können ähnliche Erkenntnisse gewonnen werden wie aus den abschnittswisen Stautundenbetrachtungen in Abbildung 5-5. Bei einem Geschwindigkeitsgrenzwert von 70 km/h ergeben sich bereits rund doppelt so viele Stautundenkilometer für das betrachtete Streckenstück in den untersuchten drei Monaten wie bei einer Staudefinition über 40 km/h.

Aufgrund dieser Auswertungen der Einzelabschnitte und des gesamten Streckenabschnitts werden die verschiedenen Schwellenwerte in zwei Gruppen eingeteilt: jene Grenzwerte, die hohe Stautunden verursachen, Überlastung bereits in zähfließendem Verkehr sehen und ab einem Geschwindigkeitswert von 70 km/h beginnen und jene, die geringere Stautundendauern mit sich bringen, schwere Überlastungssituationen aufzeigen und unter der 1,5-fachen Reisezeit liegen.

Die Auswertungen bestätigen somit die Annahme, dass die Wahl des Schwellenwertes großen Einfluss auf die Dimension der Stautunden hat. Es stellt sich somit die Frage welchen oder welche Grenzwert(e) man in das Konzept zur flächendeckenden Bestimmung von Stautunden einfließen lässt.

Stautunden sollen in dieser Arbeit eine Ausdruck für schwere Überlastungssituationen sein und Immobilität für den Verkehrsteilnehmer aufzeigen. Über das hier entwickelte Konzept zur Bewertung von Verkehrsqualität sollen schwere Überlastungssituationen erkennbar sein und nicht der Übergangsbereich von freiem in teilgebundenen Verkehr dokumentiert werden. Daher werden die Schwellenwerte, die einen zu hohen Geschwindigkeitsbereich bereits als Stau identifizieren (70 km/h, 95.Perzentil der Reisezeit, 80 km/h) für die weiteren Untersuchungen zur Integration von Schwellenwerten in das Bewertungskonzept nicht weiter betrachtet.

Zusätzlich beruht das Bewertungssystem primär auf LKW-Mautdaten, deren Geschwindigkeitsverläufe - so zeigen z. B. Korrelationsanalysen - sich dem des PKW-Verkehrs umso ähnlicher verhalten, je niedrigere Geschwindigkeiten gefahren werden. Außerdem wird auf Streckenabschnitten mit wiederkehrenden sich wiederholenden Überlastungssituationen (meist in Ballungsräumen) mit Hilfe von Verkehrssteuerungsmaßnahmen versucht, den Verkehrsfluss zu optimieren und einen Zusammenbruch zu vermeiden. Eine Wertung dieses Geschwindigkeitsbereiches als Stau würde diesem Bestreben nach der erfolgreichen Abwicklung hoher Verkehrsmengen bei verringerten Geschwindigkeiten widersprechen und dieses als negativ bewerten. Weiters gibt es Streckenabschnitte im österreichischen A&S-Netz, auf denen die höchstzulässige Geschwindigkeit für den Gesamtverkehr auf 80 km/h herabgesetzt ist (z. B. Südosttangente A23).

### 5.3.2 Distanzabhängige Geschwindigkeitsschwellenwerte

Aus der Expertenbefragung ist bekannt, dass Stau grundsätzlich über einen Geschwindigkeitsbereich von rund 30 km/h (Niederlande: 25km/h, Schweiz 30 km/h, Bayern 35km/h) definiert wird. Diese Staudefinition eignet sich auch für das österreichische Konzept zur Bewertung von Verkehrsqualität.

Allerdings wird in Erwägung gezogen unterschiedliche Schwellenwerte in das Konzept zur Staustundenermittlung zu integrieren. Dabei soll einem Mautabschnitt wie unter 5.3.1 bereits geklärt zwar ein fixer Schwellenwert zugeordnet werden, es wird jedoch angedacht, diesen in Abhängigkeit von der Länge des Abschnittes zuzuordnen.

Im österreichischen A&S-Netz können für rund 1000 Relationen LKW-Reisezeiten ermittelt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Distanzen zwischen Anschlussstellen ergeben sich auch große Unterschiede bei den Distanzen zwischen zwei Mautportalen (siehe Abbildung 5-7). Dabei sind Abschnitte (zwischen zwei Mautgantries) mit einer Länge von zwei bis drei Kilometern am häufigsten zu finden, die durchschnittliche Länge beträgt 4,8km.

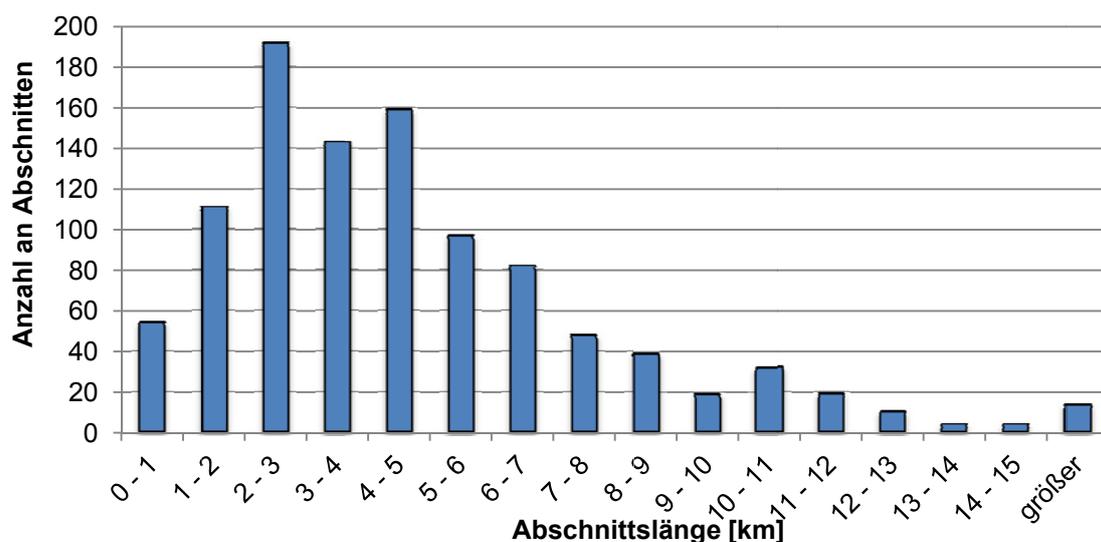


Abbildung 5-7: Häufigkeit der jeweiligen Abschnittslänge zwischen zwei Mautportalen

Den Grund für die Untersuchung einer Staudefinition in Abhängigkeit der in Abbildung 5-7 dargestellten Abschnittslängen liefert die Tatsache, dass sich geringe Distanzen zwischen zwei Mautgantries und somit kurze Abschnitte in der Berechnung mit LKW-Abschnittsreisezeiten als „stauanfälliger“ erweisen als lange Abschnitte.

Dies kann so gedeutet werden, dass sich Stauphänomene auf kurze Abschnitte viel stärker auswirken, da die Strecke und somit die Zeit fehlt, um die Verlustzeiten zu relativieren und die durchschnittliche Geschwindigkeit auf höhere Werte heben zu können. Es muss dabei aber auch die Auswirkung von Stau auf den Verkehrsteilnehmer in Form von Verlustzeiten berücksichtigt werden. Diese Problematik geht aus Abbildung 5-8 hervor, welche die unterschiedliche Wertung eines Abschnitts als gestaut und als nicht gestaut aufgrund der Abschnittslänge bei ein- und demselben Zeitverlust beschreibt .

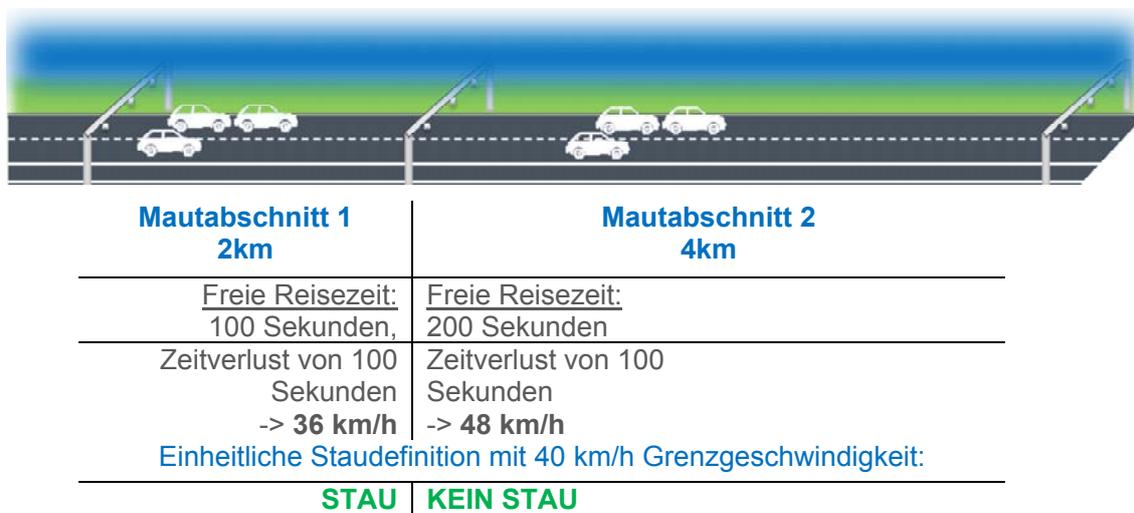


Abbildung 5-8: Problematik bei Festlegung eines einheitlichen Schwellenwerts

Im exemplarischen Beispiel (Abbildung 5-8) benötigt man für das Durchfahren des fiktiven Mautabschnitts 1 mit einer Länge von 2 Kilometern bei freiem Verkehr 100 Sekunden (72 km/h). Ein Zeitverlust von 100 Sekunden bedeutet für diesen Abschnitt, dass die Geschwindigkeit bei 36 km/h liegt. Wird für die Identifikation von Stau der Schwellenwert 40 km/h herangezogen, führt diese Verlustzeit von 100 Sekunden dazu, dass der Abschnitt als gestaut gewertet wird.

Für den Mautabschnitt 2 mit doppelter Streckenlänge (4 Kilometer) beträgt die Reisezeit bei Freifahrtgeschwindigkeit somit 200 Sekunden. Wird in diesem Abschnitt ein Zeitverlust von 100 Sekunden festgemacht, beläuft sich die Abschnittsgeschwindigkeit auf 48 km/h. Wird nun für diesen Abschnitt ebenfalls eine Grenzgeschwindigkeit zur Stauidentifikation von 40 km/h gewählt, stellt sich dieser Bereich als nicht gestaut ein.

