



Graz University of Technology

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Korrelationsanalysen zwischen Immissionsschallpegeln und Kfz-Verkehr an Koordinierten Streckenzügen

MASTERARBEIT

vorgelegt von

Martin Fink, BSc.

bei

Univ. Prof. Dr. Ing. Martin Fellendorf

Technische Universität Graz

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Mitbetreuender Assistent:

Dipl.-Ing. Michael Haberl

Technische Universität Graz

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Graz, am 28. August 2017

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

Eidesstattliche Erklärung

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

Graz, 28.08.2017

Martin Fink, BSc.

Statutory Declaration

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

Graz, 28.08.2017

Martin Fink, BSc.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während meiner Studienzeit und der Erstellung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf, Leiter des Institutes für Straßen- und Verkehrswesen, der meine Masterarbeit nicht nur betreut und begutachtet, sondern auch aktiv an den Messfahrten teilgenommen hat. Recht herzlich bedanken möchte ich mich auch bei Dipl.-Ing. Michael Haberl für die Unterstützung, die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit. Ein besonderer Dank gilt auch Peter Kollegger, der mich bei der Durchführung meiner Messungen tatkräftig unterstützt und mir die zahlreichen Stunden der Messungen durch anregende Gespräche verkürzt hat.

Beim Büro PLANUM Fallast Tischler & Partner, insbesondere bei Dipl.-Ing. Dr.techn Kurt Fallast, möchte ich mich für das Zurverfügungstellen der notwendigen Messgeräte bedanken.

Ebenfalls möchte mich auch bei meinen Studienkollegen für die Unterstützung und Kameradschaft während des gesamten Studiums bedanken. Besonders möchte ich hier Thomas Pittner und Sebastian Pongratz erwähnen, mit denen ich auf viele unvergessene Erlebnisse und Momente zurückblicken darf.

Besonders herzlich möchte ich mich bei meinen Freunden für den starken emotionalen Rückhalt über die Dauer meines gesamten Studiums bedanken.

Abschließend gebührt der größte Dank selbstverständlich meiner Familie für die Unterstützung in allen Lebenslagen. Besonders meinen Eltern für die mentale und finanzielle Unterstützung, ohne die mein Studium nicht möglich gewesen wäre, und meiner Partnerin Katharina, die mich mit viel Geduld, Zeit und aufmunternden Worte bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt hat. DANKE, dass ich mich immer auf euch verlassen kann.

Aufgabenstellung für die Masterarbeit

von Martin Fink

Graz, am 10.01.2017

Korrelationsanalysen zwischen Immissionsschallpegeln und Kfz-Verkehr an Koordinierten Streckenzügen

Problemstellung

Verkehrslärm stellt eine der am häufigsten genannten Störwirkungen des Verkehrs dar. Als Beurteilungsgröße für Lärm wird derzeit der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel ($L_{A,eq}$) herangezogen. Der Lärm ist jene Umweltbelastung, von der sich die Bevölkerung wegen ihrer direkten Wahrnehmbarkeit am meisten betroffen fühlt.

Bei der Mikrozensus-Befragung im Jahr 2011 gaben 40% der Bevölkerung an, in ihrer Wohnung durch Lärm gestört zu sein, wobei 3,7% das Ausmaß der Belästigung als sehr stark und 6,6% als stark einstufen. Der Verkehrssektor stellt mit 61,5% die größte Lärmquelle dar, ist aber im Vergleich zum Jahr 2007 von damals 64,1% zurückgegangen. Im Jahr 2003 betrug der Anteil sogar noch 73,5%. Die Hauptquelle der Lärmbelastung in Österreich ist der Verkehr, wobei der Straßenverkehr als Hauptlärmereger dominiert. Bewohner von Wohnungen mit sehr starker oder starker Lärmstörung nennen zu etwa 80% den Verkehr. Aus den Detailergebnissen kann abgelesen werden, dass die Belastung durch Lärm regional sehr unterschiedlich ausfällt. Eine höhere Belastung ist vor allem in Ballungszentren sichtbar. Gerade bei durch Lichtsignalanlagen koordinierten Streckenzügen, stellt sich die Frage, welchen Einfluss die Qualität der Koordinierung auf die Immissionsschallpegel hat. Etliche Studien zum Thema Luftschadstoffe in Abhängigkeit der Koordinierungsqualität zeigen, dass höhere Geschwindigkeiten bei besseren Koordinierungen einen positiven Einfluss auf die Höhe der Luftschadstoffe haben, insbesondere durch die Vermeidung von Anfahrvorgängen bei Halt an roten Verkehrslichtsignalanlagen. Bei höheren Geschwindigkeiten ist jedoch eine erhöhte Lärmbelastung auf der koordinierten Strecke zu erwarten.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist eine detaillierte, ortsbezogene Ermittlung des Lärmimmissionspegels bei einer größeren Anzahl an Messpunkten unter real betrachteten Bedingungen nicht möglich. Das heißt, dass ein Einzugsgebiet einer gewählten Strecke (Straßenabschnitt) nicht in dem Detaillierungsgrad erfasst werden kann, wie man es gerne würde, da man nicht zahlreiche Messpunkte zur selben Zeit betrachten kann. Ein Ansatz diesem Problem zu begegnen ist die Entwicklung eines Lärmsimulationsmodells zur mikroskopischen Nachbildung des Verkehrsablaufs auf der Straße und der aus Fahrverläufen abgeleiteten Berechnung der Lärmemissionen (Basis sind die österreichischen Richtlinien). Fahrzeugspezifische, ortsbezogenen Fahrzeugtrajektorien aus einem mikroskopischen Verkehrssimulationsmodell können präzise Verkehrssimulationsdaten (Anzahl der Fahrzeuge, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, etc.) liefern, mit deren Hilfe Immissionsschallpegel-Trajektorien ermittelbar werden. Dieser Ansatz setzt jedoch einen hohen Kalibrierungsaufwand des mikroskopischen Verkehrsmodelles voraus. Um die Kalibrierung zu ermöglichen fehlen in-situ gemessene Daten. Auf Basis von geeigneten statistischen Analysen (Korrelationsanalysen) kann der Zusammenhang von Fahrtrajektorien und von gemessenen Immissionsschallpegel gezeigt und erklärt werden, um damit eine Aussage über den Einfluss der Koordinierungsqualität von Lichtsignalanlagen auf Immissionsschallpegel treffen zu können.

Aufgabenstellung

Das Ziel dieser Masterarbeit ist eine vertiefte Untersuchung des Zusammenhangs von eigens gemessenen Immissionsschallpegeln und parallel dazu aufgezeichneten Geschwindigkeits-Trajektorien auf einem koordinierten Streckenzug (Wiener Straße in Graz).

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

- Intensive Literaturrecherche zum Thema Lärmimmissionsbeurteilungen an koordinierten Streckenzügen und bestehende Untersuchungen von Immissionsschallpegel auf Basis von FC-Daten.
- Ein zentraler Punkt der Aufgabenstellung ist die Messung der Lärmimmissionen im gewählten Testgebiet. Die Teststrecke (Wiener Straße, Graz) muss in einzelne Abschnitte unterteilt und relevanten Messpunkte müssen festgelegt werden. Ergänzend zu den Schallpegelmessungen erfordern die Untersuchungen Verkehrsstärken- und Geschwindigkeitsmessungen (teilweise GPS unterstützt) an den Messpunkten.
- Auf Basis von geeigneten statistischen Analysen soll der Zusammenhang von unterschiedlichen Geschwindigkeits-Trajektorien und Immissionsschallpegeln gezeigt und erklärt werden, um damit eine Aussage über den Einfluss der Koordinierungsqualität von Lichtsignalanlagen auf Immissionsschallpegel treffen zu können.

Für die Anfertigung der Masterarbeit steht Statistiksoftware zur Verfügung. Ein PC mit der Produktsoftware der institutseigenen GPS-Geräte, die GPS-Geräte selbst, sowie allgemeine Bürosoftware stehen dem Diplomanden zum Zweck von etwaigen Messfahrten am Institut zur Verfügung. Der Diplomand verpflichtet sich, die Software sowie die bereitgestellten Daten ausschließlich zur Anfertigung der Masterarbeit zu nutzen und bei der Datenaufbereitung und Datenanalyse der zur Verwendung gestellten Verkehrszähl Daten Datenschutzrichtlinien einzuhalten.

Die Arbeit ist zweifach mit allen Anlagen in DIN A4 gebunden einzureichen. Ein Datenträger mit dem Text, Präsentationen, Verkehrsmessungen und deren Analysedaten sind beizulegen.

Univ-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf
Tel. 0316 873 6220
martin.fellendorf@tugraz.at
Betreuer

Dipl.-Ing. Michael Haberl
Tel. 0316 873 6226
michael.haberl@tugraz.at
Mitbetreuender Assistent

Kurzfassung

Korrelationsanalysen zwischen Immissionsschallpegeln und Kfz-Verkehr an Koordinierten Streckenzügen

195 Seiten, 82 Abbildungen, 28 Tabellen

Beinahe die Hälfte der österreichischen Bevölkerung fühlt sich in seiner Wohnung durch Lärm gestört. Der Verkehrslärm, vor allem in dicht verbauten Gebieten, stellt dabei die am häufigste genannte Störwirkung dar. Gerade bei durch Verkehrslichtsignalanlagen koordinierten Streckenzügen stellt sich die Frage, welchen Einfluss An- bzw. Vorbeifahrtvorgänge auf den Immissionsschallpegel haben. Bisherige Untersuchungen beschränkten sich diesbezüglich auf Simulationen im Labor.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, an einem 400m langen koordinierten Streckenzug einer Hauptverkehrsstraße in Graz durch Ermittlung von Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, fahrzeugspezifischer GPS-Daten und parallel dazu erfolgender Messung des Immissionsschallpegels den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeits-Trajektorien und Immissionsschallpegel-Trajektorien unter realen Messbedingungen aufzeigen zu können.

Die Auswertung der erhobenen Daten hat gezeigt, dass der real gemessene Immissionsschallpegel an Hauptverkehrsstraßen innerorts durch eine Berechnung nach geltenden österreichischen Richtlinien die Realität nicht adäquat abbildet. Insbesondere in den Bereichen der Lichtsignalanlagen traten erhebliche Abweichungen auf. Aufgrund eines Vergleichs zwischen Anfahrts- und Durchfahrtvorgängen konnte festgestellt werden, dass bei den Anfahrtvorgängen eine viel geringere Geschwindigkeit beim Passieren der Messpunkte einen annähernd gleich hohen Schallpegel erzeugt wie bei Vorbeifahrten mit deutlich höheren Geschwindigkeiten. Daraus kann abgeleitet werden, dass bei der Berechnungsformel nach RVS 04.02.11 nicht nur die Geschwindigkeit, sondern auch Beschleunigungswerte berücksichtigt werden müssten, da die Berechnung des Immissionsschallpegels aufgrund der einzusetzenden tatsächlichen Geschwindigkeit immer einen zu niedrigen Pegel bei Anfahrtvorgängen ergibt. Es ließen sich jedoch keine direkten Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeiten und Immissionsschallpegeln aufgrund unzähliger, nicht erfassbarer Einflüsse im System Straße aufzeigen. Die Auswertung des gesamten Streckenzuges zeigte aber, dass die gemessenen Pegelwerte rund um die Lichtsignalanlagen höher als jene auf der freien Strecke waren. Dies kann unter anderem auf diverse Halte- bzw. Beschleunigungsvorgänge zurückgeführt werden.

Um eine Aussage treffen zu können, inwiefern die Berechnungsformel für den Immissionsschallpegel angepasst werden muss, bedarf es weiterer Untersuchungen zum Einfluss Fahrdynamischer Kenngrößen.

Abstract

Correlation Analysis between Noise and Traffic Data on Arterials

195 pages, 82 figures, 28 tables

Nearly half of the Austrian population is exposed to noise pollution in their homes. Traffic noise is reported as one of the major causes of noise pollution in densely developed areas. This thesis investigates the influence of accelerating and passing vehicles at signalised intersection on immission levels. So far, research on this topic focused on microscopic traffic simulations.

The aim of the present thesis is to describe the correlation between vehicle speed and immission levels along a section of an urban arterial road equipped with traffic lights in Graz, Austria by measuring traffic intensity, vehicle speed and immission levels.

The analysis showed that the immissions measured along the urban arterial road deviated strongly from the calculated immission level according to an Austrian noise guideline. Vehicles accelerating from an intersection were compared to vehicles passing by the measuring points in a green wave at nearly steady speeds. It was found that accelerating vehicles passing the measuring points at a relatively low speed caused nearly the same immission levels as vehicles passing in a green wave at higher speeds. This indicates that the calculation formula of the applicable Austrian noise guideline must be adapted in order to not only include speed but also acceleration. The current formula only comprises vehicle speed, which therefore leads to immission levels that are far too low concerning accelerating vehicles.

As there is a number of unknown factors that influence the immission level, no direct correlation between vehicle speed and immission levels could be found. However, it has become evident that the immission levels that were measured at the intersections were higher than those measured in between. This is probably due to regular stopping and accelerating at the intersections.

In order to suggest an adequate adaption of the immission level calculation, further research needs to be carried out concerning the influence of acceleration, Relative Positive Acceleration and Positive Kinetic Energy on the immission level.

Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung	iv
Inhaltsverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	vi
Abkürzungen	vii
1 Einführung	1
2 Grundlagen	4
2.1 Schall	4
2.1.1 Schallpegel und empfundene Lautstärke	5
2.1.2 Rechnen mit Schallpegeln	7
2.1.3 Subjektive Wahrnehmung von Schall.....	9
2.1.4 A-bewerteter Schalldruckpegel L_A	11
2.1.5 Energieäquivalenter Dauerschallpegel $L_{A,eq}$	12
2.1.6 Lästigkeitsindex TNA_R	14
2.1.7 Begriffe der Akustik.....	15
2.2 Lärm.....	16
2.2.1 Lärmstörung in Österreich	20
2.2.2 Ursachen für Straßenverkehrslärm	25
2.3 Lichtsignalsteuerung.....	27
2.3.1 Allgemeines	27
2.3.2 Ziele einer Lichtsignalsteuerung.....	28
2.3.3 Übersicht über die Steuerungsverfahren einer VLSA.....	29
2.3.4 Koordinierung von Streckenzügen	30
2.4 Bisherige Forschung zur Auswirkung von VLSA auf Lärmemissionen.....	34
2.4.1 Übersicht.....	34
2.4.2 Emissionsmodell von De Coensel et al. [2011, 2012].....	36
3 Ermittlung von Lärmimmissionen	41
3.1 Unterscheidung von Emission und Immission.....	41
3.2 Ermittlung des Immissionsschallpegels nach ÖNORM S 5004.....	41
3.3 Berechnung des Emissionsschallpegels nach RVS 04.02.11	43

3.4	Berechnung des Immissionsschallpegels nach RVS 04.02.11	47
4	Methodik und reale Messungen	50
4.1	Messkonzept – Wiener Straße, Graz	51
4.1.1	Messort	51
4.1.2	Messpunkte.....	54
4.1.3	Messzeitraum.....	55
4.1.4	GPS-Messfahrten.....	58
4.1.5	Verwendete Messinstrumente	59
4.2	Erstellen eines Messberichtes	65
5	Statistische Analyse und Ergebnisse	67
5.1	Datenaufbereitung	67
5.1.1	Lärmmessungen	68
5.1.2	Seitenradarmessungen	68
5.1.3	Geschwindigkeits-Trajektorien aus GPS-unterstützter Fahrzeugfassung	69
5.1.4	Zählraten der Stadt Graz.....	69
5.1.5	Schwerverkehrsanteil.....	70
5.1.6	Koordinierungsqualität.....	71
5.1.7	Auswertungsintervall	73
5.1.8	Immissionsschallpegel-Berechnung	76
5.2	Darstellung und Auswertung der Ergebnisse	82
5.2.1	Auswertung des Immissionsschalls am Streckenzug.....	83
5.2.2	Analyse des Korrekturwertes	90
5.2.3	Auswertung der Streckenzüge	92
5.2.4	Lineare und multiple lineare Regressionsanalyse	98
5.2.5	Auswertung der Messpunkte	100
5.2.6	Detailauswertung an Verkehrslichtsignalanlage 303	108
5.2.7	Detailauswertung GPS-unterstützter Messfahrten an VLSA 302	115
6	Zusammenfassung und Ausblick	122
	Literaturverzeichnis.....	126
	Anhang.....	131
	A1 – Messberichte.....	131
	A2 – Ergebnisse der Messdaten	131
	A3 – Streckenauswertungen.....	131

A4 - Messpunktauswertung.....	131
A1 – Messberichte.....	132
A2 – Ergebnisse der Messdaten.....	147
A3 – Streckenauswertungen.....	158
A4 – Messpunktauswertung.....	182

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wahrnehmungsbereich des menschlichen Ohres	5
Abbildung 2: Additionslineal zur Pegeladdition	8
Abbildung 3: Linien gleicher Lautstärke-Wahrnehmung	10
Abbildung 4: A-, B-, C- und D-Filterkurven	11
Abbildung 5: Schematische Darstellung zur Berechnung des dB(A)	12
Abbildung 6: Vergleich der Mittelungspegel zwischen Pkw und Schnellzug	13
Abbildung 7: Spektraldarstellung von Ton, Klang, Geräusch und Rauschen	15
Abbildung 8: Lärmstörung im Wohnbereich in Österreich (2011)	21
Abbildung 9: Entwicklung der Lärmstörung in Österreich von 1970 bis 2011	22
Abbildung 10: Lärmstörung nach NUTS 3-Regionen	23
Abbildung 11: Lärmstörung nach Art der Wohnumgebung	24
Abbildung 12: Vergleich der Lärmquellen 2003, 2007 und 2011	24
Abbildung 13: Geräuschanteile in Abhängigkeit der Geschwindigkeit.....	27
Abbildung 14: Beispiel für ein Zeit-Wege-Diagramm	31
Abbildung 15: Schematische Darstellung der simulierten Hauptverkehrsstraße	36
Abbildung 16: maximale Veränderung des L_{Aeq} durch die Schaltung einer Grünen Welle	39
Abbildung 17: Kausalkette Emission - Transmission - Immission	41
Abbildung 18: Bestimmung der langen, geraden Straße	47
Abbildung 19: Übersicht der Bearbeitungsschritte – Datenerhebung	50
Abbildung 20: Flussdiagramm – Forschungsdesign.....	51
Abbildung 21: Messort – Wiener Straße	52
Abbildung 22: Übersichtskarte – Kernbereich Wiener Straße (VLSA 310 bis 302).....	53
Abbildung 23: Übersicht der Messpunkte.....	54
Abbildung 24: Anordnung der Messpunkte	54
Abbildung 25: Auswertung der Verkehrsstärke an Dauerzählstelle 101 [Stadt Graz, 2012].....	56
Abbildung 26: Auswertung der Verkehrsstärke an Dauerzählstelle 102 [Stadt Graz, 2012].....	56
Abbildung 27: GPS-unterstützte Messanordnung – Teil 1: Anfahrtsvorgänge	58
Abbildung 28: GPS-unterstützte Messanordnung – Teil 2: Durchfahrten	58
Abbildung 29: verwendete Messinstrumente.....	59
Abbildung 30: Bestandteile des Verkehrserfassungsgerätes SR4	60
Abbildung 31: Ausrichtung des Verkehrserfassungsgerätes SR4	61
Abbildung 32: Qstarz BT-Q1000ex Datenlogger.....	62
Abbildung 33: G.R.A.S. 40AE Freifeld-Mikrofon	62
Abbildung 34: G.R.A.S. 26AK Vorverstärker	63
Abbildung 35: Larson Davis CAL200	63
Abbildung 36: SINUS Soundbook	64
Abbildung 37: Ausgewählte Darstellung während der Messung in SAMURAI	65
Abbildung 38: Messbericht	66
Abbildung 39: Übersicht der Bearbeitungsschritte – Datenaufbereitung.....	67
Abbildung 40: Problem mit Seitenradar bei mehrstreifigen Fahrbahnen	68
Abbildung 41: Verkehrssteuerungssystem Graz	69
Abbildung 42: Dauerzählstellen in der Wiener Straße	70

Abbildung 43: Exemplarische 30-Minuten-Intervallauswertung MP13	75
Abbildung 44: Exemplarische 15-Minuten-Intervallauswertung MP13	75
Abbildung 45: Exemplarische 5-Minuten-Intervallauswertung MP13	75
Abbildung 46: Zur Schallausbreitung verwendete Bezeichnungen	77
Abbildung 47: Annahmen für Abstandsanalyse	77
Abbildung 48: Sensitivitätsanalyse des Einflusses des Abstandes auf den Immissionserschallpegel.....	81
Abbildung 49: Übersicht der Bearbeitungsschritte – Datenauswertung	82
Abbildung 50: Darstellung des Untersuchungsbereichs.....	83
Abbildung 51: Boxplot Streckenauswertung – 5-Minuten-Intervall.....	85
Abbildung 52: Boxplot Streckenauswertung – 15-Minuten-Intervall.....	86
Abbildung 53: Korrekturwert für Streckenauswertung – 5-Minuten-Intervall	89
Abbildung 54: Kategorien für die Einteilung des Korrekturwerts K_M	90
Abbildung 55: Detail Ergebnisse Korrekturwertauswertung – 5-min-Intervall	91
Abbildung 56: Detail Ergebnisse Korrekturwertauswertung – 15-Minuten-Intervall	92
Abbildung 57: Streckenauswertung 15:10 – 15:15 Uhr	93
Abbildung 58: Streckenauswertung 16:45 – 16:50 Uhr	95
Abbildung 59: Streckenauswertung 17:50 – 17:55 Uhr	96
Abbildung 60: Streckenauswertung 17:45 – 18:00 Uhr	97
Abbildung 61: Korrigierte Streckenauswertung über die gesamte Messdauer mit einem Messabstand von 7,5m zur Emissionslinie	98
Abbildung 62: Regressionsanalyse der mittleren Geschwindigkeit	99
Abbildung 63: Regressionsanalyse der Verkehrsstärke.....	99
Abbildung 64: Messpunktauswertung MP 13 – 5-Minuten-Intervallauswertung.....	101
Abbildung 65: Messpunktauswertung MP 13 – 15-Minuten-Intervallauswertung.....	103
Abbildung 66: Messpunktauswertung MP 8 – 5-Minuten-Intervallauswertung.....	104
Abbildung 67: Messpunktauswertung MP 8 – 15-Minuten-Intervallauswertung.....	105
Abbildung 68: Messpunktauswertung MP 1 – 5-Minuten-Intervallauswertung.....	106
Abbildung 69: Messpunktauswertung MP 1 – 15-Minuten-Intervallauswertung.....	107
Abbildung 70: Schallpegelverlauf des Verkehrslärms an der VLSA 303 – 15:00 Uhr	109
Abbildung 71: Schallpegelverlauf des Verkehrslärms an der VLSA 303 – 16:00 Uhr	110
Abbildung 72: Schallpegelverlauf des Verkehrslärms an der VLSA 303 – 17:00 Uhr	110
Abbildung 73: Schallpegelverlauf des Verkehrslärms an der VLSA 303 – 18:00 Uhr	111
Abbildung 74: Schallpegelverlauf für vorbeifahrende Pkw	112
Abbildung 75: Schallpegelverlauf für anfahrende Pkw	113
Abbildung 76: Schallpegelverlauf für vorbeifahrende Lkw	113
Abbildung 77: Schallpegelverlauf für anfahrende Lkw.....	114
Abbildung 78: Schallpegelverlauf für anfahrende Motorräder	115
Abbildung 79: Pegelverläufe an MP4 u. MP3 bei GPS-unterstützter Durchfahrt.....	116
Abbildung 80: Pegelverläufe an MP2 u. MP1 bei GPS-unterstützter Durchfahrt.....	117
Abbildung 81: Pegelverlauf an MP3 bei GPS-unterstützter Anfahrt	118
Abbildung 82: Pegelverläufe an MP2 u. MP1 bei GPS-unterstützter Anfahrt	119

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiele für Schallpegel im Alltag	6
Tabelle 2: Übersicht der wirkungsbezogenen Immissionsrichtwerte am Tag [dB]	19
Tabelle 3: Übersicht der wirkungsbezogenen Immissionsrichtwerte in der Nacht [dB]	19
Tabelle 4: Bedingungen und Hinweise für die Einrichtung Grüner Wellen	32
Tabelle 5: Parameter für die Simulationsszenarien	37
Tabelle 6: Basiswerte für die Fahrzeugemission	45
Tabelle 7: Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit	45
Tabelle 8: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei Pkw	46
Tabelle 9: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei Lkw	46
Tabelle 10: Richtwerte für den Schwerverkehrsanteil für Verkehrslärberechnung.....	46
Tabelle 11: Richtwerte für den Anteil leichter und schwerer Lkw am Schwerverkehr	47
Tabelle 12: Bodendämpfungsmaß für absorbierenden Boden	49
Tabelle 13: Maßgebliche Größen für den Messaufbau	55
Tabelle 14: Schaltzeiten der Jahresautomatik für die Wiener Straße - VLSA 301, 312, 302, 302, 304, 305, 310 und 306.....	57
Tabelle 15: Übersicht der Signalprogramme der Wiener Straße	57
Tabelle 16: Kenndaten der Messfahrzeuge.....	59
Tabelle 17: Schwerverkehrsanteil an Knotenpunkten	71
Tabelle 18: Bewertungstabelle der Koordinierung entlang der Wiener Straße	72
Tabelle 19: Beurteilung der Koordinierungsqualität	73
Tabelle 20: Eingabemaske Emission- u. Immissionsschallpegel	76
Tabelle 21: Ergebnisse der Abstandsanalyse	78
Tabelle 22: Exemplarische Eingabemasken der Verkehrsdaten.....	79
Tabelle 23: Ausgabe Emissions- ($L_{A,eq}^1$) und Immissionsschallpegel ($L_{A,eq}$)	80
Tabelle 24: Werte für Boxplot Streckenauswertung – 5-Minuten-Intervall.....	87
Tabelle 25: Werte für Boxplot Streckenauswertung – 15-Minuten-Intervall.....	88
Tabelle 26: Ergebnis der multiplen linearen Regression	100
Tabelle 27: Ergebnisse der Analyse der Fahrdynamischen Kenngrößen an MP4 und MP3	121
Tabelle 28: Ergebnisse der Analyse der Fahrdynamischen Kenngrößen an MP2 und MP1	121

Abkürzungen

$\Delta L_{a,Profil}$	Luftabsorptionsmaß
$\Delta L_{b,Profil}$	Bodendämpfmaßmaß
ΔL_d	Abstandsmaß
$\Delta L_{r,x}$	Flächenreflexionsmaß
$\Delta L_{s,Profil}$	Schirmmaß
ΔL_{St}	Streuungsmaß
$\Delta L_{v,Profil}$	Vegetationsdämpfmaß
ΔL_ϕ	Winkelsektor
AccNoise	Acceleration Noise / Beschleunigungsrauschen
a_{neg}	negative Beschleunigung
a_{pos}	positive Beschleunigung
d	Projektion der Verbindungslinie von Emissionspunkt zu Immissionsort
dB	Dezibel
dB(A)	Dezibel A-bewertet
f	Frequenz
h_i	Höhe des Immissionsortes über dem Boden
h_s	Höhe der Schallquelle über der Straße
Hz	Hertz
I_T	Teilpunktabstand
k	Koordinierungsmaß
$k(A)_n$	Korrekturwert der A-Bewertung
Kfz	Kraftfahrzeug
Kfz/h	Kraftfahrzeuge pro Stunde
kHz	Kilo-Hertz
K_M	Korrekturwert bei Vorliegen einer Schallpegelmessung
L	Schalldruckpegel
L_A	Schalldruckpegel, A-bewertet
$L_{A,1}$	Mittlerer Spitzenpegel, A-bewertet
$L_{A,95}$	Grundgeräuschpegel (Basispegel), A-bewertet
$L_{A,eq}$	Energieäquivalenter Dauerschallpegel, A-bewertet
$L_{A,eq}^1$	Energieäquivalenter Dauerschallpegel für die Emission, A-bewertet
$L_{A,eq}^B$	Energieäquivalenter Dauerschallpegel aus Berechnung, A-bewertet

Abkürzungen

$L_{A,eq}^M$	Energieäquivalenter Dauerschallpegel aus Schallpegelmessung, A-bewertet
L_{day}	Lärmindex für die Belastung während des Tages / Day equivalent level
L_{den}	Lärmindex für Belastung bei Tag-Abend-Nacht / Day-Evening-Night equivalent level
L_E	Schallenergiedichte / Sound Energie Density
L_{eq}	Energieäquivalenter Dauerschallpegel / Equivalent Sound Level
$L_{evening}$	Lärmindex für die Belastung während des Abend / Evening equivalent level
Lkw	Lastkraftwagen
L_{max}	Maximaler Schallpegel / Maximum Sound Level
L_{min}	Minimaler Schallpegel / Minimal Sound Level
L_n	zu addierender Schalldruckpegel
L_{night}	Lärmindex für die Belastung in der Nacht / Night equivalent level
$L_{night,outside}$	Lärmindex für die Belastung in der Nacht im Freien / Night equivalent level outside
L_{Peak}	Spitzen Schallpegel / Peak Sound Level
M_F	Messfahrten
mIV	Motorisierter Individualverkehr
M_{LkwI}	Anzahl der leichten Lkw pro Stunde
$M_{LkwI,lärmarm}$	Anzahl der lärmarmen leichten Lkw pro Stunde
M_{Lkws}	Anzahl der schweren Lkw pro Stunde
$M_{Lkws,lärmarm}$	Anzahl der lärmarmen schweren Lkw pro Stunde
MP	Messpunkt
M_{Pkw}	Anzahl der Pkw pro Stunde
mV/Pa	Millivolt pro Pascal
n_D	Anzahl der Durchfahrten
n_v	Anzahl der Bewuchsgruppen von je 50 m Tiefe
n_{VLSA}	Anzahl der Verkehrslichtsignalanlagen
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
$p(t)$	Schalldruck
p_0	Bezugsschalldruck
Pa	Pascal
PKE	Positive kinetische Energie
Pkw	Personenkraftwagen
Q	Verkehrsfluss / Traffic flow
R^2	Bestimmtheitsmaß

RPA	Relative Positive Acceleration / Relative positive Beschleunigung
r_{st}	Länge des Schallausbreitungsweges durch die streuenden Anlagen und Objekte
r_{\perp}	Kürzester Abstand Emissionsort – Immissionsort
S	Steuerprogramm
SB	Soundbook
SG	Steuergebiet
SR	Seitenradar
SV	Schwerverkehr
t	Zeit / Time
TNA _R	Traffic noise annoyance on roads / Störwirkung von Verkehrslärm an Straßen
t_U	Umlaufzeit
V	Geschwindigkeit / Velocity
V_{Lkw}	Geschwindigkeit Lkw
VLSA	Verkehrslichtsignalanlage
V_m	Mittlere Geschwindigkeit
V_{Pkw}	Geschwindigkeit Pkw
x	Strecke
α	Grünanteil / Green split
τ	Umlaufzeit / Cycle time

1 Einführung

In der heutigen Zeit ist der Verkehr insbesondere in urbanen Gebieten nicht mehr wegzudenken. Sei es der Weg zur Arbeit, die Erledigung des täglichen Einkaufs, der Personen- und Güterverkehr oder die Freizeitgestaltung – in unserem Alltag müssen wir uns täglich mit dem System Verkehr auseinandersetzen, um unser Mobilitätsbedürfnis zu befriedigen. All dies führt jedoch auch zu Problemen, wie Staus, Unfällen sowie Schadstoff- und Lärmbelastungen. Insbesondere die Auswirkungen des Lärms oder der Abgase haben einen großen Einfluss auf unser Wohlbefinden und nicht zuletzt auf unsere Gesundheit.

Aus der letzten Mikrozensus-Befragung in Österreich aus dem Jahr 2011 [Statistik Austria, 2013] ging hervor, dass sich rund 40% der Bevölkerung in ihrer Wohnung durch Lärm gestört fühlen. Dabei stellt der Verkehrssektor und hier insbesondere der Straßenverkehrslärm die am häufigsten genannte Störwirkung dar. Bewohner von Wohnungen mit starker und sehr starker Lärmstörung nennen zu rund 80% den Verkehrslärm als Hauptursache. Studien zeigen immer wieder, dass eine hohe Belastung insbesondere in Ballungszentren auftritt. Diese massive Störwirkung von Lärm für die österreichische Wohnbevölkerung war die Motivation dafür, den Zusammenhang zwischen der Fahrgeschwindigkeit von Fahrzeugen an einer koordinierten städtischen Hauptverkehrsstraße und dem dadurch verursachten Immissionsschallpegel zu untersuchen.

Hinsichtlich der Auswirkung von Geschwindigkeiten auf die Lärmbelastung legen in der Vergangenheit durchgeführte Simulationen nahe, dass durch höhere Geschwindigkeiten auch eine erhöhte Lärmbelastung zu erwarten ist. De Coensel et al. [2007, 2011, 2012] konstruierten ein vereinfachtes Simulationsmodell, bestehend aus einer einspurigen städtischen Hauptverkehrsstraße mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h, welche fünf Lichtsignalanlagen im Abstand von jeweils 200m aufwies. Aus Einfachheitsgründen wurde der Verkehrsfluss nur in eine Fahrtrichtung simuliert. Die Auswirkungen von Gegenverkehr, Querverkehr, Fahrstreifenwechsel und Überholmanöver auf die Emissionswerte wurden damit außer Acht gelassen. Als Koordinierungsmöglichkeiten wurden Grüne Wellen und Rote Wellen gewählt. In einer Grünen Welle mussten die Fahrzeuge nur bei der ersten Kreuzung stehen bleiben, in einer Roten Welle blieben die Fahrzeuge bei jeder Kreuzung stehen. Die Simulationen ergaben, dass die Schaltung einer Grünen Welle zu einer Abnahme des L_{Aeq} um 1,5 dB im Bereich der Lichtsignalanlagen führte, da es eine geringere Zahl von beschleunigenden Fahrzeugen gab. Jedoch trat gleichzeitig durch die höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten eine Erhöhung des L_{Aeq} um 2 dB auf der freien Strecke zwischen den Lichtsignalanlagen ein. [De Coensel; Botteldooren, 2011]

Bis dato gestaltete sich die ortsbezogene Ermittlung des Lärmimmissionspegels in einem Untersuchungsgebiet mit einer größeren Anzahl von Messpunkten unter realen Bedingungen sehr schwierig. Insbesondere ist die zeitgleiche Messung des Immissionsschallpegels an allen Messpunkten eines Untersuchungsbereiches kaum möglich. Um diesem Problem zu begegnen, kann ein Lärmsimulationsmodell zur mikroskopischen Nachbildung des Verkehrsablaufs auf der Straße und der aus Fahrverläufen abgeleiteten Berechnung der Lärmemissionen (auf Basis der österreichischen lärmbezogenen Richtlinien) entwickelt werden. Fahrzeugspezifische, ortsbezogene Fahrzeug-Trajektorien aus einem mikroskopischen Verkehrssimulationsmodell können präzise Verkehrssimulationsdaten (Anzahl der Fahrzeuge, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, etc.) liefern, mit deren Hilfe Immissionsschallpegel-Trajektorien ermittelbar werden. Dieser Ansatz setzt jedoch einen

hohen Kalibrierungsaufwand des mikroskopischen Verkehrsmodelles voraus. Um die Kalibrierung zu ermöglichen, fehlen bisher in-situ gemessene Daten.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, an einem koordinierten Streckenzug einer Hauptverkehrsstraße in Graz durch Ermittlung von Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, fahrzeugspezifischer GPS-Daten und parallel dazu erfolgreicher Messung des Immissionsschallpegels den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeits-Trajektorien und Immissionsschallpegel-Trajektorien unter realen Messbedingungen aufzuzeigen. Insbesondere soll untersucht werden, ob – wie in den Verkehrssimulationen – im Bereich der Verkehrslichtsignalanlagen geringere Immissionswerte auftreten, es jedoch auf der freien Strecke zwischen den Verkehrslichtsignalanlagen aufgrund höherer Durchschnittsgeschwindigkeiten zu einer Erhöhung des Immissionsschallpegels kommt.

Durch Messungen im Untersuchungsgebiet werden einerseits die verkehrsbezogenen Parameter (Verkehrsstärke, Geschwindigkeit) ermittelt, um mit diesen Werten anhand der österreichischen Richtlinie RVS 04.02.11 [2009] den Emissionsschallpegel $L_{A,eq}^1$ berechnen zu können. Dieser bildet die Grundlage für die nachfolgende Berechnung des Immissionsschallpegels. Andererseits wird nach ÖNORM S 5004 der Immissionsschallpegel an 14 Messpunkten im Untersuchungsgebiet Wiener Straße während des Abendverkehrs im Zeitraum von 15:00 bis 18:00 Uhr gemessen. Die Ergebnisse der Berechnungen und der Messungen werden anschließend gegenübergestellt, um etwaige Abweichungen aufzeigen zu können.

Im nachfolgenden Kapitel wird zunächst auf grundlegende Begriffe der Akustik, insbesondere auf Schall und Lärm eingegangen. Was den Schall betrifft, liegt das Hauptaugenmerk auf dem Hörschall und dessen Darstellbarkeit als physikalische Größe sowie die Problematik der subjektiven Wahrnehmung von Schall. Um die Anpassung der physikalischen Messgrößen des Schallsignales an das menschliche Gehör zu erreichen, wird heute eine an die menschliche Gehörcharakteristik angepasste Bewertungskurve („A-Bewertungskurve“) verwendet, weshalb auf diese gesondert eingegangen wird. Anschließend wird der energieäquivalente Dauerschallpegel erläutert, welcher eine Größe zur Darstellung von lang andauernden, zeitlich veränderlichen Schallsituationen darstellt. Der nächste Abschnitt wird dem unerwünschten, als störend empfundenen Schall gewidmet, dem Lärm. Nach einer Beschreibung der Auswirkungen von Lärm auf die menschliche Gesundheit werden die Ergebnisse des letzten in Österreich durchgeführten Mikrozensus in Bezug auf die Lärmbelastung der österreichischen Wohnbevölkerung dargestellt. Danach werden in einem weiteren Unterkapitel die Möglichkeiten der Lichtsignalanlagen im Straßenverkehr, welche für diese Arbeit von zentraler Bedeutung sind, näher erläutert. Den Abschluss dieses Grundlagenkapitels bildet ein Überblick über die bisherige Forschung zur Auswirkung von Lichtsignalanlagen auf Lärmemissionen.

In Kapitel 3 wird die Ermittlung des Immissionsschallpegels durch Lärmmessungen auf Basis von ÖNORM S 5004 sowie die Berechnung des Emissions- und Immissionsschallpegels nach RVS 04.02.11 [2009] dargestellt.

Danach wird in Kapitel 4 auf den zentralen Inhalt der Arbeit, die Durchführung der Messungen und das dafür entworfene Messkonzept, eingegangen. Die Lärmmessungen und Messungen der verkehrsbezogenen Parameter werden dabei an 14 Messpunkten zwischen zwei Verkehrslichtsignalanlagen im Kernbereich der Wiener Straße in Graz durchgeführt. Zusätzlich erfolgt an vier Messpunkten im Bereich einer Lichtsignalanlage, parallel zu Messungen des Immissionsschallpegels, eine detaillierte Erfassung von Geschwindigkeits-Trajektorien mittels GPS-unterstützter Fahrzeugerkennung.

Im nächsten Kapitel erfolgt schließlich die Aufbereitung der Rohdaten und die Auswertung der gewonnenen Daten mithilfe von statistischen Analysen. In den ersten Auswertungen werden die Ergebnisse der Messungen und der Berechnungen der Immissionsschallpegel dargestellt. Mithilfe des Korrekturwerts (Differenz beider Pegel) soll aufgezeigt werden, ob die Berechnung des Immissionsschallpegels nach aktuellen Regelwerken in Österreich die Realität in genügendem Maße abbilden kann. Eine detaillierte Auswertung des gesamten Streckenzuges und der einzelnen Messpunkte soll dann den Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke bzw. Geschwindigkeit und dem Immissionsschallpegel darstellen, um damit eine Aussage treffen zu können, ob diese Parameter alleine den Immissionsschallpegel beeinflussen oder die Berechnungsformel durch Einbeziehung weiterer Parameter angepasst werden müsste.

Nach der Auswertung der gewonnenen Daten werden in Kapitel 6 die zentralen Inhalte dieser Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick auf mögliche weiterführende wissenschaftliche Untersuchungen im gegenständlichen Bereich gegeben.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel soll die theoretische Grundlage für die Lärmmessungen im Untersuchungsgebiet Wienerstraße gelegt werden. Nach der Definition des Begriffes Schall wird näher auf dessen Wahrnehmbarkeit für den Menschen eingegangen. In diesem Zusammenhang wird erläutert, in welchem Frequenzbereich Schall für den Menschen hörbar ist. In den nächsten beiden Abschnitten wird auf den Maßstab zur Bezifferung des Schalldruckes, den Schalldruckpegel, sowie das Rechnen mit Schallpegeln eingegangen. Danach wird die subjektive Wahrnehmung von Schall thematisiert und erläutert, dass sich diese nicht alleine mithilfe von Schallpegeln beschreiben lässt. Nach Erläuterung des A-bewerteten Schalldruckpegels wird der energieäquivalente Dauerschallpegel $L_{A,eq}$ sowie dessen Verwendbarkeit zur Darstellung von lang andauernden, zeitlich veränderlichen Schallsituationen thematisiert. Ein weiterer Schwerpunkt dieses Kapitel liegt auf dem als störend empfundenen Schall, dem Lärm, und dessen vielfältigen negativen Auswirkungen auf den Menschen. Zudem wird auf die Lärmstörung der österreichischen Wohnbevölkerung auf Basis der Ergebnisse des letzten Mikrozensus eingegangen. Der letzte Teil dieses Kapitels wird den Verkehrslichtsignalanlagen gewidmet. Nach Darlegung verschiedener Steuerungsverfahren wird die Koordinierung von Streckenzügen, Stichwort „Grüne Welle“, sowie das Koordinierungsmaß k zur Beschreibung der Qualität der Koordinierung behandelt.