Die wertemäßig geringen Differenzen bei den Staustundenberechnungen der Schwellenwerte (30 km/h, 40 km/h, 1,5-fache Reisezeit, 50 km/h und 2-fache Reisezeit) in Kapitel 5.3.1 lassen einen kombinierten Einsatz dieser als praktikabel für die Bewertung von schweren Stausituationen erscheinen. Die dynamische Definition von Grenzwerten innerhalb eines Abschnitts über Reisezeitgrenzwerte soll in dieser Arbeit allerdings nicht weiter berücksichtigt werden. Grund dafür ist zunächst der Wunsch nach einem einfachen Schema mit einheitlicher Grundlage. Da aber für den Verkehrsteilnehmer Stau im Sinne von Zeitverlust spürbar ist und somit der selbe Verkehrsablauf nicht einmal als gestaut und

einmal als nicht gestaut angesehen werden soll, wird hier für das Konzept zur Staustundenermittlung einem Abschnitt zwischen zwei Mautportalen nur ein fester Schwellenwert zugeordnet. Weiters wird angenommen, dass Abschnittsreiseweitenschwellenwerte für den Verkehrsteilnehmer als Staudefinition schwerer vorstellbar sind - einerseits weil diese die Auswirkung darstellen und andererseits weil ein Abkommen von vernünftig darstellbaren Reisezeitschranken wie der 1,5-fachen Reisezeit (z. B. 1,73-fache Reisezeit (50 km/h bei einem 2,03 km-langen Abschnitt)) zu unschönen, schlecht veröffentlichbaren Grenzwerten führen würde. Auch im internationalen Vergleich werden zudem häufig Geschwindigkeitsgrenzwerte zur Staudefinition betrachtet.

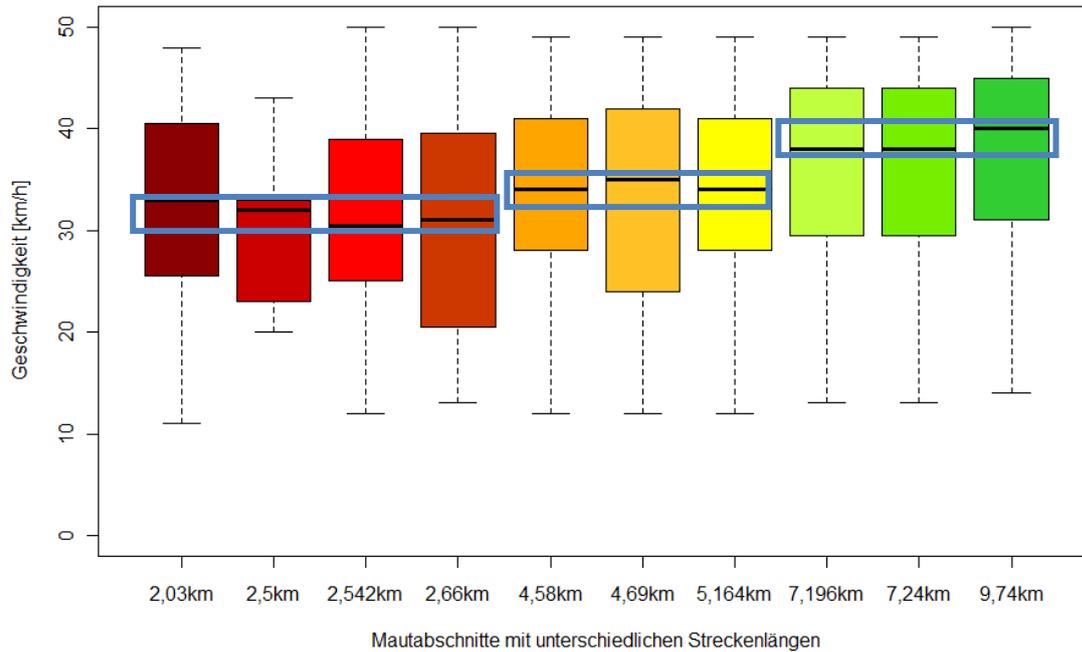
Es wird hier somit vorgeschlagen, nur mehr die Gruppe der Geschwindigkeitsschwellenwerte in einem Bereich von 30 km/h bis 50 km/h zur Staudefinition einfließen zu lassen und diese hier im Rahmen weiterer Untersuchungen zu einer kombinierten Verwendung im Sinne einer distanzabhängigen Staudefinition zu analysieren.

Eine erste Herangehensweise zur Festlegung von distanzabhängigen Schwellenwerten stellt die Analyse von Staugeschwindigkeitswerten dar. Dazu werden anhand von vorliegenden Abschnittsreisezeiten in Tabelle 5-2 über die Summen der Einzelabschnittsreisezeiten längere Abschnitte mit den zugehörigen Reisezeitsummen „konstruiert“ (grau hinterlegte Abschnitte).

**Tabelle 5-2: Einzel- und Summenmautabschnitte A02\_2**

Abschnitt	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
km_von	7,536	12,70	5,504	10,20	7,536	10,20	12,70	12,70	10,20	12,70
km_bis	5,504	10,20	2,960	7,536	2,960	5,504	7,536	5,504	2,960	2,960
Länge [km]	<b>2,03</b>	<b>2,5</b>	<b>2,54</b>	<b>2,66</b>	<b>4,58</b>	<b>4,69</b>	<b>5,164</b>	<b>7,196</b>	<b>7,24</b>	<b>9,74</b>

Anschließend werden diese Abschnitte zur Untersuchung ihrer mittleren 15-Minuten Geschwindigkeiten herangezogen. Dafür werden mit Hilfe einer Boxplot-Darstellung (Abbildung 5-9) nur die 15-Minuten-Intervalle betrachtet, bei denen der mittlere Geschwindigkeitswert im Zeitraum Juni 2011 in dem zur Staudefinition als geeignet erachteten Geschwindigkeitsbereich (30 km/h - 50 km/h) oder darunter liegt.



**Abbildung 5-9: Darstellung der Verteilung der Geschwindigkeiten im Bereich von 0-50 km/h für verschiedene Abschnittslängen des Testfeldes A02\_2\_B im Zeitraum Juni 2011**

In Abbildung 5-9 können die Abschnitte grundsätzlich aufgrund ihrer Abschnittslängen in drei Gruppen eingeteilt werden:

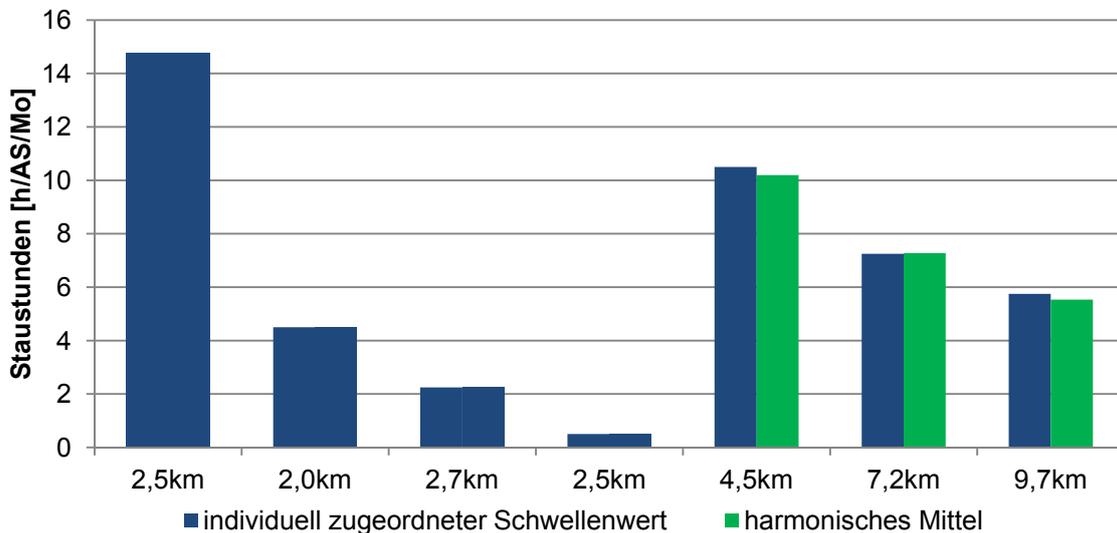
- Abschnitte mit Längen von 2 km - 3 km
- Abschnitte mit Längen von 4 km - rund 5 km
- Abschnitte mit Längen von 7 km bis 10 km

Es wird sehr gut verdeutlicht, dass aufgrund der Länge des Streckenabschnitts, der Geschwindigkeitsbereich in geringem Ausmaß nach oben hin verschoben wird. Die Mediane der Staugeschwindigkeiten für den hier betrachteten Zeitraum steigen wertemäßig tendenziell mit der Abschnittslänge an und bestätigen die theoretische Annahme. Dabei pendeln sich hier die Mediane der kürzesten Abschnitte (bis 3 km) um 32 km/h, jene der Abschnitte mit Längen von 4 km bis 5 km um 34 km/h und die der Abschnitte bis 10 km bei 39 km/h ein.

Auf Basis dieser eingeschränkten Analysen wird im Rahmen dieser Arbeit angedacht, in den kürzesten Mautabschnitten im österreichischen A&S-Netz ( $\leq 2$  km) 30 km/h zur Staudefinition einzusetzen, 50 km/h sollen unter Berücksichtigung des Wunsches schwere Überlastungssituation detektieren zu wollen als obere Schranke festgesetzt werden. Auf Basis der durchgeführten Analyse in Abbildung 5-9 sollen Abschnitten mit Längen um 10 km 40 km/h als Schwellenwert zugeordnet werden. Der Geschwindigkeitsbereich zwischen diesen beiden zugeordneten Werten dient zur Festlegung von Stau in den Abschnitten, die längenmäßig zwischen diesen oder über diesen Mautsegmenten liegen. Für die Bestimmung der distanzabhängigen Schwellenwerte wird eine lineare Interpolation vorgeschlagen.

Dieser Entwurf wird über die Berechnung von Stautunden auf Basis dieser individuell zugeordneten Schwellenwerte ( $V_{\text{GRENZ,DIST}}$ ) auf die Brauchbarkeit untersucht. Dafür werden wieder in Tabelle 5-2 konstruierten Abschnitte herangezogen. Für diese werden für einen Monat (Juni 2011) einerseits die Stautunden der Einzelabschnitte andererseits die

Stauzeiten der Summenabschnitte über die den Abschnittslängen zugeordneten Schwellenwerten bestimmt. Zur Prüfung der Brauchbarkeit der vorgeschlagenen Schwellenwerte werden den Ergebnissen der Summenabschnitte die über die Abschnittslänge gewichteten, harmonischen Mittel der Einzelabschnittsstauzeiten gegenübergestellt.



Abschnitt	Einzelabschnitte				Summenabschnitte		
	von	bis	Länge [km]	$V_{\text{GRENZ,DIST}}$	von	bis	Länge [km]
	2,96	5,504	2,5	30,6	2,96	5,504	2,5
	5,504	7,536	2,0	30	5,504	7,536	2,0
	7,536	10,2	2,7	30,9	7,536	10,2	2,7
	10,2	12,7	2,5	30,6	10,2	12,7	2,5
	2,96	7,536	4,6	33,1	2,96	12,7	4,6
	2,96	10,2	7,2	36,5	7,536	12,7	7,2
	2,96	12,7	9,7	39,6	10,2	12,7	9,7

Abbildung 5-10: Stauzeiten im Juni 2011 für individuelle Schwellenwerte

Auf den ersten Blick scheint die für die Schwellenwerte getroffene Annahme recht schlüssig zu sein. Vergleicht man die Stauzeitenergebnisse der Summenabschnitte mit den Auswertungen der Einzelabschnitte, fällt eine gute Übereinstimmung der harmonischen Mittel der Einzelstauzeiten und den Ergebnissen der Summenabschnitte auf. Die Ergebnisse der Stauzeitenberechnung bestätigt, dass bei einer Länge von rund 10 km ein Geschwindigkeitsschwellenwert von 40 km/h stimmig erscheint. Auch die interpolierten Geschwindigkeitsschwellenwerte für Abschnittslängen darunter sind grundsätzlich als repräsentativ einzustufen.