2.1 Schall

Nach Heckl [1975] handelt es sich bei Schall um mechanische Schwingungen fester, flüssiger oder gasförmiger Körper. Diese kleinen Schwingungen pflanzen sich in der Luft fort und können so vom menschlichen Ohr wahrgenommen werden. Es handelt sich dabei um Luftschall. Weiters kann noch zwischen Körperschall und Wasserschall unterschieden werden. Eine Sonderform des Luftschalls stellt dabei der Hörschall dar. [Ministerium f. Verkehr u. Infrastruktur Baden-Württemberg, 2013 nachfolgend als MVIBW, 2013 bezeichnet]

Lautstärke und Klangfarbe werden als wesentliche Merkmale eines Schallereignisses angesehen. Als Maß der Lautstärke wird der Schalldruckpegel L , oft auch nur als Schallpegel bezeichnet (siehe Kap. 2.1.1), herangezogen. Das Maß für die Klangfarbe ist die Frequenz f , deren Einheit Hertz (Hz) die Anzahl der Periodendauern pro Sekunde angibt. [Möser, 2012]

Ein Schallereignis kann nur dann vom menschlichen Ohr wahrgenommen werden, wenn dieses oberhalb der Hörschwelle (siehe Abb. 1) liegt. [MVIBW, 2013] Die Grenzen dieses Hörschalls liegen etwa im Bereich von 16 Hz bis 16.000 Hz (16 kHz) – bei jungen Menschen bis etwa 20 kHz –, können aber von Person zu Person je nach Lebensalter, beruflicher Dauerbeschallung, regelmäßig lauter Musik oder ähnlichem hinsichtlich der oberen Grenze variieren. In der Regel nimmt die obere Grenze um etwa 1 kHz pro zehn Lebensjahre ab. [Möser, 2012]

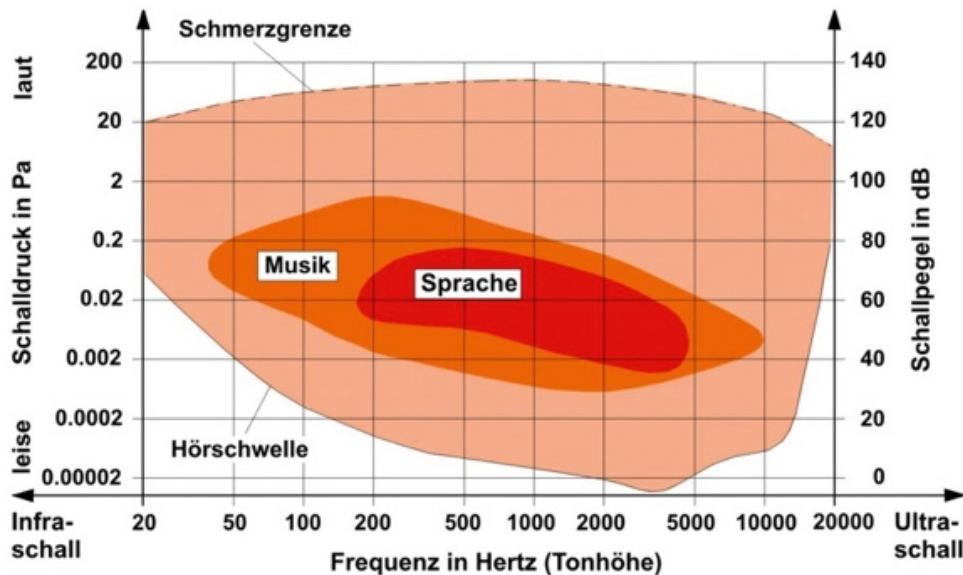


Abbildung 1: Wahrnehmungsbereich des menschlichen Ohres¹

2.1.1 Schallpegel und empfundene Lautstärke

Aus Abbildung 1 geht hervor, dass im Frequenzbereich zwischen den sehr tiefen (ca. 20 Hz) und sehr hohen (ca. 20.000 Hz) Tönen der Wahrnehmungsbereich des menschlichen Ohres liegt. Dieser Bereich umfasst insbesondere auch die Sprache und die Musik. Des Weiteren ist in Abbildung 1 die menschliche Schallwahrnehmung, die sich von der Hörschwelle bis zur Schmerzgrenze über 7 Zehnerpotenzen, von $2 \cdot 10^{-5}$ (0,00002) Pascal (Pa) bis zu 20 Pa (bei reinem Ton mit 1000 Hz) erstreckt, ersichtlich. [Haas, 1985]

Da das Rechnen und Veranschaulichen des Schalldrucks in Pascal über 7 Zehnerpotenzen zu sehr großen und unhandlichen Zahlen führen würde, wurde ein logarithmischer Maßstab zur Bezifferung des Schalldruckes festgelegt. Sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene wird dafür der Schalldruckpegel L als praxistaugliches, aussagekräftiges Maß verwendet. Der Schalldruckpegel ist definiert als:

$$L = 10 \lg \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right) \text{ [dB]} \quad (1)$$

mit: L = Schalldruckpegel
 p = Effektivwert des Schalldrucks [Pa]
 p_0 = international festgelegter Bezugsschalldruck $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Der Bezugsschalldruck p_0 entspricht in der Formel (1) für den Schalldruckpegel in etwa der Hörschwelle bei einer Frequenz von 1000 Hz, was auf der dB-Skala einem Wert von 0 dB, also dem „gerade noch“ beziehungsweise dem „gerade nicht mehr“ hörbaren Schall entspricht.

¹ Vgl. [Ministerium f. Verkehr u. Infrastruktur Baden-Württemberg, 2013]

Die Angabe des Schalldruckpegels erfolgt in Dezibel (dB). Bei einem Dezibel handelt sich um ein Zehntel eines Bels ($\text{dB} = 1/10 \text{ Bel}$). Ein Bel, benannt nach dem Erfinder Alexander Graham Bell (1847 – 1922), ist jedoch keine physikalische Größe, sondern eine Hilfsmaßeinheit, die auf den Logarithmus des Verhältnisses zweier Größen hinweist. Das daraus ableitbare Ergebnis wird als Pegel bezeichnet. Der Schalldruckpegel drückt beispielsweise das Verhältnis von Schalldruck zu Bezugsschalldruck aus. [Möser, 2012; MVIBW, 2013; Umweltbundesamt, 2017]

Eine Aufstellung unterschiedlicher Schalldruckpegel aus dem Alltag ist in nachfolgend in Tabelle 1 ersichtlich. Anzumerken ist, dass Schallpegelunterschiede von 1 dB bei Geräuschen (siehe zur Begriffsdefinition Kap. 2.1.6) über 40 dB kaum wahrnehmbar, Schallpegelunterschiede von 3 dB, was einer Verdopplung/Halbierung der Schallintensität entspricht (siehe dazu Kap. 2.1.2), hingegen deutlich wahrnehmbar und Schallpegelunterschiede von 10 dB etwa doppelt so laut/leise sind. [BUWAL, 2003; Umweltbundesamt, 2017]

Tabelle 1: Beispiele für Schallpegel im Alltag²

Schalldruckpegel L [dB]	Situation/Beschreibung
0	Hörschwelle
10	Schneefall
20	Ticken einer Uhr
30	Flüstern
40	Kühlschrank
50	Leises Gespräch
60	Normales Gespräch/Büro
70	Lautes Gespräch
80	Starker Straßenverkehr
90	Presslufthammer
100	Diskotheek
120	Start von Flugzeug
140	Schmerzgrenze

Der Vorteil der Verwendung von Schallpegeln besteht darin, die empfundene Lautstärke angeben zu können. Jedoch bringt die Verwendung von Schallpegeln einen vermehrten Rechen- und Denkaufwand mit sich. So muss man sich beispielsweise überlegen, wie groß der Gesamtpegel von mehreren Einzelquellen mit bekannten Einzelpegeln ist. [Möser, 2012]

Im nächsten Abschnitt soll daher näher auf das Rechnen mit Schallpegeln eingegangen werden.

² Vgl. [Umweltbundesamt, 2017]

2.1.2 Rechnen mit Schallpegeln

Bei einem gleich bleibenden gleichartigen Geräusch im Bereich über 40 dB ein Schallpegelunterschied von 1 dB kaum wahrnehmbar, von 3 dB deutlich wahrnehmbar ist und von 10 dB etwa dem doppelten bzw. halbierten Lautstärkeempfinden entspricht.

Wenn mehrere Schallquellen zugleich auftreten, nimmt auch die Schallimmission zu. Aufgrund der logarithmischen Skalierung des Schallpegels können zwei Schallpegel nicht einfach arithmetisch addiert werden. Vielmehr werden Leistungsgrößen addiert, man spricht dabei von einer energetischen Addition. Das bedeutet, dass die Summe folgender drei Beispiel-Schallpegel $L_1 = 35$ dB, $L_2 = 40$ dB und $L_3 = 45$ dB nicht 120 dB ergibt.

$$L_1 + L_2 + L_3 = 35 \text{ dB} + 40 \text{ dB} + 45 \text{ dB} \neq 120 \text{ dB}$$

Da Dezibel keine physikalische Größe ist, müssen Schallpegel vor der Addition in physikalische Schalldrücke umgewandelt werden. Dazu wird die nachfolgende Gleichung verwendet:

$$L_{ges} = 10 \lg \left(\sum_n 10^{L_n/10} \right) [dB] \quad (2)$$

mit: L_{ges} = Gesamtschalldruckpegel
 L_n = zu addierender Schalldruckpegel

Mit obiger Formel (2) werden die einzelnen Summanden L_i delogarithmiert und können so addiert werden.

$$L_{ges} = 10 \lg (10^{3,5} + 10^{4,0} + 10^{4,5}) \text{ dB} = \underline{46,5 \text{ dB}}$$

Gilt es nur zwei Schallpegel oder jeweils paarweise zwei Schallpegel zu addieren, lässt sich dies mit Zuhilfenahme eines sogenannten Additionslineals (siehe Abbildung 2) rascher durchführen. Hierbei bildet man zunächst die Differenz der beiden Werte und sucht den daraus ermittelten Wert auf der Oberseite des Additionslineals. Danach liest man den Wert, welcher am Additionslineal darunter liegt, ab und addiert diesen mit dem höheren Pegel, wodurch man den Gesamtschalldruckpegel erhält.

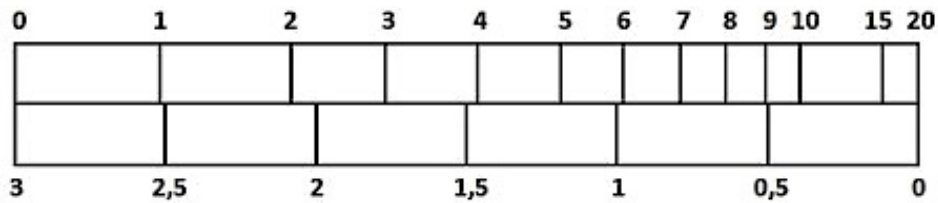


Abbildung 2: Additionslineal zur Pegeladdition³

Aus $L_2 = 40 \text{ dB}$ und $L_3 = 45 \text{ dB}$ ergibt sich somit:

$$45 \text{ dB} - 40 \text{ dB} = 5 \text{ dB} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 45 \text{ dB} + 1,2 \text{ dB} = \underline{46,2 \text{ dB}}$$

Des Weiteren kann man aus Abbildung 2 ablesen, dass sich zwei gleich große Schallpegel bei der Addition um 3 dB erhöhen.

$$55 \text{ dB} + 55 \text{ dB} = \underline{58 \text{ dB}}$$

Liegt der Pegelunterschied beider Werte bei über 10 dB, hat der niedrigere Schallpegel keinen wahrnehmbaren Einfluss auf die gemeinsame Schallleistung, da alles unter 1 dB Unterschied nicht mehr merkbar ist (siehe dazu Kap. 2.2.1).

$$40 \text{ dB} + 50 \text{ dB} = \underline{50,4 \text{ dB}}$$

Handelt es sich jedoch um viele kleine Pegel, die sich um mehr als 10 dB vom höheren Pegel unterscheiden, tragen diese sehr wohl zu einer Schallpegelerhöhung bei.

$$10 * 40 \text{ dB} + 50 \text{ dB} = \underline{53 \text{ dB}}$$

(da $10 * 40 \text{ dB} = 50 \text{ dB}$)

Ähnlich zur energetischen Schallpegel-Addition verläuft die energetische Mittelwertbildung. Hierbei werden jedoch nach der Addition der zu addierenden Werte diese durch die Anzahl n dieser Werte vor dem Logarithmieren dividiert. Siehe dazu Formel (3).

$$L_m = 10 \lg \cdot \frac{1}{n} \left(\sum_n 10^{L_n/10} \right) [\text{dB}] \quad (3)$$

mit: $L_m = \text{Mittelungspegel}$
 $L_n = \text{zu addierender Schalldruckpegel}$

Somit ergibt sich folgender Mittelungspegel:

³ Vgl. [MVIBW, 2013]

$$L_1 = 35 \text{ dB}, L_2 = 40 \text{ dB}, L_3 = 45 \text{ dB}$$

$$L_m = 10 \lg * 1/3 * (10^{3,5} + 10^{4,0} + 10^{4,5}) \text{ dB} = \underline{42 \text{ dB}} \text{ (aufgerundet)}$$

Dieses Beispiel zeigt, dass der energetische Mittelwert, anders als beim arithmetischen Mittel, näher am höheren Wert liegt. [zum Rechnen mit Schallpegeln siehe ausführlich FSV 2007; Pflüger; Brand; Bernhard; Feitzelmayer, 2009; FSV, 2009; MVIBW, 2013]

2.1.3 Subjektive Wahrnehmung von Schall

Während zur physikalischen Beschreibung der Stärke eines Schallereignisses heute der Schallpegel im Allgemeinen ein geeignetes Maß darstellt, ist dies bei der Beurteilung der menschlichen Wahrnehmung von Schallereignissen nicht der Fall. Jeder Mensch nimmt Schall anders wahr (zum Lästigkeitsindex TNA_R vgl. Cik et al. [2008] – siehe Abschnitt 2.1.6).

Wie schon in Abschnitt 2.1.1 erwähnt, erstreckt sich die Fähigkeit des Menschen, Schalldruckschwankungen wahrzunehmen, über mehrere Zehnerpotenzen hinweg. Das menschliche Gehör zeichnet sich dadurch aus, dass es Schallstärken frequenzabhängig wahrnehmen kann. Reine Töne desselben Schallpegels werden abhängig von der Frequenz der Schwingung unterschiedlich laut wahrgenommen. Dies trifft auch auf Töne zu, welche in den Spektralzerlegungen von Klängen, Klanggemischen und Geräuschen vorkommen. In zahlreichen empirischen Studien, die unter anderem von D. W. Robinson und R. S. Dadson im Jahr 1956 durchgeführt wurden, wurde durch Hörvergleiche untersucht, wie laut unterschiedliche Frequenzen von Versuchspersonen wahrgenommen werden. Einer Versuchsperson wurden nacheinander eine Frequenz von 1 kHz mit einem bestimmten Pegel und eine zweite Frequenz vorgespielt. Dann musste der Proband die Lautstärke der zweiten Frequenz selbst am Regler einstellen, sodass er beide Schalle als gleich laut empfand. Variierte man nun die zweite Frequenz, und wiederholte den Vorgang, entstand eine Kurve gleicher Lautstärke. Durch Variation des 1 kHz-Pegels gelangte man schlussendlich zu den Kurven gleicher Lautstärke, welche in der folgenden Abbildung ersichtlich sind. Die aktuellen Daten für Kurven gleicher Lautstärke sind in ISO 226:2003 definiert. [Haas, 1985; Hering; Martin; Stohrer, 2009; Pflüger et al., 2009; Möser, 2012; Schmidt, 2015]

Abbildung 3 zeigt, dass ein Ton mit 125 Hz bei einem Schalldruck von 60 dB als gleich laut empfunden wird wie ein Ton mit 1000 Hz bei 40 dB effektivem Schalldruckpegel. Daraus ist abzuleiten, dass das menschliche Gehör Töne mit gleichem Schalldruck, welche aber unterschiedliche Frequenzen aufweisen, als unterschiedlich laut empfindet (höhere Frequenz = lauterer Ton).

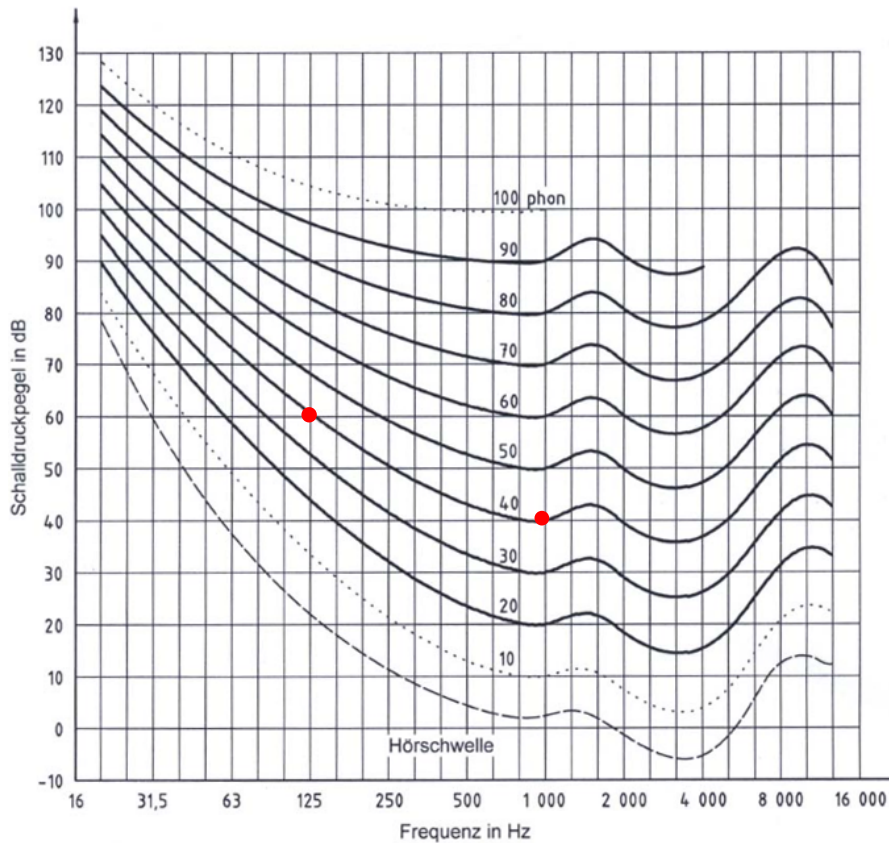


Abbildung 3: Linien gleicher Lautstärke-Wahrnehmung⁴

Da das menschliche Gehör frequenzabhängig ist, machen es Schallmessungen in der Praxis daher erforderlich, dass entweder eine angepasste Messmethode herangezogen werden muss, oder dass die physikalischen Messgrößen des Schallsignales entsprechend an die frequenzabhängige Gehörcharakteristik angeglichen werden müssen. Damit ist die Problematik der Lautstärkemessung oder -berechnung angesprochen. [Haas, 1985]

Um die Anpassung der physikalischen Messgrößen des Schallsignales an das menschliche Gehör zu erreichen, wird eine an die menschliche Gehörcharakteristik angepasste Bewertungskurve verwendet, mit der die Messgrößen durch einen Filter gewichtet werden. Es wird zwischen Bewertungskurven des Typs A, B, C und D unterschieden, wobei der A-Filter, auch A-Bewertungskurve genannt, dem Hörempfinden des Menschen bei Verkehrsgeräuschen am besten entspricht [Haas, 1985], weshalb darauf im nächsten Abschnitt näher eingegangen wird.

⁴ Vgl. [DIN, 2006]

2.1.4 A-bewerteter Schalldruckpegel L_A

Laut ÖNORM S 5004 [2008] und RVS 04.02.11 [2009] ist der A-bewertete Schalldruckpegel L_A [dB], oft auch [dB(A)], „der mit der Frequenzbewertungskurve A nach ÖVE/ÖNORM EN 61672-1 bewertete Schalldruckpegel.“

Abbildung 4 zeigt die im vorigen Abschnitt beschriebenen Bewertungskurven, die national und international zur Frequenzbewertung des Schalldruckpegels herangezogen werden. Die Bewertungen B, C und D werden nur in Ausnahmefällen, vor allem für Fahrzeug-, Schienen- und Flugverkehr, herangezogen. Als Standard in gesetzlichen Regelwerken gilt hingegen die A-Bewertung.

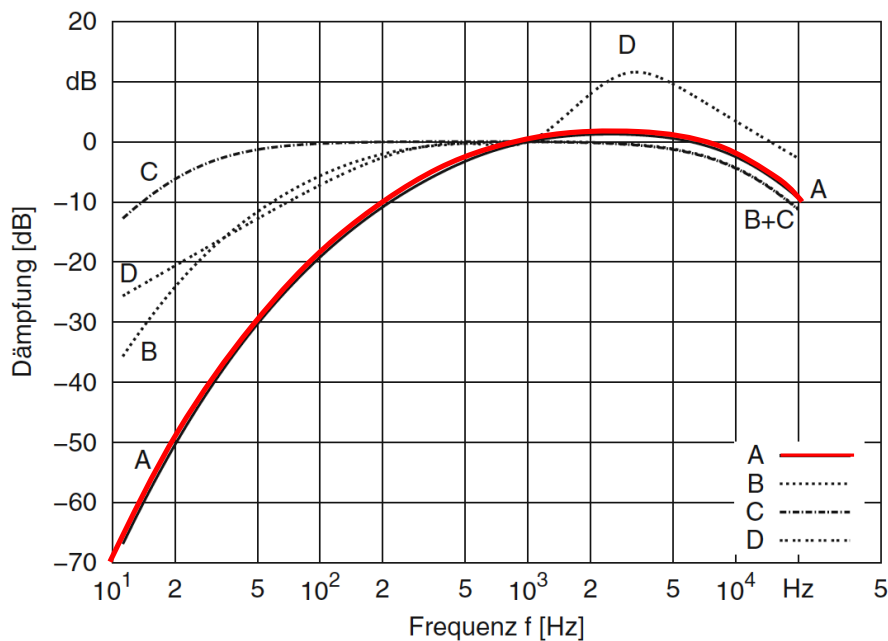


Abbildung 4: A-, B-, C- und D-Filterkurven⁵

Die A-Bewertungskurve enthält alle Frequenzanteile des menschlichen Hörbereichs, wobei ersichtlich ist, dass sie als Umkehrung der Kurve gleicher Lautstärke (siehe Abb. 3) mit dem Pegelwert von 30 dB bei 1000 Hz angesehen werden kann. [Möser, 2012]

Der A-bewertete Schalldruckpegel errechnet sich nun wie in Formel (4) nachstehend ersichtlich ist. [vgl. Möser, 2012]

$$L_A = 10 \lg \left(\sum_n 10^{(L_n + k(A)_n)/10} \right) \text{ [dB]} \quad (4)$$

mit: L_A = A-bewerteter Schalldruckpegel
 L_n = zu addierender Schalldruckpegel der einzelnen Frequenzen
 $k(A)_n$ = Korrekturwert der A-Bewertung

Dabei ist der Korrekturwert $k(A)_n$ [dB] ebenfalls der Abbildung 4 zu entnehmen.

⁵ Vgl. [Möser, 2012]

Um die Bewertung in der Praxis zu vereinfachen, können diese Bewertungskurven in Messgeräten realisiert werden und so den gewichteten Schallpegel automatisch anzeigen. Dazu wird das mittels Mikrofon gemessene Schallsignal mit der A-Bewertungskurve gewichtet und daraus der absolute Schallpegel berechnet. [Pflüger et al., 2009]

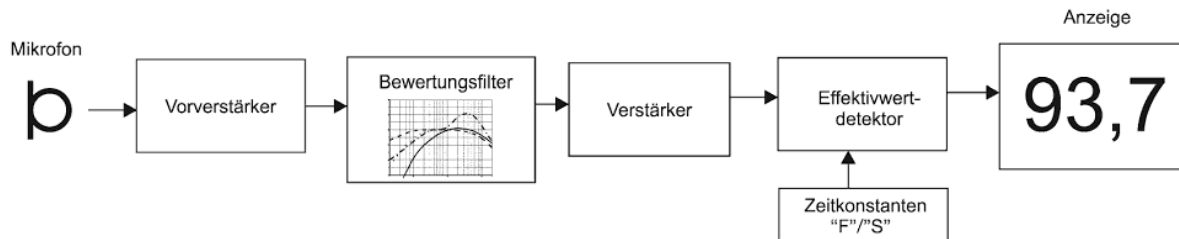


Abbildung 5: Schematische Darstellung zur Berechnung des dB(A)⁶

Als wesentliche Vorteile der A-Bewertung werden ihre weltweite Verbreitung sowie die aus der langjährigen Anwendung gewonnenen Vergleichswerte angesehen. Zudem ist der A-Bewertung zugute zu halten, dass sie in Messgeräten einfach realisiert werden kann und ihre Anwendung leicht verständlich ist. [Pflüger et al., 2009]

Aus der Sicht von Möser [2012] bringt die A-Bewertung der Schallpegel jedoch auch einige Probleme mit sich. Die Hauptkritik manifestiert sich darin, dass die A-Bewertung den Wahrnehmungs-Unterschieden nicht ausreichend Rechnung trägt und beispielsweise tieffrequente und laute Geräusche viel stärker abgeschwächt werden als bei der tatsächlichen menschlichen Wahrnehmung [vgl. dazu auch Pflüger et al., 2009]. Im oberen Pegelbereich der Hörfläche würden durch die A-Kurve Geräusche stärker als in der natürlichen Wahrnehmung vermindert werden, weshalb die Bewertung durch die A-Kurve und durch das menschliche Ohr lediglich im unteren Pegelbereich zusammenfallen würde. Die dadurch zuweilen entstehenden Diskrepanzen könnten nicht mit einer einfachen Frequenzbewertung ausgeglichen werden. Gleichzeitig seien jedoch einfach verständliche und leicht anwendbare Bewertungsverfahren unerlässlich. [Möser, 2012]

2.1.5 Energieäquivalenter Dauerschallpegel $L_{A,eq}$

Handelt es sich bei der Beurteilung eines Pegels um ein unverändertes, stationäres Geräusch, wie einen Motor mit konstanter Drehzahl, so ist eine einfache Angabe als L_A in dB ausreichend. Viele der im täglichen Leben vorkommenden Geräusche ändern sich jedoch laufend. Ein Beispiel dafür ist der Straßenverkehr in seiner Gesamtheit, in dem sich die Änderungen durch die unterschiedliche Anzahl und Art der Fahrzeuge ergeben. Es ist nicht möglich, diese Geräusche mithilfe eines einzigen Schallpegelwertes adäquat zu beschreiben.

⁶ Vgl. [Pflüger et al., 2009]

ÖNORM S 5004 [2008] und RVS 04.02.11 [2009] definieren hierfür den energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{A,eq}$ [dB] als den „Schallpegel, der bei dauernder Einwirkung dem unterbrochenen Schall oder Schall mit schwankendem Schallpegel energieäquivalent ist.“

Der energieäquivalente Dauerschallpegel ist wie in Formel (5) ersichtlich definiert.

$$L_{A,eq} = 10 \lg \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \right) \text{ [dB]} \quad (5)$$

mit: $L_{A,eq}$ = energieäquivalenter Dauerschallpegel
 $p(t)$ = Schalldruck
 p_0 = international festgelegter Bezugsschalldruck $2 \cdot 10^{-5}$ Pa
 $t_2 - t_1$ = Messzeit in Sekunden

In der RVS 04.02.11 [aktuell gültige Version von 2009] gelten für die in der Richtlinie 2002/49/EG festgelegten Lärmindizes L_{day} (Lärmindex für die Belästigung während des Tages), $L_{evening}$ (Lärmindex für die Belästigung während des Abends) und L_{night} (Lärmindex für die Belästigung während der Nacht/für Schlafstörungen), folgende Beurteilungszeiträume: Tag (6 bis 19 Uhr), Abend (19 bis 22 Uhr) und Nacht (22 bis 6 Uhr).

Da es sich beim $L_{A,eq}$ um einen Mittelwert beziehungsweise Mittelungspegel handelt, ist dies mit einer gewissen Problematik verbunden, die nachfolgend in Zusammenhang mit Abbildung 6 erläutert wird.

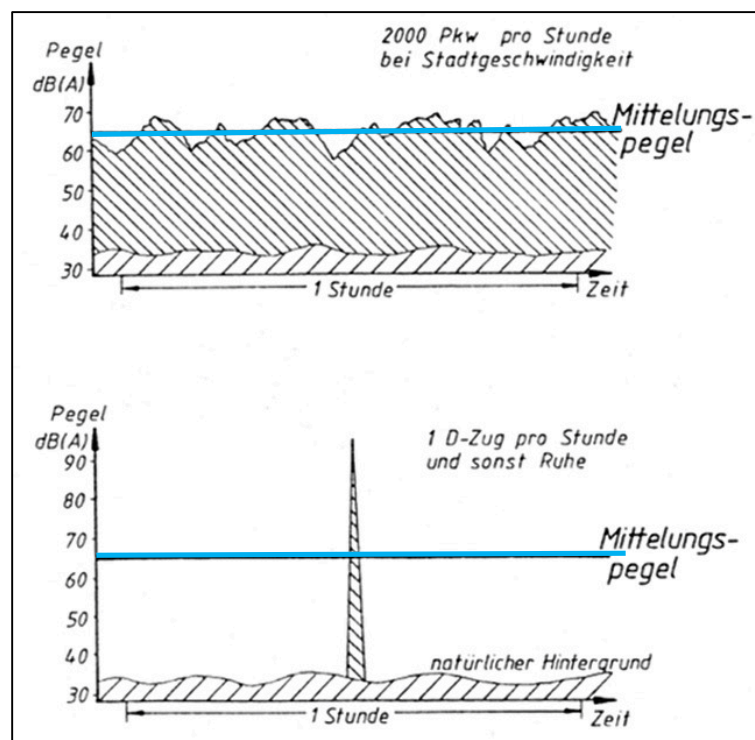


Abbildung 6: Vergleich der Mittelungspegel zwischen Pkw und Schnellzug⁷

⁷ Vgl. [MVIBW, 2013]

Durch die Anwendung von Mittelwerten verschwimmen Details in der zeitlichen Struktur, was zur Folge hat, dass sehr ungleiche Situationen möglicherweise gleich erscheinen. Wie der Abbildung 6 zu entnehmen ist, entsteht durch die Mittelung der Pegel einer stark befahrenen Straße mit 2000 Pkw pro Stunde und einem vorbeifahrenden Schnellzug in der Stunde in etwa derselbe energieäquivalente Dauerschallpegel $L_{A,eq}$. Der energieäquivalente Dauerschallpegel kann als einfachste Möglichkeit angesehen werden, um nicht durchgehend auftretende Schalle zu charakterisieren, jedoch können daraus keine Schlüsse hinsichtlich des Auftretens von Schallpegeln gezogen werden. Dies bedeutet wiederum, dass bestimmte Schallsituationen nicht akkurat beschrieben werden können. Dies wird am Beispiel Pkw und Schnellzug hinsichtlich der Störwirkung deutlich. So wird beispielsweise der Schlaf bei einem durch Pkw-Verkehr verursachten Außenpegel von 65 dB(A) in der Regel nicht gestört, während ein Spitzenpegel von mehr als 90 dB(A) bei der Vorbeifahrt eines Schnellzuges zu Aufwachreaktionen und Schlafstörungen führen kann. Hinsichtlich Administration und einfacher Handhabung hat sich die Anwendung des energieäquivalenten Dauerschallpegels in der Praxis dennoch bewährt. [Haas, 1985; Brannolte; Walther, 2005; Möser, 2012; MVIBW, 2013]

2.1.6 Lästigkeitsindex TNA_R

Ausgehend von der Überlegung, dass der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel ($L_{A,eq}$) die subjektive Störung von Menschen durch Lärm (siehe Abschnitt 2.1.3) nicht ausreichend berücksichtigt, führten Cik et al. [2008] eine Studie durch, die der subjektiven Störwirkung durch Lärm gebührend Rechnung tragen sollte. Dies erfolgte durch die Einbeziehung experimenteller psychoakustischer Daten.

In dieser Studie wurden zunächst Straßen mit unterschiedlichen Belägen (Beton, Asphaltbeton und Split-Mastix-Asphalt) ausgewählt und die Geschwindigkeit der vorbeifahrenden Fahrzeuge aufgezeichnet. Um die meteorologischen Einflüsse auf die Messungen möglichst gering zu halten, wurden diese zwischen 02:00 und 04:00 morgens bei gleichen Temperaturen, stabiler Luftfeuchtigkeit und Windstille durchgeführt. Eine Audio-Editing-Software generierte anschließend aus den aufgezeichneten Daten 25 Fahrzeugensembles mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Straßenbelägen (z.B. 5 Pkws mit einer Geschwindigkeit von 130 km/h, 1 Lkw mit einer Geschwindigkeit von 90 km/h, die auf einem Split-Mastix-Asphalt fahren). Diese Fahrzeugensembles simulierten das durchschnittliche Verkehrsaufkommen auf einer österreichischen Autobahn während einer repräsentativen Zeitspanne (180 Sekunden). Die Fahrzeugensembles wiesen einen energieäquivalenten Dauerschallpegel von 52-72 dB auf.

In einem nächsten Schritt wurden mit ca. 200 Versuchspersonen mehrere Hörtests durchgeführt. Die Versuchspersonen, welchen die Fahrzeugensembles vorgespielt wurden, mussten die Störung durch die einzelnen Fahrzeugensembles auf einer 11-teiligen Skala angeben. Die Probanden sollten dabei nicht nur auf die Lautstärke sondern auch auf die Geräuschcharakteristik Rücksicht nehmen. In einem begleitenden Fragebogen gaben die Studienteilnehmer zudem an, inwieweit sie sich tagsüber und nachts durch Verkehrslärm gestört fühlen. Im Rahmen von weiterführenden Hörtests wurden beispielsweise auch die Herz- und die Atemfrequenz der Studienteilnehmer gemessen.

Die Studie ergab, dass die unterschiedlichen Straßenbeläge, Geschwindigkeiten und die Anzahl der vorbeifahrenden Fahrzeuge einen großen Einfluss auf die individuelle Lärmwahrnehmung haben. Ein größeres Verkehrsaufkommen führt unabhängig von der Geschwindigkeit und dem Straßenbelag zu

einer höheren subjektiven Störung durch Lärm. Auch eine höhere Geschwindigkeit bedeutet einen größeren Störfaktor. So wurden Fahrzeugensembles mit einer Pkw-Geschwindigkeit von 130 km/h und einer Lkw-Geschwindigkeit von 90 km/h als störender empfunden als Fahrzeugensembles mit einer Pkw-Geschwindigkeit von 100 km/h und einer Lkw-Geschwindigkeit von 90 km/h. Der Straßenbelag hat ebenso Einfluss auf die Störwirkung. Es gilt: Beton = Asphaltbeton + 1,5 Indexpunkte; Asphaltbeton = SMA + 2 Indexpunkte. Die Studie hat auch gezeigt, dass nasse Straßen jedenfalls eine höhere Störwirkung als trockene Straßen bedingen. Lärmschutzmaßnahmen führen zu einer deutlichen Reduktion der Störwirkung (2,7 Indexpunkte bei SMA).

Die Studienautoren kamen zu dem Schluss, dass die Lautstärke (loudness), die Lautstärkenspitzen (loudness excess) und die Geräuschintensität (sharpness) die individuelle Störwirkung durch Lärm besser ausdrücken kann als der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel ($L_{A,eq}$). Die Störwirkung von Verkehrslärm (traffic noise annoyance on roads - TNA_R) wird folgendermaßen ausgedrückt:

$$TNA_{R(PH2)} = f(\text{loudness, sharpness, loudness excess})$$

Die TNA_R wird als ein nützliches Instrument für die künftige Straßenplanung angesehen, welches ermöglicht, auf die subjektive Störwirkung durch Lärm positiven Einfluss zu nehmen. Eine Reduzierung des Verkehrslärms sollte demnach auch bei der Veränderung von Straßenbelägen, Reifenprofilen, Geschwindigkeitsreduktionen und Adaptionen von Lärmschutzmaßnahmen ansetzen.

2.1.7 Begriffe der Akustik

Wesentliche Begriffe, durch die bestimmte Schallsignale und ihr zeitlicher Verlauf des Schalldruckes beschrieben werden, werden in Abbildung 7 dargestellt.

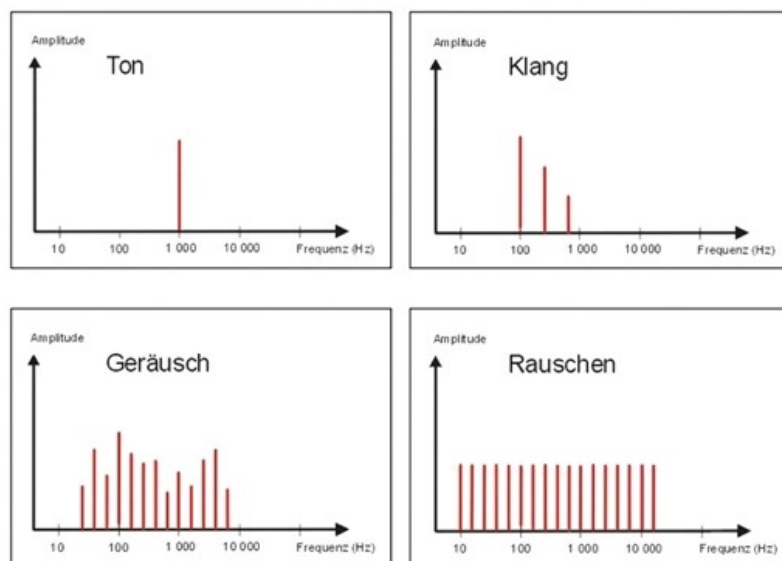


Abbildung 7: Spektraldarstellung von Ton, Klang, Geräusch und Rauschen⁸

⁸ Vgl. [MVIBW, 2013]

In der Physik wird ein Ton als Schall mit einer einzigen Periode oder Frequenz bezeichnet. Mathematisch lässt sich ein reiner Ton als Sinus- oder Cosinus-Funktion darstellen. Solch ein reiner Ton tritt in der Praxis jedoch sehr selten auf. In der Akustik spricht man bei mehreren Frequenzanteilen daher von Klang. Rauschen ist aus der Natur beispielsweise als Rauschen des Waldes oder der Meeresbrandung bekannt. Es beinhaltet Anteile aller Frequenzen eines bestimmten Frequenzbereiches. Unter einem Geräusch versteht man ein Schallsignal, welches aus zahlreichen Tönen unterschiedlicher Frequenzen und Pegelhöhen besteht. Ein Geräusch ist daher ein akustisches Signal, welches viele Teilfrequenzen aufweist. Zwischen diesen einzelnen Frequenzen, gibt es – anders als beim Klang – keinen gesetzmäßigen Zusammenhang. [Pottlacher, 2008; MVIBW, 2013]

Treten Geräusche ungewollt auf und werden vom Menschen als störend empfunden, spricht man schließlich von Lärm. Im nächsten Abschnitt soll auf diesen Aspekt daher näher eingegangen werden.

2.2 Lärm

Lärm wird als unerwünschter, störender, beeinträchtigender und schädlicher Schall, der auf den Menschen einwirkt, definiert. Anders als Schall kann Lärm nicht gemessen werden, da es sich dabei um eine rein subjektive Wahrnehmung handelt. Geräusche, beziehungsweise Lärm, werden von jeder Person anders empfunden. Selbst die Empfindung einer Person kann zeitlich oder situationsabhängig variieren. Um Lärm objektiv beschreiben zu können, wird in der Regel der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel herangezogen. Abhängig von der Dauer, der Intensität und der Frequenz der Geräusche können durch sie unterschiedliche körperliche bzw. seelische Reaktionen hervorgerufen werden, welche von einer einfachen Störung bis zu einer Gesundheitsschädigung reichen können. [Haas, 1985; Brannolte; Walther, 2005; Pflüger et al., 2009; MVIBW, 2013]

Zu unterscheiden sind dabei Auswirkungen auf das menschliche Gehör und sonstige Auswirkungen auf das Befinden des Menschen. Zu ersteren ist festzuhalten, dass Schallpegel unter L_A 80 dB in der Regel keine Hörstörungen nach sich ziehen. Mit zunehmendem Schallpegel steigt das Risiko einer Schädigung des Hörorgans und das Ausmaß einer allenfalls zu erwartenden Hörstörung. Ist jemand einem besonders hohen Schallpegel ausgesetzt, kann schon nach wenigen Jahren eine wesentliche Hörstörung eintreten, bei geringeren Schallpegeln sind in vielen Fällen Hörstörungen nach mehreren Jahrzehnten merkbar. [ÖAL, 2011]

Das Ohr ist für Frequenzen zwischen 1000 und 6000 Hz empfindlicher als für tiefere und höhere Frequenzen. Wenn die Lärmexposition mehrmals täglich unterbrochen wird, tritt eine Erholung des Ohres ein, welche die Toleranz des Hörorganes gegenüber Lärm wieder erhöhen kann. [ÖAL, 2011]

In der ÖAL-Richtlinie Nr. 6/18 [2011] wird Lärm als „unerwünschter Schall, der Menschen belästigen, ihre Gesundheit stören, gefährden oder schädigen kann“ beschrieben. Da das Hörorgan ein zentrales Sinnesorgan ist, welches die örtliche, zeitliche und situative akustische Orientierung ermöglicht, muss ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Ruhephasen und Phasen mit adäquaten akustischen Reizen bestehen.

Abgesehen von den Wirkungen auf das Hörorgan kann Lärm auch weitere Auswirkungen haben - viele Bereiche des menschlichen Lebens und Körpers können betroffen sein. Grundsätzlich lassen sich die Lärmwirkungen zu folgenden Gruppen zusammenfassen [vgl. FSV, 2007; ÖAL, 2011; MVIBW, 2013; Umweltbundesamt, 2017]:

- Medizinische Lärmwirkung

Zu den medizinischen lang- und kurzfristigen Beeinträchtigungen des Menschen zählen unter anderem kreislaufbedingte Erkrankungen (z.B. Blutdruckstörungen), Stoffwechselveränderungen und Störungen der Schlafqualität und -quantität (z.B. verzögertes Einschlafen, Aufwachreaktionen, verringerte Schlaftiefe).

- Psychologische Lärmwirkung

Die psychologischen Auswirkungen von Lärm sind die beim Menschen am häufigsten anzutreffenden Auswirkungen. Zu ihnen zählen unter anderem Belästigung, Störung von Aktivitäten (z.B. Unterhalten, Lesen), Störungen der Kommunikation, Beeinträchtigungen der Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz und in der Schule sowie Befindlichkeitsstörungen (z.B. Nervosität, Kopfschmerzen, Unlustgefühle).

- Soziale Lärmwirkung

Lärm hat nicht nur Auswirkungen auf den einzelnen Menschen, sondern auch auf das soziale Verhalten untereinander. Als Folgen der Lärmstörung können hier Nachteile der Sprachentwicklung, erschwerte Kommunikation, soziale Umschichtung und Aggression gegenüber anderen Menschen und Dingen genannt werden.

- Ökonomische Lärmwirkung

Neben den Wirkungen auf den Menschen wirkt sich Lärmstörung auch insbesondere auf Grundstücks- und Immobilienpreise, Mieteinnahmen und andere ökonomisch messbare Faktoren negativ aus.

Hinsichtlich der Auswirkungen von Lärm im Einzelfall spielt es eine wesentliche Rolle, ob jemand Lärmimmissionen nur kurzzeitig oder aber langfristig ausgesetzt ist. Langzeitwirkungen von Lärm sind sehr stark von individuellen Bewältigungsstrategien bzw. mental-emotionalen Prozessen abhängig. Das Ausmaß von Beeinträchtigungen hängt also nicht nur von objektiv messbaren Schallimmissionen ab, sondern auch von orts- und persönlichkeitsbezogenen Faktoren, wie Sensibilität, Ablenkbarkeit, Labilität, Einstellung zum Lärm und individueller Leistungsfähigkeit. Zudem können negative Auswirkungen von Lärm auch noch nach den eigentlichen Lärmimmissionen weiterwirken und eine Belastung für die Betroffenen darstellen. [ÖAL, 2011]

Auch die Kommunikation kann durch Lärm beeinträchtigt werden. Hierbei kommt es insbesondere auf die Schallintensität und das Frequenzspektrum des Geräusches an. Wesentlich ist aber auch die Art der Kommunikation: beim Hören von Radionachrichten kann beispielsweise ein einzelnes akustisches Ereignis (Vorbeifahren eines Fahrzeuges) einen wichtigen Satz übertönen. Da dieser Satz nicht wiederholt wird, geht eine wesentliche Information verloren und das Schallereignis wird als besonders störend empfunden. In Gesprächen können Aussagen, die aufgrund eines Schallereignisses nicht verstanden wurden, wiederholt werden bzw. kann durch lauterer Sprechen

und gesteigerte Konzentration beim Zuhören zumindest teilweise eine Störung der Kommunikation ausgeglichen werden. Die dafür notwendigen Anstrengungen können aber bei manchen Betroffenen Stressreaktionen auslösen.

Bei normaler Sprechlautstärke beträgt der Sprachschallpegel 1m vom Sprecher entfernt etwa L_A 55–60 dB. Auftretende Schallereignisse von L_A 45–50 dB beeinträchtigen die Kommunikation kaum. Bei einem Schallpegel von mehr als L_A 75 dB ist die Verständlichkeit hingegen stark beeinträchtigt. Gespräche, die bei einem A-bewerteten Schalldruckpegel von mehr als 55 dB stattfinden, werden vom Sprecher meist als anstrengend empfunden, da diese einen erhöhten Stimmaufwand bedingen. Dies kann zu einer Verhaltens- bzw. Kommunikationsänderung führen, welche darin besteht, dass das Gespräch abgebrochen oder an einen anderen Ort verlegt wird. Aber auch eine aggressivere oder emotionalere Sprechweise kann in solchen Situationen auftreten.

Lärm kann sich - abgesehen von anderen Parametern, wie Schwierigkeit der Aufgabe, Zeitdruck, und Tätigkeitsdauer - belastend auf motorische und geistige Tätigkeiten auswirken. Dabei kommt es häufig zu einer Verminderung der Aufmerksamkeit, einer Erhöhung der Reaktionszeit durch Verlangsamung geistiger Prozesse, einer Veränderung des eigenen Leistungsanspruches und einem Verlust der Motivation sowie zu erhöhter Risikobereitschaft.

Erfordern Tätigkeiten längere Aufmerksamkeit und Konzentration, treten Störungen ab Schallpegeln von $L_{A,eq}$ 50 dB, bei sehr anspruchsvollen Tätigkeiten bereits bei 45 dB, auf. Ob sich jemand beeinträchtigt fühlt, hängt aber auch maßgeblich von der Geräuschcharakteristik und der zeitlichen Verteilung des Geräusches ab.

Bei weniger anspruchsvollen mentalen Tätigkeiten können Leistungsbeeinträchtigungen ab etwa $L_{A,max}$ 65 dB eintreten, welche vom Betroffenen einen erhöhten Kompensationsaufwand erfordern. Bei weniger anspruchsvollen bzw. rein mechanischen Tätigkeiten stellen Schallpegel bis zu $L_{A,max}$ 70 dB zumeist kein Problem dar. Ab 85–90 dB versagen spätestens individuelle Kompensationsstrategien, sodass Lärm eine deutliche Leistungsbeeinträchtigung zur Folge hat. Ungeachtet dessen ist jedoch auch festzuhalten, dass Kompensationsleistungen zur Bewältigung von Lärm nur eine gewisse Zeit lang funktionieren und auch stark vom Lebensalter abhängig sind. Vor allem bei Kindern tritt nach längerer Lärmbelastung eine Leistungsminderung bzw. Verhaltensänderung ein.

Wie in Kapitel 2.2.1 noch ausführlich dargestellt wird, fühlen sich rund 40% der österreichischen Bevölkerung am Wohnort zumindest leicht von Lärm gestört. Dabei spielt es unter anderem eine große Rolle, wann Lärm auftritt (tagsüber oder nachts) bzw. ob dies regelmäßig oder unregelmäßig geschieht; ob er vorhersehbar, lokalisierbar oder vermeidbar ist und wie der physische und psychische Zustand der Betroffenen ist. Durch die vielzähligen Parameter, von welchen eine Störung durch Lärm abhängt, ergibt sich ein breites Spektrum an Belästigungserscheinungen. Bei einzelnen Personen treten diese bereits bei Schallpegeln ab $L_{A,eq}$ 40 dB unabhängig von der lärmverursachenden Quelle auf.

Aus den dargestellten Wirkungen von Schallimmissionen auf Menschen werden folgende wirkungsbezogene Immissionswerte für Schallimmissionen angegeben:

Tabelle 2: Übersicht der wirkungsbezogenen Immissionsrichtwerte am Tag [dB]⁹

$L_{A,eq}$	$L_{A,max}$	Gesundheitliche Aspekte	Bemerkungen
		Kommunikationsstörungen	
55*	-	Belästigung durch gestörte Kommunikation	$L_{A,eq}$ 35: relaxed conversation $L_{A,eq}$ 45: fairly well $L_{A,eq}$ 65: more vocal effort ***
		Kardiovaskuläre Effekte	
-	60*	Akute physiologische Reaktionen (unter Laborbedingungen)	Im Alltag treten vegetative Reaktionen bereits bei niedrigeren Pegeln auf
60**	-	Herzinfarktisiko steigt kontinuierlich	bei chronischer Lärmbelastung
		Mentale Störungen	
45*	-	Störung höherer geistiger Tätigkeiten	
		Soziale Effekte und Belästigung	
55**	-	Deutliche Belästigungsreaktionen bei 5-11 % der Bevölkerung	$L_{A,eq}$ 55: few seriously $L_{A,eq}$ 50: moderately annoyed ***

* am Ort des Hörenden

** außen

*** nach WHO 1999 Community Noise Guidelines

Tabelle 3: Übersicht der wirkungsbezogenen Immissionsrichtwerte in der Nacht [dB]¹⁰

$L_{night, außen}$	Gesundheitliche Aspekte
	Schlafstörungen
bis 30	Keine beobachteten biologischen Effekte (= NOEL)
30 bis 42	Vegetative Effekte, EEG-Arousals, vermehrte Körperbewegungen, erinnerebare Schlafstörungen
42 bis 55	Starker Anstieg adverser Effekte, signifikanter Anstieg von Aufwachreaktionen. Große Anzahl der exponierten Personen ist betroffen (Coping). Empfindliche Gruppen erheblich betroffen
größer 55	Gesundheitsgefährdung; Evidenz zeigt, dass das Risiko für Herz-Kreislauf-Krankheiten ansteigt

NOEL: No Observed Effect Level

In den „Guidelines for community noise“ [1999] formulierte die WHO Immissionsgrenzwerte für einen vorbeugenden Gesundheitsschutz. Unter anderem wurde darin ein Richtwert für den Innenraum nachts mit $L_{A,eq} = 30$ dB und $L_{A,max} = 45$ dB sowie für den Bereich außerhalb der Wohnung nachts mit $L_{night} = 45$ dB definiert. Dieser Wert wurde 2009 in den „Night noise guidelines“ [WHO, 2009] abgesenkt, und auf $L_{night, outside} = 40$ dB geändert. Weiters unterscheiden sich diese beiden Richtlinien hinsichtlich der Bewertung des Lärms. So wurden in den Night Noise Guidelines anstatt von fixen Richtwerten Schwellen für unterschiedliche Auswirkungen festgelegt. Die WHO-Richtlinie von 1999 wird dennoch als Anhaltspunkt bei der Begrenzung der Maximalpegel $L_{A,max}$ herangezogen. [ÖAL, 2011]

⁹ Vgl. [ÖAL, 2011]¹⁰ Vgl. [ÖAL, 2011]

Bei den Immissionswerten in den obigen Tabellen handelt es sich um gemessene Werte ohne Zu- oder Abschläge. Studien haben mehrfach gezeigt, dass während der Schlafenszeit ein größeres Schutzbedürfnis besteht. Jedoch ist es aufgrund unterschiedlicher Tagesrhythmen und individuellen Bedürfnissen schwierig, eine genaue Eingrenzung der Schlafenszeit vorzunehmen. Zudem ist die Nachtzeit gesellschaftlich geprägt. Es ist daher laut ÖAL wünschenswert, auch Nachtrandzeiten (insbesondere den Abend) zu schützen und in der Übergangsphase vom Tag zur Nacht eine graduelle Verringerung der Grenzwerte einzuführen. Auch andere zeitliche (Morgenstunden, Wochenenden, Feiertage) und räumliche (Schulen, Krankenhäuser, Pflegeheime) Faktoren können einen besonderen Schutz erfordern.

Der $L_{\text{night, außen}}$ ist der mittlere Schalldruckpegel in der Nacht (22:00 bis 06:00) und wird gemäß der EU-Umgebungslärmrichtlinie als Jahresmittelwert in 4m Höhe vor Wohngebäuden angegeben. Für die wirkungsbezogene Beurteilung sind im Einzelfall schalltechnische Parameter ($L_{A,\text{max}}$, $L_{A,\text{eq}}$) aus dem ungünstigsten Beurteilungszeitraum heranzuziehen.

Die EU-Umgebungslärmrichtlinie bildete die Grundlage für die Entwicklung von Raumplanungsmaßnahmen in Hinblick auf die wichtigsten Lärmquellen, zu denen auch der Straßenverkehr zählt. Für bestimmte Gebiete wurden auf Basis dieser Richtlinie Lärmkarten ausgearbeitet, in denen die jeweils erhobenen Daten dargestellt werden. Dazu wurden Lärmindizes festgelegt:

L_{den} (day-evening-night; Tag-Abend-Nacht-Lärmindex), der Lärmindex für die allgemeine Belästigung

L_{day} (Taglärmindex), der Lärmindex für die Belästigung während des Tages

L_{evening} (Abendlärmindex), der Lärmindex für die Belästigung am Abend

L_{night} (Nachtlärmindex), der Lärmindex für Schlafstörungen

Mithilfe dieser Lärmindizes lassen sich die betroffenen Gebiete charakterisieren und Erkenntnisse für allfällige erforderliche schallschutztechnische Maßnahmen und in weiterer Folge für die Raumplanung und Widmung von Gebieten gewinnen.

Um mögliche Reaktionen auf Schallimmissionen fundiert beschreiben zu können, müssen quantitative Daten vorliegen, mithilfe derer sich die Belastungssituation charakterisieren lässt. Dazu gehören u.a. der energieäquivalente Dauerschallpegel, Angaben über Ton-, Impuls- oder Informationshaltigkeit der Geräusche, Angaben zu Pegelspitzen ($L_{A,\text{max}}$) und deren Häufigkeit. Die Störungswirkung von Lärmimmissionen nur am energieäquivalenten Dauerschallpegel festzumachen, hat nur dann seine Berechtigung, wenn die Geräusche relativ konstant sind (z. B. fließender Straßenverkehrslärm). Ungeachtet der absoluten Höhe der Lärmbelastung spielt auch die Abweichung zur gewohnten bzw. ortsüblichen Belastung eine große Rolle. [siehe zu den Wirkungen von Lärm auf den Menschen ÖAL, 2011]

2.2.1 Lärmstörung in Österreich

Lärm kann als jene Umweltbelastung angesehen werden, die Menschen am stärksten tangiert, da Lärm immer direkt wahrnehmbar ist. Im Rahmen des Mikrozensus Umweltbedingungen, Umweltverhalten der Statistik Austria wurde 2013 die Lärmstörung im Wohnbereich untersucht. Die Stichprobe setzte sich aus neun annähernd gleich großen Bundesland-Stichproben zusammen

(Ausnahmen: Burgenland mit einem niedrigeren und Wien mit einem höheren Stichprobenumfang), die jeweils als zufällige, einstufige Wohnungsstichproben aus dem Zentralen Melderegister (ZMR) gezogen wurden. Der gesamte Stichprobenumfang pro Quartal lag bei brutto ca. 21.000 Wohnungen (Auswahlsatz 0,5%). [Statistik Austria, 2013]

Aus dem Mikrozensus geht hervor, dass sich 40% der Österreicherinnen und Österreicher im Jahr 2011 in ihrer Wohnung durch Lärm belästigt fühlten. Davon gaben 6,6% eine starke und 3,7% eine sogar sehr starke Belästigung an. 60% der Österreicher fühlten sich nicht gestört (siehe Abbildung 8).

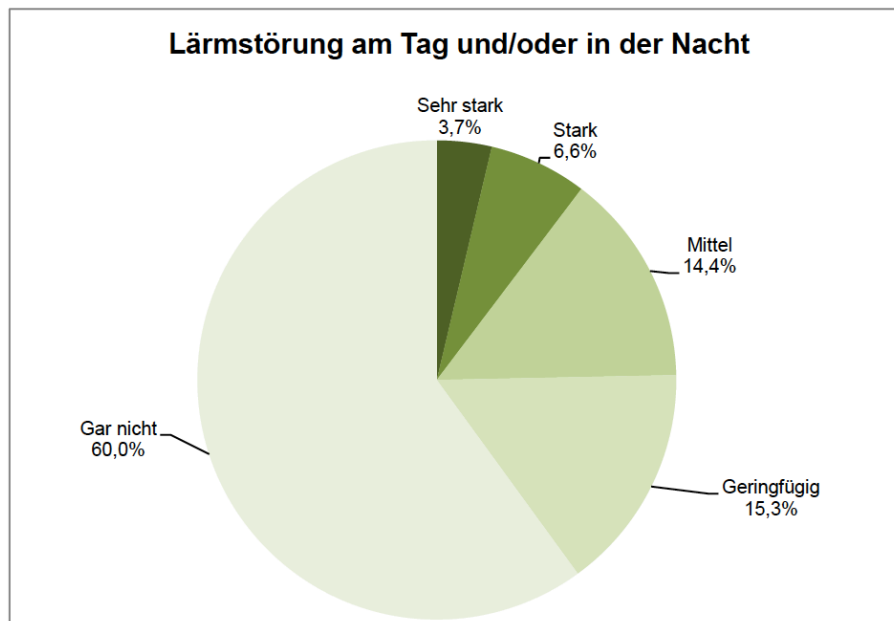


Abbildung 8: Lärmstörung im Wohnbereich in Österreich (2011)¹¹

Aus einer im Jahr 2011 in Deutschland durchgeführten Onlineumfrage, bei der sich seit 2002 68.000 Personen beteiligten [siehe dazu Umweltbundesamt Deutschland, 2011], geht im Vergleich dazu hervor, dass sich dort rund 20% geringfügig, 12,7% mittel, 8,4% stark und 8,3% sehr stark gestört fühlen.

¹¹ Vgl. [Statistik Austria, 2013]

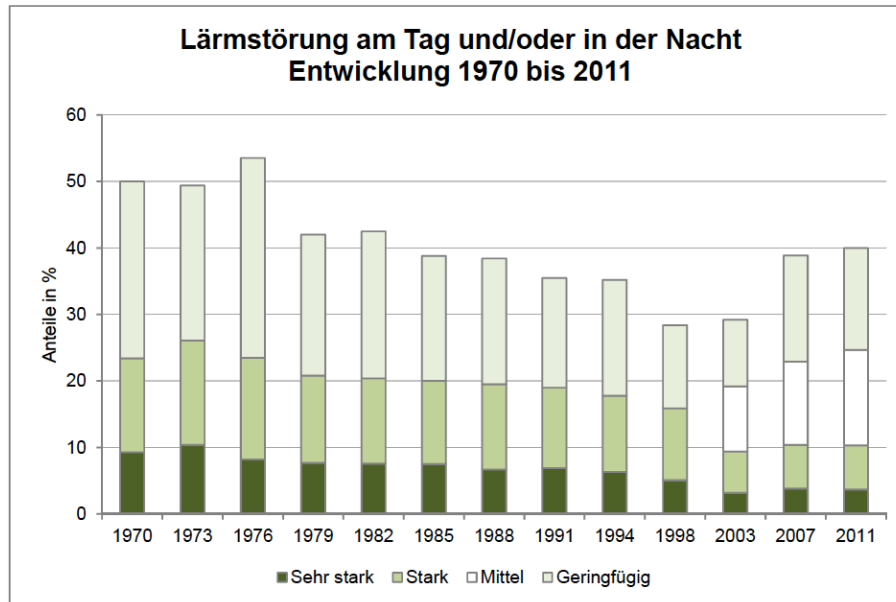


Abbildung 9: Entwicklung der Lärmstörung in Österreich von 1970 bis 2011¹²

Wie Abbildung 9 zu entnehmen ist, sind die Werte im Vergleich zu 2007 leicht angestiegen. Betrachtet man hingegen das Jahr 2003, so sieht man einen deutlichen Anstieg der Lärmbelastung von 29% auf 40%. Vor allem bei all jenen, die sich geringfügig belästigt fühlen, stieg der Wert um 5,3% an.

Topographisch gesehen ist die Lärmbelastung in ländlichen Gebieten traditionell niedriger als im städtischen Bereich. Messungen haben ergeben, dass die Lärmbelastung in Gemeinden mit bis zu 20.000 Einwohnern deutlich geringer ist als jene in Ballungszentren (Gemeinden mit mehr als 20.000 Einwohnern sowie Wien). Ebenso zeigt sich, dass die Lärmbelastung in Wohngebieten durch abnehmende landwirtschaftliche Tätigkeit steigt. Obwohl sich das lärmbezogene Stadt-Land-Gefälle zwischenzeitlich verringerte, wurde im Jahr 2011 wieder eine deutlich höhere Lärmbelastung in den Städten beobachtet. [Statistik Austria, 2013]

Hervorzuheben ist jedoch auch, dass Lärmbelastung eine soziale Komponente aufweist. Dies deshalb, da insbesondere Personen mit geringerem Einkommen in Gebieten wohnen, in denen die Lärmbelastung als stark einzustufen ist. Als Folge dessen können sich die Betroffenen in ihrer Wohnung nicht so gut erholen wie Personen, die in weniger lärmbelasteten Gebieten leben. Diese Erholungsdefizite können sich auch negativ auf die Leistungsfähigkeit im Berufsleben auswirken. [Brannolte; Walther, 2005]

In der folgenden Abbildung ist die Lärmstörung am Tag und/oder in der Nacht in NUTS 3-Gebieten¹³ ersichtlich.

¹² Vgl. [Statistik Austria, 2013]

¹³ NUTS steht für „*Nomenclature des unités territoriales statistiques*“. Dabei handelt es sich um eine von Eurostat in Zusammenarbeit mit den Mitgliedstaaten der EU verbindlich anzuwendende hierarchische Gliederung von Gebietseinheiten bei der Erstellung von Statistiken. Die aktuelle Version (Nr. 2016/2066 vom 21.November.2016) unterteilt das Territorium der EU in 3 Ebenen (NUTS 1 – Regionen der Europäischen

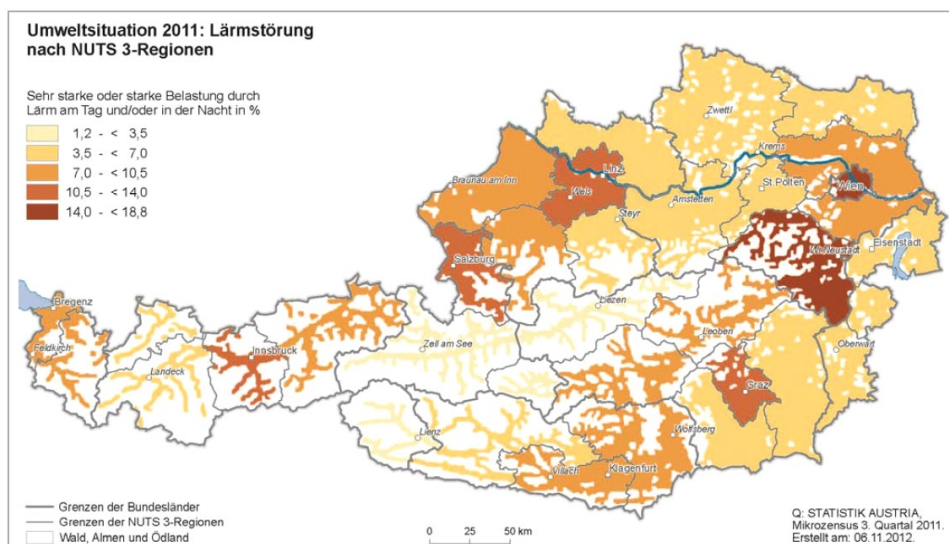


Abbildung 10: Lärmstörung nach NUTS 3-Regionen¹⁴

Aus dem Kartogramm geht hervor, dass die Lärmbelastung in Österreich sehr unterschiedlich ist. Dennoch ist zweifelsfrei festzustellen, dass in Ballungszentren eine deutlich höhere Lärmstörung vorhanden ist. Wie bereits ausgeführt, stellt die Wohnumgebung ein entscheidendes Kriterium für die Stärke der Lärmbelastung der österreichischen Bevölkerung dar. Am schlechtesten ist die Situation in Gebieten mit dicht verbauten, mehrgeschossigen Häusern. 9,4% der im Rahmen des Mikrozensus 2011 befragten Personen gab an, dass die Lärmbelastung als sehr stark einzustufen sei, 14,4% empfanden sie als stark und 21% gaben eine mittlere Störung an. In dicht bebauten Gebieten mit überwiegend eingeschossigen Häusern empfanden 1,8% der Befragten die Lärmbelastung als sehr stark, 6,2% als stark und 17,2% als mittel.

Auffallend ist, dass in der Region Niederösterreich-Süd (im Bereich Gloggnitz, Neunkirchen, Wr. Neustadt) Werte über 14% auftreten, obwohl sich in diesem Gebiet keine Großstadt befindet. Dennoch scheinen sich die Bewohner dieser Region vermutlich durch die Bahnstrecke der Südbahn, die Schnellstraße S6 und die Autobahn A2 stark gestört zu fühlen. Nähere Erläuterungen zur hohen Lärmbelastung in dieser Region sind in der Literatur nicht zu finden, sodass die Gründe für die Lärmbelastung nur vermutet werden können.

Gemeinschaft; NUTS 2 – Grundverwaltungseinheiten; NUTS 3 – Unterteilung der Grundverwaltungseinheiten). In Österreich besteht durch die Zusammenfassung mehrerer Gemeinden die Ebene NUTS 3 aus 35 Einheiten.

¹⁴ Vgl. [Statistik Austria, 2013]

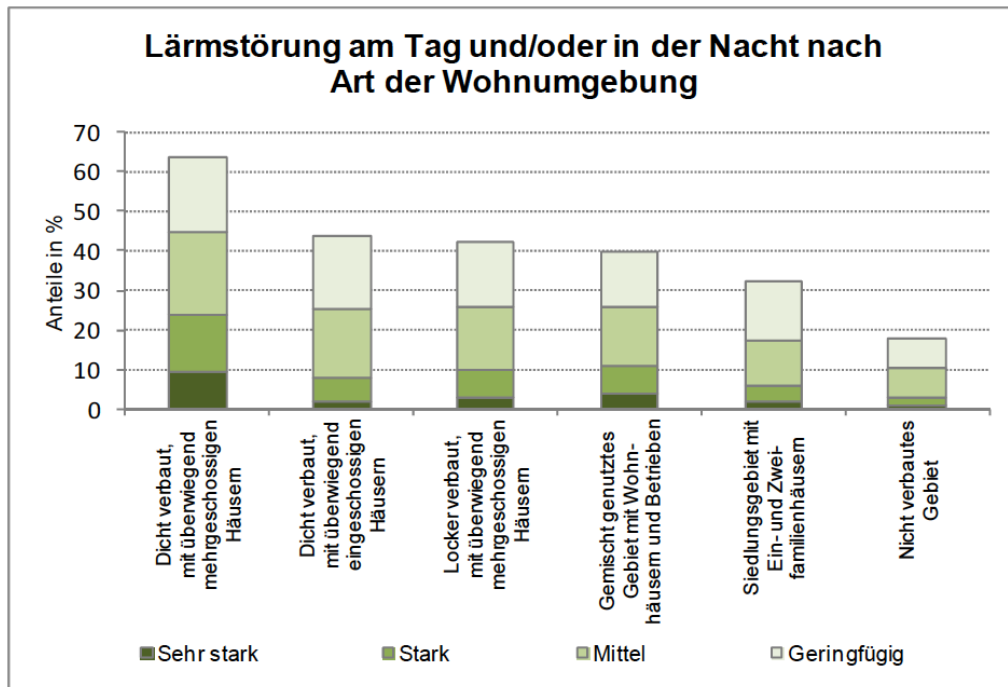


Abbildung 11: Lärmstörung nach Art der Wohnumgebung¹⁵

Die im Zuge des Mikrozensus befragten Personen mussten überdies angeben, was aus ihrer Sicht die Hauptlärmquelle sei. Dabei wurde deutlich, dass der Verkehr auch im Jahr 2011 die größte Lärmquelle darstellte – er wurde von knapp 62% der Österreicher als Hauptursache genannt (siehe Abbildung 12). Gegenüber 2007 bedeutete dies einen Rückgang von 2,6%, verglichen mit 2003 nahm die Lärmbelästigung durch den Verkehr sogar um 12% ab. Die Störung durch nicht-verkehrsbedingte Lärmquellen (z. B. Lokale, Baustellen, Nachbarwohnungen, Freizeit- und Tourismuseinrichtungen bzw. -veranstaltungen) stieg im Gegensatz dazu jedoch stetig an.

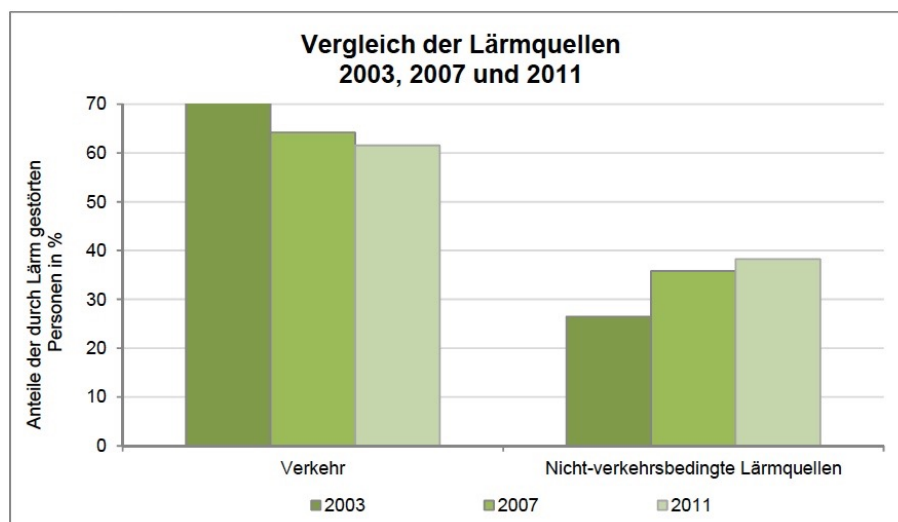


Abbildung 12: Vergleich der Lärmquellen 2003, 2007 und 2011¹⁶

¹⁵ Vgl. [Statistik Austria, 2013]

¹⁶ Vgl. [Statistik Austria, 2013]

Was die einzelnen Verursacher des Verkehrslärmes betrifft, wurde die Störung durch den Schwerverkehr (Lkw, Busse) im Jahr 2011 gegenüber 2007 als nahezu unverändert empfunden. Der Anteil des Schwerverkehrs am Gesamtlärm betrug 2011 27,9%. Die Belastung durch Straßenbahn- und Eisenbahnlärm ist im Vergleichszeitraum um ca. ein Viertel auf 12,1% gestiegen. Ebenso hat auch der Flugzeuglärm deutlich zugenommen und betrug 2011 schon 9,5%. Der durch Pkw verursachte Lärm ist jedoch zwischen 2007 und 2011 um rund 10% auf 33,1% zurückgegangen.

Hervorzuheben ist auch, dass die verkehrsbedingte Lärmbelastung sowohl am Tag als auch in der Nacht sehr ähnlich ist. Jedoch wird der durch PKW, Eisenbahnen und Straßenbahnen verursachte Lärm subjektiv nachts stärker wahrgenommen, der Schwerverkehr dagegen tagsüber. Etwa 39% der befragten Personen können aufgrund des Verkehrslärms nicht bei geöffnetem Fenster schlafen. [Statistik Austria, 2013]

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass durch die medizinische Behandlung von lärmbedingten Krankheiten bzw. von Unfällen, die auf lärmbedingte Konzentrationsstörungen zurückzuführen sind und durch Produktionsausfälle, die dadurch entstehen, dass Arbeitskräfte aufgrund dieser Konzentrationsstörungen zeitweise oder dauerhaft ausfallen, enorme Kosten verursacht werden. Neben den medizinischen Kosten können durch die Lärmbelastung auch Defizite aus verminderten Miet- und Immobilienverkaufseinnahmen entstehen. Studien zu Mietzinsausfällen ergaben, dass im Durchschnitt von einem Mietverlust von 0,9% pro dB(A) ab einer Lärmbelastung von 50 dB(A) auszugehen ist. Verminderte Immobilienpreise und geringere Mieteinnahmen bedeuten auch geringere Steuereinnahmen für die Gemeinden (Steuern aus Mieteinnahmen, Grunderwerbssteuer, Grundsteuer). Die durch Lärm verursachten enormen volkswirtschaftlichen Kosten machen deutlich, dass bereits bei der Verkehrsplanung auf Lärmvermeidung und Lärminderung Rücksicht genommen werden muss. [MVIBW, 2013; Cik, 2016]

2.2.2 Ursachen für Straßenverkehrslärm

Unter Straßenverkehrslärm wird der gesamte im Straßenverkehr (primär durch Pkw und Lkw) produzierte Lärm verstanden. Ursache dafür ist nicht nur der Verbrennungsmotor, sondern eine Vielzahl an Einzelgeräuschen. [ADAC, 2006; Bayerisches Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr, 2017 nachfolgend als BStMiBV, 2017 bezeichnet]

Bühler [1981] definiert Antriebsgeräusche, Rollgeräusche, Windgeräusche und sonstige Geräusche als die vier Hauptkomponenten, aus denen sich das Gesamtgeräusch eines Kraftfahrzeuges zusammensetzt:

- **Antriebsgeräusche**

Als Antriebsgeräusch werden alle Geräusche am Motor inklusive Nebenaggregaten (z. B. Abgasanlage), dem Getriebe sowie dem Antriebsstrang bezeichnet. Diese Geräusche entstehen durch Verbrennung, Ansaugvorgänge, Druckschwankungen im Abgassystem sowie durch mechanische Teile im Motor und im Getriebe. Durch die Motorenart (Benzin, Diesel, Erdgas und Elektro), die Motordrehzahl und das Drehmoment können die Antriebsgeräusche beeinflusst werden. [Heutschi, 1997; Schick, 1998; ADAC, 2006; BStMiBV, 2017]

- **Rollgeräusche**

Rollgeräusche oder Reifen-Fahrbahn-Geräusche hängen vor allem vom Reifen selbst (u. a.

Durchmesser, Reifenbreite, Reifendruck), der Fahrbahn (Belag, Rauigkeit) sowie der Geschwindigkeit ab. So entstehen Rollgeräusche unter anderem durch das Aufschlagen der Profilstollen auf die raue Fahrbahnoberfläche, wodurch diese zu vibrieren beginnen und Schall abstrahlen. Weitere Geräusche entstehen durch sogenanntes Air-Pumping, bei dem die Luft zwischen den Profilstollen beim Einlauf herausgedrückt und beim Auslauf durch Ausweitung der zusammengedrückten Profilstollen wieder geräuschvoll angesaugt wird. Außerdem bildet die gekrümmte Lauffläche mit der Fahrbahnoberfläche einen Trichter, der die abstrahlenden Geräusche verstärkt. Man spricht hier vom Horn-Effekt. Der Einfluss der Fahrbahn liegt in der Textur beziehungsweise Rauigkeit der Fahrbahnoberfläche. Es gilt: Je leichter die Luft entweichen kann, desto leiser ist die Fahrbahn. [Heutschi, 1997; Schick, 1998; ADAC, 2006; BStMiBV, 2017]

- **Windgeräusche**

Dazu zählen die bei hohen Geschwindigkeiten an Karosserie und Anbauteilen entstehenden und lärmverursachenden Luftverwirbelungen. Diese können bei hohen Geschwindigkeiten, wie zum Beispiel auf der Autobahn, dominant werden. [BStMiBV, 2017]

- **Sonstige Geräusche**

Weitere Geräusche, die durch Hupen, Bremsen, Scheibenwischen, Zuschlagen von Türen, lose Karosserieteile u. a. erzeugt werden, werden als sonstige Geräusche bezeichnet. [Haas, 1985; BStMiBV, 2017]

Als wesentliche Geräuschquellen gelten die Antriebs- sowie Rollgeräusche. Aus Abbildung 13 geht hervor, dass die Geschwindigkeit eine wesentliche Rolle bei der Entstehung des Straßenverkehrslärmes spielt. Nimmt die Geschwindigkeit zu, so nimmt auch das Antriebsgeräusch zu. Bei niedrigen Geschwindigkeiten, vor allem durch Anfahrvorgänge, dominiert das Antriebsgeräusch, während ab einer Geschwindigkeit von ca. 37 km/h bei Pkw und ca. 60 km/h bei Lkw das Rollgeräusch dominant wird. [Heutschi, 1997; Schick, 1998; BStMiBV, 2017]

Es zeigt sich auch, dass Lkws aufgrund des höheren Gewichtes und der stärkeren Motorisierung im Vergleich zu Pkws einen wesentlich höheren Antriebsgeräuschpegel sowie einen höheren Gesamtgeräuschpegel aufweisen und dadurch einen entscheidenden Einfluss auf den Geräuschpegel an Straßen haben. [Haas, 1985; ADAC, 2006]

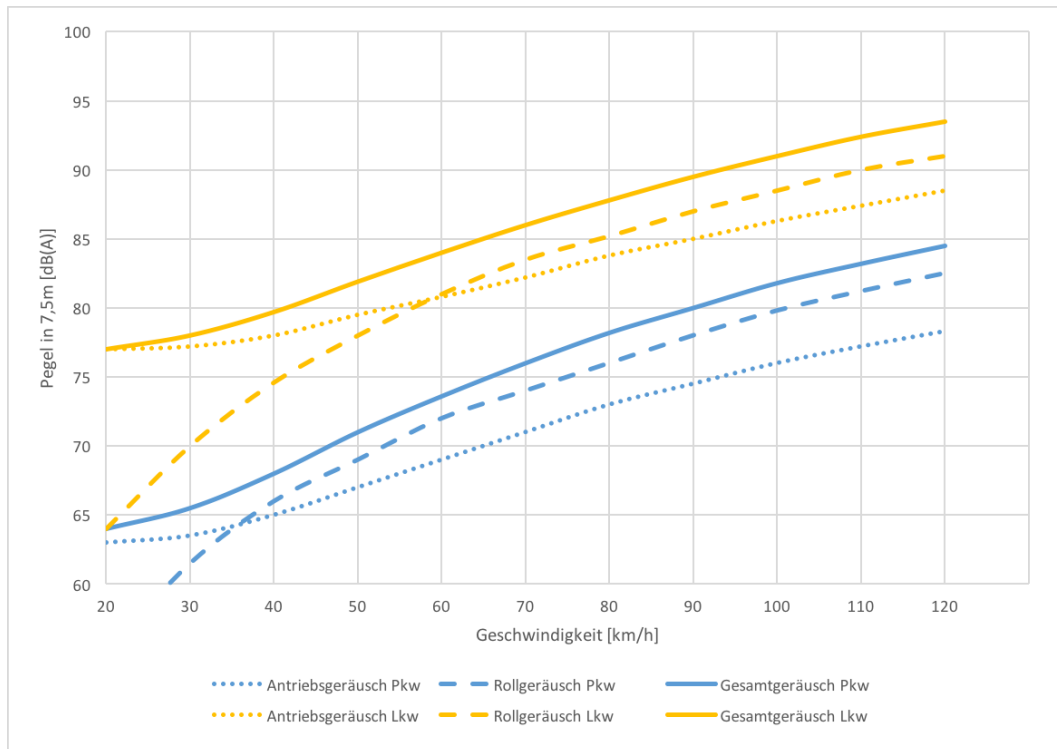


Abbildung 13: Geräuschanteile in Abhängigkeit der Geschwindigkeit¹⁷

2.3 Lichtsignalsteuerung

Die Lichtsignalsteuerung zählt heute zu den wesentlichsten Maßnahmen, um den Verkehr, insbesondere an Knotenpunkten und in Straßennetzen, zu beeinflussen. Anders als Leit- und Informationssysteme im Verkehr zeichnen sich Lichtsignalanlagen dadurch aus, dass sie für alle Verkehrsteilnehmer eine verbindliche Wirkung haben. Zu ihren Aufgaben zählen neben der Regelung der Verkehrsströme die Beschleunigung des öffentlichen Verkehrs, sowie die sichere Führung von Fußgängern und Radfahrern. Allgemein trägt die Lichtsignalsteuerung zur Verbesserung der Verkehrssicherheit sowie der Qualität des Verkehrsflusses und einer Kapazitätssteigerung verglichen mit vorfahrtsignalisierten Knotenpunkten bei. [Brenner, 2005; FGSV, 2010]

2.3.1 Allgemeines

Verkehrslightsignalanlagen (VLSA) basieren auf dem einfachen Grundprinzip, dass Verkehrsströme mit gemeinsamen Konfliktflächen mittels Lichtzeichen abwechselnd eine Fahrtfreigabe erhalten. Die Lichtsignalsteuerung für den Kfz-Verkehr wurde bereits Anfang des 20. Jahrhunderts vom US-Amerikaner James Hoge entwickelt und 1924 erstmals in Europa eingesetzt. Während in den ersten Jahren die Freigabezeiten mittels Zeitlückenmessung geregelt wurden, kam in den 1950er Jahren in den USA erstmals ein Analogrechner für die Lichtsignalsteuerung zum Einsatz. Durch den technischen Fortschritt eröffneten sich in den letzten Jahrzehnten Verbesserungsmöglichkeiten für

¹⁷ Eigene Darstellung nach [Heutschi, 1997]

Verkehrslichtsignalanlagen. So wurden Steuerungsverfahren, die auf komplexen Steuerungslogiken und mathematischen Modellen basieren, entwickelt. Nicht zuletzt durch die gesteigerte Datenverarbeitungsqualität wurde die Forderung laut, dass die Lichtsignalsteuerung auch verkehrspolitischen und stadtplanerischen Zielen mehr entsprechen sollte. Insbesondere sollte die Inanspruchnahme von öffentlichen Verkehrsmitteln attraktiver gemacht und der innerstädtische Verkehrsfluss optimiert werden. [Brenner, 2005]

2.3.2 Ziele einer Lichtsignalsteuerung

Wie bereits erwähnt, werden VLSA primär deshalb errichtet, um die Verkehrssicherheit zu erhöhen und den Verkehrsfluss zu verbessern.