► Teilfazit:

- Die Erkenntnisse dieser Arbeit belegen die Brauchbarkeit einer distanzabhängigen Festlegung der Schwellenwerte, können allerdings keinen Anspruch auf allgemeine Gültigkeit erheben. Die Auswertungen im Rahmen dieser Arbeit gehen für die exakte Festlegung einer Staudefinition in Abhängigkeit der Länge nicht weit genug. Eingehende Datenanalysen sollten folgen.
- Als weiterer Ansatz zur distanzabhängigen Staudefinition könnte die aus OKAMURA E.A. (2000) und der Praxis in den Niederlanden bekannte Mitberücksichtigung der räumlichen Ausdehnung des Staus, d. h. der Staulänge dienen. Dabei muss die mittlere Geschwindigkeit über mindestens 2 km unter einem definierten Schwellenwert liegen.

- Auf Basis beschränkter Analysen im Rahmen dieser Arbeit wird für den Einsatz in einem Bewertungskonzept eine Annahme getroffen, die Stau in Abhängigkeit der Abschnittslänge definiert. Dieser Vorschlag besitzt jedoch nur eingeschränkte Gültigkeit und kann im Bewertungskonzept jederzeit durch neue Erkenntnisse zu diesem Thema ergänzt oder ersetzt werden. Hier wird für Abschnitte bis zwei Kilometer ein konstanter Schwellenwert von 30 km/h als Staudefinition, bei 10 km Abschnittslänge 40 km/h eingesetzt. Der Bereich dazwischen und darüber hinaus wird über eine lineare Funktion geschätzt bis ein Schwellenwert von 50 km/h (bei einer Abschnittslänge von 18 km) erreicht ist (siehe Abbildung 5-11).

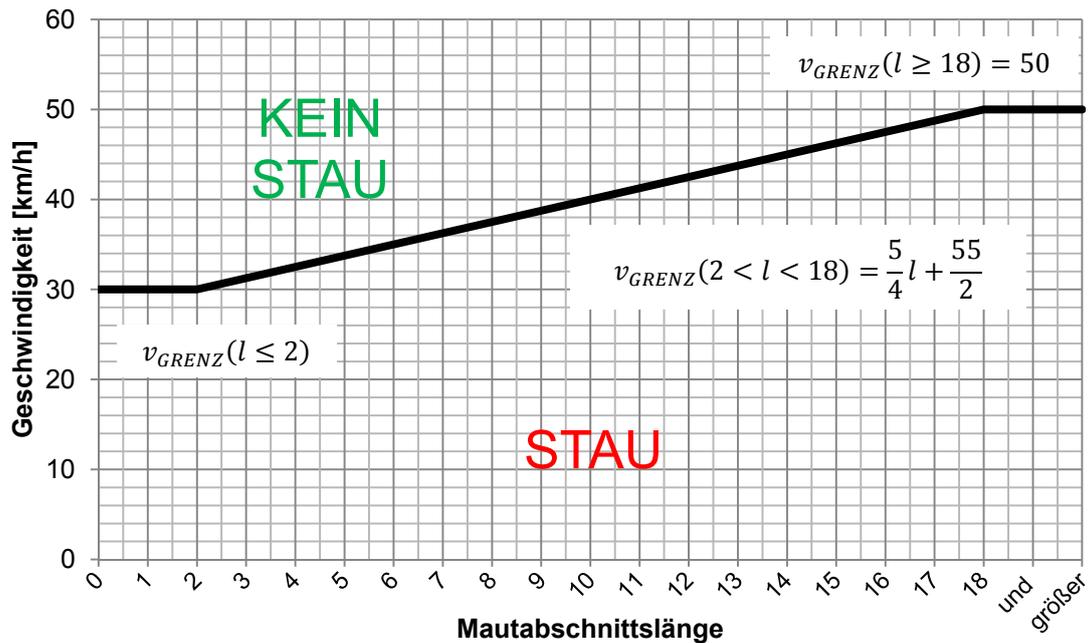


Abbildung 5-11: Funktion zur Bestimmung von distanzabhängigen Geschwindigkeitsschwellenwerten

#### 5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Anhand der vorliegenden Testgebiete des österreichischen A&S-Netzes wurde der Einfluss verschiedener Parameter auf die Ermittlung der Qualitätskenngrößen „Staustunde“ und „Staustundenkilometer“ überprüft und fürs Erste bestimmt. Abschließend werden die gewonnenen Ergebnisse in Tabelle 5-3 zusammengefasst.

**Tabelle 5-3: Übersicht der Einflussfaktoren auf die Berechnung der Qualitätskenngröße**

Stautundenberechnung: $D_{STAU,i,t} = \sum_{i=0}^{N_t} k_{STAU} \left[ \frac{h}{AS \cdot t} \right]$				
Parameter	Beschreibung	untersuchte Einstellung	gewählte Einstellung	Anmerkung
Aggregationsintervallgröße	Zeit, wie lange ein Zustand vorherrschen muss, um als solcher gewertet zu werden	1-, 5-, 15-, 60-Minuten-Intervalle	15-Minuten-Intervall	Statistische Nachweise zur Eignung der 15-Minuten-Intervalle sollten folgen
Betrachtungsweise	Untersuchung des Einflusses der Berechnungsweise auf die Stautundenergebnisse	$D_{STAU,AS,i,t}$ und $D_{STAU,QS,i,t}$	$D_{STAU,AS,i,t}$	Vergleichbarkeit beider Betrachtungsweisen in lokal gut detektierten Bereichen möglich
Schwellenwerte $V_{GRENZ}$ und $t_{GRENZ}$ zur Staudefinition	Schwellenwert der unterschritten werden muss, damit ein Intervall als gestaut gewertet wird ( $k_{STAU}$ )	$V_{GRENZ}$ : 30,40,50,70,80 km/h $t_{GRENZ}$ : 1,5-/2-fache Reisezeit 95.Perzentil der Reisezeit	30-50 km/h	Staudefinition in Abhängigkeit der Abschnittslänge

#### 5.4.1 Flussdiagramm für die Kenngrößenermittlung

Zusammenfassend wird weiters ein Flussdiagramm entworfen, um für beliebige Abschnitte des österreichischen A&S-Netzes die Verkehrsqualität auf Basis des unter 4.5 dargestellten Schemas quantifizierbar zu machen. Dabei sei darauf hinzuweisen, dass die Brauchbarkeit des Einsatzes von einer abschnittslängenabhängigen Staudefinition in dieser Arbeit zwar aufgezeigt wird, die Frage nach der genauen, distanzabhängigen Festlegung und Zuordnung von Schwellenwerte zu den jeweiligen Mautabschnitten in dieser Arbeit nicht endgültig beantwortet werden kann. Somit sind die einzelnen Werte dieses Flussdiagramm als Vorschlag für einen möglichen Ablauf eines flächendeckenden Bewertungsschemas zu sehen. Die einzelnen Komponenten können jederzeit durch neue Erkenntnisse ergänzt oder korrigiert werden.

Für den Vorschlag eines Ablaufkonzeptes gilt es nach Abbildung 4-34 zwei unterschiedliche Fälle zu beachten:

- Streckenbereiche mit hoher Dichte an lokalen Messquerschnitten ( $d_{MQ1\_MQ2} \leq 3$  km)
- Streckenbereiche mit hoher Dichte an lokalen Messquerschnitten ( $d_{MQ1\_MQ2} > 3$  km)

Die Basis für die Bewertung der Verkehrsqualität stellen für beide Fälle die einzelnen Mautabschnitte dar, über deren Längen die jeweiligen Schwellenwerte zur Staudefinition individuell festzulegen sind:

- Abschnitte mit Längen bis zu 2 km:  $V_{GRENZ} = 30$  km/h
- Abschnitte mit Längen zwischen 2 km und 18 km:  $V_{GRENZ} = \frac{5}{4}L + \frac{55}{2}$  km/h
- Abschnittslängen ab 18 km:  $V_{GRENZ} = 50$  km/h

Als primäre Eingangsdaten fungieren die Abschnittsreisezeiten aus dem LKW-Mautsystem. Die Einzelreisezeitdaten der LKW werden über Formel 5-2 zu 15-Minuten-Intervallen aggregiert:

Formel 5-2	$tt_{LKW,15}$	$= \frac{1}{q_{LKW,15}} \sum_{i=1}^{15} tt_{LKW}$
mit	$tt_{LKW,15}$	... mittlere LKW-Abschnittsreisezeit im 15-Minuten-Aggregationsintervall [sec]
	$q_{LKW,15}$	... 15-Minuten-LKW-Verkehrsstärke [LKW/15min]
	$tt_{LKW}$	... LKW-Abschnittsreisezeit [sec]

Diese 15-Minuten-Abschnittsreisezeiten der LKW in Stundenwerten werden über das Wissen der Mautsegmentlängen in streckenbezogene Abschnittsgeschwindigkeiten umgerechnet:

Formel 5-3	$v_{LKW,tt,15}$	$= \frac{s_{AS,i}}{tt_{LKW,15}}$
mit	$v_{LKW,tt,15}$	... streckenbezogene Abschnittsgeschwindigkeit aus den LKW-Reisezeiten im 15-Minuten-Intervall [km/h]
	$s_{AS,i}$	... Länge des Abschnitts i [km]
	$tt_{LKW,15}$	... LKW-Abschnittsreisezeiten aus dem Mautsystem im 15-Minuten-Intervall [h]

Liegen z. B. an Wochenenden in Abschnitten keine LKW-Reisezeiten vor ( $q_{LKW,15}=0$ ), können in Bereichen mit hoher, lokaler Detektionsdichte ( $d_{MQ1-MQ2} \leq 3$  km) die lokalen Geschwindigkeiten aus den relevanten Querschnittsmessungen eines Abschnitts zur Plausibilitätskontrolle herangezogen werden. Dafür wird zuerst aus den in Minutenintervallen vorliegenden, lokalen Geschwindigkeiten das gewichtete, arithmetische 15-Minuten-Mittel gebildet:

Formel 5-4	$\bar{v}_{KFZ,lok,15}$	$= \frac{\sum_{i=1}^x q_{Min} \cdot v_{lok,Min}}{\sum_{i=1}^x q_{Min}}$
mit	$\bar{v}_{KFZ,lok,15}$	... mittlere, lokale Geschwindigkeit im 15-Minuten-Aggregationsintervall [km/h]
	$q_{Min}$	... minütliche Verkehrsstärke [KFZ/min]
	$v_{lok,Min}$	... mittlere, lokale Minutengeschwindigkeit [km/h]

Abhängig von der Anzahl der lokalen Sensoren werden diese 15-Minuten-KFZ-Geschwindigkeiten zur Schätzung der Abschnittsgeschwindigkeiten eingesetzt. Dies erfolgt über die Bildung des mit dem Einflussbereichssegment (siehe Abbildung 4-21) gewichteten, harmonischen Mittels der lokalen Geschwindigkeiten zu:

$$\text{Formel 5-5} \quad \bar{v}_{KFZ,AS,15} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{\sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\bar{v}_{KFZ,lok,15,i}}}$$

mit	$\bar{v}_{KFZ,AS,15}$	... streckenbezogene Abschnittsgeschwindigkeit aus Querschnittsdaten im 15-Minuten-Intervall [km/h]
	$s_i$	... Länge der Einflussbereichssegmente [km]
	$\bar{v}_{KFZ,lok,15,i}$	... mittlere, lokale Geschwindigkeit im 15-Minuten-Aggregationsintervall am Querschnitt i [km/h]

Für Bereiche mit geringerer Dichte an Messquerschnitten kann in diesem Fall keine Aussage über die Verkehrsqualität getroffen werden.