- **Verkehrssicherheit**

Was die Verkehrssicherheit betrifft, soll durch den Einsatz von Lichtsignalanlagen die Anzahl und die Schwere von Unfällen, die an Knotenpunkten auftreten können, verringert werden. Insbesondere bei schlechter Sicht erhöhen Lichtsignalanlagen an Knotenpunkten die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer. Zu erwähnen ist auch, dass VLSA dem Schutz von Radfahrern und Fußgängern dienen, da sie eine kontrollierte und sichere Straßenquerung ermöglichen. [Brenner, 2005]

Bei bestehenden Verkehrsanlagen wird über die Errichtung einer VLSA dann nachgedacht, wenn eine Häufung von Unfällen auftritt und keine anderen Maßnahmen, wie zum Beispiel eine Geschwindigkeitsreduktion, Überholverbote, die Einrichtung von Einbahnstraßen, permanente oder temporäre Abbiegeverbote, ein Knotenumbau (Verkehrinseln) oder die Errichtung eines Kreisverkehrs zur gewünschten Verbesserung der Verkehrssicherheit geführt haben oder keinen Erfolg versprechen. Beim Neubau einer Verkehrsanlage ist eine VLSA zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit dann notwendig, wenn mindestens zwei Fahrstreifen in einer Fahrtrichtung, mindestens zwei Abbiegefahrstreifen, unzureichende Sichtverhältnisse, die Gefährdung von schutzbedürftigen Personen (ältere Menschen, Kinder und Behinderte) oder öffentlicher Personennahverkehr ohne Vorrang vorliegen. [FSV, 1998; FGSV, 2010; Fellendorf, 2016]

- **Verbesserung des Verkehrsablaufes**

Durch VLSA kann der Verkehrsfluss in Verkehrsnetzen, in einzelnen Streckenabschnitten und an Knotenpunkten verbessert werden. Oftmals kann dadurch eine bauliche Erweiterung von bestehenden Straßenverkehrsanlagen hintangehalten werden. VLSA führen zu einer Erhöhung der Leistungsfähigkeit, falls an einem Knotenpunkt regelmäßig lange Wartezeiten für einzelne Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer und ÖPNV) sowie für einzelne Verkehrsströme des mIV (kreuzender, ab- und einbiegende Fahrzeuge) auftreten. [FSV, 1998; Brenner, 2005; Fellendorf, 2016]

Der Verkehrsablauf an einem Knotenpunkt ist dann als problematisch einzustufen, wenn sich „in mindestens einer wartepflichtigen Zufahrt oder durch Linksabbieger in der Hauptrichtung während bestimmter Zeiten regelmäßig ein großer Stau bildet, einzelne wartepflichtige Kraftfahrzeuge regelmäßig mehr als zwei bis drei Minuten warten müssen [oder] die Wartezeiten für einzelne Fußgänger und Radfahrer regelmäßig eine bestimmte Geduldsschwelle überschreiten“. [Brenner, 2005]

Eine VLSA kann aber auch von Nöten sein, um Einsatzfahrzeugen der Feuerwehr, Polizei und Rettung eine schnelle und sichere Ausfahrt zu ermöglichen. [FSV, 1998a]

Abschließend ist festzuhalten, dass durch VLSA nicht nur die Wartezeiten verringert und dadurch der Fahrkomfort verbessert, sondern auch die Wahrscheinlichkeit von Auffahrunfällen vermindert werden sollen. Zudem sollen eine Energieersparnis, die Verminderung volkswirtschaftlicher Verluste und die Verminderung der Stresssituation für den einzelnen Verkehrsteilnehmer erreicht werden. Als wesentliche Zielsetzung im Bezug auf VLSA gilt auch die Reduzierung von Abgasemissionen und Lärm. [Lapierre; Steierwald, 1988; Brenner, 2005]

2.3.3 Übersicht über die Steuerungsverfahren einer VLSA

Steuerungsverfahren definieren den Ablauf eines Signalprogrammes, also „die Art, den Umfang und das Zusammenwirken von veränderbaren Steuerungsgrößen und Signalprogrammelementen.“ [FGSV, 2010]

Steuerungsverfahren einer VLSA können nach mehreren Parametern unterschieden werden. Dazu zählen die Art, wie die Steuerung des Verkehrs in der Praxis umgesetzt wird sowie der Grad der Beeinflussbarkeit beziehungsweise Veränderbarkeit der Signalprogrammelemente. Hierbei kann zwischen Verfahren der makroskopischen und der mikroskopischen Steuerungsebene unterschieden werden. Bei den Verfahren der makroskopischen Steuerung liegt der Fokus auf der generellen Abwicklung des Verkehrs im Netz oder in Netzteilen. Je nach Tageszeit und Verkehrsaufkommen wird jenes Signalprogramm ausgewählt, welches für die entsprechende Situation am geeignetsten erscheint und dieses dann über einen längeren Zeitraum geschaltet. Dies ermöglicht eine Anpassung an länger- und mittelfristige Änderungen des Verkehrsaufkommens. Da das Verkehrsaufkommen größtenteils zeitlich vorhersehbar ist, kann ein zeitplanabhängiges Signalprogramm ausgewählt werden. Maßgeblich hierfür sind vor allem Kalendertag und Uhrzeit. Die einzelnen Signalprogramme sollen den Belastungsunterschieden über den Tag (Hauptverkehrszeiten, Normalverkehrszeiten und Schwachverkehrszeiten), über die Woche (werktags, sonn- und feiertags), über das Jahr (normale Zeiten, Ferienzeiten und Haupteinkaufzeiten) und gegebenenfalls dem Auftreten von Sonderverkehr (Ausflugsverkehr und Veranstaltungsverkehr) gerecht werden.

Eine zweite Möglichkeit der Steuerung ist die verkehrsabhängige Auswahl der Signalprogramme. Als Kriterien werden hier folgende Parameter herangezogen: gezählte Verkehrsstärken, Verhältnisse der Verkehrsstärken, Belegungsgrade und gemessene mittlere Geschwindigkeiten. [FGSV, 2001; FGSV, 2010]

Im Allgemeinen ist die makroskopische Steuerungsebene als Rahmen für die mikroskopische Steuerungsebene anzusehen. Letztere ermöglicht es, kurzfristige Änderungen der Verkehrssituation am Knotenpunkt zu berücksichtigen. Zu den mikroskopischen Steuerungsverfahren zählen die Festzeitsteuerung und die verkehrsabhängige Steuerung. [FGSV, 2001; FGSV, 2010]

- **Festzeitsteuerung**

Unabhängig vom tatsächlichen Verkehrsaufkommen bleiben die Freigabezeiten von Umlauf zu Umlauf unverändert. Das bedeutet, dass das Signalprogramm immer in gleicher Weise

wiederholt wird, wodurch es zu festen Grünzeiten kommt. Abhängig von der Tageszeit können unterschiedliche Signalprogramme zur Anwendung gelangen. Eine Veränderung einzelner Signalprogrammelemente ist jedoch nicht möglich. Festzeitsteuerungen werden bei der Einrichtung von Linien- und Netzkoordinierungen eingesetzt und bilden auch die Grundlage für die meisten verkehrsabhängigen Steuerungen. [FGSV, 2001; FGSV, 2010; Hoyer, 2012; Fellendorf, 2016]

- **Verkehrsabhängige Steuerung**

Mit verkehrsabhängigen Steuerungsverfahren kann kurzfristig auf die jeweilige Verkehrssituation an einem Knotenpunkt reagiert werden. Mittels Detektoren erfolgt eine Rückkoppelung zwischen Steuerung und Verkehr. Ebenso ermöglicht eine verkehrsabhängige Steuerung die Rücksichtnahme auf einzelne Verkehrsteilnehmer, wie beispielweise Fußgänger und den ÖPNV. Durch eine entsprechende Grünzeitverteilung sollen die Wartezeiten und Halte aller Fahrzeuge am Knotenpunkt minimiert werden. [FGSV, 2001; FGSV, 2010; Hoyer, 2012; Fellendorf, 2016]

- **Adaptive Steuerung**

Adaptive Steuerungsverfahren kommen bei Einzelknotenpunkten und Straßenzügen zur Anwendung. Mithilfe von Detektoren wird die aktuelle Verkehrslage eruiert. Bei den Einzelknotenpunkten wird jenes Signalprogramm ermittelt, das auf Grundlage der aktuellen bzw. prognostizierten Verkehrsstärken optimale Wartezeiten ergibt. [Schnabel; Lohse, 2011]

2.3.4 Koordinierung von Streckenzügen

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung von Immissionsschallpegeln an einem koordinierten Streckenzug, weshalb in diesem Abschnitt näher auf die Koordinierung von Streckenzügen mittels VLSA eingegangen wird, welche eine Sonderform der Festzeitsteuerung darstellt.

Bei der Koordinierung von VLSA werden Signalprogramme benachbarter Knotenpunkte durch geeignete Zeitversätze aufeinander abgestimmt. Es soll eine Verkehrsoptimierung in Streckenzügen herbeigeführt werden, indem die Mehrzahl der Verkehrsteilnehmer mehrere VLSA hintereinander passieren kann, ohne anhalten zu müssen. Für die Steuerung des Verkehrs in Städten hat die „Grüne Welle“ große Bedeutung. [FSV, 1998b; FGSV, 2001; FGSV, 2010]

Mit der Koordinierung werden unterschiedliche Zielsetzungen verfolgt. Vorwiegend soll die Reisezeit der Fahrzeuge im Straßennetz verringert und damit der Kraftstoffverbrauch und Emissionen gesenkt werden (zur Unterscheidung von Emission und Immission siehe Abschnitt 3.1). Die Streuung der Geschwindigkeiten der einzelnen Fahrzeuge sowie die Anzahl der Haltevorgänge sollen möglichst gering ausfallen. Durch Grüne Wellen soll auch erreicht werden, dass Fahrzeugströme auf Hauptverkehrsstraßen gebündelt und dadurch nachgeordnete Straßen entlastet werden. Da nicht nur der Individualverkehr, sondern auch der ÖPNV, Fußgänger und Radfahrer bei der Koordinierung zu berücksichtigen sind, müssen zeitlich und örtlich abgestimmte Kompromisslösungen gefunden werden, die keine Verkehrsteilnehmergruppe zu stark benachteiligen. [FGSV, 2010]

Koordinierungen (Grüne Wellen) werden in einem Zeit-Weg-Diagramm dargestellt. Dieses zeigt die Bewegung der Verkehrsströme in Form von Zeit-Weg-Bändern (Grünbändern). Im Verlauf kann sich

die Breite der Bänder, welche die Anzahl der Verkehrsteilnehmer darstellt, ändern. Neu hinzukommende Verkehrsteilnehmer werden im Diagramm in Form von Vorläufen und Nachläufen zum durchgehenden Grünband dargestellt. Als Bezugslinien werden die Haltelinien herangezogen, deren Abstand im Diagramm darzustellen ist. [FSV, 1998b; FGSV, 2010]

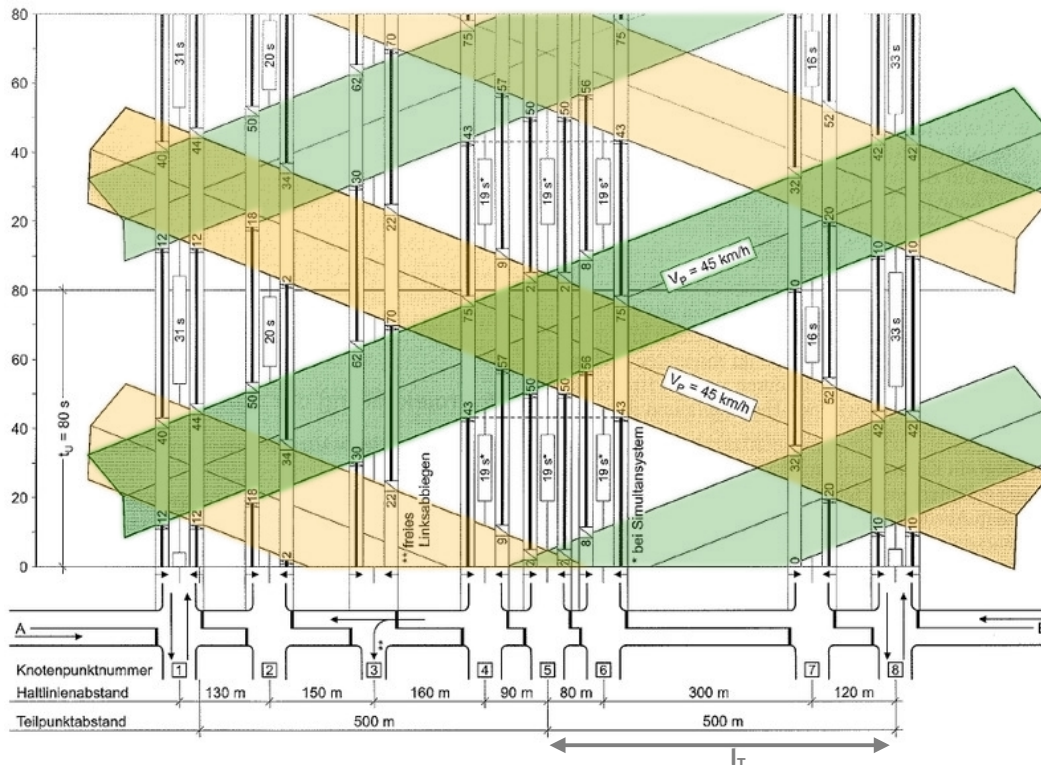


Abbildung 14: Beispiel für ein Zeit-Wege-Diagramm¹⁸

Eine koordinierte Lichtsignalsteuerung erfordert eine einheitliche Umlaufzeit an allen einzubeziehenden Knotenpunkten. Zunächst ist die Umlaufzeit t_U für alle Knotenpunkte zu berechnen, wobei jener Knotenpunkt für die Koordinierung maßgebend wird, der die größte Umlaufzeit aufweist. So kann sichergestellt werden, dass alle Verkehrsströme alle Knotenpunkte in der Regel rechtzeitig passieren können.

Die Berechnung der Umlaufzeit ist in nachstehender Formel (6) ersichtlich.

$$t_U = I_T \left(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right) [s] \tag{6}$$

- mit: $t_U =$ Umlaufzeit [s]
- $I_T =$ Teilpunktabstand [m]
- $V_1 =$ Progressionsgeschwindigkeit in Richtung 1 [m/s]
- $V_2 =$ Progressionsgeschwindigkeit in Richtung 2 [m/s]

Der Teilpunkt ist der Schnittpunkt der Mittellinien zweier gegenläufiger Grünbänder (siehe Abbildung 14). An Knotenpunkten, die genau auf einen Teilpunkt fallen, besteht für querende und abbiegende

¹⁸ Vgl. [FGSV, 2010]

Verkehrsströme die maximale Freigabezeitdauer. Umso weiter ein Knotenpunkt vom Teilpunkt entfernt ist, desto geringer werden mögliche Grünzeiten für den passierenden Verkehr. Liegen die Knotenpunkte nur geringfügig außerhalb der Teilpunkte, können Fahrzeuge in den entstehenden Zeitversätzen links abbiegen, sofern kein Gegenverkehr vorhanden ist. Als Progressionsgeschwindigkeit ist annähernd die zulässige Höchstgeschwindigkeit anzusetzen. [FSV, 1998b; Brenner, 2005]

In der Praxis weisen die meisten Grünen Wellen eine nichtstetige Grünbandführung auf (Progressivsystem). Dies bedeutet, dass *„die Freigabezeiten an aufeinander folgenden Knotenpunkten um diejenige Zeit versetzt geschaltet werden, die der rechnerischen Fahrzeit von Haltelinie zu Haltelinie entspricht.“* Eine nicht stetige Grünbandführung liegt dann vor, wenn zusätzlich zum stetigen Grünband an Knotenpunkten Freigabezeiten als Vor- und Nachlaufzeiten geschaltet werden. Eine ideale Grüne Welle mit stetiger Grünzeitführung gibt es nur dann, wenn Teilpunkte und Knotenpunkte mit starkem Querverkehr zusammenfallen und die Freigabezeit an jedem Knotenpunkt dem durchgehenden Grünband entsprechend geschaltet wird. Nicht immer ist dies in der Praxis möglich. Zu Spitzenverkehrszeiten sollte versucht werden, zumindest in der stärker befahrenen Richtung eine solch ideale Grüne Welle zu realisieren. [Brenner, 2005]

In der Nachfolgenden Tabelle (4) werden Bedingungen und Hinweise für die Einrichtung Grüner Wellen dargestellt.

Tabelle 4: Bedingungen und Hinweise für die Einrichtung Grüner Wellen¹⁹

Knotenpunktabstand	≤ 750 m (max. 1000 m) günstig 500 m
Umlaufzeit	70 bis 120 s
Progressionsgeschwindigkeit	0,85 V_{zul} bis V_{zul}
Sättigungsgrad zu koordinierende Verkehrsströme übrige Verkehre	≤ 0,85 (0,90) ≤ 0,90 (0,95)
Vorlaufzeit für Einbieger vom stromaufwärts liegenden Knotenpunkt und/oder für abgehängte Pulkfahrzeuge	≥ 4 s bei starkem Einbiegeverkehr generell Bandbreitenvergrößerung notwendig
bauliche Bedingungen	– nach Möglichkeit je Richtung mehr als einen Fahrstreifen für den durchgehen- den Verkehr – Abbiegestreifen für Linksabbieger – ruhenden Verkehr im Fahrbahnbereich weitgehend einschränken

Die Qualität eines mittels VLSA koordinierten Streckenzuges kann durch das Koordinierungsmaß k beurteilt werden. Dieses Maß beschreibt, wie viele lichtsignalgesteuerte Knotenpunkte eines koordinierten Streckenzuges von Fahrzeugen des koordinierten Verkehrsstroms ohne Halt durchfahren werden können. Bei der Ermittlung von k bleibt der Anfangsknotenpunkt der jeweiligen Fahrtrichtung außer Acht, da für diesen nur die mittlere Wartezeit zur Qualitätsbeurteilung herangezogen wird. Zur Beurteilung von k bedarf es Messfahrten entlang des zu untersuchenden Streckenzuges bei nichtübersättigten Verkehrsverhältnissen. [FGSV, 2015]

¹⁹ Vgl. [FGSV 2001]

Das Koordinierungsmaß k für einen koordinierten Verkehrsstrom i wird anhand folgender Formel (7) ermittelt:

$$k_i = \frac{n_{D,i}}{n_{VLSA} \cdot M_F} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (7)$$

mit: k_i = Koordinierungsmaß [%]
 $n_{D,i}$ = Anzahl der Durchfahrten ohne Halt an Knotenpunkten mit VLSA im koordinierten Verkehrsstrom für eine Messfahrt m [-]
 n_{VLSA} = Anzahl der Knotenpunkte mit VLSA im koordinierten Streckenzug (ohne Anfangsknoten) [-]
 M_F = Anzahl der Messfahrten [-]
 $(M_F \geq 5)$

Laut Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) [FGSV, 2015] werden folgende Güteklassen unterschieden:

- Werte ≥ 95 % (Qualitätsstufe A) kennzeichnen eine sehr gute Qualität der Koordinierung. Nahezu alle Fahrzeuge im koordinierten Verkehrsstrom können die Folge von Knotenpunkten mit koordinierten Lichtsignalanlagen ohne Halt passieren.
- Werte ≥ 85 % (< 95 %) (Qualitätsstufe B) kennzeichnen eine gute Qualität der Koordinierung. Ein Großteil der Fahrzeuge im koordinierten Verkehrsstrom kann die Folge von Knotenpunkten mit koordinierten Lichtsignalanlagen ohne Halt passieren.
- Werte ≥ 75 % (< 85 %) (Qualitätsstufe C) kennzeichnen eine mittlere Qualität der Koordinierung. Fahrzeuge im koordinierten Verkehrsstrom können die Folge von Knotenpunkten mit koordinierten Lichtsignalanlagen in der Regel ohne Halt passieren.
- Werte ≥ 65 % (< 75 %) (Qualitätsstufe D) kennzeichnen eine mäßige Qualität der Koordinierung. Fahrzeuge im koordinierten Verkehrsstrom müssen in der Folge von Knotenpunkten mit koordinierten Lichtsignalanlagen regelmäßig anhalten.
- Werte unter 65 % bedeuten, dass die Koordinierung unwirksam ist. Der Anteil der anhaltenden Fahrzeuge liegt in der Größenordnung von unkoordinierten Zufahrten.

Schnabel und Lohse [2011] beschreiben die Qualität der Koordinierung bei einem Prozentsatz der Durchfahrten ≥ 65 % als ausreichend, ≥ 50 % (Qualitätsstufe E) als mangelhaft und < 50 % (Qualitätsstufe F) als ungenügend und eine Koordinierung sei nicht mehr gegeben beziehungsweise unwirksam.

Nach dieser allgemeinen Erläuterung der Koordinierung wird im nächsten Abschnitt nun auf bisherige Forschungen zur Auswirkung der Koordinierung auf Lärmemissionen eingegangen.

2.4 Bisherige Forschung zur Auswirkung von VLSA auf Lärmemissionen

2.4.1 Übersicht

Was die Auswirkung der Steuerung von Verkehrslichtsignalanlagen auf Lärmemissionen betrifft, besteht noch großer Forschungsbedarf. In den letzten Jahren gab es zwar unterschiedliche Untersuchungen zu diesem Thema, jedoch fanden diese kaum unter Realbedingungen statt.

In vielen Ländern existieren nationale Standards, um Straßenverkehrslärm vorherzusagen. Verkehrsflussberechnungen erfolgen in der Regel mithilfe von Verkehrssimulationsmodellen, wobei die durch den Verkehr verursachte Geräuschemission in einem Straßenabschnitt auf der durchschnittlichen Fahrzeuggeschwindigkeit und dem Verkehrsaufkommen basiert. Jedoch können Kreuzungen für solche Modelle ein Problem darstellen, da diese einen homogenen Verkehrsfluss verhindern. Geschwindigkeitsberechnungen von makroskopischen Verkehrssimulationsmodellen sind in solchen Fällen nicht zuverlässig, da manche Fahrzeuge bei einer lichtsignalgeregelten Kreuzung stehen bleiben müssen, während andere Fahrzeuge die Kreuzung queren können, ohne ihre Geschwindigkeit verringern zu müssen. Zudem ist zu beachten, dass die Lärmemission von stockendem Verkehr sehr stark von den einzelnen Beschleunigungsvorgängen abhängt. Diese werden jedoch von den meisten traditionellen Verkehrsflusssimulationsmodellen nicht berücksichtigt. [De Coensel; Botteldooren; Vanhove; Logghe, 2007]

Die meisten Lärmvorhersagemodelle klammern Kreuzungen aufgrund der genannten Besonderheiten aus. Einzelne Modelle wurden dahingehend weiterentwickelt, dass ein Korrekturfaktor für die Lärmemission bei der konstanten Beschleunigung nach einer Kreuzung und der konstanten Verlangsamung vor einer Kreuzung vorgeschlagen wurde. Im niederländischen Lärmvorhersagemodell wurde auch eine Immissionskorrektur für Kreuzungen, abhängig von der Art der Kreuzung und dem tageszeitabhängigen Verkehrsaufkommen, eingeführt. Die Korrektur betrug maximal 2,4 dB(A) im Zentrum der Kreuzung und nahm linear mit der Entfernung ab. Ähnliches galt auch für das deutsche Modell, welches einen Korrekturwert für lichtsignalgesteuerte Kreuzungen innerhalb von 100 m von der Kreuzungsmittle vorsah. [siehe De Coensel et al., 2007 mit weiteren Nachweisen]

Bereits in den 1990er Jahren wurden Mikrosimulationsmodelle mit individuellen Fahrzeuglärmemissionsmodellen kombiniert. Asiatische Wissenschaftler verbanden ein einfaches Mikrosimulationsmodell und ein Lärmemissionsmodell für individuelle Fahrzeuge und veröffentlichten auch Messwerte, die neben unterschiedlichen lichtsignalgesteuerten Kreuzungen gemessen wurden und die Lärmvorhersagen ihres Modells bestätigten. [Oshino; Tachibana, 1993; Oshino et al., 1996; Suzuki et al., 2003] In den 2000er Jahren wurden Mikrosimulationsmodelle mit individuellen Fahrzeuglärmemissionsmodellen und Ausbreitungsmodellen kombiniert. Die Modelle, die an der Universität Oviedo, an der Universität Leeds und an der Universität Gent entwickelt wurden, ermöglichen es, die Lärmpegel an lichtsignalgesteuerten Kreuzungen in städtischen Ballungsräumen zu beurteilen. [siehe De Coensel et al., 2007 mit weiteren Nachweisen]

Wie bereits angedeutet, müssen Lärmvorhersagemodelle, welche auch für unterbrochene Verkehrsströme akkurat sein sollen, die zeitliche und räumliche Dimension von Fahrzeuggeschwindigkeiten und -beschleunigungen miteinbeziehen. Diese dynamischen Effekte

können von Mikrosimulationsmodellen berücksichtigt werden. Jedoch trat dabei die Schwierigkeit auf, dass Mikrosimulationsmodelle große Datenmengen zum Verkehrsfluss benötigen und die Konstruktion und Kalibrierung solcher Modelle sehr zeitaufwändig und nur für kleinere Regionen umsetzbar ist. Wenn Lärmvorhersagen auf Verkehrsmodellen basieren, die die Dynamik von Kreuzungen nicht simulieren können, muss eine Korrektur eingeführt werden, um die entsprechenden Auswirkungen auf Lärmemissionen auszugleichen. [De Coensel; Botteldooren; Logghe, 2006; De Coensel et al., 2007]

Desarnaulds et al. [2004] betrachteten unterschiedliche Maßnahmen zur Verkehrsoptimierung in Europa und kamen zu dem Schluss, dass die Koordinierung von VLSA den Schalldruckpegel rund um Kreuzungen um bis zu 2 dB(A) reduzieren kann. Dennoch gibt es kaum wissenschaftliche Daten zu Emissionen an Kreuzungen, da Feldstudien zur Emissionsmessung sehr aufwändig und kostspielig sind [De Coensel, B. et al., 2012]. Außerdem wurden, wie bereits ausgeführt, in den letzten Jahren mehrere Rechenmodelle zur Lärmvorhersage entwickelt, die realistische Ergebnisse für die Lärmemission von stop-and-go-Verkehr bei Kreuzungen liefern. [De Coensel et al., 2005; Can et al., 2008].

Was den Lärm im Fahrzeug betrifft, gibt es bereits mehr wissenschaftliche Daten, die in diversen Feldstudien erhoben wurden. Durch Messeinrichtungen im Fahrzeug wurden Emissionen aufgezeichnet. Im Zuge einer indischen Studie [Konbattulwar et al., 2016] wurden beispielsweise zahlreiche Testfahrten mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln im Großraum Mumbai unternommen, um die Lärmbelastung für die Passagiere zu messen. Diese Daten wurden dann den Berechnungen eines Lärmvorhersagemodells gegenübergestellt. Dabei zeigte sich, dass sich die berechneten und gemessenen Werte um +/- 7,8% unterschieden. In einer US-amerikanischen Studie wurde Lärm im Fahrzeug an koordinierten und unkoordinierten Streckenzügen gemessen. Dabei stellte sich heraus, dass die Geräuschbelastung im Fahrzeug an unkoordinierten Streckenzügen um bis zu 3,5 dB(A) geringer war. [Li et al., 2016]

Dass Staus bzw. Verkehrsstockungen nicht nur einen Stressfaktor für Autofahrer darstellen, sondern auch erhebliche Kosten verursachen, zeigen Erhebungen der Europäischen Kommission, denen zufolge rund 1 % des Bruttoinlandsproduktes der EU-Staaten jährlich aufgrund von Verkehrsproblemen verloren geht. Es wird daher ständig versucht, Verkehrsnetze zu optimieren. Eine mögliche Maßnahme ist die Optimierung von VLSA-Schaltungen. [De Coensel et al., 2012]

In vielen Städten werden auf Hauptverkehrsstraßen mit großem Verkehrsaufkommen Grüne Wellen geschaltet. Der Verkehrsfluss auf einem Streckenzug mit mehreren VLSA wurde mithilfe von mikroskopischen Verkehrssimulationsmodellen bereits intensiv erforscht. Bei der Optimierung von VLSA sind unterschiedliche Zielsetzungen zu beachten, die teilweise miteinander in Konflikt stehen. Wenn man beispielsweise die Anzahl an Stopps entlang einer Hauptverkehrsstraße minimieren will, verursacht dies längere Wartezeiten für den Gegenverkehr und Fußgänger. Wird der ÖPNV priorisiert, verursacht dies hingegen längere Wartezeiten für den Individualverkehr. Dennoch haben sich Grüne Wellen im Stadtverkehr als Maßnahme zur Verkehrsoptimierung etabliert und ihre potenziellen positiven Auswirkungen auf Lärm- und Schadstoffemissionen werden oft als Rechtfertigung für ihre Einführung herangezogen. [De Coensel et al., 2012]

2.4.2 Emissionsmodell von De Coensel et al. [2011, 2012]

De Coensel und Botteldooren [2011] und De Coensel et al. [2012] untersuchten den Einfluss der VLSA-Koordinierung auf Fahrzeugemissionen (sowohl Lärm- als auch Schadstoffemissionen). Sie zogen ein mikroskopisches Verkehrssimulationsmodell heran, welches mit Emissionsmodellen für Lärm und Schadstoffe kombiniert wurde. Es wurde ein vereinfachtes Setting konstruiert, bestehend aus einer einstreifigen städtischen Hauptverkehrsstraße mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h, welche fünf Lichtsignalanlagen im Abstand von jeweils 200m aufweist. Aus Einfachheitsgründen wurde der Verkehrsfluss nur in eine Fahrtrichtung simuliert. Die Auswirkungen von Gegenverkehr, Querverkehr, Fahrspurwechsel und Überholmanöver auf die Emissionswerte wurden damit außer Acht gelassen. Die modellierte Hauptverkehrsstraße (Abb. 15) hat ein Verkehrsaufkommen D (Fahrzeuge/h) und eine Geschwindigkeitsbeschränkung $v_{\max} = 50$ km/h, was der Geschwindigkeitsbeschränkung der meisten europäischen Städte entspricht. Die VLSA stehen in einer Entfernung von 200m, da dies eine durchaus realistische Entfernung für das Stadtgebiet darstellt. Bei der Simulation wurden lediglich leichte Fahrzeuge (ausgenommen Schwerverkehr) verwendet. Aspekte, die das Fahrverhalten betreffen, wie beispielsweise, Aggression, Aufmerksamkeit und Reaktionszeit der Fahrer, der Fahrzeugabstand in der Kolonne, die Entfernung, von der aus Straßenschilder gesehen werden, etc. wurden während der Simulationen nicht verändert. [De Coensel et al., 2012] Obwohl die Studienautoren davon ausgingen, dass diese Parameter einen maßgeblichen Einfluss auf die Dynamik des Verkehrs im Bereich von Kreuzungen haben, wurde angenommen, dass sich diese während des Untersuchungszeitraumes nicht ändern. [De Coensel et al., 2007]

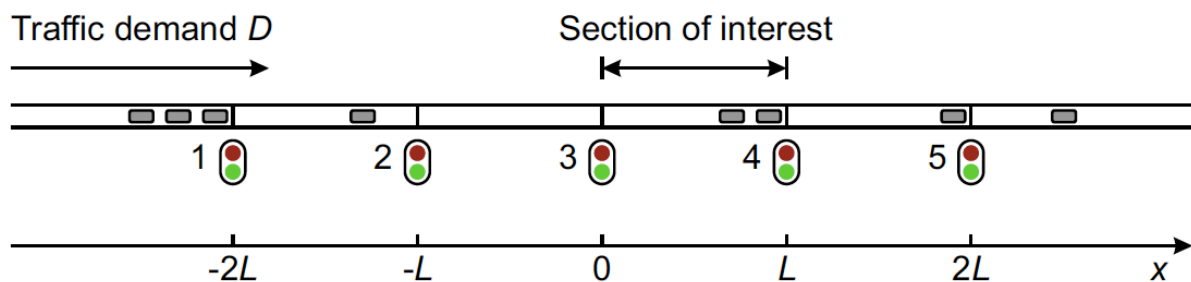


Abbildung 15: Schematische Darstellung der simulierten Hauptverkehrsstraße²⁰

Die Simulationszeit beträgt eine Stunde mit einem Simulationsintervall $\Delta t = 0,2$ sec. Jedoch wird bei den Simulationen am Beginn noch eine Fünf-Minutenperiode zum Verkehrsaufbau und am Ende eine Fünf-Minutenperiode zur Beendigung der Fahrten eingeführt. Der tatsächliche simulierte Verkehrsfluss Q (Fahrzeuge/h) und die Reisezeit werden auf Basis der Fahrten berechnet, die innerhalb der einstündigen Simulationszeit durchgeführt werden. Die Fahrzeuge beginnen ihre Fahrt 500m entfernt von der ersten VLSA, wobei der Start der Fahrzeuge zufallsverteilt erfolgt und kein bestimmter Zeitabstand eingehalten wurde. [De Coensel et al., 2012]

Die wesentlichen Parameter, die eine lichtsignalkoordinierte Kreuzung beeinflussen, sind die Umlaufzeit τ (s), der Grünanteil α als Verhältnis zwischen der Umlaufzeit und der Grünphase und der Zeitversatz δ . Die Umlaufzeit ist die Summe der einzelnen Phasen einer lichtsignalgesteuerten

²⁰ Vgl. [De Coensel et al., 2012]

Kreuzung, wobei eine Phase einem bestimmten Zustand der Lichtsignalanlage (Rot, Gelb, Grün) entspricht. Es handelt sich dabei um die Zeit, die eine Lichtsignalanlage von Beginn einer Grünphase über die Gelb- und Rotphase bis zum Beginn der nächsten Grünphase benötigt. Der Grünanteil wird als das Verhältnis zwischen der Dauer der Grün-Phase und der Umlaufzeit definiert. Der Grünanteil variiert bei den unterschiedlichen Signalkoordinierungen je nach erwarteter Verkehrsstärke. Der Zeitversatz ist der Zeitunterschied zwischen dem Beginn eines Zyklus einer Kreuzung und dem Beginn eines Zyklus bei einer Referenzkreuzung. Durch den Zeitversatz entsteht für Fahrzeuge, die auf einer Hauptverkehrsstraße unterwegs sind, eine bestimmte Signalkoordinierung zwischen aufeinanderfolgenden Kreuzungen. Bei der Betrachtung von mehreren Kreuzungen wird die Signalkoordinierung meist durch eine gemeinsame Umlaufzeit erreicht. Aus Gründen der Vereinfachung beachteten De Coensel et al. [2012] keine Gelbzeiten; es gilt für die Grünphasen $\alpha\tau$ und für die Rotphasen $(1 - \alpha)\tau$. Durch Variation der Parameter τ , α und dem Verkehrsaufkommen D werden unterschiedliche Szenarien kreiert. Hinsichtlich der Koordinierungsmöglichkeiten werden Grüne Wellen, Rote Wellen und eine nicht synchronisierte Koordinierung gewählt. In einer Grünen Welle müssen die Fahrzeuge nur bei der ersten Kreuzung stehen bleiben (Wahrscheinlichkeit $1 - \alpha$), in einer Roten Welle bleiben die Fahrzeuge bei jeder Kreuzung stehen. Bei einer nicht synchronisierten Koordinierung ist der Zeitversatz zwischen den Kreuzungen nicht abgestimmt. So erhält man zahlreiche unterschiedliche Wartezeiten und Längen des wartenden Fahrzeug-Pulks. Die Gesamtanzahl der simulierten Verkehrsszenarien beträgt $7 \times 4 \times 40 \times 3 = 3360$.

Tabelle 5: Parameter für die Simulationsszenarien²¹

Parameter	Range	Levels
τ	30, 40... 90 s	7
α	0.5, 0.6, 0.7, 0.8	4
D	50, 100... 2000 vehicles/h	40
Signal scheme	green, red, desynchronized	3

Abbildung 16 zeigt den durchschnittlichen Beitrag eines Fahrzeuges zum L_{Aeq} an Punkt $x = L/2$ zwischen den Kreuzungen 3 und 4. Dieser wird als Funktion des Verkehrsaufkommens für die unterschiedliche Signalkoordinierungen (Grüne Welle, Rote Welle und nicht synchronisierte Koordinierung) und den Grünanteil α angegeben. Die Ergebnisse werden für die unterschiedlichen Umlaufzeiten, die Koordinierungsmöglichkeiten sowie für den Grünanteil im Durchschnitt angegeben. [De Coensel et al., 2012]

²¹ Vgl. [De Coensel et al., 2012]

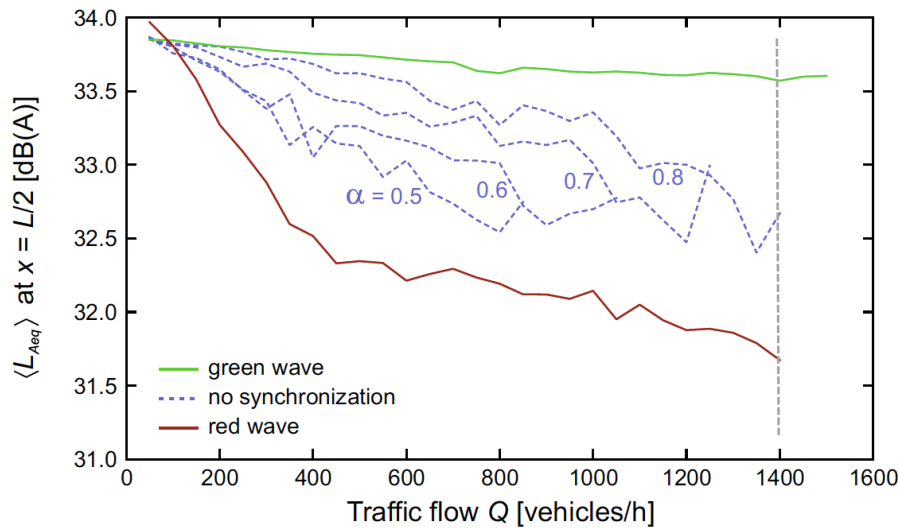


Abbildung 16: Durchschnittlicher Beitrag eines Fahrzeuges zum $L_{A,eq}$ bei $x = L/2$ ²²

An Punkt $L/2$ zwischen den VLSA 3 und 4 liegt der Beitrag eines Fahrzeuges zum $L_{A,eq}$ in einer Grünen Welle zwischen 33,8 dB (Verkehrsstärke von 200 Fahrzeugen pro Stunde) und 33,6 dB (Verkehrsstärke von 1400 Fahrzeugen pro Stunde). Es tritt hier also nur eine Reduktion von 0,2 dB ein. Während der Roten Welle reduziert sich der Beitrag eines Fahrzeuges zum $L_{A,eq}$ von 34 dB bei einem sehr geringen Verkehrsaufkommen auf 31,7 dB bei einem Verkehrsaufkommen von 1400 Fahrzeugen pro Stunde. Die Abnahme fällt hier mit 2,3 dB deutlicher aus. An Punkt $L/2$ zwischen den VLSA 3 und 4 ergibt sich bei einer Verkehrsstärke von 1400 Fahrzeugen pro Stunde ein Unterschied im Beitrag des einzelnen Fahrzeuges zum $L_{A,eq}$ zwischen Roter und Grüner Welle von 2,1 dB.

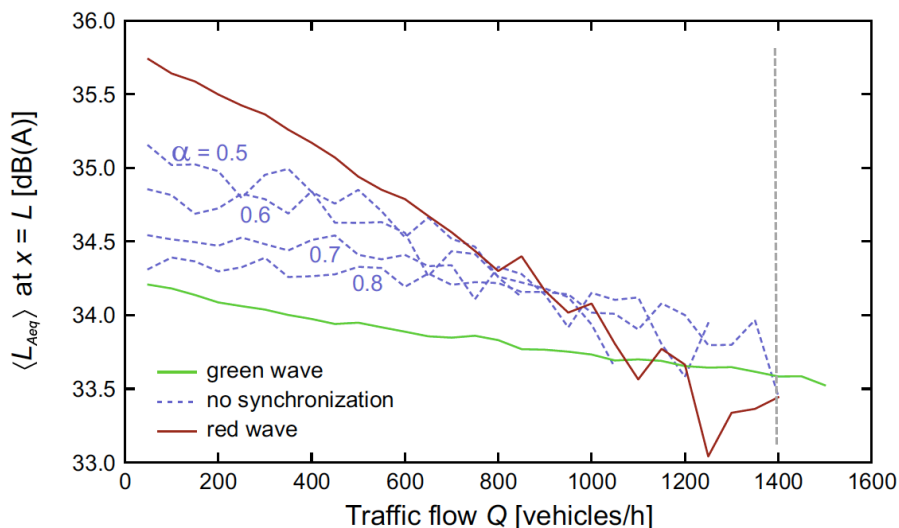


Abbildung 17: Durchschnittlicher Beitrag eines Fahrzeuges zum $L_{A,eq}$ bei $x = L$ ²³

An der VLSA 4 zeigen sich allgemein höhere Werte. In der Roten Welle liegt der $L_{A,eq}$ mit 35,6 dB bei 200 Fahrzeugen pro Stunde höher als bei $L/2$ (siehe Abb. 16). Bei 1400 Fahrzeugen pro Stunde

²² Vgl. [De Coensel et al., 2012]

²³ Vgl. [De Coensel et al., 2012]

beträgt der L_{Aeq} 33,4 dB und ist somit auch höher als beim Referenzpunkt an $L/2$. Insgesamt reduziert sich der Beitrag eines Fahrzeuges zum L_{Aeq} bis zu einer Verkehrsstärke von 1400 Fahrzeugen pro Stunde um 2,2 dB. In der Grünen Welle liegt der L_{Aeq} deutlich niedriger (34,1 dB bei 200 Fahrzeugen/Stunde, 33,6 dB bei 1400 Fahrzeugen), womit sich der Beitrag des einzelnen Fahrzeuges zum L_{Aeq} lediglich um 0,5 dB reduziert.

Die Abbildungen 16 und 17 zeigen den durchschnittlichen Beitrag eines Fahrzeuges zum $L_{A,eq}$ zwischen den VLSA und rund um VLSA, welcher 7,5m von der Straße entfernt ermittelt wurde. Die Schaltung einer Grünen Welle führte zu einer Verringerung des $L_{A,eq}$ um bis zu 1 dB rund um die Kreuzungen (1,5 dB verglichen mit der Roten Welle), jedoch zu einer Erhöhung des $L_{A,eq}$ um bis zu 1,5 dB zwischen den Kreuzungen (2 dB verglichen mit der Roten Welle), da hier die Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrzeuge höher ist. Aus den Darstellungen ist laut de Coensel et al. [2012] abzuleiten, dass eine Grüne Welle den Lärmpegel bei geringem Verkehrsaufkommen nur geringfügig erhöht. Bei größerem Verkehrsaufkommen sinkt der Lärmpegel rund um die Kreuzungen immer noch etwas ab, während es zwischen den einzelnen Kreuzungen einen stärkeren Anstieg des Lärmpegels gibt. [De Coensel et al., 2012]

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht die maximale Veränderung des L_{Aeq} durch die Schaltung einer Grünen Welle im Vergleich zur Roten Welle als Funktion der Verkehrsstärke. Die Schaltung einer Grünen Welle führt, wie bereits erwähnt, zu einer Abnahme des L_{Aeq} um 1,5 dB im Bereich der VLSA, da es eine geringere Zahl von beschleunigenden Fahrzeugen gibt. Jedoch tritt gleichzeitig durch die höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten eine Erhöhung des L_{Aeq} um 2 dB auf der freien Strecke zwischen den VLSA ein. [De Coensel; Botteldooren, 2011]

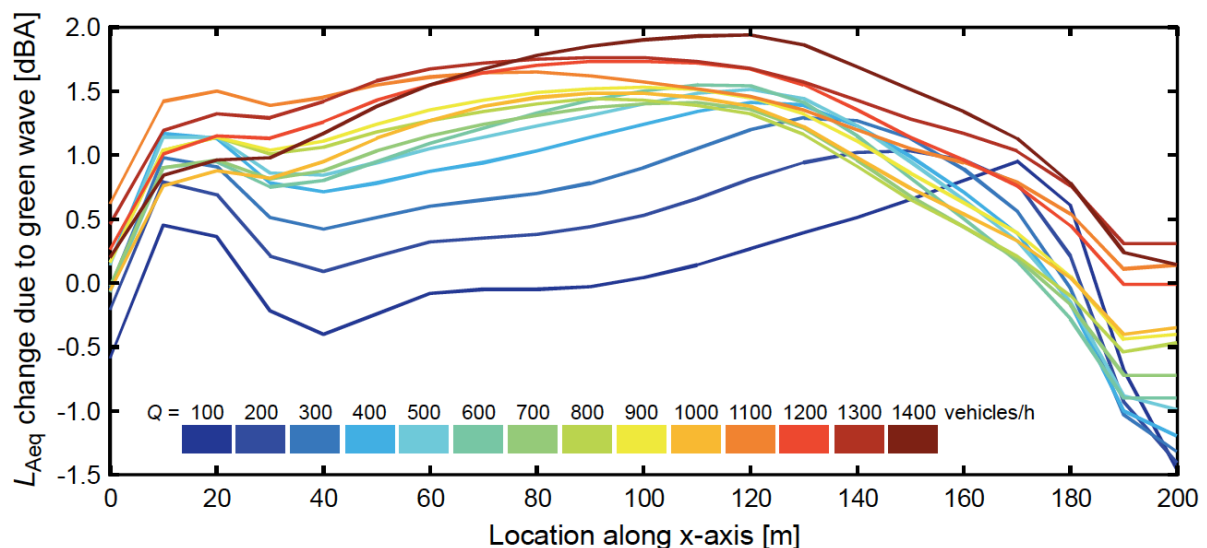


Abbildung 16: maximale Veränderung des L_{Aeq} durch die Schaltung einer Grünen Welle²⁴

Zu beachten ist jedoch, dass die Simulationsergebnisse aus einer perfekten Grünen Welle stammen, in der alle Fahrzeuge den Streckenzug passieren konnten, ohne auch nur ein Mal anhalten zu müssen. Ebenso wurde eine ideale Rote Welle simuliert, in der alle Fahrzeuge bei jeder VLSA stehen bleiben mussten. Der Fokus dieser Studie lag also darauf, Grenzen der Koordinierung von VLSA

²⁴ [De Coensel; Botteldooren, 2011]

auszuloten. Die Studienautoren sind sich aber bewusst, dass in der Praxis kaum perfekte Grüne Wellen erzielt werden können. Dies ist einer Reihe von Faktoren geschuldet, die Grüne Wellen unterbrechen können, wie beispielsweise größere Verkehrsstockungen, stark einströmender Verkehr von Seitenstraßen, die Entfernung zwischen einzelnen VLSA, das Vorhandensein von Schwerverkehr, Zebrastreifen oder die Priorisierung von ÖPNV. [De Coensel et al., 2012]

Im Rahmen dieser Arbeit sollen nun reale Daten durch Messungen an einer lichtsignalkoordinierten Hauptverkehrsstraße in Graz erhoben werden, um den tatsächlichen Immissionsschallpegel im Untersuchungsbereich mit dem nach RVS 04.02.11 [2009] für diesen Bereich berechneten Immissionsschallpegel vergleichen zu können. Je nachdem, ob zwischen diesen beiden Parametern Abweichungen auftreten, werden weitere Überlegungen in Hinblick auf eine allfällige Anpassung der Berechnungsformel angestellt. Ergänzend zu den Schallpegelmessungen werden auch Verkehrsstärken- und Geschwindigkeitsmessungen im Testgebiet vorgenommen und diese Werte miteinander in Bezug gesetzt. Auf Grundlage von geeigneten Analysen soll dann der Zusammenhang von Geschwindigkeits-Trajektorien und den gemessenen Immissionsschallpegel-Trajektorien aufgezeigt werden. Besonderes Interesse gilt dabei der Frage, ob im Bereich von Lichtsignalanlagen signifikantere Abweichungen zwischen berechnetem und gemessenem Immissionsschallpegel auftreten bzw. was der Grund dafür sein könnte. Zu beachten ist, dass im Gegensatz zu den bisherigen Forschungsarbeiten reale Messungen von Schallpegeln durchgeführt werden, wobei – anders als bei den Simulationen – in der Praxis Unterbrechungen der Koordinierung durch die oben genannten Faktoren (Verkehrsstockungen, stark einströmender Verkehr von Seitenstraßen etc.) nicht ausgeschlossen werden können. Zudem ist in der Praxis nie eine perfekte Grüne Welle wie in Simulationen gegeben. Dennoch soll ausgelotet werden, welche Aussagen auf Grundlage der erhobenen Daten getroffen werden können, um Anhaltspunkte für die Validität von Lärm-berechnungen im innerstädtischen Bereich nach RVS 04.02.11 zu erhalten (siehe dazu Kapitel 4 und 5).

3 Ermittlung von Lärmimmissionen

In diesem Kapitel wird nach einer Begriffsabgrenzung zwischen Emission und Immission auf die messtechnische Ermittlung des Immissionsschallpegels nach ÖNORM S 5004 sowie die Berechnung des Immissionsschallpegels nach RVS 04.02.11 eingegangen.

3.1 Unterscheidung von Emission und Immission

Bei der Ermittlung und Berechnung von Verkehrslärm ist streng zwischen Schallemissionen und Schallimmissionen zu unterscheiden.

Unter Schallemissionen versteht man die Abstrahlung von Schall an einer punktförmigen Quelle (z.B. Maschine, Lautsprecher), linienförmigen Quelle (z.B. an einer stark befahrenen Straße) oder flächenhaften Quelle. Im Straßenverkehr ist die Schallemission von der Verkehrsstärke, der Verkehrszusammensetzung, der Geschwindigkeit, den Motorgeräuschen, der Fahrbahnoberfläche und den Steigungsverhältnissen abhängig.

Als Schallimmission bezeichnet man den Schall, der an einem bestimmten Ort (Immissionsort) unter Berücksichtigung der Transmission beziehungsweise den Schall-Ausbreitungsbedingungen (Entfernung, Absorption, Abschirmung, Reflexion, Länge des betrachteten Straßenabschnittes u.a.) auf den Menschen einwirkt. Ab einer gewissen Beeinträchtigung wird dieser Schall als Lärm bezeichnet (siehe dazu Abschnitt 2.2). [Brannolte; Walther, 2005; FSV, 2008; ÖAL, 2011]



Abbildung 17: Kausalkette Emission - Transmission - Immission²⁵

3.2 Ermittlung des Immissionsschallpegels nach ÖNORM S 5004

Um eine größtmögliche Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, ist in Österreich die messtechnische Ermittlung von Schallimmissionen (z.B. Schallimmission aus Verkehrsanlagen) gemäß ÖNORM S 5004 – „Messung von Schallimmissionen“ (aktuelle Ausgabe 2008-12-01) durchzuführen. Darin beschrieben sind Verfahren für Schallpegelmessungen als Grundlage für die Lärmschutzplanung und die Beurteilung von Lärmstörungen im Nachbarschaftsbereich.

²⁵ Vgl. Umwelt Sachsen https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/img/laerm_licht_mobilfunk/schall_laerm.gif (25.02.2017 - 11:50)

Nachfolgend wird auf die wesentlichen Punkte der ÖNORM S 5004 zur Messung des Immissionsschallpegels eingegangen.

- **Messeinrichtung**

Schallpegelmesser und Prüfschallquellen (u.a. im Verkehrswesen) unterliegen der Eichpflicht. Bei der Messung verwendete Messgeräte sind nach dieser ÖNORM mindestens alle zwei Jahre einer Nacheichung zu unterziehen. Prüfschallquellen müssen mindestens ein Mal jährlich geeicht oder einer physikalisch-technischen Prüfung unterzogen werden.

Die zur Schallpegelmessung verwendeten Messeinrichtungen müssen der Klasse 1 gemäß ÖVE/ÖNORM EN 61672-1 entsprechen. Prüfschallquellen müssen der Klasse 1 gemäß ÖVE/ÖNORM EN 60942:2005 entsprechen. Sind Frequenzanalysen erforderlich, sind Filter der Klasse 1 gemäß ÖVE/ÖNORM EN 61260:2003 zu verwenden.

Zur Durchführung von Messungen sind Messeinrichtungen mit einem Dynamik- und Messbereich, der für den Anwendungszweck ausreichend ist, zu verwenden. Jedenfalls muss der Dynamikbereich mindestens 63 dB betragen.

Werden zum Zweck der nachträglichen Auswertung Schallaufzeichnungsgeräte verwendet, müssen diese überprüft und auf nationale und/oder internationale Normale (ein präzises Messgerät, das zur Kalibrierung anderer Messgeräte dient) zurückgeführt werden.

- **Durchführung der Messung**

Allgemein richten sich die Auswahl des geeigneten Messortes, der maßgebenden Messpunkte, der Messzeit, der geeigneten Messgeräte sowie Art und Umfang der Messung nach der Messaufgabe (u.a. Beurteilung von Lärmstörungen) und nach der Art der emittierenden Geräusche. Dabei ist Folgendes zu beachten:

Für die normgerechte Darstellung der Schallimmission bei Messungen im Freien beträgt die Mikrofonhöhe 1,5 m bis 2 m über dem Boden. Neben der richtigen Höhe des Mikrofons ist im Freien auch auf eventuell beeinflussende Schallreflexionen, die durch Hindernisse wie Gebäude oder Bewuchs entstehen können, Rücksicht zu nehmen.

Ebenso können meteorologische Verhältnisse wie etwa Temperatur, Luftfeuchte, Wind, Luftdruck, Niederschlag oder Nebel die Messungen beeinflussen. Diese meteorologischen Bedingungen sind zumindest qualitativ festzuhalten, um bei späterer Betrachtung der Ergebnisse mögliche Abweichungen nachvollziehen zu können. Bei Messungen im Freien ist es daher ratsam, einen Windschirm zu verwenden. Um optimale Messergebnisse erreichen zu können, sind die gerätespezifischen Angaben bezüglich der zulässigen Betriebsbedingungen zu berücksichtigen.

Der Messzeitraum muss so angesetzt werden, dass er alle für die Messung relevanten Zeiträume erfasst. Jedenfalls ist darauf zu achten, dass die im Beurteilungszeitraum vorliegende akustische Situation genau und kennzeichnend erfasst werden kann. Der Messzeitraum kann bei relativ konstanten oder regelmäßig wiederkehrenden Geräuschen kürzer ausfallen, bei unregelmäßigen schwankenden Geräuschen dementsprechend länger.

Schallquellen, welche üblicherweise am Messpunkt nicht oder nur sehr selten auftreten, sind bei der Messung außer Acht zu lassen. Denkbar wäre hier beispielsweise Baustellenlärm oder Sirengeräusche von Einsatzfahrzeugen. Sollten außergewöhnliche Schallereignisse während einer Messung auftreten, sind diese im Messprotokoll zeitlich anzugeben, um mögliche Spitzen im Pegelverlauf erklären zu können.

Vor jeder Messung ist die gesamte Messkette mit einer Prüfschallquelle Klasse 1 zu justieren.

- **Messbericht**

Bei Messungen müssen alle relevanten Daten im Messbericht oder Messprotokoll genau aufgezeichnet werden. Folgendes sollte darin enthalten sein:

- Messort, Messdauer, Datum und Uhrzeit
- Beschreibung der Schallquellen
- Messbedingungen
- Messgeräte
- Messpunkte
- Messbeginn und Messende
- Messergebnisse und Angaben zur Ergebnisunsicherheit
- Unterschrift des für die Messung Verantwortlichen

3.3 Berechnung des Emissionsschallpegels nach RVS 04.02.11

Die nachfolgende Berechnung der Schallemissionen nach RVS 04.02.11 – „Lärmschutz“ (Ausgabe 2009) stellt die Grundlage für die weitere Berechnung des Immissionsschallpegels (siehe Abschnitt 3.4) dar. Die Schallemission wird dabei als der „vom Verkehr auf einer langen, geraden Straße verursachte A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel in 1 m Abstand von der Emissionslinie“ [FSV, 2009] beschrieben.

In der Regel wird die Emissionslinie (Schallquelle) für die Berechnung in 0,5 m Höhe über der Mitte der beiden äußeren Fahrstreifen (der Hauptfahrbahn) bzw. der Mitte der Fahrbahn (bei Straßen mit maximal zwei Fahrstreifen) angenommen.

Der Emissionsschallpegel wird durch verkehrsbezogene und straßenbezogene Parameter bestimmt.

Die verkehrsbezogenen Parameter sind:

- Anzahl der Pkw pro Stunde (M_{Pkw})
- Geschwindigkeit der Pkw (V_{Pkw}) [km/h]
- Anzahl der leichten Standard Lkw pro Stunde (M_{Lkw})
- Anzahl der lärmarmen leichten Lkw pro Stunde ($M_{Lkw,lärmarm}$)
- Anzahl der schweren Standard Lkw pro Stunde (M_{Lkws})
- Anzahl der lärmarmen schweren Lkw pro Stunde ($M_{Lkws,lärmarm}$)
- Geschwindigkeit der Lkw (V_{Lkw}) [km/h]

Die straßenbezogenen Parameter sind:

- Fahrbahndecke
- Längsneigung

Der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel errechnet sich durch Aufsummierung der Emissionsanteile getrennt für Pkw und Lkw (weitere Unterteilungen) wie in Formel (8) dargestellt:

$$L_{A,eq}^1 = 10 \lg \left(10^{\frac{L_{eq,Pkw}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq,Lkw}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq,Lkw,lärmarm}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq,Lkws}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq,Lkws,lärmarm}}{10}} \right) [dB] \quad (8)$$

mit:

$$L_{eq,Pkw} = L_{Pkw,F} + K_{V,Pkw,F} + K_{L,Pkw} + 10 \lg M_{Pkw} [dB] \quad (9)$$

$$L_{eq,Lkw} = L_{Lkw,F} + K_{V,Lkw,F} + K_{L,Lkw} + 10 \lg M_{Lkw} [dB] \quad (10)$$

$$L_{eq,Lkw,lärmarm} = L_{Lkw,lärmarm,F} + K_{V,Lkw,lärmarm,F} + K_{L,Lkw} + 10 \lg M_{Lkw,lärmarm} [dB] \quad (11)$$

$$L_{eq,Lkws} = L_{Lkws,F} + K_{V,Lkw,F} + K_{L,Lkw} + 10 \lg M_{Lkws} [dB] \quad (12)$$

$$L_{eq,Lkws,lärmarm} = L_{Lkws,lärmarm,F} + K_{V,Lkw,lärmarm,F} + K_{L,Lkw} + 10 \lg M_{Lkws,lärmarm} [dB] \quad (13)$$

Der Pkw-Emissionsanteil aus Formel (9) errechnet sich dabei aus der Summe der Basiswerte für die Fahrzeugemission $L_{Pkw,F}$ (siehe Tabelle 6), dem Kennwert für den Einfluss der Geschwindigkeit für Pkw $K_{V,Pkw,F}$ (siehe Tabelle 7), dem Kennwert für den Einfluss der Längsneigung $K_{L,Pkw}$ und der Anzahl der Pkws. Analog dazu erfolgen die Berechnungen für die Anteile der Lkw.

Den nachfolgenden Tabellen sind die Basiswerte der Fahrzeugemission, die Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit sowie die Kennwerte für den Einfluss der Längsneigungen, die zur Berechnung benötigt werden, zu entnehmen.

Tabelle 6: Basiswerte für die Fahrzeugemission²⁶

Fahrbahndecke ¹⁾	$L_{PKW,F}$ [dB]	$L_{LKW,F}$ [dB]	$L_{LKW,lärmarm,F}$ [dB]	$L_{LKW,S}$ [dB]	$L_{LKS,lärmarm,F}$ [dB]
Asphaltbeton	48,8	56,3	54,3	60,3	58,3
Offenporiger Asphalt	45,6	51,2	49,2	55,2	53,2
Lärmmindernder Splittmastixasphalt ²⁾	46,3	53,3	51,3	57,3	55,3
Splittmastixasphalt	49,8	55,3	53,3	59,3	57,3
Waschbeton ³⁾	50,3	55,8	53,8	59,8	57,8
Lärmmindernder Waschbeton GK 8 ⁴⁾	49,1	53,4	51,3	58,1	56,0
Lärmmindernder Waschbeton GK 11 ⁴⁾	49,1	53,7	51,7	58,4	56,3

¹⁾ Technische Spezifikationen sind in ÖNORM B 3580-1, ÖNORM B 3584, RVS 08.17.02, RVS 08.16.01 und RVS 08.97.05 zu finden.

²⁾ abweichend von der ÖNORM B 3584 (SMA S3) mit einem Hohlraumgehalt MPK von 9 bis 11 V-%

³⁾ Technische Spezifikation nach RVS 08.17.02, jedoch ohne Anforderung an die Lärminderung

⁴⁾ Technische Spezifikation nach RVS 08.17.02, jedoch mit Anforderung an die Lärminderung

Tabelle 7: Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit²⁷

Fahrbahndecke ¹⁾	$K_{V,PKW,F}$ [dB]	$K_{V,LKW,F}$ [dB]	$K_{V,LKW,lärmarm,F}$ [dB]
Asphaltbeton	20,0 lg(V/50)	5,9 lg(V/50)	15,9 lg(V/50)
Offenporiger Asphalt	20,5 lg(V/50)	7,6 lg(V/50)	17,6 lg(V/50)
Lärmmindender Splittmastixasphalt ²⁾	20,0 lg(V/50)	6,9 lg(V/50)	16,9 lg(V/50)
Splittmastixasphalt	18,5 lg(V/50)	9,7 lg(V/50)	19,7 lg(V/50)
Waschbeton ³⁾	21,6 lg(V/50)	6,0 lg(V/50)	16,0 lg(V/50)
Lärmmindender Waschbeton GK 8 ⁴⁾	20,9 lg(V/50)	11,4 lg(V/50)	21,4 lg(V/50)
Lärmmindender Waschbeton GK 11 ⁴⁾	20,9 lg(V/50)	11,9 lg(V/50)	21,9 lg(V/50)

¹⁾ Technische Spezifikationen sind in ÖNORM B 3580-1, ÖNORM B 3584, ÖNORM B 3586, RVS 08.17.02, RVS 08.16.01 und RVS 08.97.05 zu finden.

²⁾ abweichend von der ÖNORM B 3584 (SMA S3) mit einem Hohlraumgehalt MPK von 9 bis 11 V-%

³⁾ Technische Spezifikation nach RVS 08.17.02, jedoch ohne Anforderung an die Lärminderung

⁴⁾ Technische Spezifikation nach RVS 08.17.02, jedoch mit Anforderung an die Lärminderung

In der Regel ist in obiger Tabelle die zulässige Höchstgeschwindigkeit gemäß StVO beziehungsweise die an dem zu untersuchenden Straßenabschnitt zulässige Höchstgeschwindigkeit einzusetzen. Innerorts können dafür Geschwindigkeiten zwischen 30 und 50 km/h näherungsweise angesetzt werden. Diese Werte gelten für Vorbeifahrten, bei denen es zu keinen wesentlichen Beschleunigungs- oder Verzögerungsvorgängen kommt. Sollten Abweichungen von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auftreten, so sind diese durch Einsetzen der mittleren gefahrenen Geschwindigkeit, differenziert nach den jeweiligen Fahrzeugarten, auszugleichen (z. B. bei großen Längsneigungen). Die in Tabelle 8 und 9 angeführten Werte gelten grundsätzlich für Fahrbahndecken in gutem Erhaltungszustand.

²⁶ Vgl. [FSV, 2009]

²⁷ Vgl. [FSV, 2009]

Tabelle 8: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei Pkw²⁸

Längsneigung [%]	K _{L,Pkw} [dB]	
	Steigung	Gefälle
≤ 8	0	0
9	1	0
10	2	0
11	3	0
12	3	0
13	3	1
14	3	2
≥ 15	3	3

Tabelle 9: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei Lkw²⁹

Längsneigung [%]	K _{L,Lkw} [dB]	
	Steigung	Gefälle
≤ 2	0	0
4	2	0
6	4	1
8	5	2
10	6	3
12	7	3,5
≥ 14	8	4

Nachdem meist keine straßenbezogenen statistischen Daten über den Anteil lärmarmen Fahrzeuge am gesamten Schwerverkehr vorliegen, sollten Richtwerte aus stichprobenartigen Verkehrszählungen erhoben werden. Sofern keine genaueren Daten vorhanden sind, können die in den nachfolgenden Tabellen 10 und 11 dargestellten Richtwerte als Schätzungen für den Schwerverkehrsanteil und den Anteil leichter und schwerer Lkws am Schwerverkehr herangezogen werden. Wenn keine Angaben für lärmarme Fahrzeuge vorhanden sind, kann im Zweifel laut RVS 04.02.11 [2009] der Anteil lärmarmen Fahrzeuge bei leichten Lkws mit 50% und bei schweren Lkws mit 90% angenommen werden.

Tabelle 10: Richtwerte für den Schwerverkehrsanteil für Verkehrslärberechnung³⁰

Straßentyp	Schwerverkehrsanteil p _s		
	Tag (6 bis 19 Uhr)	Abend (19 bis 22 Uhr)	Nacht (22 bis 6 Uhr)
Straßen mit überwiegend überregionalem Verkehr	10%	15%	25%
Straßen mit überwiegend lokalem Verkehr	10%	10%	10%
Hauptstraßen innerorts	10%	5%	10%
Sammel- und Anliegerstraßen innerorts	5%	2%	2%

²⁸ Vgl. [FSV, 2009]

²⁹ Vgl. [FSV, 2009]

³⁰ Vgl. [FSV, 2009]

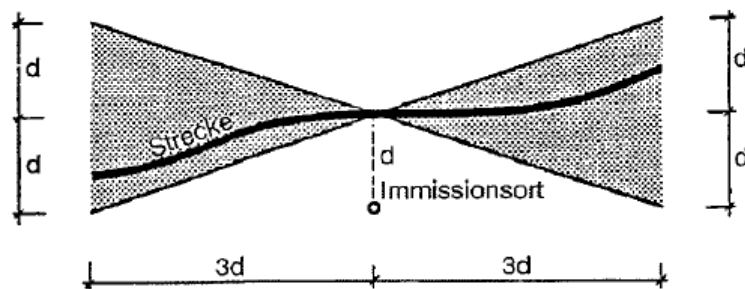
Tabelle 11: Richtwerte für den Anteil leichter und schwerer Lkw am Schwerverkehr³¹

Straßentyp	Anteil am Schwerverkehr	
	leichte Lkw	schwere Lkw
Straßen mit überwiegend überregionalem Verkehr	25%	75%
Straßen mit überwiegend lokalem Verkehr	90%	10%
Hauptstraßen innerorts	60%	40%
Sammel- und Anliegerstraßen innerorts	95%	5%

3.4 Berechnung des Immissionsschallpegels nach RVS 04.02.11

Nachfolgend wird nun das Verfahren zur Berechnung des Immissionsschallpegels, welches auf dem zuvor ermittelten A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegel zur Kennzeichnung der Emission $L_{A,eq}^1$ aus Formel (8) und auf Größen zur Beschreibung der Schallausbreitung für den A-bewerteten Schallpegel basiert, beschrieben. Die Berechnung des Immissionsschallpegels erfolgt dabei auf 0,1 dB.

Zur Berechnung des Immissionsschallpegels wird die sogenannte „Profilmethode“ herangezogen, bei der für die lange, gerade Straße einheitliche Ausbreitungsbedingungen eingesetzt werden und damit gerechnet wird. Eine lange und gerade Straße ist dann gegeben (siehe dazu Abbildung 20), wenn der Schall ohne Abminderung durch Hindernisse zum Immissionsort von einem Bereich gelangt, der sich nach links und rechts je $3d$ erstreckt, wobei d die Projektion des Abstandes des Immissionsortes senkrecht zur Straße ist. Eine Strecke gilt dann als gerade, wenn sie sich im gekennzeichneten Bereich befindet. Des Weiteren muss die Strecke bezüglich der bestimmenden Schallausbreitungsbedingungen homogen sein.

**Abbildung 18: Bestimmung der langen, geraden Straße³²**

Die für die Berechnung herangezogenen Immissionsparameter lauten wie folgt:

- Winkel Φ für den wirksamen Winkelsektor der langen, geraden Straße [°]
- Abstandsmaß (ΔL_d) [dB]
- Luftabsorptionsmaß ($\Delta L_{a, Profil}$) [dB]
- Vegetationsdämpfmaß ($\Delta L_{v, Profil}$) [dB]

³¹ Vgl. [FSV, 2009]

³² Vgl. [FSV, 2009]

- Bodendämpfmaß ($\Delta L_{b, Profil}$) [dB]
- Schirmmaß ($\Delta L_{S, Profil}$) [dB]
- Flächenreflexionsmaß ($\Delta L_{r,x}$) [dB]
- Streuungsmaß (ΔL_{St}) [dB]

Zusätzlich werden folgende ortsbezogene Parameter für die Immissionsschallpegelberechnung berücksichtigt:

- Kürzester Abstand Emissionsort – Immissionsort (r_{\perp}) [m]
- Höhe der Schallquelle über der Straße (h_s) [m]
- Höhe des Immissionsortes über dem Boden (h_l) [m]
- Anzahl der Bewuchsgruppen von je 50 m Tiefe (n_v) [-]
- Länge des Schallausbreitungsweges durch die streuenden Anlagen und Objekte (r_{St}) [m]

Der Immissionsschallpegel lässt sich somit, wie in Formel (15) dargestellt, aus dem Emissionsschallpegel $L_{A,eq}^1$ und der Aufsummierung der immissionsseitigen Kennwerte (Winkelsektor ΔL_{Φ} , Abstandsmaß ΔL_d , Luftabsorptionsmaß $\Delta L_{a, Profil}$, Vegetationsdämpfmaß $\Delta L_{v, Profil}$, Bodendämpfmaß $\Delta L_{b, Profil}$, Schirmmaß $\Delta L_{S, Profil}$, Flächenreflexionsmaß $\Delta L_{r,x}$ und Streuungsmaß ΔL_{St}) unter Einbeziehung der ortsbezogenen Parameter berechnen:

$$L_{A,eq} = L_{A,eq}^1 + \Delta L_{\Phi} + \Delta L_d + \Delta L_{a, Profil} + \Delta L_{v, Profil} + \Delta L_{b, Profil} + \Delta L_{S, Profil} + \Delta L_{r,x} + \Delta L_{St} [dB] \quad (15)$$

mit:

$L_{A,eq}^1$ berechnet gemäß Formel (8) in Kapitel 2.3

$$\Delta L_{\Phi} = 10 \lg \left(\frac{\Phi}{180} \right) [dB] \quad (16)$$

$$\Delta L_d = -10 \lg r_{\perp} [dB] \quad (17)$$

$$\Delta L_{a, Profil} = -0,023 \cdot r_{\perp}^{0,83} [dB] \quad (18)$$

$$\Delta L_{v, Profil} = -1,8 - 0,95(n_v - 1) [dB] \quad (19)$$

mit der Bedingung: für $\Delta L_{v, Profil} < -4$ gilt $\Delta L_{v, Profil} = -4$ dB

$$\Delta L_{St} = -0,05 \cdot r_{St} [dB] \quad (20)$$

Wird, wie soeben angeführt, vorab das Streuungsmaß ΔL_{St} berechnet, ist ein zusätzliches Schirmmaß $\Delta L_{S, Profil}$ und Reflexionsmaß $\Delta L_{r,x}$ nicht mehr zu berücksichtigen.

Bei der Ermittlung des Bodendämpfungsmaßes $\Delta L_{b, Profil}$ wird zwischen absorbierendem Boden (z.B. Grasflächen, Äcker) und reflektierendem Boden unterschieden. Werte für absorbierende Böden sind der Tabelle 11 zu entnehmen und gegebenenfalls zu interpolieren.

Tabelle 12: Bodendämpfungsmaß für absorbierenden Boden³³

für $h_i \geq 4,5$ m	$\Delta L_{b,Profil} = -1,5$ dB
für $h_i = 3$ m	$\Delta L_{b,Profil} = -1,8$ dB
für $h_i = 1,5$ m	$\Delta L_{b,Profil} = -2,1$ dB für $d_{\perp} = 12,5$ m
	$\Delta L_{b,Profil} = -2,3$ dB für $d_{\perp} = 25$ m
	$\Delta L_{b,Profil} = -2,4$ dB für $d_{\perp} = 37,5$ m
	$\Delta L_{b,Profil} = -2,5$ dB für $d_{\perp} = 50$ m
	$\Delta L_{b,Profil} = -2,6$ dB für $d_{\perp} \geq 100$ m

Für reflektierenden Boden zwischen Straße und Immissionsort ist das Bodendämpfungsmaß gemäß Formel (21) zu berechnen. Das Bodendämpfungsmaß wird dabei durch die Höhe der Schallquelle über der Straße h_s , die Höhe des Immissionsortes h_i und der Projektion der Verbindungslinie von Emissionspunkt zu Immissionsort d , beeinflusst.

$$\Delta L_{b,Profil} = 3 \cdot m_b \text{ [dB]} \quad (21)$$

mit:

$$m_b = 1 - \frac{30 \cdot (h_s + h_i)}{d} \quad (22)$$

$m_b = 0$ für $d \leq 30 (h_s + h_i)$ bzw. $m_b < 0$
 $d = 1,5 r_{\perp}$
 $h_s = 0,5$ m

Der Immissionsschallpegel an bestehenden Straßen wird in der Regel mithilfe der oben dargestellten Berechnungsformel (8) ermittelt. Die für den Messzeitraum berechnete Schallimmission kann mit Messergebnissen unter Heranziehung des Korrekturwertes, der die Differenz zwischen berechnetem und gemessenem Immissionsschallpegel angibt, verglichen werden.

Der Korrekturwert K_M spiegelt die in der Berechnung nicht oder nur unvollständig erfassbaren örtlichen emissionsseitige Einflussfaktoren (z. B. Knotenpunkte) wider. Liegt der Korrekturwert über ± 3 dB, sind die Ursachen dafür (z.B. Beschleunigungsvorgänge am Knotenpunkt) zu diskutieren.

$$K_M = L_{A,eq}^M - L_{A,eq}^B \text{ [dB]} \quad (23)$$

mit: K_M = Korrekturwert bei Vorliegen einer Schallpegelmessung [dB]
 $L_{A,eq}^M$ = A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel [dB] als Ergebnis einer Schallpegelmessung
 $L_{A,eq}^B$ = A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel [dB] als Ergebnis der Berechnung für den Messzeitraum

³³ Vgl. [FSV, 2008]

4 Methodik und reale Messungen

In diesem Kapitel wird die Methodik für die Durchführung der Messungen in der Wiener Straße beschrieben. Dabei wird detailliert auf das Messkonzept, also Messbereich, Messzeitpunkt, Messinstrumente sowie die Erstellung des Messberichtes eingegangen. Die weiteren Arbeitsschritte sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Die Datenaufbereitung erfolgt in Abschnitt 5.1, bevor die erhobenen Daten in Abschnitt 5.2 ausgewertet werden.



Abbildung 19: Übersicht der Bearbeitungsschritte – Datenerhebung

Die Messung der Lärmimmission erfolgt anhand ÖNORM S 5004 und die Ermittlung der Eingangswerte für die Berechnung des Emissions- und Immissions-schallpegels anhand RVS 04.02.11.

Im nachfolgenden Flussdiagramm (Abbildung 20) werden die einzelnen Arbeitsschritte der Datenerhebung grafisch dargestellt. Durch Messungen im Untersuchungsgebiet werden einerseits die verkehrsbezogenen Parameter (z. B. Anzahl der PKW pro Stunde M_{PKW} , Geschwindigkeit der Pkw V_{PKW} , etc.) ermittelt, um mit diesen Werten anhand von RVS 04.02.11 den Emissionsschallpegel $L_{A,eq}^1$ berechnen zu können. Dieser bildet die Grundlage für die nachfolgende Berechnung des Immissionsschallpegels (siehe Abschnitt 5.1.8).

Andererseits wird nach ÖNORM S 5004 der Immissionsschallpegel an den Messpunkten 1–14 (siehe Abb. 23) im Untersuchungsgebiet Wiener Straße während des Abendverkehrs im Zeitraum von 15:00 bis 18:00 Uhr gemessen. Da für die Messungen lediglich zwei Mikrofone zur Verfügung stehen, können pro Messtag nur zwei Messpunkte abgedeckt werden – damit ergibt sich ein Gesamtmesszeitraum von sieben Tagen. Die gemessenen Werte werden mit den für den Untersuchungsbereich in der Wiener Straße berechneten Immissionsschallpegel sowohl über den gesamten Streckenzug als auch an den einzelnen Messpunkten verglichen (siehe Abschnitte 5.2.1 ff).

Zudem werden an einem Messtag GPS-Daten von Fahrzeugen (Geschwindigkeit V , Beschleunigungskennwerte wie z. B. $a+$ und $a-$), die bei den Messpunkten 4, 3, 2 und 1 an- bzw. vorbeifahren, aufgezeichnet und mit den parallel dazu gemessenen Immissionswerten in Zusammenhang gebracht (siehe Abschnitt 5.2.7).

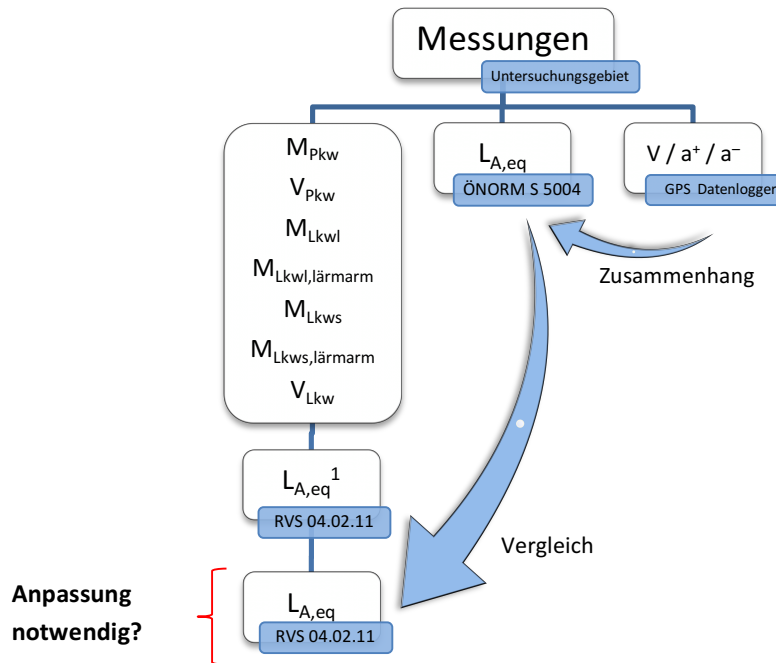


Abbildung 20: Flussdiagramm – Forschungsdesign

Ziel dieser Arbeit ist es, die Korrelation zwischen Geschwindigkeits-Trajektorien und Immissionsschallpegel-Trajektorien zu beschreiben, um damit eine Aussage darüber treffen zu können, ob der nach RVS 04.02.11 [2009] berechnete Immissionsschallpegel die Realität an koordinierten Streckenzügen innerorts in ausreichendem Maße abbildet bzw. ob die Berechnungsformel gegebenenfalls in weiterführenden wissenschaftlichen Arbeiten durch die Einbeziehung weiterer Parameter (insbesondere Beschleunigungskennwerte) adaptiert werden müsste.

4.1 Messkonzept – Wiener Straße, Graz

In diesem Abschnitt wird nun auf das Messkonzept für die Messung des Immissionsschallpegels im Untersuchungsgebiet Wienerstraße zwischen Verkehrslichtsignalanlage 303 und 302 näher eingegangen. Dabei werden die Unterteilung des Untersuchungsbereichs in die einzelnen Messpunkte, der relevante Messzeitraum und die für die Messungen verwendeten Messinstrumente näher beschrieben.

4.1.1 Messort

Aufgrund einer guten Datenlage, insbesondere der in der Wiener Straße installierten Detektoren zur Verkehrszählung und früherer Projekte seitens des Institutes für Straßen- und Verkehrswesen zu Knotenstromzählungen [Schaffenberger; Winkler, 2016] und zur Koordinierungsbewertung der Wiener Straße [Eder; Theurl, 2017] wurde auch für diese Arbeit die Wiener Straße in Graz – Österreich als Untersuchungsgebiet für die Messungen ausgewählt.



Abbildung 21: Messort – Wiener Straße

Der 390m lange Messbereich befindet sich in Fahrtrichtung Norden (stadtauswärts) im Kernbereich der Wienerstraße zwischen der VLSA 302 Wiener Straße – Exerzierplatzstraße und der VLSA 303 Wiener Straße – Ibererstraße.

Da die VLSA 302, 303, 304, 305 und 310 im Kernbereich der Wiener Straße kurze und ungünstige Abstände zueinander aufweisen, wird dieser Bereich als gemeinsamer Block betrachtet und hat grundsätzlich bei der Koordinierung (Grünen Welle) oberste Priorität. [Stadt Graz, 2012]

Der Kernbereich der Wiener Straße zwischen VLSA 302 und 310, in dem auch der Untersuchungs-
bereich liegt, wird in der nachfolgenden Abbildung 22 dargestellt.



Abbildung 22: Übersichtskarte – Kernbereich Wiener Straße (VLSA 310 bis 302)

4.1.2 Messpunkte

Wie in Abbildung 23 ersichtlich, wird der 390m lange Messbereich in 14 Messpunkte, mit jeweils gleichem Abstand von 30m zueinander, unterteilt.



Abbildung 23: Übersicht der Messpunkte

Eine detailliertere Übersicht der Anordnung der Messpunkte ist in Abbildung 24 zu finden.

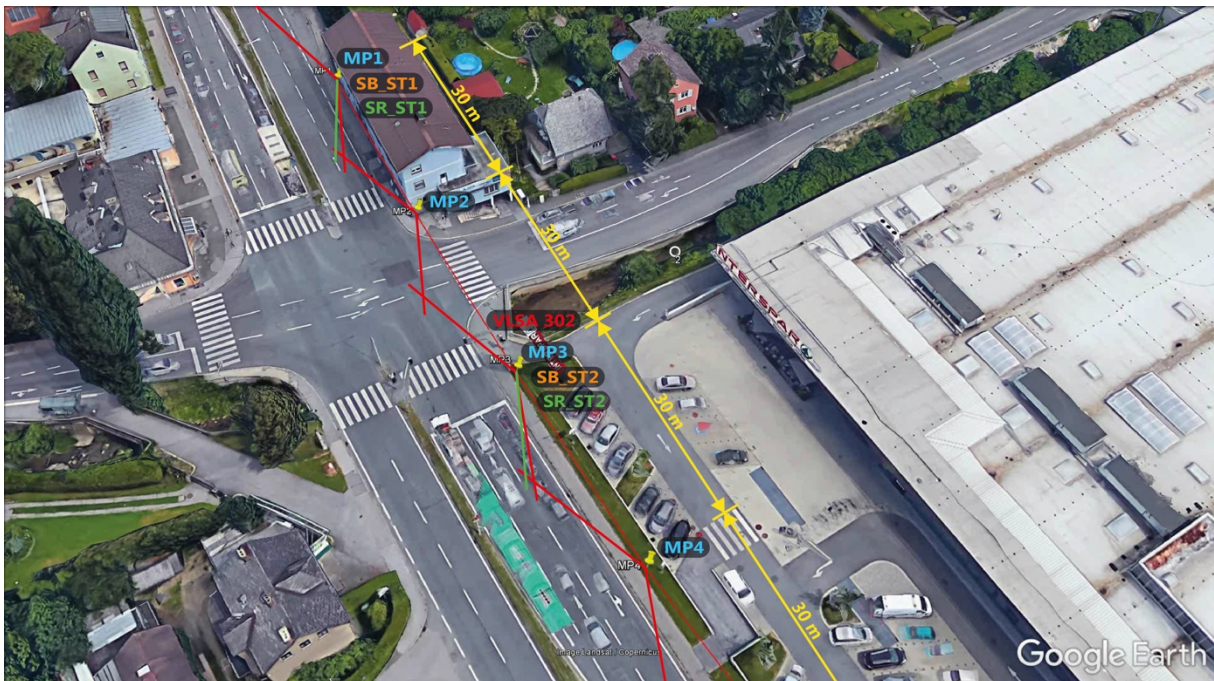


Abbildung 24: Anordnung der Messpunkte

In dieser Abbildung sind die Standorte des Soundbooks, der Messmikrofone und des Seitenradars ersichtlich. Für den ersten Messabschnitt (Messpunkte MP1 und MP2) wird das Soundbook (SB) zur Aufzeichnung des Immissionserschallpegels an der sogenannten Station 1 (ST1) platziert („SB_ST1“) und mit den Messmikrofonen an MP1 und MP2 mithilfe eines Kabels verbunden. Neben dem

Soundbook wird das Seitenradar an Station 1 aufgestellt („SR_ST1“). An den übrigen Stationen erfolgt der gleiche Messaufbau.