Die 15-Minuten-Intervalle der streckenbezogenen Geschwindigkeit gilt es nun als gestaut oder nicht gestaut zu bewerten. Dafür bedient man sich der zuvor über die Segmentlänge bestimmten Schwellenwerte  $v_{GRENZ}$ . Liegt nun die zuvor ermittelte 15-Minuten-Abschnittsgeschwindigkeit aus unterschiedlichen Datengruppen über der definierten Schwelle, zählt das Intervall als nicht gestaut und wird nicht weiter verfolgt („kein Stau“). Geschwindigkeitswerte darunter werten das Intervall als gestaut ( $k_{STAU}$ ). In Bereichen mit einer Distanz zwischen zwei Messquerschnitten größer als 3 km kann keine weitere Überprüfung der Richtigkeit der Stauaussage erfolgen und das Intervall basierend auf den LKW-Reisezeiten geht mit mittlerer Sicherheit mit 0,25h in die Berechnung des Verkehrsqualitätsmaßes ein. In hochdetektierten Bereichen ( $d_{MQ1-MQ2} \leq 3$  km) hingegen werden bei Mangel an mautpflichtigen LKW die Geschwindigkeiten aus der Schätzung von lokalen Geschwindigkeiten herangezogen. Im Falle ausreichenden LKW-Vorkommens wird hier eine Plausibilitätskontrolle der über die Reisezeiten identifizierten Stauintervalle durchgeführt, indem dasselbe Geschwindigkeitsintervall aus den Querschnittsdaten geschätzt unter einer angenommenen Geschwindigkeitsschwelle von 50 km/h ( $v_{KFZ,AS,15} < 50$  km/h) liegen muss, um Datenfehler zu identifizieren. Dieser Wert soll dabei lediglich beispielhaft für die Auswertungen in dieser Arbeit herangezogen werden, ohne sich auf wissenschaftliche Analysen dazu stützen zu können. Eine weitere Fusionierung der beiden Datenquellen kann im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden.

Diese Stauintervalle  $k_{STAU}$  werden abschließend über Formel 4-3 und Formel 4-4 zu abschnittsbezogenen Staustunden je Abschnitt und Zeitraum und für internationale Zwecke nach zu Staustundenkilometern je Abschnitt und Zeitraum aufsummiert.

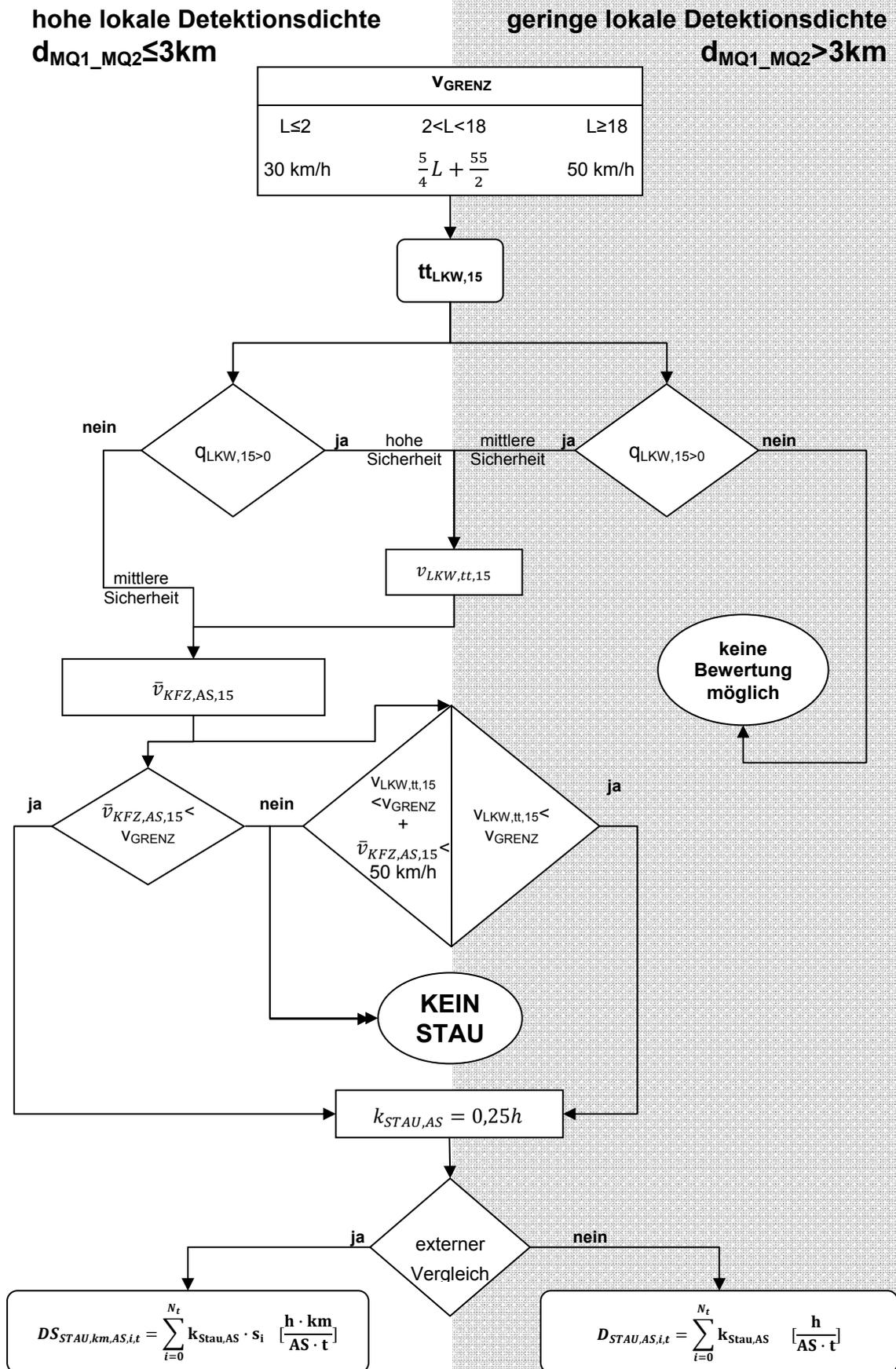


Abbildung 5-12: Flussdiagramm zur Ermittlung des Verkehrsqualitätsmaßes

#### 5.4.2 Ermittlung der Stautunden für Bereiche des österreichischen A&S-Netzes

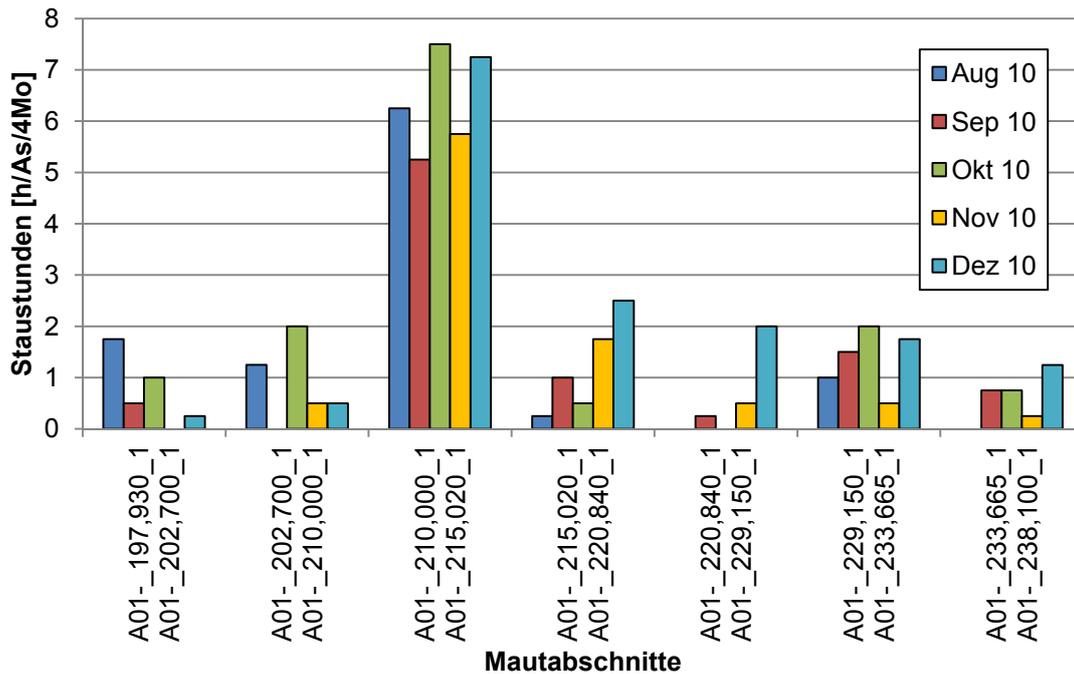
Den letzten Punkt der Arbeit stellt die Anwendung des vorgeschlagenen Flussdiagramms im Sinne einer Bewertung der Verkehrsqualität auf ausgewählten Abschnitten der Referenzgebiete dar. Dafür wird jeweils in dem vorliegenden Zeitraum abschnittsweise das Maß der Verkehrsqualität (Stautunden oder Stautundenkilometer) bestimmt.

Als Anwendungsgebiet des entwickelten Bewertungskonzeptes wird zuerst ein Streckenabschnitt der A1 herangezogen. In diesem Gebiet liegen Querschnittsdaten mit einer Dichte vor, die nicht zur Abschätzung von streckenbezogenen Daten ausreicht (siehe Abbildung 4-34). Dadurch werden hier nur die LKW-Reisezeiten aus dem Mautsystem betrachtet und zur Ermittlung des Verkehrsqualitätsmaßes verwendet. In diesem Teilstück der A1 finden sich Mautabschnitte mit Längen von 4,8 Kilometern bis 8,3 Kilometern. Die Ergebnisse der Stautunden- bzw. Stautundenkilometerermittlung sind sowohl in Abbildung 5-12 als auch in Abbildung 5-13 ersichtlich.