Die Messpunkte befinden sich aufgrund der örtlichen Gegebenheiten 5,5 m (an den Messpunkten 1, 2, 3 und 4), 7,5 m (an den Messpunkten 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 und 12) sowie 6,5 m (an den Messpunkten 13 und 14) von der Mitte der beiden äußeren Fahrstreifen entfernt. An jeweils zwei Messpunkten befindet sich zeitgleich ein Mikrofon, das mit einem Soundbook zur Messung und Aufzeichnung der Schallimmissionen verbunden ist. Die gewählte Mikrofonhöhe beträgt dabei gemäß ÖNORM S 5004 1,5m über dem Boden. Aufgrund des gewählten 30m-Abstandes der Messpunkte zueinander ergibt sich ein Überschneidungsbereich der Mikrofone zwischen den zwei jeweiligen Messpunkten. Im Bereich zwischen den Messpunkten wird zeitgleich eine Seitenradarmessung zur Ermittlung der maßgebenden Kenngrößen (Geschwindigkeit und Anzahl der Fahrzeuge) zur Berechnung des Emissionsschallpegels durchgeführt. Dazu wird ein Seitenradar auf demselben Stativ wie ein Messmikrofon in einer Höhe von 1m über der Fahrbahn und einer 30°-Ausrichtung zur Fahrbahn montiert.

Die maßgeblichen Größen für den Messaufbau sind in nachfolgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 13: Maßgebliche Größen für den Messaufbau

Abstand der Messpunkte zueinander	30 m
Höhe der Messmikrofone	1,5 m
Höhe des Seitenradars	1,0 m
Abstand der Messpunkte zur Mitte beider Fahrstreifen	5,5 m (MP 1–4) 6,5 m (MP 5–12) 7,5 m (MP 13–14)

4.1.3 Messzeitraum

Eine Auswertung der Dauerzählstellen (DZS) 101 und 102 in Nord- und Südrichtung entlang der Wiener Straße aus dem Jahr 2011 ergab eine Morgenspitze von 7:00 – 8:30 Uhr sowie eine Abendspitze von 16:30 – 18:00 Uhr (siehe Abbildungen 25 und 26). Des Weiteren sind die Verkehrsstärken von Montag bis Donnerstag nahezu ident. [Stadt Graz, 2012]

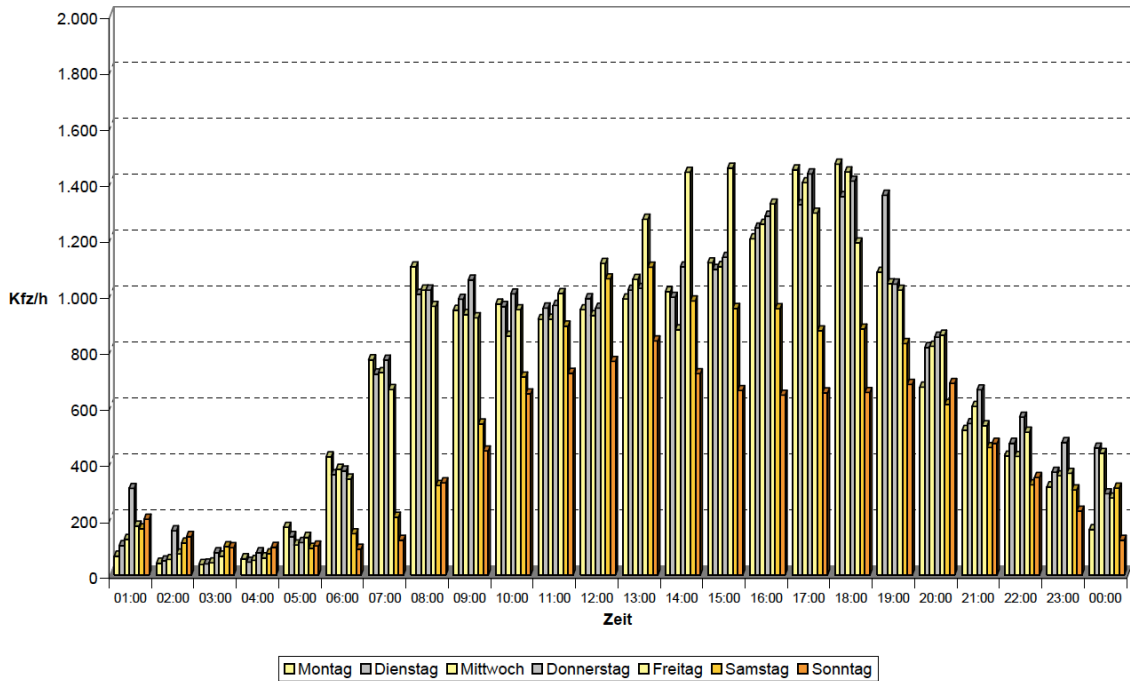


Abbildung 25: Auswertung der Verkehrsstärke an Dauerzählstelle 101 [Stadt Graz, 2012]

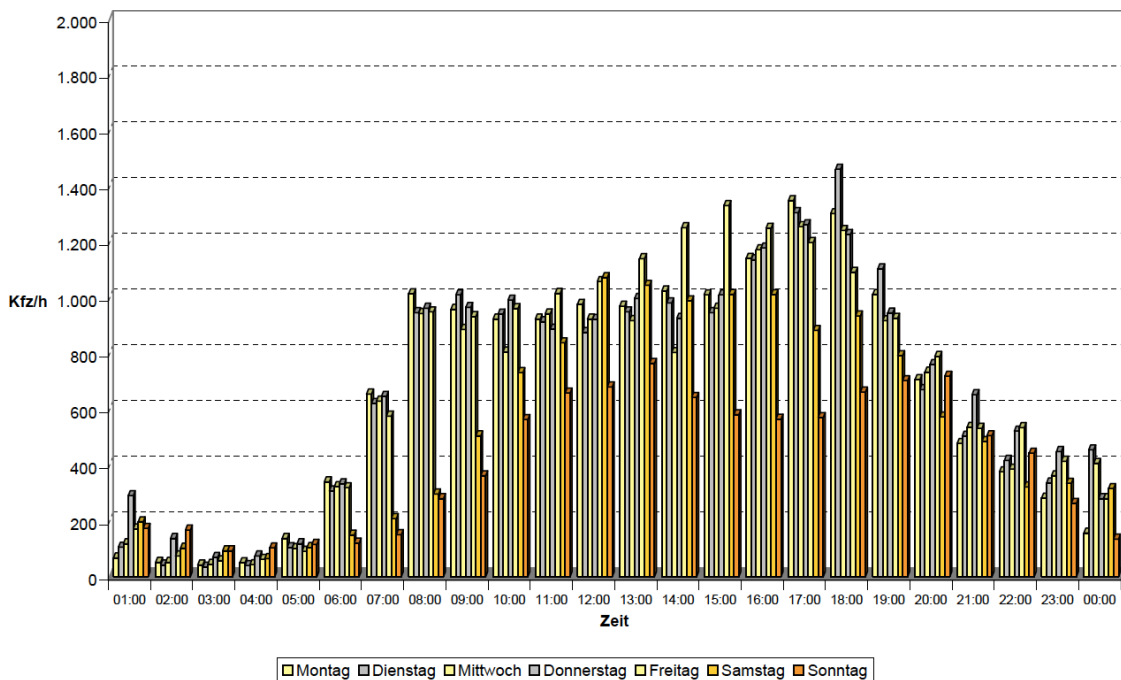


Abbildung 26: Auswertung der Verkehrsstärke an Dauerzählstelle 102 [Stadt Graz, 2012]

Daher wurde für die Analyse in dieser Masterarbeit, entsprechend der Anzahl der Messpunkte, ein Messzeitraum von 7 Tagen im April und Mai anberaumt. Die Messungen wurden von Montag bis Donnerstag jeweils von 15:00 bis 18:00 Uhr durchgeführt.

Aus den Tabellen 14 und 15 geht hervor, dass sich jeweils zu Messbeginn um 15:00 Uhr das Signalprogramm entlang der Wiener Straße ändert und das Abendprogramm S8 mit einer Umlaufzeit von $t_u = 80$ sek geschaltet wird, wodurch eine Grüne Welle stadtauswärts – also umgekehrt zum

Morgenprogramm S2 – entstehen soll. Der Kapazitätsengpass befindet sich dabei an der VLSA 302 Wiener Straße – Exerzierplatzstraße. Zwischen den VLSA 302 und 303 ist eine optimale Koordinierung für beide Richtungen laut der Stadt Graz aufgrund eines sich im kapazitätskritischen Ablauf bildenden Reststaus nicht möglich. In den Abendspitzen kann es daher notwendig sein, nur für kurze Zeit – eventuell auch nur auf den Kernbereich beschränkt – das Spitzenprogramm S10 zu schalten. Eine verkehrsabhängige Grünzeitbemessung kann dabei für das S10 an der VLSA 302 erfolgen. [Stadt Graz, 2012]

Tabelle 14: Schaltzeiten der Jahresautomatik für die Wiener Straße - VLSA 301, 312, 302, 302, 304, 305, 310 und 306³⁴

Montag- Donnerstag		Freitag		Samstag		Sonntag	
Zeit	Progr.	Zeit	Progr.	Zeit	Progr.	Zeit	Progr.
*)	*)	*)	*)	*)	*)	*)	*)
6.00	S2	6.00	S2	6.00	S2	6.00	S1
9.00	S5	9.00	S5	9.00	S5	14.00	S5
15.00	S8	13.00	S8	20.00	S1	20.00	S1
20.00	S1	20.00	S1				

*) Blinken: VLSA 312 22.00 – 5.00
 VLSA 302 22.00 – 5.00
 VLSA 303 22.00 – 5.00
 VLSA 304 22.00 – 5.00
 VLSA 305 22.00 – 5.00
 VLSA 310 22.00 – 5.00

Tabelle 15: Übersicht der Signalprogramme der Wiener Straße³⁵

Nr.	tu	Typ	Verwendung	Bemerkung
S1	60	N	Nachtprogramm	Für Schwachlastzeiten
S2	80	M	Morgenprogramm	Grüne Welle stadteinwärts bevorzugt

S5	80	T	Tagesprogramm	Grüne Welle ausgewogen

S8	80	A	Abendprogramm	Grüne Welle stadtauswärts bevorzugt
S10	90	S	Spitzenprogramm	Für Ausnahmefälle mit besonders starkem Verkehr
S15	90	S	Sonderprogramm Tunnelsperre Ri Süd	Für Umleitungsverkehr bei Sperre der Tunnelröhre Richtung Süden
S16	90	S	Sonderprogramm Tunnelsperre Ri Nord	Für Umleitungsverkehr bei Sperre der Tunnelröhre Richtung Norden

N...Nacht, M...Morgen, T...Tag, A...Abend, S...Spitze bzw. Sonder

³⁴ Vgl. [Stadt Graz, 2012]

³⁵ Vgl. [Stadt Graz, 2012]

4.1.4 GPS-Messfahrten

Um einen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeits- und Beschleunigungskennwerten einzelner Fahrzeuge mit dem Immissionsschallpegel betrachten zu können, wurden im Bereich der VLSA 302 zusätzliche Messungen des Immissionsschallpegel und parallel dazu aufgezeichnete Geschwindigkeits-Trajektorien mittels GPS-Messfahrten am ersten Fahrstreifen durchgeführt.

Dazu wurden an insgesamt vier Messpunkten im Bereich der VLSA 302 zwei unterschiedliche Fahrtvorgänge (Durchfahrt bei grüner Ampel und Anfahrt nach Umschalten von Rot- auf Grün-Phase) unter realen Gegebenheiten nachgebildet. Ein Pulk aus vier Pkws, die mit GPS-Loggern ausgestattet waren, führte die Messfahrten aus. Da die Messung des Immissionsschallpegels nur an zwei Messpunkten gleichzeitig möglich ist, wurden die Messungen für MP1 und MP2 sowie für MP3 und MP4 nacheinander durchgeführt.

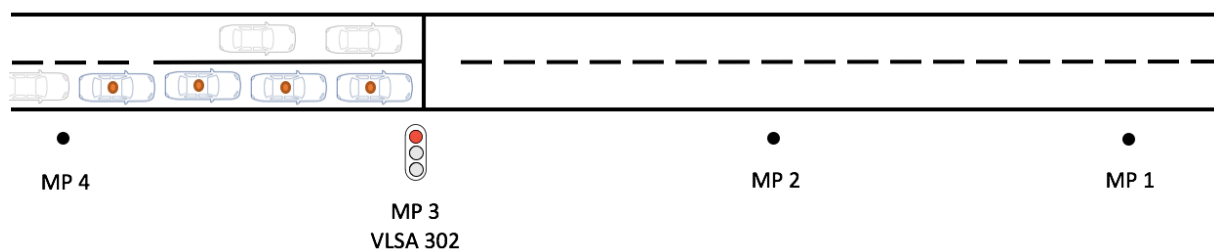


Abbildung 27: GPS-unterstützte Messanordnung – Teil 1: Anfahrtsvorgänge

Im ersten Teil der Messungen erfolgte die Aufzeichnung und Erfassung der Anfahrtsvorgänge bei VLSA 302. Die mit GPS-Loggern ausgestatteten Fahrzeuge (in der Abbildung mit rotem Punkt am ersten Fahrstreifen dargestellt) hielten hintereinander an der Haltelinie der VLSA 302. Es wurden insgesamt sechs Anfahrtsvorgänge nach Umschalten auf die Grün-Phase durchgeführt. Bei drei Anfahrtsvorgängen wurde der Immissionsschallpegel an den Messpunkten 4 und 3, bei den übrigen drei an den Messpunkten 2 und 1 gemessen.

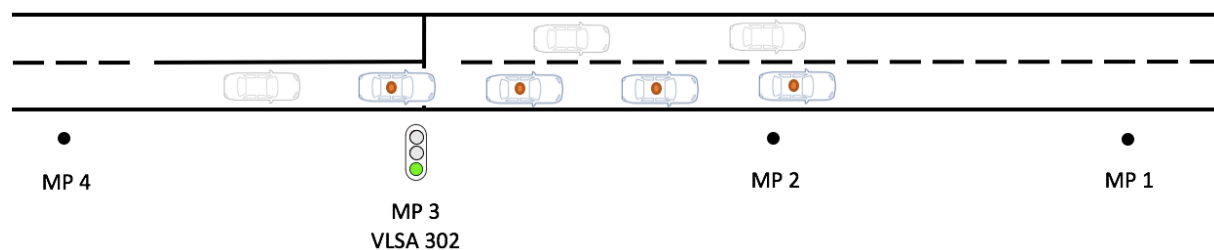


Abbildung 28: GPS-unterstützte Messanordnung – Teil 2: Durchfahrten

Neben den Anfahrtsvorgängen nach Umschalten auf die Grün-Phase wurde der Immissionsschallpegel auch bei den Durchfahrten der Fahrzeuge während der Grün-Phase gemessen. Insgesamt wurden wiederum 6 Fahrten aufgezeichnet (3 bei den MP 4 und 3 und weitere 3 bei den MP 2 und 1).

In nachfolgender Tabelle sind die bei den Messfahrten eingesetzten Fahrzeuge sowie fahrzeugspezifische Kenndaten angeführt.

Tabelle 16: Kenndaten der Messfahrzeuge

Messfahrzeuge					
Fahrzeug	Modell	Baujahr	Kilometerstand	Leistung	Abgasklasse
FZ 1	VW Golf Kombi	2014	51.000 km	77 KW	Euro 6
FZ 2	VW Passat Kombi	2010	156.000 km	77 KW	Euro 5
FZ 3	Mazda 3	2012	24.000 km	77 KW	Euro 5
FZ 4	VW Polo	2003	118.000 km	40 KW	Euro 3

4.1.5 Verwendete Messinstrumente

In der Abbildung 29 ist der mobile Messaufbau, der für die Messung entlang der Wiener Straße verwendet wurde, ersichtlich. Dieser setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

1. Verkehrserfassungsgerät
2. Laptop zur Datensichtung und Auswertung
3. Zwei Mikrophone
4. Soundbook zur Schallpegelmessung
5. Kabeltrommel (30m)
6. Zwei Stative

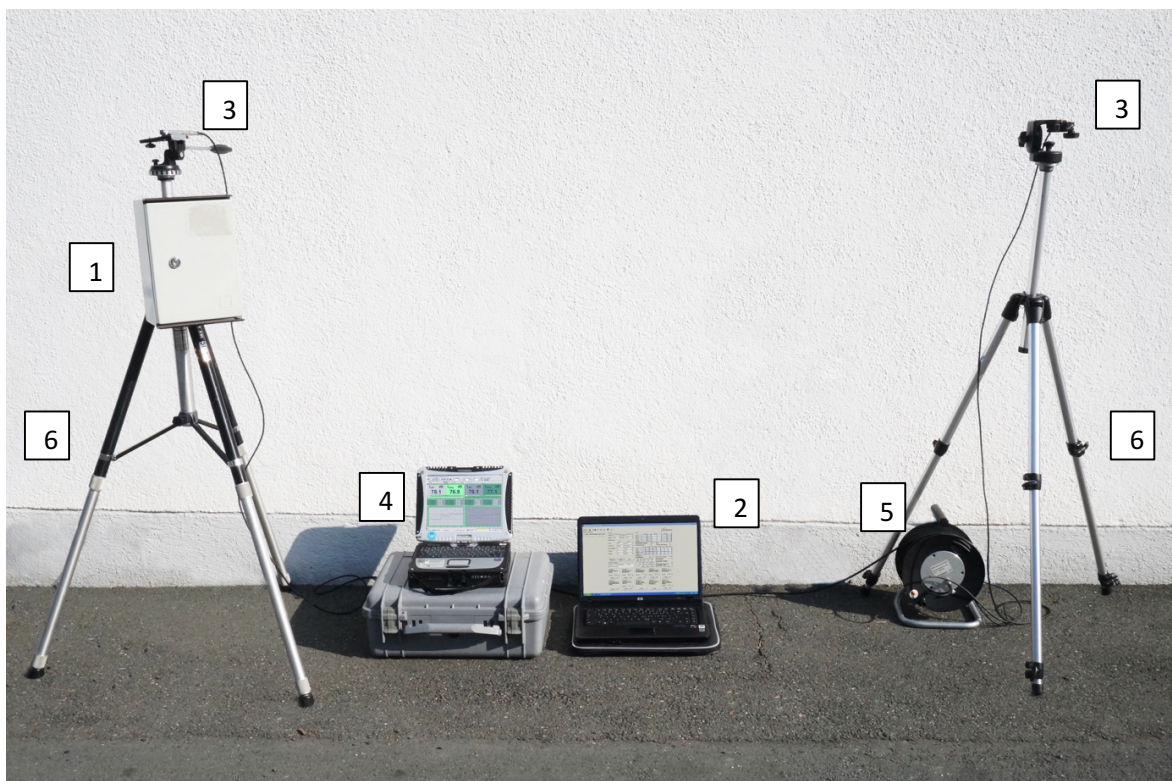


Abbildung 29: verwendete Messinstrumente

Zusätzlich wurden für die Erfassung von Beschleunigungskennwerten GPS-Datenlogger verwendet (nicht am Bild).

Nachfolgend wird näher auf die einzelnen für die Messung benötigten Messgeräte eingegangen.

- **Verkehrserfassungsgerät SR4**

Zur Erfassung der Verkehrsstärke und der Geschwindigkeiten wurde das Verkehrserfassungsgerät SR4 der Firma Sierzega verwendet. Das SR4 ermöglicht eine rasche und problemlose Montage am Straßenrand, ohne bauliche Maßnahmen vornehmen zu müssen, und bietet eine radarbasierte Verkehrserfassung, ohne dabei den Verkehrsfluss zu beeinträchtigen. Es werden dabei die Geschwindigkeit, die Fahrzeuglänge sowie der zeitliche Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug erfasst und mit Datum und Uhrzeit am Gerät selbst gespeichert. Der Messbereich für die Geschwindigkeit beträgt dabei laut Hersteller 2 bis 199 km/h bei einer Genauigkeit von $\pm 3\%$. Die aufgezeichneten Daten können dann über Bluetooth auf ein Android Smartphone oder einen Laptop übertragen werden. Diese Daten können in weiterer Folge mit der Auswertesoftware SRA von Sierzega oder in beliebigen anderen Programmen, wie zum Beispiel Excel, analysiert und ausgewertet werden. [Sierzega, 2016]

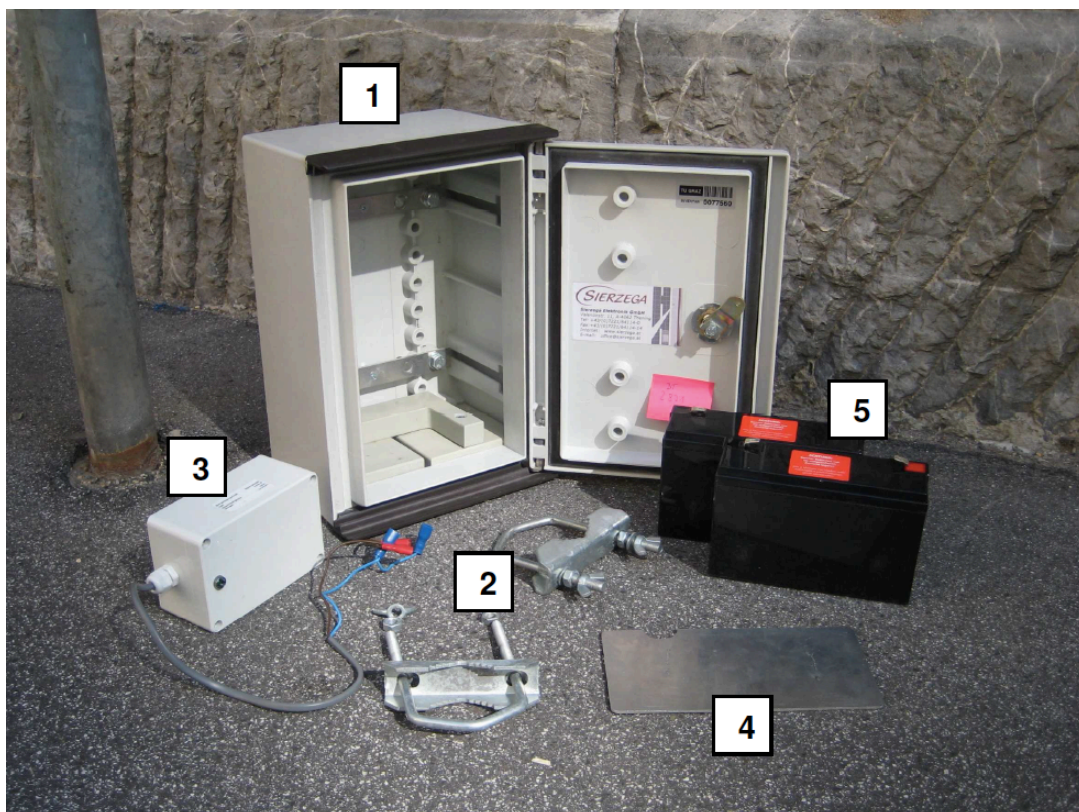


Abbildung 30: Bestandteile des Verkehrserfassungsgerätes SR4³⁶

³⁶ Vgl. [Avramovic; Brkic; Fenzl; Frisee, 2009]

Abbildung 30 zeigt die Bestandteile, aus denen sich das verwendete Seitenradar SR4 zusammensetzt:

1. Schaltschrank
2. Zweimal Mastbefestigungen
3. Radarsensor
4. Zwischenplatte
5. 6 Volt Batterien

Entscheidend für die Genauigkeit der Messung und das Erzielen brauchbarer Ergebnisse ist die Aufstellung und exakte Ausrichtung des Seitenradars am Messort. Dabei sollte die Entfernung in etwa 0,5 bis 2m zur Fahrbahn betragen und das Messgerät in einer Höhe von 1m über und in einem Winkel von 30° zur Fahrbahn angebracht werden. Als Hilfspunkt kann ein Punkt der vier Längeneinheiten zur Fahrbahnmitte und der sieben Längeneinheiten entlang der Fahrbahn angenommen werden (siehe dazu Abbildung 31). [Avramovic et al., 2009]

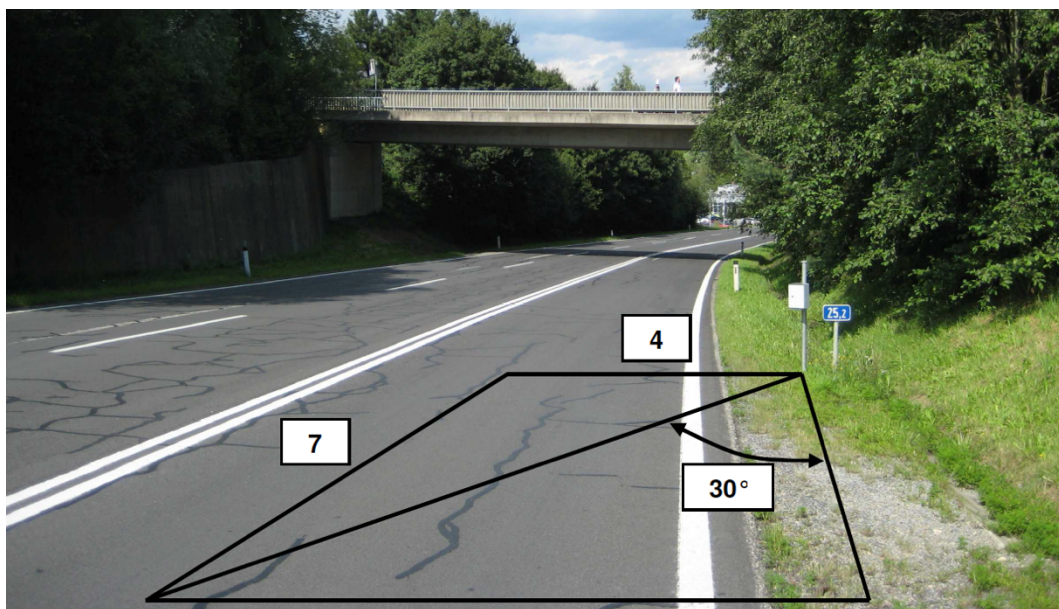


Abbildung 31: Ausrichtung des Verkehrserfassungsgerätes SR4³⁷

- **GPS Logger**

Mittels GPS-Datenlogger lassen sich Positionsdaten aufzeichnen und in weiterer Folge am Computer auslesen, um daraus Daten über die zurückgelegten Strecken, Zeiten und Geschwindigkeiten zu erhalten. Zur Aufzeichnung der Positionsdaten wurde der Qstarz BT-Q1000ex Datenlogger verwendet. Damit können bis zu 10 Wegpunkte pro Sekunde verarbeitet und bis zu 400.000 Wegpunkte gespeichert werden. Durch die mitgelieferte Software können Strecken einfach ausgewertet und zur Kontrolle auch in Google® Maps angezeigt werden. [Qstarz, 2017]

³⁷ Vgl. [Avramovic et al., 2009]



Abbildung 32: Qstarz BT-Q1000ex Datenlogger³⁸

- **Mikrofon und Vorverstärker**

Zur Messung der Schallimmissionen wurden zwei Messmikrofon-Sets bestehend aus Mikrofonen des Types 40AE ½“ in Verbindung mit den benötigten Vorverstärkern des Typs 26AK ½“ vom Dänischen Hersteller G.R.A.S. verwendet.

Das G.R.A.S. 40AE ist ein Freifeld-Mikrofon für die Messung von mittleren Schalldrücken und mittleren Frequenzen. Ein Freifeld-Mikrofon ist so konzipiert, dass es Schallereignisse ohne die durch das Mikrofon selbst bedingten Störungen des Schallfeldes messen kann. Ein Freifeld-Mikrofon wird für die meisten Schalldruckpegelmessungen verwendet. [G.R.A.S., 2016a] Der Dynamikbereich liegt dabei zwischen 15 dB und 148 dB und der Frequenzbereich zwischen 3,15 Hz bis 20 kHz. Die Empfindlichkeit liegt bei 50 mV/Pa. [G.R.A.S., 2016b]



Abbildung 33: G.R.A.S. 40AE Freifeld-Mikrofon³⁹

Komplettiert wird das 40AE mit einem G.R.A.S. 26AK ½“ Standard Vorverstärker mit integriertem 7-Pin Konnektor. Der 26AK ist ein ½“ Mikrofon Vorverstärker, welcher für allgemeine Anwendungen im Labor und im Außenbereich entwickelt wurde. Der Frequenzbereich des 26AK liegt dabei zwischen 2,5 Hz und 200 kHz. [G.R.A.S., 2016c]

³⁸ Vgl. [Qstarz, 2017]

³⁹ Vgl. [G.R.A.S., 2016b]



Abbildung 34: G.R.A.S. 26AK Vorverstärker⁴⁰

- **Prüfschallquelle/Kalibrator**

Die Überprüfung der Messkette vom Messmikrofon bis zu den Anzeigegeräten erfolgte gemäß ÖNORM S 5004 vor jeder Messung mit einer geeichten Prüfschallquelle der Klasse 1. Hier kam ein CAL200 Präzisions Akustik Kalibrator der Firma Larson Davis zum Einsatz. Es handelt sich dabei um eine Batterie betriebene Eichschallquelle der Klasse 1 für ½" Mikrofone. Mit einem kleinen Regler kann ein Ausgangssignal von 94 dB oder 114 dB bei einer Frequenz von 1000 Hz gewählt werden. [PCP Group, 2017]

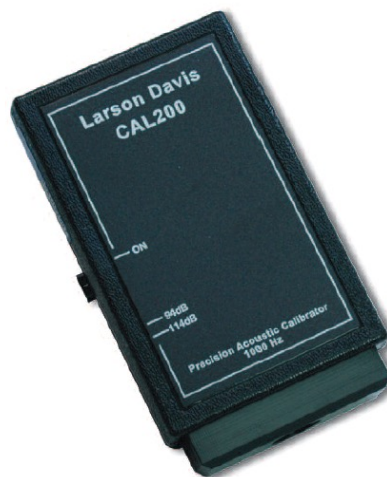


Abbildung 35: Larson Davis CAL200⁴¹

- **Soundbook**

Die Steuerung und Aufzeichnung der Schallpegelmessung erfolgte vor Ort mit einem Soundbook „quadro“ der Firma SINUS. Dabei handelt es sich um einen 4-kanaligen Schallpegelmesser der Klasse 1. Basierend auf dem Panasonic Toughbook™ CF-18 ist das Soundbook ein universelles portables Messgerät für akustische, schwingungstechnische und allgemeine Ingenieurtechnische

⁴⁰ Vgl. [G.R.A.S., 2016c]

⁴¹ Vgl. [PCP Group, 2017]

Messungen, das vor allem in Forschung und Entwicklung sowie bei Ingenieurdienstleistungen zur Anwendung kommt. Durch einen geringen Energieverbrauch sind auch längere Messungen im Freien ohne Stromanschluss mittels Akkubetriebs möglich. [SINUS, 2017a]



Abbildung 36: SINUS Soundbook⁴²

Für die Messungen wurde das Soundbook in Verbindung mit dem Softwarepaket SAMURAI (SINUS Acoustic Multichannel Universal Realtime Analysis Instrument) verwendet. Das Softwarepaket zur Lärm- und Schwingungsmessung ermöglicht durch das Zusammenwirken von leistungsfähigen Digitalen Signalprozessoren (DSP) und PC, dass in 2 bis 8 Kanälen gleichzeitig alle relevanten Schallpegelkennwerte in einem Messbereich von 20 dB bis 140 dB gemessen und in Terzbändern in Echtzeit analysiert, dargestellt sowie gespeichert werden. [SINUS, 2017b]

⁴² Vgl. [SINUS, 2017a]



Abbildung 37: Ausgewählte Darstellung während der Messung in SAMURAI⁴³

SAMURAI bietet eine Vielzahl an Funktionen und Darstellungsmöglichkeiten während der Messung und auch danach. So ist etwa ein automatischer Kalibriercheck vor jeder Messung, eine individuelle Anpassung der Displayfenster, ein interner Zugriff auf vergangene Messungen sowie eine direkte Speicherung auf externen USB-Datenträgern möglich. Des Weiteren ist eine automatische Auswertung von beispielsweise $L_{A,eq}$, $L_{A,max}$, $L_{A,min}$, $L_{A,95}$ und $L_{A,1}$ möglich. Ebenso können die gespeicherten Messwerte für weitere Auswertungen zum Beispiel in Excel exportiert werden. [SINUS, 2017]

4.2 Erstellen eines Messberichtes

Der in ÖNORM S 5004 geforderte Messbericht wurde vor Beginn der Messungen anhand der zu erfüllenden Punkte erstellt (siehe dazu Abschnitt 3.2) und ist in Abbildung 38 ersichtlich. Im Anhang A1 befinden sich die während der Messung ausgefüllten Messberichte in digitaler Form, sowie ein weiteres Exemplar, welches für erneute Messungen ausgedruckt werden kann.

⁴³ Vgl. [SINUS, 2017b]

Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz

Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008		 TU Graz Graz University of Technology		
Messort:	Standort und Messaufbau (Bild einfügen)			
Datum und Uhrzeit:				
Messpunkt:				
Messdauer:				
Beginn der Messung:				
Ende der Messung:				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Schallquellen:				
	<input type="checkbox"/> Straßenverkehr	<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)		
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Messbedingungen:				
	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:				
Sonstige Anmerkungen:				
Unterschrift des Messverantwortlichen:				

Abbildung 38: Messbericht

5 Statistische Analyse und Ergebnisse

In diesem Kapitel wird nun zuerst auf die Datenaufbereitung der Rohdaten aus den im Zuge dieser Masterarbeit durchgeführten Lärmmessungen und Seitenradarmessungen entlang der Wiener Straße, sowie die Aufbereitung weiterer Daten, die von der Stadt Graz für den Zweck dieser Arbeit zur Verfügung gestellt bzw. anderen am Institut für Verkehrswesen durchgeführten Untersuchungen entnommen wurden, eingegangen. In weiterer Folge werden die Daten zur Berechnung des Immissionserschallpegels herangezogen, um danach durch geeignete Analysen und grafische Aufbereitung einen Vergleich zwischen real gemessenen und errechneten Immissionserschallpegeln ziehen zu können.

5.1 Datenaufbereitung

Nach der in Kapitel 4 beschriebenen Datenerhebung wird in diesem Abschnitt nun auf die Aufbereitung der erhobenen Daten eingegangen. Dabei gilt es, nicht nur die gemessenen Immissionswerte, sondern auch die Daten der Seitenradarmessungen und die Geschwindigkeitsdaten aus den GPS-Messfahrten für die folgenden Analysen aufzubereiten. Zudem wird erläutert, dass die Verkehrszählungen mittels Seitenradars nicht für die weiteren Analysen verwendet werden können, sodass Verkehrsdaten für den Untersuchungsbereich von der Stadt Graz angefordert und aufbereitet werden mussten. Überdies wird die Ermittlung des Schwerverkehrsanteils für die Berechnung des Emissionserschallpegels und die im Rahmen eines anderen am Institut für Straßen- und Verkehrswesen durchgeführten Forschungsprojekts untersuchte Koordinierungsqualität im Bereich der Wiener Straße erläutert. Nach der Darstellung unterschiedlicher Auswertungsintervalle und deren Eignung für die nachfolgenden Analysen wird der Immissionserschallpegel für den Untersuchungsbereich berechnet (siehe Abb. 39).

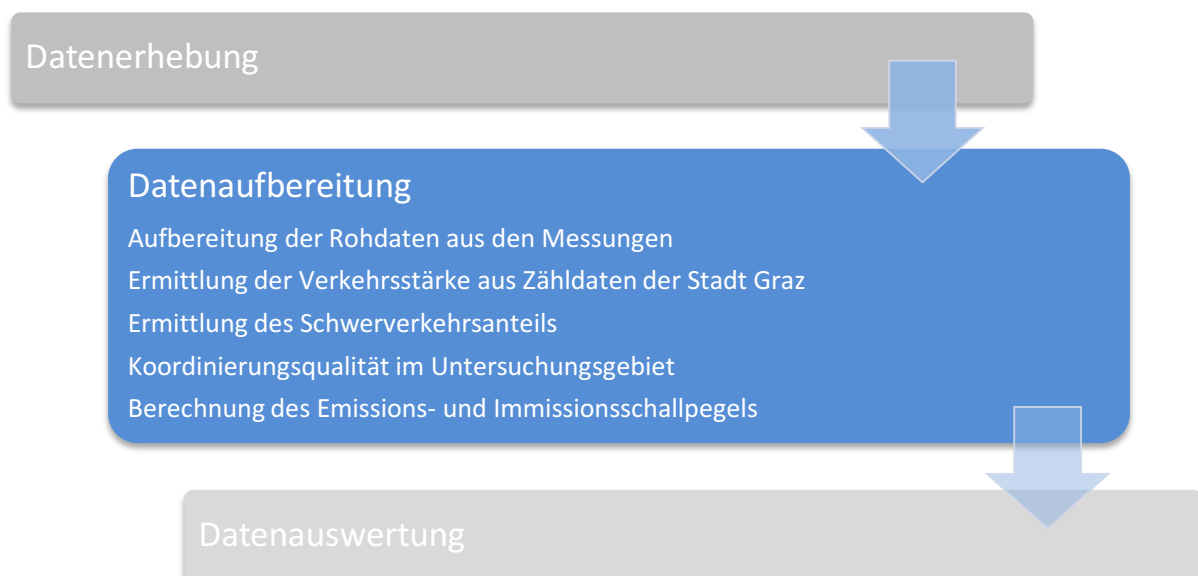


Abbildung 39: Übersicht der Bearbeitungsschritte – Datenaufbereitung

5.1.1 Lärmmessungen

Die Lärmmessungen wurden, wie in Kapitel 4 beschrieben, an den relevanten Messpunkten entlang der Wiener Straße durchgeführt. Anschließend erfolgte mit dem Software-Paket SAMURAI eine Konvertierung der Rohdatensätze in ein Excel-File, um damit weitere Auswertungen durchführen zu können. Ausreißer beziehungsweise Störgeräusche, wie sie etwa durch die Sirene von Einsatzfahrzeugen verursacht werden, wurden während der Messung im Messbericht vermerkt und im Anschluss an die Konvertierung entfernt. Pro Messpunkt entstand so ein Excel-File mit rund 86.000 Messwerten des Immissionschalls [dB(A)], die in einem Intervall von 0,125 Sekunden aufgezeichnet wurden.

5.1.2 Seitenradarmessungen

Parallel zu den Lärmmessungen wurden jeweils zwischen zwei Messpunkten zur Ermittlung der verkehrsbezogenen Parameter, wie Geschwindigkeit, Verkehrsstärke und Fahrzeugkategorie (Kat.1 – Einspurige; Kat.2 – Pkw; Kat.3 – Lkw; Kat.4 – schwerer Lkw) Seitenradarmessungen durchgeführt.

Trotz exakter Ausrichtung des Seitenradars, welche mittels eines großen Winkels parallel zur Gehsteigkante überprüft wurde, wurde nach jeder Messung deutlicher, dass das Seitenradar für eine genaue Erfassung der Fahrzeuglängen und für den Abstand zwischen den Fahrzeugen an einer zweispurigen Hauptverkehrsstraße im Abendverkehr an seine Grenzen stößt.

Bei Haltevorgängen an Lichtsignalanlagen, bei Rückstau oder erhöhtem Verkehrsaufkommen traten große Überschneidungsbereiche und zu wenige Lücken für eine erfassbare Trennung der Fahrzeuge auf. So wurden zum Beispiel bei Halte- oder Anfahrtsvorgängen fiktive Fahrzeuglängen von bis zu 25,5m (Maximum des SR) der Kategorie 4 ermittelt, obwohl es sich tatsächlich um mehrere Pkws auf beiden Fahrstreifen handelte (siehe dazu Abb. 40).

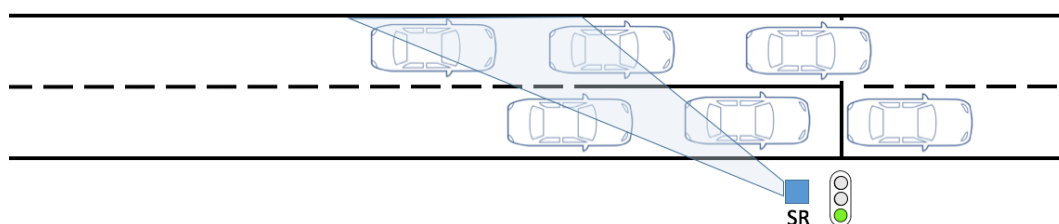


Abbildung 40: Problem mit Seitenradar bei mehrstreifigen Fahrbahnen

Bei der späteren Auswertung der Daten des Seitenradars hinsichtlich der Anzahl der Pkws und Lkws, die für die Berechnung des Immissionschallpegels notwendig ist, ergab sich ein Schwerverkehrsanteil von bis zu 22%, welcher auch aufgrund der persönlichen Beobachtungen als nicht realistisch angenommen werden konnte. Somit lag nahe, dass diese Werte für die weitere Auswertung nicht herangezogen werden konnten.

In weiterer Folge wurden daher Detektorwerte von der Stadt Graz angefordert, worauf in Kapitel 5.1.4 näher eingegangen wird.

Die Geschwindigkeit der Fahrzeuge und deren mittlere Geschwindigkeit konnte hingegen problemlos mit dem Seitenradar bestimmt werden, da die Fahrzeuge im Verband annähernd die gleiche Geschwindigkeit auf beiden Fahrstreifen aufwiesen.

5.1.3 Geschwindigkeits-Trajektorien aus GPS-unterstützter Fahrzeugerfassung

Für die Auswertung der Geschwindigkeits-Trajektorien wurden die Streckendaten der GPS-Logger mittels Software überarbeitet und in ein Excel-File, das die Geschwindigkeiten und Position der einzelnen Fahrzeuge auf einer Zeitachse darstellt, übertragen.

5.1.4 Zähldaten der Stadt Graz

Da – wie zuvor beschrieben – die Messdaten aus dem Verkehrserfassungsgerät unzureichend für die spätere Berechnung des Immissionsschalls waren, wurden nach Durchführung der Messungen die Verkehrsdaten der zu Verfügung stehenden Detektoren im Untersuchungsgebiet 30 (siehe dazu Abbildung 41) von der Stadt Graz für die jeweiligen Messstage angefordert.

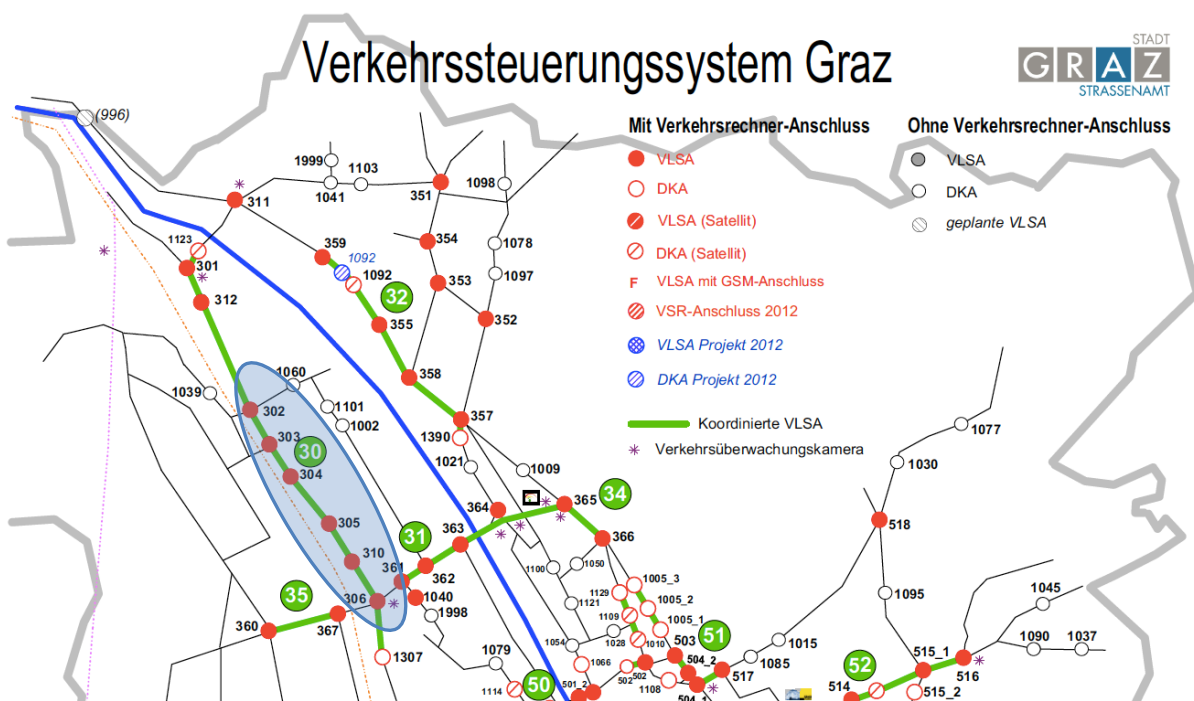


Abbildung 41: Verkehrssteuerungssystem Graz⁴⁴

Da es im Bereich der VLSA 303 und 302, also im Bereich der 14 Messpunkte, keinen Detektor auf den beiden Hauptspuren der Wiener Straße in Fahrtrichtung Norden gibt (siehe Abb. 41), musste die Verkehrsstärke in diesem Bereich für die jeweiligen Messpunkte vor und nach der VLSA 303 sowie nach der VLSA 302 separat berechnet werden. Um auf die benötigte Anzahl an Kfz in diesen Bereichen zu kommen, wurde zuerst die Anzahl der einfahrenden Kfz in die Wiener Straße in Fahrtrichtung Norden, die durch die Detektoren 306.11A und 306.12A im Kreuzungsbereich Bahnhofgürtel – Kalvariengürtel erfasst wird, herangezogen. In weiterer Folge wurden die Zu- und

⁴⁴ Vgl. [Stadt Graz, 2012]

Abfahrten, durch die, an den Detektoren 310 (Hirtenklostersiedlung), 304 (Schippingerstraße), 303 (Ibererstraße) und 302 (Exerzierplatzstraße), erfassten Fahrzeuge und durch Miteinbeziehung der prozentuellen Abbiegevorgänge aus den Knotenstromzählungen von Schaffenberger und Winkler [2016] bestimmt.

In der nachfolgenden Abbildung sind die für die Ermittlung der Verkehrsstärke im Untersuchungsgebiet relevanten und zur Verfügung stehenden Zählstellen im Bereich der Wiener Straße zwischen VLSA 306 und VLSA 302 eingezeichnet.

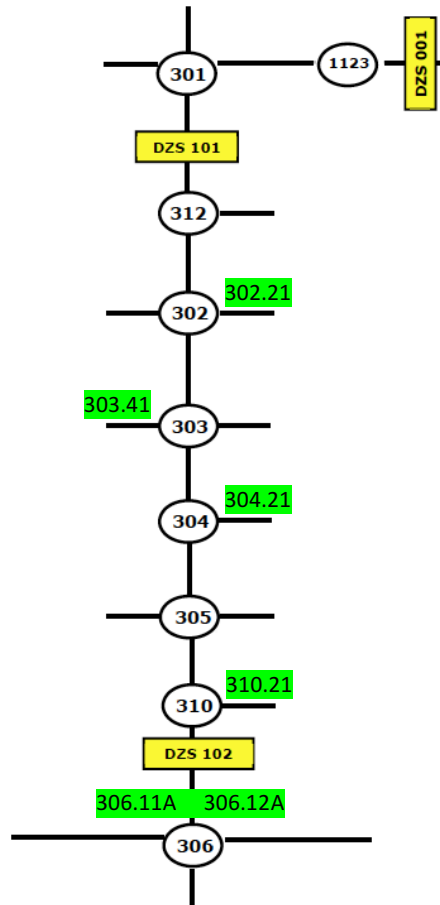


Abbildung 42: Dauerzählstellen in der Wiener Straße⁴⁵

Da die Detektoren nur Kfz erfassen und nicht zwischen Pkw und Lkw unterscheiden, eine solche Trennung für die Berechnung aber notwendig ist, wurde im nächsten Schritt die Anzahl der Lkws mittels Schwerverkehrsanteils (SV-Anteil) berechnet (siehe sogleich).

5.1.5 Schwerverkehrsanteil

Den Schwerverkehrsanteil zu kennen, ist für die Berechnung des Emissionsschalls und in weiterer Folge des Immissionsschalls unerlässlich. Aus den Seitenradarmessungen und Aufzeichnungen der Detektoren der Stadt Graz konnte aber, wie bereits erwähnt, kein Schwerverkehrsanteil für das

⁴⁵ Vgl. [Stadt Graz, 2012]

Untersuchungsgebiet gewonnen werden. Daher wurde für die anschließende Berechnung des Emissionsschalls auf eine Verkehrserhebung, die im Juni 2016 im für diese Arbeit relevanten Bereich der Wiener Straße durchgeführt wurde, zurückgegriffen. [vgl. Schaffenberger; Winkler, 2016]

Die Verkehrserhebung erfolgte 2016 im Zuge einer Bachelorarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz, in welcher die Knotenpunkte an den VLSA 302, 303 und 304 hinsichtlich der Aufteilung der Fahrstreifen analysiert und diese anschließend hinsichtlich der Verkehrsbelastung ausgewertet wurden. Wesentlich für die weitere Auswertung ist auch, dass die Verkehrszählungen, wie auch die Lärmmessungen in dieser Arbeit im Abendverkehr, insbesondere zu den abendlichen Spitzenzeiten zwischen 16:30 und 17:30 Uhr durchgeführt wurden.

Aus den in der Bachelorarbeit durchgeführten Verkehrszählungen ergaben sich folgende Schwerverkehrsanteile, die in der nachfolgenden Tabelle dargestellt werden.

Tabelle 17: Schwerverkehrsanteil an Knotenpunkten⁴⁶

Knotenpunkt	VLSA 302	VLSA 303	VLSA 304
Schwerverkehrsanteil Abendspitze	2,49 %	2,40 %	2,92 %

Für die Berechnung des Immissionsschalls nach RVS 04.02.11 [2009] wurde der Mittelwert aus den Schwerverkehrsanteilen, also 2,60 %, angenommen.

5.1.6 Koordinierungsqualität

Da es sich bei dem Untersuchungsgebiet um eine Hauptverkehrsstraße mit koordinierter Lichtsignalsteuerung handelt, ist die Kenntnis über die Koordinierungsqualität für die Interpretation der Lärmdaten als relevant anzusehen.

Parallel zu dieser Arbeit entstand eine Bachelorarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen an der TU Graz, die sich unter anderem mit der Erfassung und Beurteilung der Koordinierungsqualität entlang der Wiener Straße im Steuergelände SG 30 beschäftigte. [vgl. Eder; Theurl, 2017]

Die dabei durchgeführten Messfahrten mit GPS-Datenrecording und die Protokollierung von Halteursachen während der Messfahrten dienen als Basis, um mit geeigneten verkehrstechnischen Analysen eine Aussage über die Koordinierungsqualität beziehungsweise das Koordinierungsmaß treffen zu können.

Tabelle 18 zeigt eine Bewertungstabelle der Koordinierung der Wiener Straße nordwärts für die Berechnung des Koordinierungsmaßes. Es ist zu erkennen, dass die Halteursachen vor den ersten VLSA 1307 und 306 ausgegraut sind, da es hier noch zu keiner Koordinierung kommt, weshalb diese Haltevorgänge nicht in der Bewertung berücksichtigt wurden. Um die Koordinierung zu bewerten, wurden Durchfahrtsvorgänge (D) beziehungsweise Haltevorgänge (H1 – zu späte Ankunft; H2 – zu frühe Ankunft; H3 – Rückstau bei Grün sowie H4 – Zufahrt Überlastet) für jede der durchgeführten Messfahrten eingetragen. [vgl. Eder; Theurl, 2017]

⁴⁶ Vgl. [Schaffenberger; Winkler, 2016]

Tabelle 18: Bewertungstabelle der Koordinierung entlang der Wiener Straße⁴⁷

Wiener Straße (Steuerungsgebiet 30)															
Nachmittagsprogramm / Fahrtrichtung: VLSA 1307 → VLSA 301															
Messfahrt Nr.	Steuerungsgebiet und Knotenpunkt (VLSA Nr.)									$\sum D_{MF}$	k_{MF} [%]	QSV _{MF}	Startzeit Messfahrt	mittlere Geschwindigkeit	Verkehrsstärke [Kfz/15min]
	SG 30														
	1307	306	310	305	304	303	302	312	301						
1	D	H2	D	D	D	H2	H3	D	D	5	71	D	15:14:57	34.15	1176
2	D	H2	D	D	D	D	D	D	D	7	100	A	15:31:31	49.82	1222
3	D	D	D	D	D	H1	H2	D	D	5	71	D	15:47:03	36.39	1170
4	D	H1	D	D	D	D	H4	D	H2	5	71	D	16:02:25	33.93	1153
5	D	H2	D	D	D	D	D	D	H1	6	86	B	16:20:19	36.34	1344
6	H1	H4	D	D	H4	D	H4	D	D	5	71	D	16:37:25	26.42	1403
7	D	H1	D	D	D	H3	H3	D	D	5	71	D	16:55:28	24.46	1484
8	D	H2	D	D	H3	H4	H3	D	D	4	57	E	17:23:37	26.69	1455
9	D	D	D	D	D	D	D	D	D	7	100	A	17:40:18	37.06	1246
10	D	D	D	H1	D	D	D	D	D	6	86	B	17:55:19	35.40	1182
$\sum D_{VLSA}$	9	3	10	9	8	6	4	10	8						
k_{VLSA} [%]	90	30	100	90	80	60	40	100	80				Mittelwert		1283
QSV _{VLSA}	B	F	A	B	C	E	F	A	C				adj.R ²		0.76
Auffälligkeit*						•	•								
k_{SG} [%]	79												[Kfz/h]		1283
QSV _{SG}	C														

⁴⁷ [vgl. Eder; Theurl, 2017]

Die Auswertung der insgesamt 81 durchgeführten Messfahrten zeigte ein ernüchterndes Ergebnis der Koordinierung entlang der Wiener Straße zwischen den VLSA 1307 bis 301 (siehe dazu Tabelle 19).

Tabelle 19: Beurteilung der Koordinierungsqualität⁴⁸

Tage	VLSA 1307 – 301 nordwärts	VLSA 301 – 1307 südwärts
27.03.2017	C (76%)	C (83%)
28.03.2017	C (83%)	B (86%)
29.03.2017	C (79%)	C (78%)
30.03.2017	D (71%)	C (78%)

Wesentlicher für diese Masterarbeit ist in weiterer Folge das Ergebnis der Koordinierungsqualität im Untersuchungsgebiet zwischen VLSA 303 und 302. In diesem Kernbereich der Wiener Straße fällt die Koordinierungsqualität mit E (58%) an VLSA 303 mangelhaft und F (37%) an VLSA 302 mit ungenügend am schlechtesten aus. Die Haupthalteursachen stellen dabei Rotphasen an einer VLSA durch zu späte Ankunft und Rückstau bei Grünphasen dar. Dabei wurde ein Halt als solcher erfasst, wenn die Stillstandszeit länger als zwei Sekunden andauerte oder die Geschwindigkeit 3 km/h unterschritt. [siehe dazu Eder; Theurl, 2017]

Aus diesen Bewertungen geht hervor, dass es durch die geringe Anzahl an Durchfahrten im Bereich der VLSA 303 und 302 häufig zu Problemen im Abendverkehr kommt. Daraus kann man auf einen Optimierungsbedarf bei der Koordinierung dieser VLSA im Zeitraum von 15:00 bis 18:00 Uhr schließen. Um den Optimierungsbedarf jedoch genauer definieren zu können, wären weitere Fahrten über längere Zeiträume erforderlich. [Eder; Theurl, 2017]

5.1.7 Auswertungsintervall

Da die Rohdatensätze des gemessenen Immissionsschalls, der Zählraten der Stadt Graz und der Geschwindigkeitsmessungen sehr groß und mit unterschiedlichen Zeitintervallen aufgezeichnet wurden, mussten diese für die Auswertung in ein einheitliches Intervall gebracht („aggregiert“) werden. Aggregation ist die Zusammenfassung mehrerer als homogen definierter Einzelgrößen zu einer Gesamtgröße, um einen Gesamtüberblick zu gewinnen. Sie stellt den Übergang von enger definierten zu umfassender definierten Variablen (Variablenaggregation) oder Übergang von Kenngrößen für enger abgegrenzte (Teil-)Gesamtheiten zu Kenngrößen, die sich auf umfassende Gesamtheiten beziehen (Sektorenaggregation) dar. Ein Beispiel für eine Variablenaggregation wäre der Übergang von Vierteljahreswerten zu Jahreswerten (zeitliche Aggregation). [Gabler Wirtschaftslexikon, 2017]

⁴⁸ Vgl. [Eder; Theurl, 2017]

Die drei Parameter gemessener Immissionsschall, Zählraten der Stadt Graz und Geschwindigkeitsmessungen wurden beispielhaft für Messpunkt 13 herangezogen und für einen ersten Vergleich in einem Intervall von 5, 15 und 30 Minuten gemittelt und grafisch dargestellt. Diese Intervallauswertungen sind in den Abbildungen 43 bis 45 ersichtlich.

Im Vergleich zu den Auswertungen im 15- und 5-Minuten-Intervall zeigt sich, dass es in einem Intervall von 30 Minuten aufgrund der zu großen Aggregation nicht mehr möglich ist, einzelne Zusammenhänge exakt herauslesen zu können. Daher wurde dieses Intervall für die weitere Bearbeitung nicht als geeignet angesehen.

Eine Auswertung in 15-Minuten-Intervallen lässt die Zusammenhänge schon erheblich besser erkennen. Um die Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit, Verkehrsstärke und gemessenem Immissionsschall noch genauer darzustellen, ist das 5-Minuten-Intervall am besten geeignet. Des Weiteren stehen für eine spätere Regressionsanalyse dreimal mehr Daten als bei 15-Minuten-Intervallen zur Verfügung. Aus den genannten Gründen wird das Hauptaugenmerk bei der Auswertung auf 5-Minuten-Intervalle gelegt. Bei der Analyse einzelner Messpunkte wird jedoch auch eine 15-Minuten-Intervallauswertung als Vergleich dargestellt (siehe dazu Abschnitt 5.2.5).

1-Minuten-Auswertungen wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht vorgenommen, da die dadurch entstehende Menge an Datensätzen keine übersichtliche visuelle Auswertung mehr ermöglicht hätte (z.B. wären 180 Streckenauswertungen vorzunehmen gewesen).

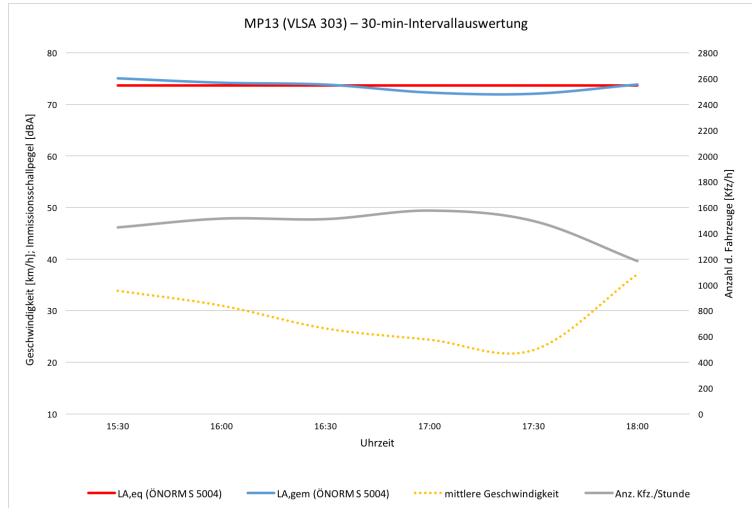


Abbildung 43: Exemplarische 30-Minuten-Intervallauswertung MP13

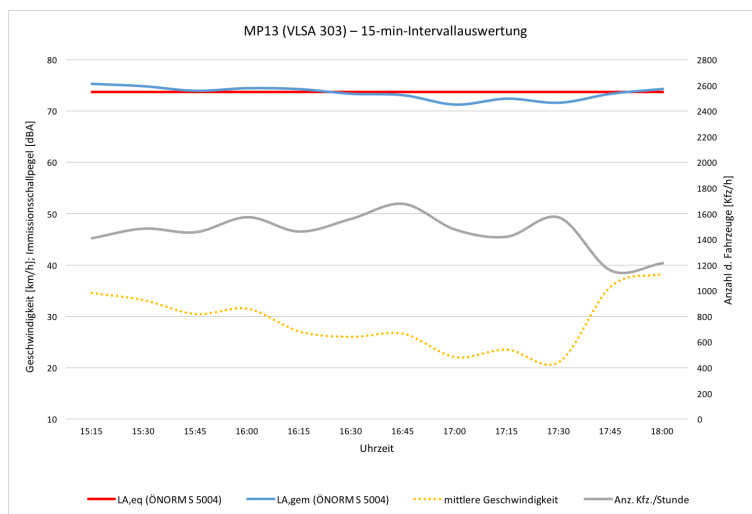


Abbildung 44: Exemplarische 15-Minuten-Intervallauswertung MP13

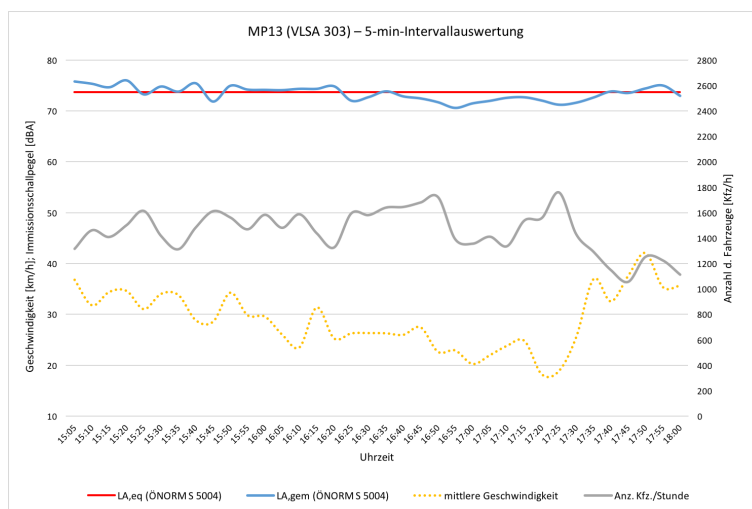


Abbildung 45: Exemplarische 5-Minuten-Intervallauswertung MP13

5.1.8 Immissionsschallpegel-Berechnung

In Abschnitt 3.3 sowie 3.4 wurde bereits auf die rechnerische Ermittlung des Emissions- und Immissionsschallpegel nach RVS 04.02.11 [2009] eingegangen. Für die Berechnung wurde ein automatisiertes Lärmberechnungstool in Microsoft Excel erstellt. Über zwei manuelle Eingabemasken ist es damit möglich, zuerst den Emissionsschallpegel und im Anschluss den Immissionsschallpegel automatisch berechnen zu lassen.

Tabelle 20: Eingabemaske Emission- u. Immissionsschallpegel

Eingabemaske	
Emission	
Fahrbahndecke	Asphaltbeton
Längsneigung (Einfluss bei PKW)	≤ 8
Neigungsverhältnis (Einfluss bei PKW)	Steigung
Längsneigung (Einfluss bei LKW)	≤ 2
Neigungsverhältnis (Einfluss bei LKW)	Steigung
Schwerverkehrsanteil (in %)	2,6
Anteil leichte LKW (in %)	60
Anteil schwere LKW (in %)	40
Anteil lärmarme leichte LKW (in %)	50
Anteil lärmarme schwere LKW (in %)	90
Immission	
Abstand von Emission-/Immissionsort (d in m)	7,5
Höhe des Immissionsortes (h _i in m)	1,5
wirksamer Winkelsektor (∠ in °)	143,0
Anzahl der Bewuchsgruppen von je 50m Tiefe	0
Länge des Ausbreitungsweges (r _{st} in m)	0

- Asphaltbeton
- Offenporiger Asphalt
- Lärmindernder Splittmastixasphalt 2)
- Splittmastixasphalt
- Waschbeton
- Lärmindernder Waschbeton 3)

Tabelle 20 zeigt die erste Eingabemaske im Lärmberechnungstool, in der alle relevanten Werte zur Berechnung mittels Dropdown ausgewählt bzw. verkehrsbezogene Parameter eingegeben werden können. Die fahrbahnbezogenen Auswahlmöglichkeiten für die Fahrbahndecke sowie Längsneigungen und Neigungsverhältnisse wurden der RVS 04.02.11 [2009] entnommen (siehe Tabellen 7, 8 und 10). Der Schwerverkehrsanteil wird nach Kenntnis der örtlichen Verkehrszusammensetzung eingegeben. Da keine Daten über leichte, schwere und lärmarme Fahrzeuge vorlagen und diese für die Messungen auch nicht ermittelt werden konnten, wurde der Anteil für leichte und schwere Lkws sowie für lärmarme Fahrzeuge aus RVS 04.02.11 [2009] entnommen.

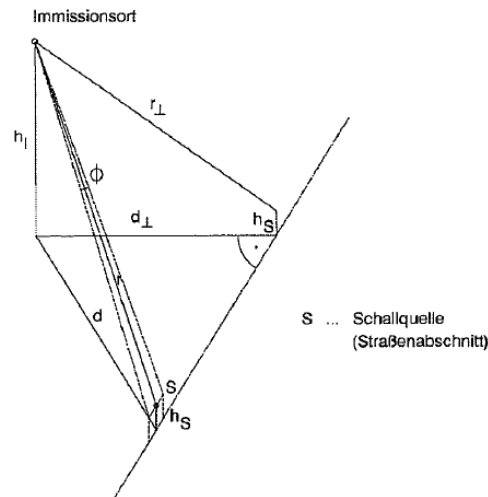


Abbildung 46: Zur Schallausbreitung verwendete Bezeichnungen⁴⁹

Für die Immissionsberechnung richtete sich die Höhe des Immissionsortes mit 1,5m nach der Vorgabe in ÖNORM S 5004 [2008]. Der wirksame Winkelsektor ergibt sich aus der Topografie der langen geraden Straße. Bewuchsgruppen sowie Streuungen und Abschirmungen, wie es sie in locker bebauten Siedlungen oder Industriegebieten gibt, sind im Untersuchungsgebiet nicht vorhanden.

Die RVS 04.02.11 [2009] definiert die für die Berechnung maßgebende Emissionslinie (Schallquelle) mit 0,5m über der Mitte der beiden äußeren Fahrstreifen (der Hauptfahrbahn) bzw. der Mitte der Fahrbahn (bei Straßen mit maximal zwei Fahrstreifen). Die nachfolgende Abbildung 47 stellt diesbezüglich einen Exkurs dar, welchen Einfluss eine unterschiedliche Wahl des Abstandes an einer zweispurigen Straße auf den berechneten Immissionsschallpegel hat.

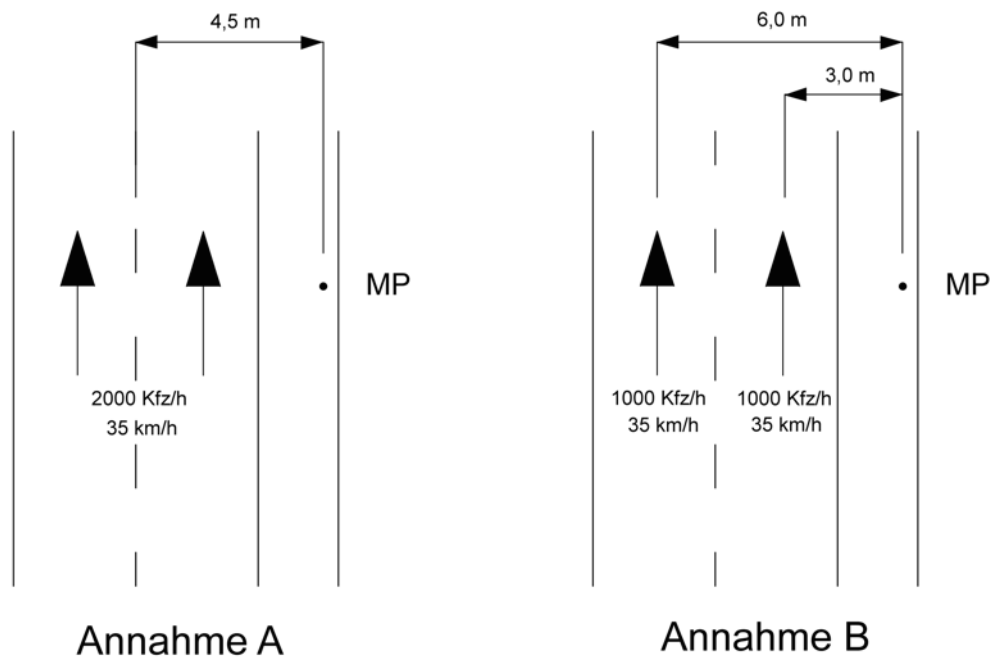


Abbildung 47: Annahmen für Abstandsanalyse

⁴⁹ Vgl. [FSV, 2009]

Wie auch bei der Immissionsschallpegel-Berechnung werden in Annahme A beide Fahrstreifen auf einen gemeinsamen reduziert und der Abstand zur Fahrtrichtungsmitte herangezogen. Annahme B betrachtet beide Fahrstreifen getrennt, dabei bezieht sich der Abstand auf die Mitte jedes einzelnen Fahrstreifens. Für die Berechnung wurden pro Fahrstreifen 1000 Kfz/h (nur Pkw) mit einer mittleren Geschwindigkeit von 35 km/h angenommen.

Aus den zuvor beschriebenen Annahmen wird für Annahme A (2000 Kfz/h – 35 km/h – 4,5 m Abstand) Anhand der Berechnung nach RVS 04.02.11 (siehe Formel 15) ein Immissionsschallpegel von 70,1 dB berechnet.

Für Annahme B (1000 Kfz/h – 35 km/h – 3,0 m und 6,0 m Abstand) errechnet sich ein Immissionsschallpegel für den ersten Fahrstreifen von 68,8 dB und für den zweiten Fahrstreifen von 65,8 dB. Addiert man diese zwei Schallpegel, so ergibt sich für die getrennte Betrachtung der Fahrstreifen ein gesamter Immissionsschallpegel von 69,8 dB.

Tabelle 21: Ergebnisse der Abstandsanalyse

	Annahme A	Annahme B
Pegel - Fahrstreifen 1	70,1 dB	68,8 dB
Pegel - Fahrstreifen 2		65,8 dB
Gesamter Immissionsschallpegel	70,1 dB	69,8 dB

Somit ergibt sich durch die unterschiedliche Herangehensweise ein Unterschied von 0,3 dB. Berücksichtigt man, dass ein Unterschied von 1 dB kaum wahrnehmbar ist [FSV, 2007], so zeigt dieser Vergleich, dass es durchaus möglich ist, für eine einfachere Berechnung zwei Fahrstreifen als einen zu betrachten.

In die zweite Eingabemaske werden die bekannten oder ermittelten Verkehrsdaten, wie Anzahl der Fahrzeuge und mittlere Geschwindigkeit, für jeden Messpunkt eingegeben (siehe dazu exemplarisch für MP14 Tabelle 22).

Tabelle 22: Exemplarische Eingabemasken der Verkehrsdaten

Uhrzeit	MP14		Uhrzeit	MP14	
	Anzahl Fahrzeuge [Kfz/h]	mittlere Geschwindigkeit [km/h]		Anzahl Fahrzeuge [Kfz/h]	mittlere Geschwindigkeit [km/h]
15:05	1316	36,8	15:15	1409	34,6
15:10	1462	31,8	15:30	1483	33,2
15:15	1409	34,4	15:45	1455	30,5
15:20	1502	34,2	16:00	1572	31,5
15:25	1614	31,0	16:15	1460	27,1
15:30	1417	34,0	16:30	1559	26,0
15:35	1313	33,8	16:45	1675	26,7
15:40	1484	28,9	17:00	1475	22,1
15:45	1612	28,6	17:15	1421	23,6
15:50	1563	34,3	17:30	1569	21,2
15:55	1470	29,8	17:45	1157	35,9
16:00	1584	29,6	18:00	1215	38,3
16:05	1481	26,0			
16:10	1588	23,5			
16:15	1437	31,4			
16:20	1327	25,3			
16:25	1596	26,3			
16:30	1582	26,3			
16:35	1641	26,3			
16:40	1646	26,1			
16:45	1681	27,5			
16:50	1724	22,7			
16:55	1391	22,9			
17:00	1356	20,3			
17:05	1411	22,0			
17:10	1337	23,9			
17:15	1539	24,8			
17:20	1558	18,3			
17:25	1760	18,9			
17:30	1429	25,6			
17:35	1292	37,0			
17:40	1148	32,6			
17:45	1056	37,6			
17:50	1253	42,1			
17:55	1225	35,0			
18:00	1113	36,1			

Aus den Eingangsgrößen in Tabelle 22 für den MP14 ist, wenn man die Anzahl der Fahrzeuge und die mittleren Geschwindigkeiten im rot unterlegten Bereich von 16:55 bis 17:15 bzw. 17:00 bis 17:15 betrachtet, ein Rückgang der Verkehrsstärke und der Geschwindigkeit erkennbar. Dies ist auf eine Überlastung (Kapazitätspunkt wurde erreicht – trotz geringerer Anzahl an Fahrzeugen ist die Geschwindigkeit gering) zurückzuführen. Aufgrund dessen können weniger Fahrzeuge die Messpunkte pro Zeitintervall passieren. Dieses Verhalten spiegelt sich in ähnlichem Ausmaß an den übrigen Messpunkten wider.

Nach Auswahl der Parameter und Eingabe der Werte wird der Emissions- und Immissionsschallpegel automatisch berechnet und im Ausgabefeld im 5- sowie 15-Minuten-Intervall angezeigt (siehe Tabelle 23 – Beispiel für MP14).

Tabelle 23: Ausgabe Emissions- ($L_{A,eq}^1$) und Immissionserschallpegel ($L_{A,eq}$)

Uhrzeit	MP14		Uhrzeit	MP14	
	$L_{A,eq}^1$	$L_{A,eq}$		$L_{A,eq}^1$	$L_{A,eq}$
	[dB]	[dB]		[dB]	[dB]
15:05	78,08	67,94	15:15	77,88	67,74
15:10	77,37	67,24	15:30	77,78	67,64
15:15	77,85	67,71	15:45	77,02	66,88
15:20	78,08	67,95	16:00	77,62	67,48
15:25	77,61	67,47	16:15	76,11	65,97
15:30	77,78	67,64	16:30	76,09	65,95
15:35	77,40	67,26	16:45	76,58	66,44
15:40	76,68	66,54	17:00	74,59	64,45
15:45	76,95	66,81	17:15	74,91	64,77
15:50	78,26	68,12	17:30	74,52	64,38
15:55	76,89	66,75	17:45	77,33	67,19
16:00	77,15	67,01	18:00	78,07	67,93
16:05	75,86	65,72			
16:10	75,39	65,25			
16:15	77,20	67,06			
16:20	75,16	65,02			
16:25	76,27	66,13			
16:30	76,24	66,10			
16:35	76,39	66,25			
16:40	76,34	66,20			
16:45	76,83	66,69			
16:50	75,46	65,32			
16:55	74,61	64,48			
17:00	73,57	63,43			
17:05	74,36	64,22			
17:10	74,74	64,60			
17:15	75,65	65,51			
17:20	73,39	63,25			
17:25	74,18	64,04			
17:30	75,58	65,44			
17:35	78,04	67,90			
17:40	76,52	66,38			
17:45	77,30	67,16			
17:50	78,95	68,81			
17:55	77,36	67,22			
18:00	77,20	67,06			

Wie in Abschnitt 5.1.5 beschrieben, wurde für die Berechnung des Emissions- bzw. Immissionserschallpegels mangels eigener Daten ein Schwerverkehrsanteil von 2,6%, der im Rahmen eines Bachelorprojekts [Schaffenberger; Winkler, 2016] im Untersuchungsbereich mittels Verkehrszählungen ermittelt wurde, herangezogen. Um herauszufinden, wie sich der berechnete Immissionserschallpegel im Extremfall bei einer Verdopplung des Schwerverkehrsanteils auf 5,2% ändert, wurde eine Vergleichsberechnung durchgeführt. Diese ergab eine Erhöhung des Immissionserschallpegels von lediglich 0,68 dB. Selbst wenn also der für die vorliegenden Berechnungen herangezogene Schwerverkehrsanteil nicht zutreffend sein sollte, würde sich an den großen Abweichungen zwischen berechnetem und gemessenem Immissionserschallpegel (siehe dazu Abschnitte 5.2.1 bis 5.2.5) nichts ändern.

Alle weiteren Ergebnisse und Messdaten, die für die Auswertung herangezogen wurden, befinden sich tabellarisch im Anhang A2.

Mittels Sensitivitätsanalyse, mit welcher evaluiert werden kann, inwiefern sich Kennzahlen durch geringfügige Änderungen der Eingangsparameter verändern, soll in Abbildung 48 noch einmal auf den Einfluss des Abstandes bei der Berechnung des Immissionsschallpegels eingegangen werden. Dabei wurde der Abstand zwischen Emissions- und Immissionsort (als Beispiel an MP11) in Ein-Meter-Schritten zwischen 3,5 Meter und 7,5 Meter vergrößert.

Zur grafischen Darstellung der ersten Ergebnisse wird ein Boxplot gewählt. Damit lässt sich ein Eindruck vermitteln, in welchem Bereich die Daten liegen und wie sie sich über diesen Bereich verteilen. Hierfür kommt eine Fünf-Punkte-Zusammenfassung zur Anwendung, die den Median, die zwei Quartile und die beiden Extremwerte darstellt. Mittels Antennen, auch Whisker genannt, die außerhalb der Box liegen, werden das Minimum, also der kleinste Wert der Datenreihe, und das Maximum, der größte Wert der Datenreihe, dargestellt. Den Beginn der Box bildet das untere Quartil. 25 % der Datenwerte sind kleiner als oder gleich diesem Wert. Das obere Quartil bildet das Ende der Box. Die kleinsten 75 % der Werte sind kleiner als dieser Wert. Der Querstrich in der Box wird als Median bezeichnet. 50 % der Datenwerte entsprechen diesem Wert oder liegen darunter.

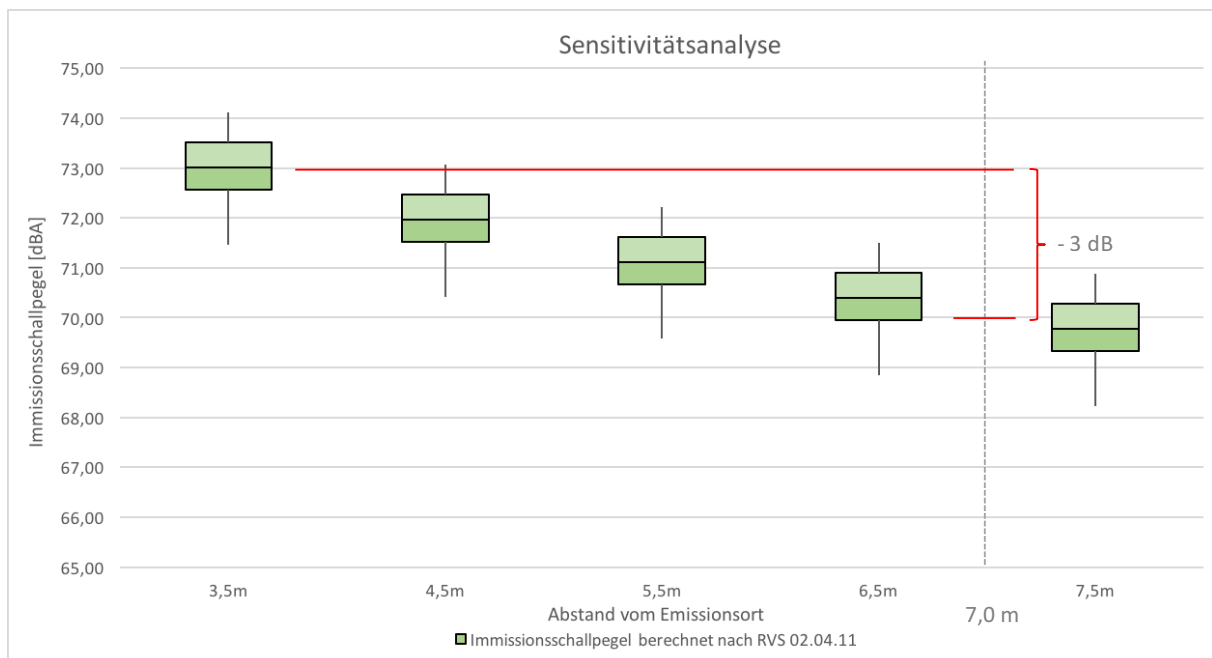


Abbildung 48: Sensitivitätsanalyse des Einflusses des Abstandes auf den Immissionsschallpegel

Wie in der Literatur zu Schallausbreitungen an Linienschallquellen (vgl. FSV, 2007; MVI BW, 2013) beschrieben, zeigt sich bei der Berechnung eine Abnahme des Immissionsschallpegels von 73 dB auf 70 dB um 3 dB bei Verdopplung des Abstandes von 3,5 m auf 7,0 m.

5.2 Darstellung und Auswertung der Ergebnisse

In diesem Abschnitt erfolgt nun, wie in Abbildung 49 ersichtlich, die Auswertung der erhobenen Daten, welche mit den nach RVS 04.02.11 berechneten Immissionsschallpegeln verglichen werden. In diesem Zusammenhang wird der gemessene Immissionsschallpegel nicht nur über den gesamten Streckenzug im 5- bzw. 15-Minutenintervall ausgewertet, sondern auch für jeden der 14 Messpunkte einzeln über die gesamte Messdauer betrachtet. Zudem wird die Differenz zwischen berechnetem und gemessenem Immissionsschallpegel an den einzelnen Messpunkten dargestellt. Im Rahmen einer linearen bzw. multiplen linearen Regressionsanalyse soll der Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke, Geschwindigkeit und Immissionsschallpegel untersucht werden. An VLSA 303 werden zudem einzelne Anfahrtsvorgänge von Pkws, Lkws und Motorrädern herausgegriffen und die Entwicklung des Immissionsschallpegels analysiert. Im letzten Abschnitt dieses Kapitels erfolgt eine Detailauswertung GPS-unterstützter Messfahrten und des gemessenen Immissionsschallpegels an VLSA 302, um die Korrelation zwischen Geschwindigkeits-Trajektorien und Immissionsschallpegel-Trajektorien beurteilen zu können.