**Tabelle 5-4: Ermittlung von Stautunden und Stautundenkilometern für den Streckenabschnitt A1- 197,930\_1 bis A01- 238,100\_1 in Fahrtrichtung Salzburg im Zeitraum von 01.08.2010 - 31.12.2010**

Mautabschnitt		Länge [km]	v <sub>GRENZ</sub> [km/h]	Stautunde [h/AS*t]						Stautundenkilometer [h*km/AS*5Mo]
von	bis			Aug 10	Sep 10	Okt 10	Nov 10	Dez 10	Σ	
A01- 197,930_1	A01- 202,700_1	4,77	33	1,75	0,5	1	0	0,25	3,50	316
A01- 202,700_1	A01- 210,000_1	7,30	37	1,25	0	2	0,5	0,5	4,25	
A01- 210,000_1	A01- 215,020_1	5,20	34	6,25	5,25	7,5	5,75	7,25	32,00	
A01- 215,020_1	A01- 220,840_1	5,82	35	0,25	1	0,5	1,75	2,5	6,00	
A01- 220,840_1	A01- 229,150_1	8,31	38	0	0,25	0	0,5	2	2,75	
A01- 229,150_1	A01- 233,665_1	4,515	33	1	1,5	2	0,5	1,75	6,75	
A01- 233,665_1	A01- 238,100_1	4,435	33	0	0,75	0,75	0,25	1,245	2,995	

Die Auswertungen zeigen deutliche Unterschiede bei den Stautundenwerten je Abschnitt. Die geringste Verkehrsqualität dieses Streckenstückes liegt demnach mit insgesamt 32 Stautunden in allen fünf betrachteten Monaten im Mautabschnitt A01- 210,000\_1 - A01- 215,020\_1 rund um Lindach in Oberösterreich vor. Dies kann auf eine Baustelle in diesem Bereich zurückgeführt werden. Die Stautundenkilometer ergeben sich für den Gesamtabschnitt und den betrachteten Zeitraum von fünf Monaten zu 316 Stautundenkilometer.



**Abbildung 5-13: Stautunden für den Streckenabschnitt A01-197,930\_1 bis A01-238,100\_1 in Fahrtrichtung Salzburg im Zeitraum von 01.08.2010 - 31.10.2010**

Weiters wird noch ein einzelner Mautabschnitt betrachtet, der in einem lokal gut detektierten Bereich liegt und in dem sich daher die Querschnittsdaten zur Generierung von streckenbezogenen Geschwindigkeiten eignen. Dieser Abschnitt der A2 in Fahrtrichtung Wien wird von den Mautportalen A02-010,200 A02-007,536\_2 begrenzt. Beispielhaft für die Anwendung des Bewertungskonzeptes in Gebieten mit hoher lokaler Sensordichte wird hier aufgrund des hohen Aufwands bei nicht automatisierter Anwendung des Flussdiagramms nur dieser Einzelabschnitt herangezogen und für diesen isoliert das Verkehrsqualitätsmaß bestimmt. Die Länge des Abschnitts von rund 2,7 km bringt den Geschwindigkeitsschwellenwert von rund 31 km/h für die Staudefinition der Aggregationsintervalle auf Basis der LKW-Reisezeiten mit sich. Die Plausibilitätskontrolle dieser Stauintervalle erfolgt über die geschätzten Geschwindigkeiten aus den Querschnittsdaten.

**Tabelle 5-5: Ermittlung von Stautunden und Stautundenkilometern für den Mautabschnitt A02-\_007,536\_2 - A02-\_005,504\_2 in Fahrtrichtung Wien im Zeitraum von 01.06.2011 - 01.07.2011**

A02-_010,200_2 - A02-_007,536_2														
	von		bis		Länge[km]	v <sub>GRENZ</sub> [km/h]	v <sub>str,tt,15</sub>	k <sub>STAU</sub> [h]		v <sub>KFZ,str,lok,15</sub> <50 km/	k <sub>STAU,korr</sub> [h]			
01.06.2011	8	:	0	8	:	15	2,664	30,83	Plausibilitätskontrolle	37	0,25			
05.06.2011	12	:	15	12	:	30					24	0,25	125	--
06.06.2011	7	:	30	7	:	45					25	0,25	48	0,25
17.06.2011	7	:	15	7	:	30					30	0,25	24	0,25
17.06.2011	7	:	30	7	:	45					21	0,25	40	0,25
17.06.2011	7	:	45	8	:	0					13	0,25	23	0,25
17.06.2011	8	:	0	8	:	15					13	0,25	32	0,25
17.06.2011	8	:	15	8	:	30					20	0,25	36	0,25
17.06.2011	8	:	30	8	:	45					19	0,25	28	0,25
28.06.2011	7	:	45	8	:	0					19	0,25	29	0,25
											D <sub>Stau,1Mo</sub>	2,50		

Auf Basis der LKW-Reisezeiten und des zugehörigen Schwellenwerts von ca. 31km/h ergeben sich für den betrachteten Zeitraum von rund einem Monat 2,5 Stautunden ( $D_{\text{Stau,1Mo}}$ ). Diese reduzieren sich nach Überprüfung der Stauintervalle auf ihre Plausibilität mit Hilfe der Querschnittsdaten um ein 15-Minuten-Intervall auf  $D_{\text{Stau,1Mo,korr}} = 2,25$  Stautunden. Dabei ist dieses Intervall am 05.06 mit großer Sicherheit nicht als überlastet zu werten und dürfte auf einen Fehler in den LKW-Reisezeitdaten zurückzuführen sein. Die restlichen Geschwindigkeitswerte aus den Querschnittsdaten befinden sich in einem Bereich, der auf eine Beeinträchtigung für den Gesamtverkehr schließen lässt.

## 6 Fazit und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit wurde die netzweite, a posteriori Bewertung von Verkehrsqualität am hochrangigen Straßennetz unter besonderer Berücksichtigung einer internationalen Vergleichbarkeit (A&S-Netz) diskutiert.

Dazu wurden zu Beginn die Einflüsse auf die Qualität des Verkehrsflusses, die netzweite Definition und Detektion der Güte des Verkehrsablaufs, sowie mögliche Kenngrößen zur Bewertung dieser auf Basis einer ausführlichen Literaturrecherche betrachtet. Dabei geht aus neueren Forschungsarbeiten einstimmig hervor, dass herkömmliche Bemessungs- und Bewertungsverfahren nicht mehr zeitgemäß sind, da sie einerseits den zufallsverteilten Charakter der Kapazität vernachlässigen und nur die Spitzenstunde in ihre Betrachtung miteinbeziehen und andererseits hauptsächlich auf querschnittsbezogenen Daten beruhen. Um sowohl über die räumliche, als auch über die zeitliche Verteilung des Verkehrs eine Aussage treffen zu können, stellen vielmehr streckenbezogene Kenngrößen, im Speziellen die Reisezeit von Streckenabschnitten und davon abgeleitete Kenngrößen ein probates Mittel dar und sollten kontinuierlich über den ganzen Tag betrachtet werden. Die Reisezeit spiegelt in der Praxis dabei eine nutzerrelevante Größe wider, denn – in der Regel soll ein Ziel in kürzest möglicher Zeit erreicht werden – wodurch der Bestimmung dieser eine Schlüsselrolle zukommt. Häufig wird über das Wissen der Abschnittslängen der streckenbezogene Kehrwert der Abschnittsreisezeiten, die Streckengeschwindigkeit, als Grundlage herangezogen. Der Vorteil streckenbezogener Kenngrößen liegt darin, dass der Bereich zwischen zwei Messquerschnitten direkt erfasst werden kann, während lokale Sensorik nur ein punktuelles Bild des Verkehrsflusses zeichnet und in diesem Sinne der nichtdetektierte Bereich lediglich bis zu einer Maximaldistanz von 3 km zwischen zwei Querschnitten über Interpolationsverfahren mit unterschiedlicher Genauigkeit geschätzt werden kann.

Des Weiteren wurden im Rahmen der Literaturanalyse der Verkehrsüberlastungsbereich und die Identifikation eines Verkehrszusammenbruchs untersucht. Grundsätzlich kommen hier in der Literatur Geschwindigkeitsdifferenzen, Abschnittsgrenzreisezeiten und am häufigsten Grenzgeschwindigkeiten zur Anwendung. Für Letztere kristallisieren sich im Hinblick auf die Definition von Stau zwei unterschiedliche Geschwindigkeitsbereiche auf Autobahnen und Schnellstraßen heraus. Während einige unter Stau bereits Störungen des Verkehrsflusses verstehen, die zu verringerten Geschwindigkeiten von 60-80 km/h führen und somit den Übergangsbereich von freiem Verkehr in zähfließenden Verkehr meinen, wird von anderen erst schwere Überlastung mit „Stop&Go“-Verkehr (0-30 km/h) als Stauereignis definiert.

In dem Bestreben, für das österreichische Autobahnen- und Schnellstraßennetz ein Kriterium zu bestimmen, über das künftig auch eine internationale Vergleichbarkeit sichergestellt werden kann, wurden im Rahmen dieser Arbeit acht nationale Betreiber von Autobahnen und Schnellstraßen kontaktiert. Die angewandten Praktiken der Betreiber bei der flächendeckenden Bewertung der Verkehrsqualität wurden untersucht und die verschiedenen Vorgehensweisen bei der rückwirkenden Beurteilung der Verkehrsqualität beleuchtet.

Aus diesen Recherchen geht hervor, dass der Wunsch nach einer einheitlichen Beurteilung im internationalen Vergleich kurzfristig gesehen schwer in die Realität umsetzbar ist. Besonders die unterschiedlichen Daten (Datenerfassungsmöglichkeiten), die zur

Beschreibung des Verkehrsflusses zur Verfügung stehen, gehen qualitativ weit auseinander. Dabei kommen in den einzelnen Staaten sowohl hauptsächlich manuelle (Schweiz), d. h. nicht automatisierte, als auch hoch moderne Detektionsverfahren und Kombinationen dieser zum Einsatz. Auch die verwendeten Indikatoren und die Annahmen für die Berechnung dieser sind oft von Land zu Land und sogar von Region zu Region (innerhalb des gleichen Landes) verschieden. Es findet daher eine große Bandbreite an Ansätzen und Bewertungsmethoden Anwendung und es ist selten, ein einheitliches, praktikables Konzept in den einzelnen Ländern oder Regionen für die Beurteilung der Überlastung zu finden. Während sich in den Niederlanden und Großbritannien die Zuverlässigkeit als das meist veröffentlichte Kriterium etabliert hat, stehen der Öffentlichkeit im deutschsprachigen Raum am häufigsten Stautunden in regelmäßigen Berichten zur Verfügung. Die Verlustzeit wird meist nur intern kalkuliert und nicht kommuniziert und eignet sich somit nur begrenzt für eine Veröffentlichung bzw. öffentliche Gegenüberstellung.

Der Wunsch nach einer einzigen, aussagekräftigen Kenngröße für alle Ziele und Situationen (internationale Vergleichbarkeit, Kommunikation mit dem Verkehrsnutzer, internes Reporting, Monitoring von Verkehrsbeeinflussungsstrategien usw.) scheint mittelfristig somit nicht realistisch. Aufgrund der Tatsache, dass international eine Vielzahl an verschiedenen Kenngrößen existiert, die auf streckenbezogenen Größen (Reisezeiten, Streckengeschwindigkeiten) basieren, und diese länderübergreifend einheitlich als zentrale Datengrundlage gehandelt werden, wird der netzweiten Generierung dieser mit Hilfe der eigenen, zur Verfügung stehenden Daten hohe Bedeutung zugesprochen. Ein Bewertungskonzept basierend auf streckenbezogene Größen scheint auch im Hinblick auf eine mittelfristig international einheitliche Beurteilungsrichtlinie wegen der einfachen Adaptierbarkeit am besten geeignet.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde mit Hilfe von Test- und Kalibrierungsdaten von ausgewählten Streckenabschnitten die Eignung der in Österreich zur Verfügung stehenden Datengruppen überprüft. Als Referenzgebiete lagen dafür jeweils ein Testfeld der Südatautobahn A2, der Westautobahn A1 und der Tauernautobahn A10 vor, von denen einerseits mittlere LKW-Abschnittsreisezeiten anonymisiert aus dem LKW-Mautsystem und andererseits Querschnittsdaten aus lokaler Sensorik für den Einsatz zur Generierung von streckenbezogenen Größen herangezogen werden konnten. Um im Sinne einer Bewertung von Verkehrsqualität die Aussagekraft der beiden Datengruppen zu prüfen, wurden lokale, aber auch abschnittsweise Analysen durchgeführt. Die theoretische Annahme, dass sich das Fahrverhalten der Fahrzeuggruppe KFZ>3,5t bei größerer Verkehrsnachfrage (teilgebundener und gebundener Verkehr) ähnlich oder gleich einstellen wird wie der Gesamtverkehr, konnte durch Auswertungen mit den vorhandenen Realdaten bestätigt werden. Der Überlastungsbereich ist zum Zweck einer a posteriori Bewertung der Verkehrsqualität über die LKW-Reisezeiten ausreichend genau zu beschreiben.

Aus anderen Forschungsarbeiten ist bekannt, dass Querschnittsdaten nur einen Bereich bis maximal 3 km über Interpolationsmethoden aussagekräftig beschreiben können. Dabei bestätigen Ergebnisse der eigenen Auswertungen die These, dass Abschnittsverfahren auf Basis einfacher Modellierungsmethoden häufig auch in Bereichen hoher lokaler Detektion die Geschwindigkeiten überschätzen, da sie Inhomogenität im nicht detektierten Bereich nicht erfassen können. Ab einem Maximalabstand zwischen Messquerschnitten von 3 km kann nur sehr eingeschränkt bis keine streckenbezogene Aussage getroffen werden. Nach Analyse der Übersichtskarte, die die Dichte der lokalen Datenerfassung zeigt, wird

festgestellt, dass ein auf Querschnittsdaten basierendes Bewertungssystem flächendeckend keine Umsetzung finden kann. Gut erfasste Bereiche (Dichte der Querschnittssensorik <3 km) liegen im österreichischen Streckennetz nur in Gebieten mit Verkehrsbeeinflussungsanlagen vor. Eine netzweite Verdichtung der Querschnittssensorik auf 3 km Distanz erweist sich als nicht sinnvoll und ist auch wirtschaftlich nicht vorstellbar. Über das LKW-Mautsystem stehen hingegen direkt streckenbezogene Größen zur Verfügung, ohne nicht detektierte Bereiche schätzen zu müssen. Außerdem liegen die LKW-Reisezeiten mit ein paar wenigen Ausnahmen netzweit vor, wodurch diese im Sinne des Bestrebens nach einer flächendeckend gleichen Datengrundlage für den Einsatz geeignet erscheinen. Daher wurden die LKW-Reisezeiten für die Beurteilung der Verkehrsqualität am hochrangigen Straßennetz in Österreich als primäre Datenquelle für die Berechnung einer Kenngröße herangezogen, die in dichten Streckenabschnitten mit Querschnittsdatenerfassung kombiniert im Sinne einer Ergänzung und einer Plausibilitätskontrolle eingesetzt werden soll.

Basierend auf der Wahl der LKW-Reisezeit als primäre Eingangsgröße für das Bewertungsschema und Grundlage zur Berechnung einer geeigneten Verkehrskenngröße, wurde unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Literaturrecherche und der Expertenbefragung die „Stautunde“ (Staudauer) als die aktuell am besten geeignete Kenngröße für die Ansprüche der ASFINAG als Betreiber des österreichischen A&S-Netzes identifiziert. Mögliche Berechnungsmethoden für die Stautunden werden aufgezeigt. Dabei werden für das österreichische Netz eine abschnittsweise Definition der Stautunden basierend auf den Abschnitten zwischen zwei Mautportalen vorgeschlagen und die Schritte zur Ermittlung dieser in einem Grob Ablauf festgehalten. Während für die interne Beurteilung von Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrsqualität und deren Bewertung die Stautunden je Mautabschnitt ein probates Beurteilungsmittel darstellen, erscheint im internationalen Vergleich die Kenngröße Stautundenkilometer zu diesem Zeitpunkt als geeignet, um eine Vergleichbarkeit der Verkehrsqualität unabhängig von der Definition von Abschnitten und deren Länge herzustellen.

Im letzten Teil der Arbeit wurde mit Hilfe der Daten aus den Referenzgebieten untersucht, welchen Einflüssen die Ermittlung der Stautunden über den schematischen Ablauf und die Definition der Kenngröße unterliegen. Zuerst wurde der Frage nach dem geeigneten Aggregationsintervall der Einzelfahrzeugdaten (sowohl LKW-Reisezeit als auch lokale Geschwindigkeit) nachgegangen und der Einfluss auf das Berechnungsergebnis der Stautunden untersucht. Durch den Wunsch einer nachträglichen Beurteilung der Verkehrsqualität verliert das Wissen über kurzzeitige, dynamische Effekte an Bedeutung und es werden jene Aggregationsintervalle als brauchbar eingestuft, die tatsächlich aufgetretene, zeitlich relevante Verkehrszusammenbrüche widerspiegeln. Zu kleine Intervalle (Minutenintervall) verursachen zu große Schwankungen, zu große (Stundenintervall) beschreiben dagegen den Verkehrsablauf zu ungenau. Dies berücksichtigend zeigen Auswertungen, dass die Staudauer, d. h. die Anzahl der Stautunden je Zeitraum, mit der Vergrößerung des Aggregationsintervalls abnimmt. Für die weiteren Untersuchungen wurde daher unter Beachtung der Analyseergebnisse und des Datenaufwandes ein Aggregationsintervall von 15 Minuten fixiert.

Auch der Einfluss der Schwellenwerte zur Staudefinition eines 15-Minuten-Intervalls wurde analysiert und darauf aufbauend wurden Grenzen zur Staudefinition für das Bewertungskonzept bestimmt. Für die Analyse der Schwellenwerte zur Staudefinition stehen für die vorhandene Datengrundlage Schwellenwerte der Streckengeschwindigkeit

oder Reisezeitschwellenwerte zur Verfügung. Aufgrund der Einheitlichkeit und leichteren Verständlichkeit sollen nur Grenzgeschwindigkeiten in das entwickelte Konzept einfließen und dabei der Bereich über 70 km/h nicht weiter betrachtet werden. Grund dafür ist, dass das Bewertungsschema schwere Überlastungssituationen erkennen und Auswirkungen von geplanten oder ungeplanten, den Verkehrsablauf beeinflussenden Ereignissen aufzeigen soll. Der Übergangsbereich von freiem zu teilgebundenem Verkehr muss nicht unbedingt dokumentiert werden. Zusätzlich beruht das Bewertungssystem primär auf anonymisierten LKW-Reisezeiten aus dem Mautsystem, deren Geschwindigkeitsverläufe, so zeigen z. B. Korrelationsanalysen, umso ähnlicher denen des PKW-Verkehrs sind, je niedrigere Geschwindigkeiten gefahren werden. Eine Wertung dieses Geschwindigkeitsbereiches von über 70 km/h als Stau würde außerdem dem Bestreben nach der erfolgreichen Abwicklung hoher Verkehrsmengen bei verringerten Geschwindigkeiten mit Hilfe von Verkehrssteuerungsmaßnahmen widersprechen und dieses als negativ bewerten.

Vielmehr wird in dieser Arbeit die Sinnhaftigkeit unterschiedlicher Geschwindigkeitsschwellenwerte abhängig von der Länge des Mautabschnittes untersucht. Den Grund dafür liefert die Annahme, dass sich geringe Distanzen zwischen zwei Mautportalen und somit kurze Abschnitte in der Berechnung mit LKW-Reisezeiten als „stauanfälliger“ erweisen als lange Abschnitte. Stauphänomene mit geringer räumlicher Ausdehnung wirken sich auf kurze Abschnitte viel stärker aus, da weniger Zeit für die Relativierung der Staugeschwindigkeiten vorhanden ist und dadurch die durchschnittliche Geschwindigkeit bei längeren Abschnitten auch im Staufall höher ist. Andererseits muss auch die Auswirkung von Stau auf den Verkehrsteilnehmer in Form von Verlustzeiten berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse in dieser Arbeit im Hinblick auf eine distanzabhängige Festlegung der Schwellenwerte bestätigen dabei aufgrund der besseren Vergleichbarkeit die Eignung von unterschiedlichen Schwellenwerten in einem als geeignet betrachteten Geschwindigkeitsbereich von 30 km/h – 50 km/h. Dabei sind im Rahmen dieser Arbeit nur Untersuchungen in einem Umfang möglich, der die Sinnhaftigkeit dieser Staudefinition belegt, über den die konkrete Zuordnung von Schwellenwerten allerdings nicht endgültig bestimmt werden kann. Unter Berücksichtigung der Auswertungen in dieser Arbeit wird für den Einsatz im Bewertungskonzept zur Bestimmung von Staustunden vorgeschlagen, bei Abschnitten bis drei Kilometern, 30 km/h als Schwellenwert einzusetzen, ab 10 km 40 km/h. Geschwindigkeitsgrenzen für Streckenabschnitte mit Länge zwischen 3 km und 10 km werden über eine lineare Funktion geschätzt. Diese festgelegten Werte werden abschließend in den Grob Ablauf integriert und die Schritte zur Ermittlung von Staustunden bzw. Staustundenkilometern je Zeitraum in einem Flussdiagramm dargestellt. Für ausgewählte Streckenabschnitte der Referenzgebiete erfolgt zum Abschluss die Bestimmung von Staustunden bzw. Staustundenkilometern auf Basis des entwickelten Flussdiagrammes und den getroffenen Annahmen.

Diese Arbeit kann als Beitrag zur Bewertung der Gesamtnetzverfügbarkeit auf Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich unter Berücksichtigung internationaler Gegebenheiten verstanden werden. Aufgrund der zurzeit unterschiedlichen, angewandten Praktiken wurde versucht, den gemeinsamen Nenner, d. h. die übereinstimmende Meinung, streckenbezogene Daten als Grundlage einzusetzen, für das entworfene Beurteilungskonzept zu berücksichtigen. Die weiteren Auswertungen sind jedoch im Sinne

einer gewünschten, kurzfristigen Umsetzung am hochrangigen Straßennetz in Österreich zu verstehen, wobei eine leichte Adaptierbarkeit allerdings in jedem Fall gegeben ist.

Weitere Fragestellungen ergeben sich im Bereich einer besseren Datenfusion von direkt ermittelten, streckenbezogenen Daten und Querschnittsdaten, bei der möglicherweise unter Berücksichtigung historischer, systematischer Stauursachen und unter Zuhilfenahme von Floating Car Daten eine bessere Zusammenführung der beiden Datengruppen denkbar wäre. Auch stellt das Bestreben das entwickelte Bewertungskonzept zu automatisieren und somit netzweit laufend die Verkehrsqualität bestimmen zu können, einen offenen Punkt für kommende Arbeiten dar.

## 7 Literaturverzeichnis

- ABDSB. (2011). *Homepage der Autobahndirektion Südbayern*. Abgerufen am 28. Januar 2011 von <http://www.abdsb.bayern.de/index.php>
- Adams, R. (2007). ActiveTraffic Management in the Netherlands. "From re-active to proactive Traffic Management".
- ADEC. (2010a). Serie TDC3 - Überkopf-Verkehrsdetektoren für die spurselektive Verkehrsdatenerfassung. *Produktdatenblatt, ADEC Technologies AG*. Eschenbach, Schweiz.
- ADEC. (2010b). Serie TDC4 - Überkopf-Verkehrsdetektoren für die spurselektive Verkehrsdatenerfassung mit Video-Verifikation. *Produktdatenblatt, ADEC Technologies AG*. Eschenbach, Schweiz.
- Alisch, K. (2004). Gabler Wirtschaftslexikon. "T-VE", 14. Auflage.
- ASFINAG. (2010). *ASFINAG - Verkehrsmanagement*. Abgerufen am 14. April 2011 von [http://oekk.univie.ac.at/uploads/media/ASFINAG\\_Verkehrsmanagement.pdf](http://oekk.univie.ac.at/uploads/media/ASFINAG_Verkehrsmanagement.pdf)
- ASFINAG. (2010a). Der ASFINAG Geschäftsbericht 2010. Wien.
- ASFINAG. (2011a). *Homepage. Betrieb*. Abgerufen am 25. April 2011 von <http://www.asfinag.at/unternehmen/betrieb>
- ASFINAG. (2011b). *LKW-Mautsystem*. Abgerufen am 02. Mai 2011 von <http://www.gomaut.at>
- ASTRA. (2003). NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte. Ein Instrument zur Beurteilung von Strasseninfrastrukturprojekten unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsziele. *Bundesamt für Straßen*.
- ASTRA. (2010). Verkehrsbericht 2009/10. *Bundesamt für Strassenwesen*.
- ASTRA. (2011). Verkehrsentwicklung und Verfügbarkeit der Nationalstrassen. *Jahresbericht 2010. Bundesamt für Strassen*.
- ASTRA. (2008). Verkehrsentwicklung und Verfügbarkeit der Nationalstrassen. Jahresbericht 2008. *Bundesamt für Strassen*.
- ASTRA. (2009). Verkehrsentwicklung und Verfügbarkeit der Nationalstrassen. Jahresbericht 2009. *Bundesamt für Strassen*.
- AVV. (2006). Travelling time reliability. *AVV Transport Research Centre*. Rotterdam.
- Baselau, C. (23. Mai 2005). Entwicklung eines Verfahrens zur Beurteilung der Verkehrsqualität auf Straßen mit 2+1-Verkehrsführung. *Dissertation*. Weimar.
- BAST. (1999). Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen. Kappich Informationssysteme. *Bundesanstalt für Straßenwesen*. Aachen.
- Bayerninfo. (2011). *Homepage der Verkehrsinformationsagentur Bayern*. Abgerufen am 6. März 2011
- Beckmann, A., & Zackor, H. (2001). Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und

- Dauerbaustellen auf Autobahnen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, HEft 808* . Bonn.
- Bernard, M. (2008). Entwicklung eines Bemessungskonzepts für Autobahnabschnitte unter Berücksichtigung der Zufallsgrößen Verkehrsnachfrage und Kapazität in der Risikoanalyse. *DiSSERTATION an der ETH Zürich* . Zürich.
- Bernard, M., & Axhausen, K. (Dezember 2005). A proposal for a new design load concept for highway infrastructures. *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung 300* . Zürich.
- Bertini, R. (2005). *Congestion and Its Extend - Report*. Abgerufen am 28. 12 2010 von [http://www.its.pdx.edu/pdf/bertini\\_congestion.pdf](http://www.its.pdx.edu/pdf/bertini_congestion.pdf)
- Bertini, R. (2005). *Congestion and Its Extend - Seminar*. Abgerufen am 20. 12 2010 von [http://www.its.pdx.edu/pdf/bertini\\_seminar.pdf](http://www.its.pdx.edu/pdf/bertini_seminar.pdf)
- Beutin, N. (2000). Kundennutzen in industriellen Geschäftsbeziehungen . *Schriftenreihe des Instituts für Marktorientierte Unternehmensführung der Universität Mannheim* . Mannheim.
- Bogenberger, K. (2003). Qualität von Verkehrsinformationen. *In: Straßenverkehrstechnik, Heft 10, S.518* .
- Bogenberger, K. (2003a). The Quality of Traffic Information. München.
- BOKU. (2009). Verkehrsplanung und Verkehrspolitik. F – Einführung in die Straßenplanung. *Universität für Bodenkultur Wien* . Wien.
- Bovy, P. H. (2001). Traffic flooding the low countries: How the Dutch cope with traffic congestion.
- Bovy, P. H., & Salomon, I. (1997). A Prospective Assessment Of The Problem: Traffic Congestion In Europe. *In ECMT (1999)* . Delft.
- Brilon, W., & Estel, A. (2008). Differenzierte Bewertung der Qualitätsstufen im HBS im Bereich der Überlastung. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* . (B. u. Bundesministerium für Verkehr, Hrsg.) Wirtschaftsverlag NW.
- Brilon, W., & Lemke, K. (1997). Fehmarn-Belt-Querung - Szenarische Leistungsfähigkeitsbetrachtung für einen Tunnel. *Schlußbericht zum Forschungsauftrag FE-Nr. 02.163/1995/FR im Auftrag des BM für Verkehr*. Bochum.
- Brilon, W., & Zurlinden, H. (2003). Überlastungswahrscheinlichkeiten und Verkehrsleistung als Bemessungskriterium für Straßenverkehrsanlagen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 870* . Bonn.
- Brilon, W., & Zurlinden, H. (2003). Überlastungswahrscheinlichkeiten und Verkehrsleistung als Bemessungskriterium für Straßenverkehrsanlagen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 870* . Bonn.
- Brilon, W., Grossmann, M., & Blanke, H. (1993). Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Straßen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 669* . Bonn.
- Brilon, W., Regler, M., & Geistefeldt, J. (2005). Zufallscharakter der Kapazität von Autobahnen und praktische Konsequenzen. *Straßenverkehrstechnik, Heft 3 (Teil 1) und Heft 4 (Teil 2)* .

- Brunnmeier, H. (1998). Ausbau eines Stauverfolgungssystems zu einem fehlertoleranten System. *Diplomarbeit Universität Stuttgart* . Stuttgart.
- Buld, Hoffmann, T., Benmimoun, Chen, & Vollrath. (2006). Verkehrszustand als Basis für adaptive Fahrerassistenz am Beispiel der Autobahnauffahrt. 15. *Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik* . Aachen.
- De Haan, H. J. (2011). FCD in The Netherlands. *Presentation in Vilnius, Lithuania: 24-25 March 2011* .
- De Vries, B. (2006). Basic Traffic Information. *Traffic Centre The Netherlands. Survey of data, information and services* .
- Deweis, N. (2007). Modernes Verkehrsmanagement auf Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich. *Päsentation vom 20.November 2007* . November.
- DFT. (2010). Annual Report and Accounts 2009-2010. *Department for Transport* . London.
- DFT. (März 2011). Inter-urban Congestion Statistics: Year ending January 2011. Statistical Release . *Department For Transport* . London.
- DFT. (2010a). Journey time reliability on the strategic road network. *Department For Transport* . London.
- DFT. (2009). Road Statistics 2008: Traffic, Speeds and Congestion. *Department for Transport* . London.
- DFT. (2010b). Road Traffic and Congestion in Great Britain. Q2 2010. *Department for Transport* . London.
- EAOE. (2005). The Egnatia Motorway, Development and Combined Transports. *2005 Congress On Development* . Kavala.
- ECMT. (1999). Traffic Congestion In Europe. *European Conference of Ministers of Transport (ECMT)* . Paris.
- EOAE. (2011). *Englische Homepage der Egnatia Odos A.E.* Abgerufen am 27. 03 2011 von <http://www.egnatia.eu/page/default.asp?id=5&la=2>
- Fellendorf, M. (2009). Straßenverkehrstechnik und Telematik. *Skriptum zur Vorlesung 209.464, TU Graz* . Graz.
- Fellendorf, M. (2008). Verkehr - Teil: Straßen- und Verkehrswesen. *Skriptum zur Vorlesung WS 2008/09* . Graz.
- Fenzl, R. (2010). Beschreibung des Verkehrsablaufs auf Autobahnen mit Einzelfahrzeugdaten. *Masterarbeit an der TU Graz* . Graz.
- FGSV. (2000). Begriffsbestimmungen - Teil: Verkehrsplanung, Straßenentwurf und Straßenbetrieb. *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.)* .
- FGSV. (2001). Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS 2001). *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.)* . Köln: FGSV-Verlag.
- FGSV. (1992). Hinweise zur Verkehrsflussanalyse, Störfallentdeckung und Verkehrsflussprognose für die Verkehrsbeeinflussung in Außerortsbereichen. *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.)* . Köln.

- FGSV. (2004). Merkblatt - Das Fundamentaldiagramm - Grundlagen und Anwendungen. *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.)*. Berlin.
- FGSV. (1996). Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS) Teil: Querschnitte (RAS-Q 96). *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.)*.
- FH Technikum Wien. (2009). Grundlagen des Verkehrswesens 3. *Skript zur Vorlesung, Teil 3: Die freie Strecke*. Wien.
- FHWA. (2007). Active Traffic Management: The Next Step in Congestion Management. International Technology Scanning Program. *Federal Highway Administration*. Washington.
- FHWA. (2011). *Homepage der FHWA. About FHWA*. Abgerufen am 20. März 2011 von Federal Highway Administration: <http://www.fhwa.dot.gov/about/>
- FHWA. (2008). Status of the Nation's Highways, Bridges, and Transit: Conditions and Performance. Chapter 14: Conditions and Performance. *Federal Highway Administration*. Washington.
- FHWA. (2004). Transportation Performance Measures in Australia, Canada, Japan and New Zealand. *Federal Highway Administration*. Washington.
- Geistefeldt, J. (2007). Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit auf Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen. *Dissertation*. Bochum: Schriftenreihe, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum.
- Geistefeldt, J., & Lohoff, J. (2011). Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen. *Studie im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen*. Bochum.
- Highways Agency. (2011). *Homepage Highways Agency, Doing Business with Us*. Abgerufen am 25. März 2011 von <http://www.highways.gov.uk/business/19474.aspx>
- Highways Agency. (2005). Journey Traveltime Reliability SRN. *Freeflow speeds*.
- HMWVL. (2010). *Pressemitteilung vom 22.09.2010*. Abgerufen am 08. März 2011 von Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung: [http://www.hsvv.hessen.de/irj/HSVV\\_Internet?cid=65dd8d418bb6053ba6975b4a8d5e4e05](http://www.hsvv.hessen.de/irj/HSVV_Internet?cid=65dd8d418bb6053ba6975b4a8d5e4e05)
- Höfler, F. (2006). Verkehrswesen-Praxis. *Band 2*. Berlin.
- HSSV. (2009). Staufreies Hessen 2015 - Projektinformationen. *Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen (HSVV)*.
- HSVV. (2011). *Homepage der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung (HSVV)*. Abgerufen am 8. März 2011 von <http://www.hsvv.hessen.de>
- HSVV. (2011a). *Homepage Staufreies Hessen 2015*. Abgerufen am 7. März 2011 von <http://www.staufreieshessen2015.hessen.de/>
- HSVV. (2009). Staufreies Hessen 2015. *Homepage der Hessische Straßen- und Verkehrsverwaltung (HSVV)*.
- KDV. (1967). Verordnung des Bundesministeriums für Handel, Gewerbe und Industrie vom 30. November 1967 über die Durchführung des Kraftfahrgesetzes 1967 (Kraftfahrgesetz-Durchführungsverordnung 1967 - KDV. 1967). § 58. *KDV\_1967 Höchste zulässige Fahrgeschwindigkeit*. Wien.

- Keller, H., & Sachse, T. (1992). Einfluss des Bezugsintervalls in Fundamentaldiagrammen auf die zutreffende Beschreibung der Leistungsfähigkeit von Straßenabschnitten. *Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 614* .
- Kerner, B. S. (2004). The Physics of Traffic. *Empirical Freeway Pattern Features, Engineering Applications, and Theory (Understanding Complex Systems)* .
- Kerner, B. S., & Rehborn, H. (1996a). Experimental features and characteristics of traffic jams. *Physical Review E*.
- Kerner, B. S., & Rehborn, H. (1996). Experimental properties of complexity in traffic flow. *Physical Review*.
- Kesting, A., & Treiber, M. (2010). Datengestützte Analyse der Stautentstehung und -ausbreitung auf Autobahnen. *In: Straßenverkehrstechnik, Heft 1, S.5-11* .
- Kim, Y., & Keller, H. (2001). Zur Dynamik zwischen Verkehrszuständen im Fundamentaldiagramm. *In Straßenverkehrstechnik, Nr.9, S.433-442* .
- Linauer, M. (2005). Generierung streckenbezogener Verkehrsdaten als Basis für den Einsatz in Verkehrstelematiksystemen. *Dissertation. Institut für Verkehrswesen. Universität für Bodenkultur Wien* . Wien.
- Linauer, M., Schneider, M., & Hainitz, N. (2005). GO-SMART – Smart Mobility Analysis of Real-Time Toll-Data. *Project proposal for the I2 – Intelligent Infrastructure Program* . Wien.
- Listl, G. (Mai 2003). Anwendung neuer Technologien zur Erfassung des Verkehrsablaufs. *Dissertation. Schriftenreihe Verkehr der Universität Kassel. Heft 14* . Kassel.
- Lomax, T., Turner, S., & Shunk, G. (1997). Quantifying Congestion. Volume 1. Final Report. *NCHRP Report 398, Transportation Research Board* . Washington D.C.
- Mak, Viti, Hoogendoorn, & Hegyi. (2009). Online Travel Time Estimation in Urban Areas Using the Occupancy of Long Loop Detectors. *Delft University of Technology* . Delft.
- Marauli, A. (2006). Entwicklung eines benchmarkingfähigen Kennzahlensystems für das Unternehmen ASFINAG. *Diplomarbeit Technische Universität Graz* . Graz.
- Marauli, A. (2007). Reisezeitmessung durch automatische Kennzeichenerfassung. *Hochschultagung in Rust* . Rust.
- Medina, C. (2010). Assessment of Non-Recurrent Congestion on Dutch Motorways. *MSc Thesis Delft University of Technology* . Delft.
- Meier, J. (2007). Modellgestützte Störungserkennung im Verkehrsfluss auf Schnellstraßen . *Dissertation Universität Stuttgart* . Stuttgart.
- Middelham, F. (2006). Dynamic Traffic Management. *Rijkswaterstaat* .
- Middelham, F. (2006a). State of Practice In Dynamic Traffic Management in The Netherlands. *Ministry of Transport Public Works and Watermanagement* . Rotterdam.
- Middelham, F. (2008). Traffic Management. *Some History and Future. Presentation* .
- Minderhoud, M., Botma, H., & Bovy, P. (1996). An assessment of roadway capacity estimation methods. *Delft University of Technology* . Delft.
- Molenkamp, L. (2007). Traffic congestion - The Netherlands' approach. Presentation July 2007. *Rijkswaterstaat* . London.

- NCHRP. (2006). Guide to Effective Freeway Performance Measurement: Final Report and Guidebook. *National Cooperative Highway Research Program, Transport Research Board*. Washington D.C.
- OECD. (2007). Managing Urban Traffic Congestion. European Conference of Ministers of Transport (ECMT). *Organisation for Economic Cooperation and Development*. Paris.
- Offermann, F. (2001). Ein Neuro-Fuzzy-Modell zur Reisegeschwindigkeitsabschätzung auf Richtungsfahrbahnen basierend auf einer Fusion lokaler und fahrzeuggenerierter Verkehrsdaten. *Dissertation RWTH Aachen*. Aachen.
- Olbrich, S. (2008). Die Entwicklung eines modellgestützten Verfahrens zur Bewertung der Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten. *Diplomarbeit Technische Universität Dresden*. Dresden.
- Parkany, E., & Xie, C. (2005). A Complete Review of Incident Detection Algorithms & Their Deployment: What Works and What Doesn't. *The New England Transportation Consortium February 7, 2005*. Amherst.
- Ponzlet, M. (1996). Dynamik der Leistungsfähigkeiten von Autobahnen. Auswirkungen von systematischen und umfeldbedingten Schwankungen des Geschwindigkeitsverhaltens und deren Beschreibung in Verkehrsflussmodellen. *Schriftenreihe des Lehrstuhl für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum*. Bochum.
- Regler, M. (2004). Verkehrsablauf und Kapazität auf Autobahnen. *Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum*. Bochum.
- Riegelhuth, G. (28. Januar 2011). Kooperative Systeme als Perspektive im Straßenverkehr. *5. Europäischer Datenschutztag, Verkehrsmobilität und Datenschutz*. Wiesbaden.
- Riegelhuth, G. (2009). Perspektiven durch den Einsatz neuer Technologien im Verkehr. *Präsentation 29. Januar 2009*. Dieburg.
- Rijkswaterstaat. (2007). Annual report Rijkswaterstaat 2006.
- Rijkswaterstaat. (2010). Annual report Rijkswaterstaat 2009.
- Rijkswaterstaat AVV. (2006). Travelling time reliability. *AVV Transport and Research Centre*. Rotterdam.
- Rijkswaterstaat. (2011). *Englische Homepage der Rijkswaterstaat*. Abgerufen am 2011. April 16. von <http://www.rijkswaterstaat.nl/en/>
- Rippegather, J. (2010). Intelligente Straßen. *In: Frankfurter Rundschau 23.04.2010*.
- Schallaböck, K. O., & Petersen, R. (1998). Introductory Report on Traffic Congestion in Europe. *In: ECMT (1999)*. Wuppertal.
- Schneider, M., Linauer, M., Hainitz, N., & Koller, H. (2009). Traveller information service based on real-time toll data in Austria. *Intelligent Transport Systems, IET. June 2009*. S.124-137. Stevenage.
- Schober, M. (2009). Robuste Verkehrszustandsschätzung und Störungserkennung auf Schnellstraßen. *Dissertation an der Universität Stuttgart*. Stuttgart.
- Schwietering, C. (2010). Verfahren zur Bestimmung der Einbruchswahrscheinlichkeit des Verkehrsablaufs auf Autobahnen und Anwendung in der Verkehrssteuerung. *Dissertation*. Aachen.

Shaw, T. (2003). Performance Measures of Operational Effectiveness for Highway Segments and Systems. *NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM* . (T. R. BOARD, Hrsg.) Washington D.C., USA.

Spangler, M. (2009). Reisezeitbasiertes Verfahren für die Verkehrszustandsanalyse von städtischen Hauptverkehrsstraßen. *Dissertation* . München.

StVO. (1960). Bundesgesetz vom 6. Juli 1960, mit dem Vorschriften über die Straßenpolizei erlassen werden (Straßenverkehrsordnung 1960 - StVO. 1960). *II.Abschnitt, § 20.Fahrgeschwindigkeit* .

SWTDI. (2000). A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems. *Southwest Technology Development Institute (SWTDI) at New Mexico State University (NMSU) in cooperation with the U.S. Department of Transportation FHWA* .

TRB. (2006). Detection and Surveillance. *Transportation Research Board Freeway Operations Committee Research Circular* .

Treiber, M., & Helbing, D. (2002). Reconstructing the Spatio-Temporal Traffic Dynamics from Stationary Detector Data.

Turner, S. (2006). Travel Time Reliability Measures. *Texas Transportation Institute* .

Van Aerde, M. (1995). A Single Regime Speed-Flow-Density Relationship for Freeways and Arterials. *Proceedings of the 74th TRB Annual Meeting* . Washington D.C.

Van der Elburg, R. (2009). Introduction to Rijkswaterstaat. *Centre for Transport and Navigation* .

Van Strien, M. (2010). National Data Warehouse for Traffic Information: The Dutch approach. *Presentation at the Workshop in Brussels, 21.Juni 2010* . Brüssel.

VIASUISSE. (2011). *Homepage der Viasuisse*. Abgerufen am 2011. 03. 13. von <http://www.viasuisse.ch/default.aspx>

Vogel, M. (2010). Road Traffic Report. *In: "carIT" Heft 01/2010 S.34-35* .

Zurlinden, H. (2003). *Ganzjahresanalyse des Verkehrsflusses auf Straßen*. Bochum: Schriftenreihe, Lehrstuhl für Verkehrswesen Ruhr-Universität Bochum.

#### **Bilder Deckblatt:**

Bild 1:

[http://www.hsvv.hessen.de/irj/HSVV\\_Internet?cid=df3a8f1c2681f0c81b51156a6a529a05](http://www.hsvv.hessen.de/irj/HSVV_Internet?cid=df3a8f1c2681f0c81b51156a6a529a05)

Bild 2: <http://www.asfinag.at/verkehrsinformationen>

Bild 3:

[www.staufreieshessen2015.hessen.de/irj/Staufrei\\_Internet?cid=337b5747222c54e1c1f0fbe2aa097acb58bk7](http://www.staufreieshessen2015.hessen.de/irj/Staufrei_Internet?cid=337b5747222c54e1c1f0fbe2aa097acb58bk7)

Bild 4:

[http://diepresse.com/home/panorama/oesterreich/592372/Verkehr\\_AntiStauMaschine-fuer-A2](http://diepresse.com/home/panorama/oesterreich/592372/Verkehr_AntiStauMaschine-fuer-A2)