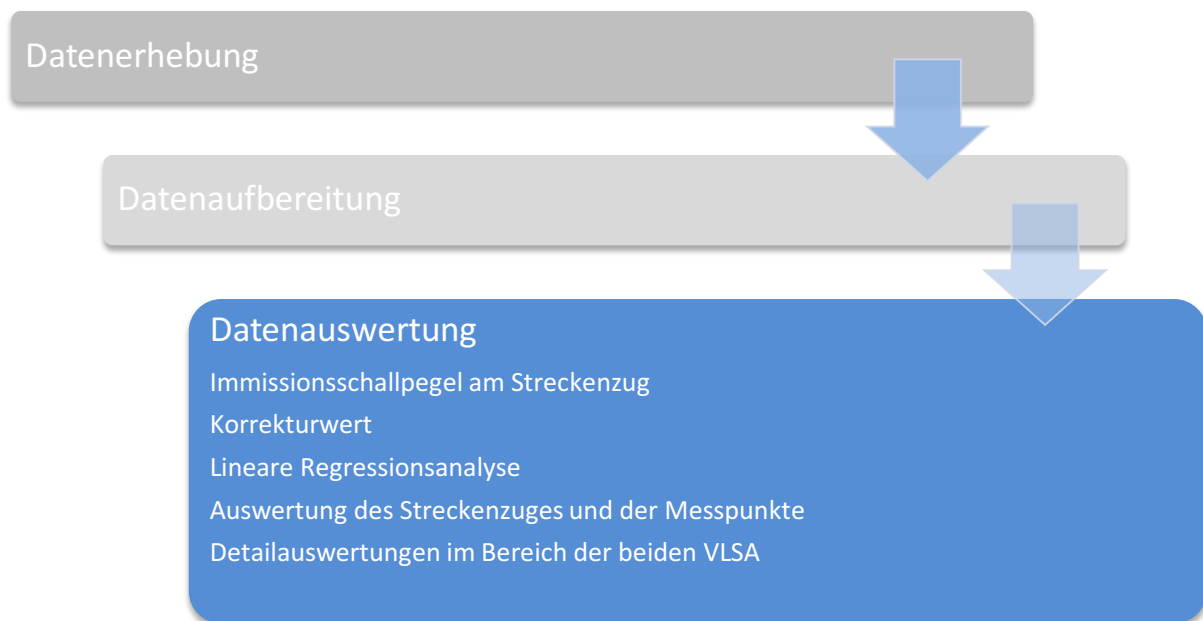


Abbildung 49: Übersicht der Bearbeitungsschritte – Datenauswertung

Mit nachfolgender Abbildung soll nochmals das Untersuchungsgebiet und der Standort der Messpunkte sowie die Lage der VLSA veranschaulicht werden.

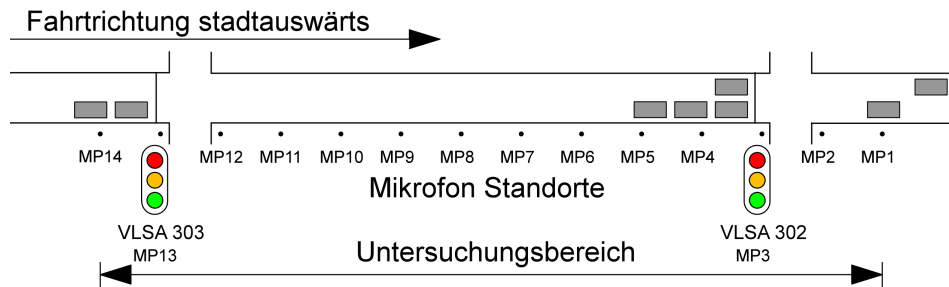


Abbildung 50: Darstellung des Untersuchungsbereichs

5.2.1 Auswertung des Immissionsschalls am Streckenzug

Im Folgenden werden die gemessenen und berechneten Immissionswerte an allen Messpunkten im Untersuchungsgebiet in einer 5- und 15-Minuten-Intervallauswertung miteinander verglichen. Während bei der 5-Minuten-Intervallauswertung 36 Werte zur Verfügung stehen, gibt es bei der 15-Minuten-Intervallauswertung nur 12 Werte, die dargestellt werden können.

Abbildungen 51 und Abbildung 52 zeigen Boxplots, in denen der an allen Messpunkten gemessene und für jeden Messpunkt berechnete Immissionsschallpegel im 5-Minuten- bzw. 15-Minuten-Intervall gegenüber gestellt wird.

Der Vergleich zwischen dem gemessenen und berechneten Immissionsschallpegel zeigt, dass es zwischen den realen Messwerten und den Ergebnissen aus der Berechnungsformel (Formel 15) nach RVS 04.02.11 [2009] an allen Messpunkten zu Abweichungen kommt. Dabei liegt stets der gemessene Immissionsschallpegel über dem berechneten. Vor allem in Bereichen vor und nach Lichtsignalanlagen sind deutliche Abweichungen ersichtlich.

Der Immissionsschallpegelmedian der gemessenen Werte im 5-Minutenintervall (Abb. 51) befindet sich im Bereich zwischen 68,4 dB an MP8 und 76,8 dB an MP1, bei den berechneten Immissionsschallpegeln liegen die Mediane hingegen lediglich im Bereich zwischen 66,8 dB an MP6 und 70,3 dB an MP1. Die größten Abweichungen zwischen berechnetem und gemessenem Immissionsschallpegelmedian treten an MP13 (7,1 dB), MP1 (6,5 dB), MP2 (6,3 dB) und MP 14 (5,5 dB) auf. Dies sind jene Messpunkte, die sich an der Lichtsignalanlage (MP13) oder in deren Einflussbereich davor (MP14) bzw. danach (MP2 und 1) befinden. Jene Messpunkte, die zwar nicht im Spitzenfeld der Abweichungen liegen, aber dennoch deutliche Unterschiede zum berechneten Immissionsschallpegel aufweisen, sind MP12 (3,6 dB), MP11 (3,7 dB), MP10 (2,6 dB), MP7 (2 dB), MP6 (3 dB), MP5 (4 dB), MP4 (2,4 dB) und MP3 (4,1 dB). Lediglich geringfügige Abweichungen sind an MP9 (1 dB) und MP8 (0,1 dB) feststellbar. Es zeigt sich also, dass die Ergebnisse aus der Berechnung den tatsächlich gemessenen Werten nur an zwei Messpunkten, die sich mittig auf der freien Strecke zwischen den beiden VLSA befinden (MP9 und MP8), nahekommen. So entsteht schon in der Anfangsphase der Analyse der Eindruck, dass die Berechnungsformel die realen Gegebenheiten im innerstädtischen Bereich nicht ausreichend widerspiegelt.

Bei der 15-Minutenauswertung (Abb. 52) liegen die Mediane der gemessenen Immissionsschallpegel zwischen 68,5 dB an MP8 und 77 dB an MP1; die Mediane der berechneten Immissionsschallpegel zwischen 66,4 dB an MP6 und 69,9 dB an MP1. Dies verdeutlicht, dass die Intervalllänge der Auswertung (5 bzw. 15 Minuten) einen Unterschied der Immissionsschallpegelmediane zwischen 0,1 und 0,4 dB zur Folge hat. Es ist erkennbar, dass die Boxplots aufgrund der stärkeren Aggregation und

somit kleineren Streuung bei der 15-Minuten-Intervallauswertung wesentlich kleiner ausfallen. In der 5-Minuten-Intervallauswertung tritt bei den berechneten Immissionsschallpegeln eine Streuung von 4–10%; bei den gemessenen Immissionsschallpegeln von 4–9% ein. In der 15-Minuten-Auswertung ist bei den berechneten Immissionsschallpegeln eine Streuung von 2–5%, bei den gemessenen Immissionsschallpegeln von 1-6% feststellbar. In den nachfolgenden Tabellen 24 und 25 sind die Werte für die Boxplot-Diagramme aus dem 5- und 15-Minutenintervall mit Minimum, 1. Quartil, Median, 3. Quartil und Maximum detailliert dargestellt.

In Abbildung 53 wird der Korrekturwert K_M nach RVS 04.02.11 [2009] dargestellt, welcher sich auf die Abweichungen zwischen gemessenem und berechnetem Immissionsschallpegel bezieht (siehe dazu Abschnitt 3.4).

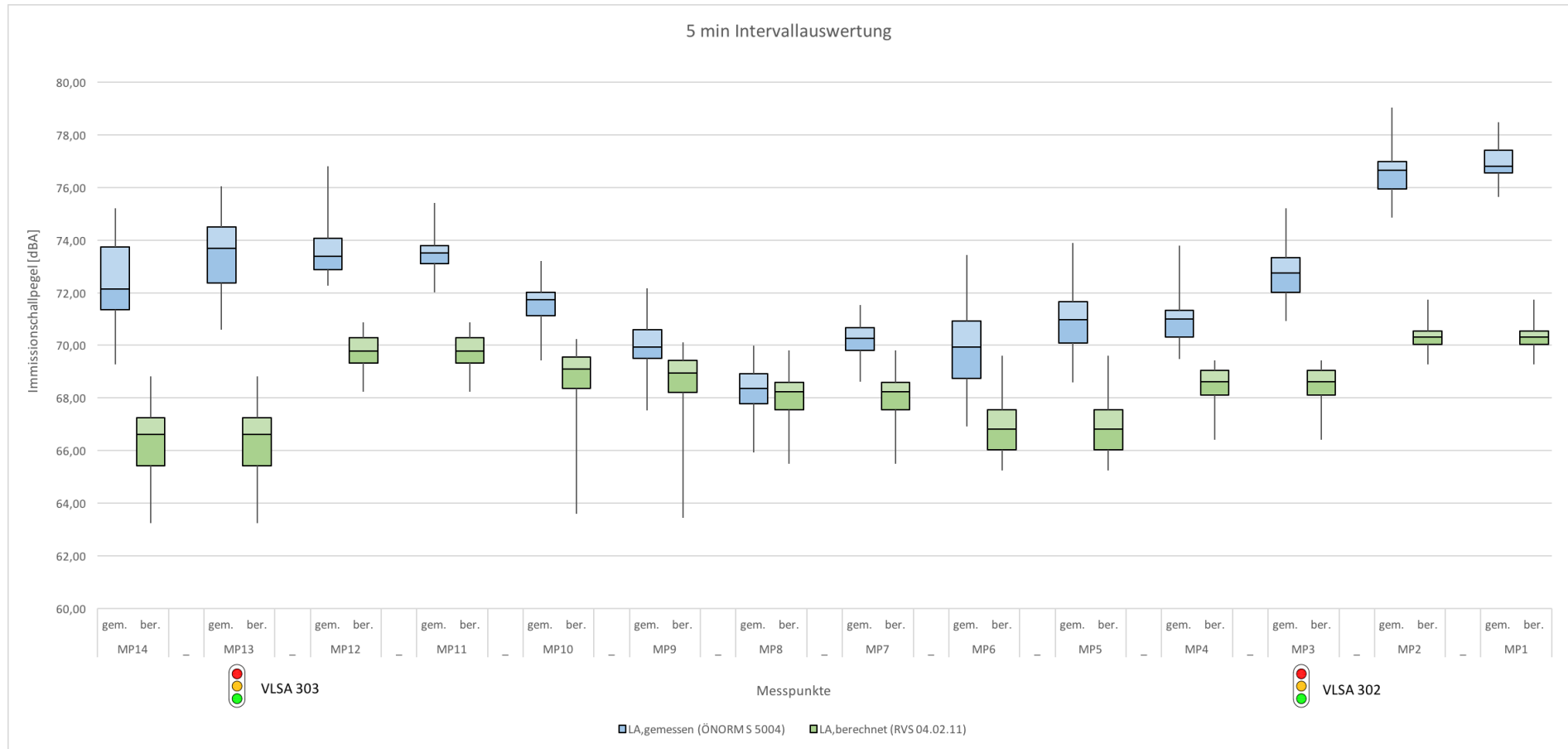


Abbildung 51: Boxplot Streckenauswertung – 5-Minuten-Intervall

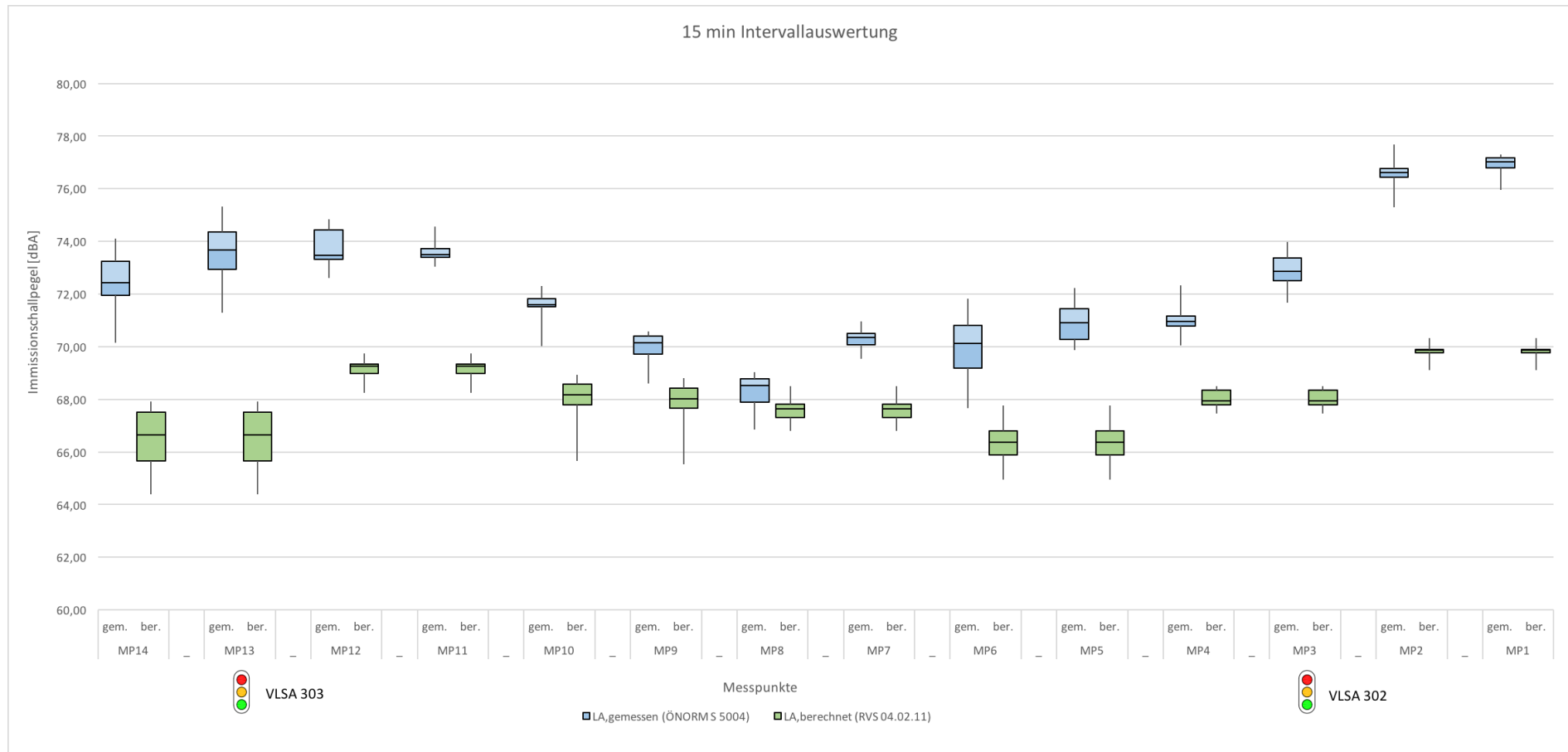


Abbildung 52: Boxplot Streckenauswertung – 15-Minuten-Intervall

Tabelle 24: Werte für Boxplot Streckenauswertung – 5-Minuten-Intervall

5min Intervall	MP14		MP13		MP12		MP11		MP10		MP9		MP8	
	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.
Minimalwert	69,3	63,2	70,6	63,2	72,3	68,2	72,0	68,2	69,4	63,6	67,5	63,4	65,9	65,5
Erstes Quartil	71,4	65,4	72,4	65,4	72,9	69,3	73,1	69,3	71,1	68,4	69,5	68,2	67,8	67,6
Medianwert	72,1	66,6	73,7	66,6	73,4	69,8	73,5	69,8	71,7	69,1	69,9	68,9	68,4	68,2
Drittes Quartil	73,7	67,2	74,5	67,2	74,1	70,3	73,8	70,3	72,0	69,6	70,6	69,4	68,9	68,6
Maximalwert	75,2	68,8	76,0	68,8	76,8	70,9	75,4	70,9	73,2	70,2	72,2	70,1	70,0	69,8

5min Intervall	MP7		MP6		MP5		MP4		MP3		MP2		MP1	
	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.
Minimalwert	68,6	65,5	66,9	65,3	68,6	65,3	69,5	66,4	70,9	66,4	74,9	69,3	75,6	69,3
Erstes Quartil	69,8	67,6	68,8	66,0	70,1	66,0	70,3	68,1	72,0	68,1	75,9	70,0	76,5	70,0
Medianwert	70,3	68,2	69,9	66,8	71,0	66,8	71,0	68,6	72,7	68,6	76,7	70,3	76,8	70,3
Drittes Quartil	70,7	68,6	70,9	67,5	71,7	67,5	71,3	69,0	73,3	69,0	77,0	70,5	77,4	70,5
Maximalwert	71,5	69,8	73,4	69,6	73,9	69,6	73,8	69,4	75,2	69,4	79,0	71,7	78,5	71,7

Tabelle 25: Werte für Boxplot Streckenauswertung – 15-Minuten-Intervall

15min Intervall	MP14		MP13		MP12		MP11		MP10		MP9		MP8	
	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.
Minimalwert	70,2	64,4	71,3	64,4	72,6	68,3	73,0	68,3	70,0	65,7	68,6	65,5	66,8	66,8
Erstes Quartil	71,9	65,7	72,9	65,7	73,3	69,0	73,4	69,0	71,5	67,8	69,7	67,7	67,9	67,3
Medianwert	72,4	66,7	73,7	66,7	73,5	69,3	73,5	69,3	71,6	68,2	70,1	68,0	68,5	67,6
Drittes Quartil	73,2	67,5	74,4	67,5	74,4	69,3	73,7	69,3	71,8	68,6	70,4	68,4	68,8	67,8
Maximalwert	74,1	67,9	75,3	67,9	74,8	69,7	74,6	69,7	72,3	68,9	70,6	68,8	69,0	68,5

15min Intervall	MP7		MP6		MP5		MP4		MP3		MP2		MP1	
	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.
Minimalwert	69,5	66,8	67,7	64,9	69,9	64,9	70,0	67,5	71,7	67,5	75,3	69,1	75,9	69,1
Erstes Quartil	70,1	67,3	69,2	65,9	70,3	65,9	70,8	67,8	72,5	67,8	76,4	69,8	76,8	69,8
Medianwert	70,4	67,6	70,1	66,4	70,9	66,4	70,9	67,9	72,9	67,9	76,6	69,9	77,0	69,9
Drittes Quartil	70,5	67,8	70,8	66,8	71,4	66,8	71,2	68,4	73,4	68,4	76,8	69,9	77,2	69,9
Maximalwert	71,0	68,5	71,8	67,8	72,2	67,8	72,3	68,5	74,0	68,5	77,7	70,3	77,3	70,3

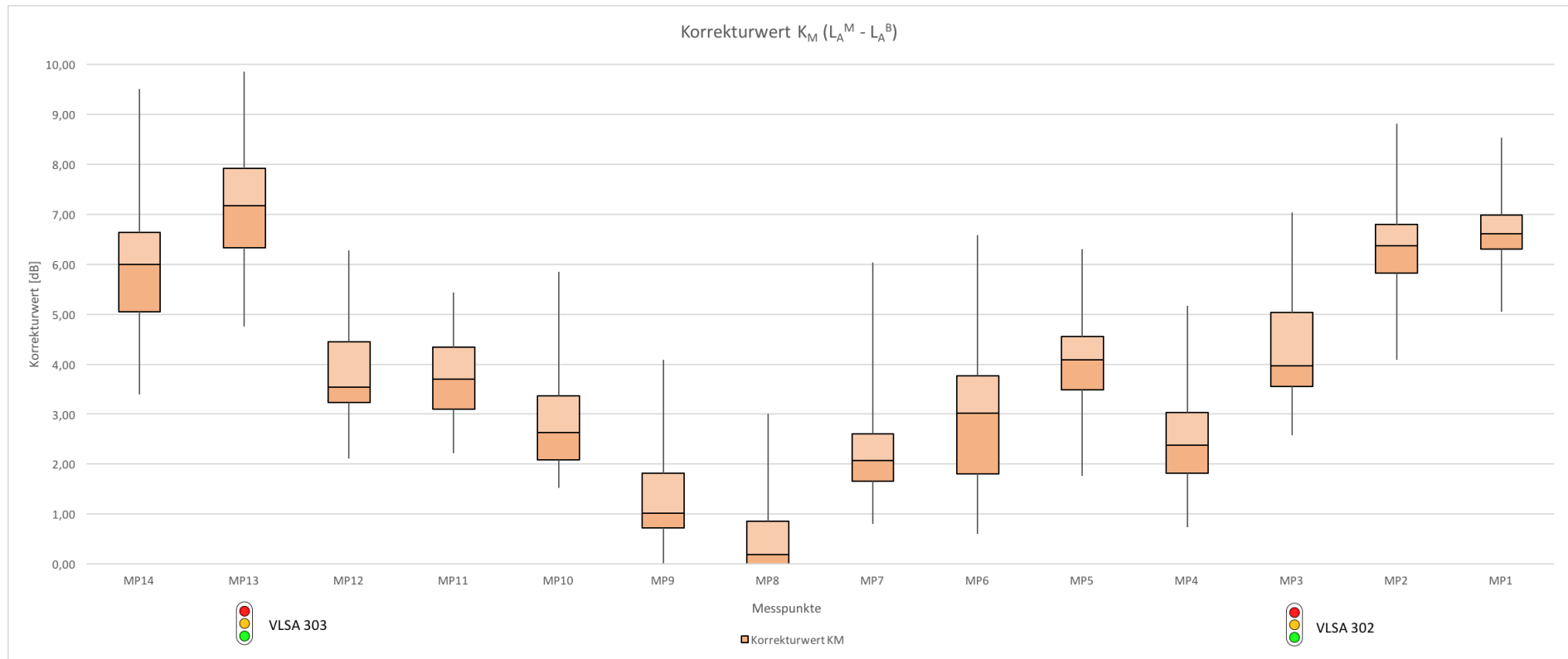


Abbildung 53: Korrekturwert für Streckenauswertung – 5-Minuten-Intervall

5.2.2 Analyse des Korrekturwertes

Der in Formel 14 beschriebene Korrekturwert K_M trägt den in der Berechnung nicht ausreichend berücksichtigten örtlichen Einflüssen Rechnung. Dabei sind die Ursachen von Abweichungen größer ± 3 dB zwischen gemessenem und berechnetem Immissionsschallpegel zu diskutieren. [FSV, 2009]

Der in Abbildung 53 als Boxplot über die gesamte Strecke im Untersuchungsgebiet dargestellte Korrekturwert zeigt, dass es an jedem Messpunkt eine Abweichung zwischen gemessenem und berechnetem Immissionsschall gibt. Aus den Korrekturwertdaten geht hervor, dass im Bereich vor und nach Lichtsignalanlagen bzw. im Kreuzungsbereich deutlich höhere Korrekturwerte als auf der freien Strecke vorliegen. Die Hypothese, dass sich Verzögerungs- und Beschleunigungsvorgänge bzw. der Querverkehr an lichtsignalgesteuerten Streckenzügen in hohem Maße auf den Emissions- sowie Immissionsschallpegel auswirken, wird dadurch untermauert.

Korrekturwert	
Kategorie	[dB]
A	0 bis ± 1
B	-1 bis -2; 1 bis 2
C	-2 bis -3; 2 bis 3
D	-3 bis -6; 3 bis 6
E	$> \pm 6$

Abbildung 54: Kategorien für die Einteilung des Korrekturwerts K_M

In den nachfolgenden Abbildungen 55 und 56 werden die Korrekturwerte als Zahlenwerte für die 14 Messpunkte in 5- bzw. 15-Minutenintervallen dargestellt und entsprechend dem Grad der Abweichung zwischen gemessenem und berechnetem Immissionsschallpegel farblich hinterlegt. Abbildung 54 beinhaltet die Legende für die farbliche Einteilung und gliedert die Abweichungen zwischen gemessenem und berechnetem Immissionsschallpegel in Kategorien A (geringe Abweichung von ± 0 bis 1 dB) bis E (sehr starke Abweichung von $> \pm 6$ dB). Da die Ursachen für die Korrekturwerte laut RVS 04.02.11 [2009] ab einer Abweichung von ± 3 dB zu diskutieren sind, werden sie rot hinterlegt.

Uhrzeit	Korrekturwert $K_M (L_A^M - L_A^B)$ [dB]													
	VLSA 303						VLSA 302							
	MP14	MP13	MP12	MP11	MP10	MP9	MP8	MP7	MP6	MP5	MP4	MP3	MP2	MP1
15:05	6,2	7,9	5,8	4,9	2,9	1,0	1,2	2,8	4,0	4,5	2,5	4,1	7,2	8,5
15:10	7,0	8,1	6,3	4,9	2,6	0,9	0,2	2,3	6,1	4,0	2,9	5,1	5,7	6,3
15:15	6,2	7,0	3,5	3,6	2,1	0,5	-0,5	1,6	3,9	5,1	4,3	5,2	6,8	7,5
15:20	7,3	8,1	3,4	4,3	2,9	0,8	1,4	2,5	3,2	4,3	3,0	4,9	6,7	7,8
15:25	4,2	5,8	3,2	2,8	1,5	0,2	1,1	2,3	3,1	3,6	1,7	3,4	5,3	5,8
15:30	6,6	7,2	6,0	2,5	3,3	2,2	0,7	2,9	3,2	3,8	2,8	4,5	5,4	5,9
15:35	4,9	6,6	2,8	2,6	2,0	0,1	-0,7	1,1	3,0	3,2	5,2	6,6	6,5	7,0
15:40	8,5	8,9	5,6	5,4	2,7	1,3	-0,6	1,2	4,0	4,2	3,8	5,7	6,8	6,6
15:45	3,4	5,0	4,8	5,3	2,0	0,3	-0,7	0,8	6,4	4,9	1,0	2,6	6,8	7,6
15:50	5,9	6,9	5,9	5,3	2,7	0,0	1,7	2,6	5,0	1,8	4,4	5,6	7,0	6,7
15:55	6,4	7,5	3,5	3,6	3,5	1,5	-0,1	2,0	1,8	2,5	1,8	4,2	7,3	7,2
16:00	5,5	7,1	3,7	4,2	2,3	1,0	0,7	1,9	3,4	4,2	1,9	3,9	5,1	5,6
16:05	6,4	8,4	3,5	4,1	2,3	0,6	0,2	2,1	4,2	6,3	1,0	3,9	6,2	6,9
16:10	6,8	9,1	4,3	4,1	2,3	0,7	1,3	2,7	2,7	2,9	3,2	5,0	5,9	6,6
16:15	5,5	7,3	5,1	4,0	4,4	2,2	0,9	2,1	2,7	2,3	4,2	5,8	8,8	6,6
16:20	9,5	9,9	2,5	3,5	2,6	1,4	0,9	2,4	3,7	4,6	2,7	5,3	6,2	6,6
16:25	4,1	5,9	2,1	2,2	1,7	0,6	0,8	2,3	3,1	5,1	2,3	4,9	5,3	6,3
16:30	5,7	6,6	3,6	3,7	3,8	3,4	3,0	6,0	1,8	4,1	2,6	3,9	7,4	7,1
16:35	7,4	7,6	3,7	3,1	1,9	0,9	-0,4	1,0	3,4	4,1	3,1	4,6	5,2	5,6
16:40	5,3	6,7	3,5	3,7	2,6	1,8	0,0	1,7	3,7	4,6	0,7	2,9	5,9	7,0
16:45	4,6	5,8	3,2	4,4	3,7	2,0	0,3	1,8	6,6	3,9	1,8	3,8	6,4	6,7
16:50	6,1	6,4	3,2	3,2	3,5	0,8	0,4	2,0	4,7	5,4	2,8	3,5	6,8	6,6
16:55	4,8	6,1	3,3	2,7	4,3	3,3	1,0	3,5	1,6	4,1	3,8	7,0	6,1	6,5
17:00	6,0	8,0	3,3	3,1	5,0	3,7	0,4	1,7	1,7	3,5	2,4	5,9	4,1	5,1
17:05	7,6	7,8	2,6	2,3	5,8	4,1	0,8	1,9	1,7	3,8	2,2	3,5	6,0	6,2
17:10	5,3	8,0	3,2	3,4	4,6	3,4	-0,3	2,0	0,6	3,0	2,3	3,5	6,6	6,5
17:15	6,0	7,2	3,1	3,5	2,0	1,0	0,8	3,3	1,2	4,3	1,9	3,6	6,7	6,6
17:20	7,3	8,8	3,6	4,3	2,7	1,0	-0,1	2,6	1,8	4,0	1,0	3,7	6,9	6,9
17:25	6,0	7,2	4,6	4,6	1,5	0,5	-1,3	1,4	2,5	5,1	0,9	3,5	6,5	7,8
17:30	4,4	6,2	3,2	2,9	2,0	0,7	-0,3	2,3	0,7	2,1	2,9	4,3	6,7	6,7
17:35	3,7	4,8	4,1	3,1	2,2	1,0	-0,3	2,9	1,7	3,3	2,1	3,9	5,0	5,4
17:40	6,1	7,5	3,6	4,1	1,9	0,8	-1,3	1,2	3,0	5,4	1,9	4,0	4,4	5,2
17:45	5,3	6,4	3,3	3,9	2,9	1,9	-0,5	2,3	3,3	4,6	1,7	2,6	5,8	6,6
17:50	4,8	5,6	2,6	3,2	2,4	1,0	-1,9	0,9	1,9	4,1	3,5	3,8	6,3	7,6
17:55	7,1	7,8	4,8	5,3	3,1	1,8	0,2	2,7	2,4	4,4	1,5	3,6	7,3	6,3
18:00	5,1	5,9	4,4	4,5	2,6	1,5	-2,4	1,0	0,7	2,8	1,9	3,9	6,3	6,8
Mittelwert	5,9	7,1	3,9	3,8	2,8	1,4	0,2	2,2	3,0	4,0	2,5	4,3	6,3	6,6

Abbildung 55: Detail Ergebnisse Korrekturwertauswertung – 5-min-Intervall

Aus dieser Darstellung lassen sich folgende Schlüsse ziehen: Zum einen ist erkennbar, dass der Korrekturwert nicht vom jeweiligen Messzeitpunkt abhängt, da im Messzeitraum zwischen 15:00 und 18:00 sehr unterschiedliche Korrekturwerte ermittelt wurden und keine linearen (Teil-)Entwicklungen (Korrekturwert sinkt stetig ab oder steigt stetig an) sichtbar sind. Zum anderen verdeutlicht die Abbildung, dass im Bereich der VLSA 303 und unmittelbar davor (Messpunkte 13 und 14) ein sehr hoher Korrekturwert (bis zu 9,9 dB um 16:20) auftrat. Ähnlich verhält es sich bei den Messpunkten 1 und 2, die nach der VLSA 302 liegen. Hier gibt es Abweichungen von bis zu 8,8 dB (um 16:15). Der durchschnittliche Korrekturwert liegt bei den Messpunkten 14, 13, 2 und 1 zwischen 5,9 und 7,1 dB.

Die Messpunkte 12, 11 sowie 3, 5 und 6 können als Übergangsbereiche angesehen werden. Zwar ist der Korrekturwert bei diesen Messpunkten über die gesamte Messdauer hinweg meist bei über 3 dB und somit im roten Bereich, doch gibt es insbesondere bei den Messpunkten 3, 5 und 6 zahlreiche Korrekturwerte, die unter 3 dB und bei Messpunkt 6 vereinzelt sogar unter 1 dB liegen. Der durchschnittliche Korrekturwert beträgt bei diesen Messpunkten zwischen 3,0 dB und 4,3 dB.

Festzuhalten ist, dass an den vorgenannten Messpunkten, die einen Korrekturwert von über 3 dB aufweisen, der erhöhte Schallpegel für den Menschen laut RVS 04.02.13 [2007] deutlich wahrnehmbar ist. Dies trifft insbesondere auf die Messpunkte im Bereich der beiden Lichtsignalanlagen zu, in denen Korrekturwerte von über 9 dB ermittelt wurden. Dabei ist zu beachten, dass eine Abweichung von 10 dB bereits dem doppelten Lautheitseindruck entsprechen

würde. Der Umstand, dass der Korrekturwert im Bereich der beiden Lichtsignalanlagen am höchsten ist, verdeutlicht, dass bei der Berechnung laut RVS die emissionsseitigen Einflussfaktoren an Knotenpunkten ungenügend berücksichtigt werden.

Messpunkt 4 stellt insoweit eine Besonderheit dar, als die Korrekturwerte durchgehend deutlich niedriger sind als bei den angrenzenden Messpunkten 3 und 5. Die Korrekturwerte liegen hier nur selten über 3 dB (durchschnittlich 2,5 dB).

Auf der freien Strecke zwischen den Messpunkten 10 und 7 wurden insgesamt die niedrigsten Korrekturwerte ermittelt. Hier beträgt der mittlere Korrekturwert deutlich unter 3 dB. Am ähnlichsten sind sich die gemessenen und berechneten Immissionsschallpegel bei Messpunkt 8. Der mittlere Korrekturwert beläuft sich hier lediglich auf 0,2 dB.

Uhrzeit	Korrekturwert $K_M (L_A^M - L_A^B)$ [dB]													
	VLSA 303						VLSA 302							
	MP14	MP13	MP12	MP11	MP10	MP9	MP8	MP7	MP6	MP5	MP4	MP3	MP2	MP1
15:15	6,4	7,6	5,3	4,5	2,7	1,0	0,3	2,2	4,7	4,5	3,1	4,7	6,7	7,6
15:30	6,3	7,2	5,2	3,8	3,3	1,8	1,2	2,8	3,6	4,3	3,0	4,8	6,2	6,9
15:45	6,1	7,1	5,2	5,3	3,0	1,4	0,0	1,7	5,2	4,8	3,9	5,5	7,1	7,4
16:00	5,7	7,0	5,1	5,1	3,5	1,8	1,0	2,7	3,9	3,6	2,9	5,0	7,0	7,3
16:15	6,3	8,3	4,8	4,5	3,7	1,9	1,6	3,0	3,6	4,5	3,3	5,4	7,7	7,3
16:30	6,6	7,4	3,3	3,7	3,9	3,1	1,9	3,9	3,5	5,1	3,2	5,5	6,9	7,2
16:45	5,9	6,7	4,2	4,5	3,5	2,4	0,7	2,2	5,4	4,9	2,7	4,6	6,3	6,9
17:00	5,7	6,8	3,9	3,7	4,7	2,9	1,2	3,0	3,1	4,7	3,6	6,3	6,2	6,5
17:15	6,4	7,7	3,6	3,7	4,3	3,1	1,0	3,0	1,9	4,4	2,9	4,2	6,8	6,9
17:30	5,8	7,3	4,4	4,6	3,0	1,7	-0,1	2,6	2,4	4,5	2,3	4,5	7,0	7,5
17:45	5,0	6,2	4,5	4,4	3,2	2,1	-0,1	2,7	3,1	4,9	2,4	4,0	5,5	6,2
18:00	5,5	6,4	4,6	5,1	3,5	2,3	-0,4	2,5	2,3	4,5	2,7	4,4	7,3	7,7
Mittelwert	6,0	7,1	4,5	4,4	3,5	2,1	0,7	2,7	3,6	4,6	3,0	4,9	6,7	7,1

Abbildung 56: Detail Ergebnisse Korrekturwertauswertung – 15-Minuten-Intervall

Bei der 15-Minuten-Intervallauswertung sind die größten Abweichungen parallel zu der 5-Minuten-Intervallauswertung an den Messpunkten in den Bereichen der beiden VLSA 303 und 302 zu finden. Aufgrund der Aggregation sind in dieser Darstellung hingegen die Abweichungen im Mittel um 0,4 dB größer als bei der 5-Minuten-Intervallauswertung.

Betrachtet man beide Auswertungen des Korrekturfaktors, kann im Untersuchungsabschnitt ein Korrekturfaktor von 5,5 dB im Kreuzungsbereich der VLSA 303 und 5,3 dB im Kreuzungsbereich der VLSA 302 vorgeschlagen werden.

In den nächsten Abschnitten wird auf die Auswirkungen der Geschwindigkeiten und Verkehrsstärke im Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Immissionsschallpegeln über den gesamten Streckenabschnitt näher eingegangen.

5.2.3 Auswertung der Streckenzüge

In den folgenden ausgewählten Abbildungen wird der Zusammenhang der Verkehrsstärke und der Geschwindigkeit mit dem gemessenem und berechnetem Immissionsschallpegel über den gesamten Streckenverlauf im Untersuchungsgebiet in Liniendiagrammen aufgezeigt. Die herangezogenen Messdaten für die Auswertung wurden in Abschnitt 5.1 erläutert. Dabei ist die schwankende Anzahl an Kraftfahrzeugen zwischen den VLSA auf die reale Messung an unterschiedlichen Tagen zurückzuführen. Neben dem gemessenen und dem berechneten Immissionsschallpegel, der

Verkehrsstärke und der mittleren Geschwindigkeit ist in den Abbildungen auch eine Darstellung der Geschwindigkeit mittels Quartilwerten (1. Quartil, Median, 3. Quartil) ersichtlich. Dabei liegen zwischen oberem und unterem Quartil die Hälfte der gemessenen Geschwindigkeiten, unterhalb des unteren Quartils und oberhalb des oberen Quartils jeweils ein Viertel der gemessenen Geschwindigkeiten. Der Median gibt an, dass 50% der gemessenen Geschwindigkeiten darunter und 50% darüber liegen. Aufgrund der geringeren Messabstände von der Mitte der beiden äußeren Fahrstreifen zu den Messpunkten 14, 13, 4, 3, 2, 1 bedingt durch die örtlichen Gegebenheiten (siehe dazu Abschnitt 4.1.2) ist ein Vergleich der gemessenen Immissionswerte untereinander über den gesamten Streckenzug nicht möglich. Es kann lediglich der Unterschied zwischen gemessenem und berechnetem Immissionsschallpegel betrachtet werden. Eine Anpassung der energieäquivalenten Dauerschallpegel der gemessenen Immissionswerte über die gesamte Messdauer auf einen einheitlichen Abstand von 7,5m findet sich am Ende dieses Abschnitts.

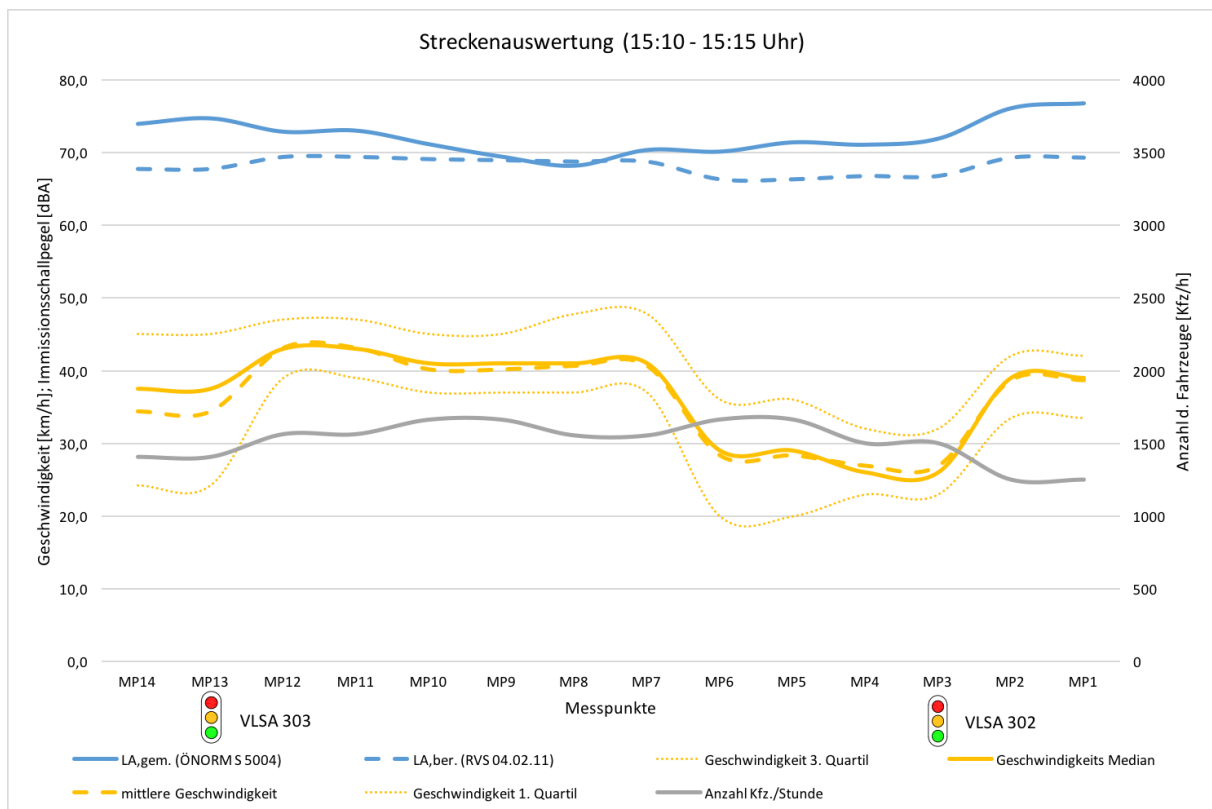


Abbildung 57: Streckenauswertung 15:10 – 15:15 Uhr

Was die Geschwindigkeit betrifft, verdeutlicht Abbildung 57, dass die mittlere Geschwindigkeit an den VLSA 302 und 303 niedriger ist als auf der freien Strecke zwischen MP12 und MP7. Sie beträgt an MP13 31,8 km/h, an MP3 sogar nur 27 km/h. An MP13 zeigt sich eine große Spanne zwischen den beiden Quartilen (1. Quartil liegt bei 24 km/h, 3. Quartil bei 45 km/h) bedingt durch Durchfahrtvorgänge in den Grün-Phasen, Haltevorgänge in den Rot-Phasen bzw. Beschleunigungsvorgänge danach. An MP3 ist die Spanne zwischen den beiden Quartilen deutlich kleiner (1. Quartil bei 23 km/h, 3. Quartil bei 32 km/h). Dies lässt darauf schließen, dass während dieses 5-minütigen Messzeitraumes an VLSA 302 weniger Durchfahrten mit höheren Geschwindigkeiten stattfanden.

Auch bei den Messpunkten 6, 5, und 4 ist die Geschwindigkeit niedriger, da es hier immer wieder zu Rückstau und Haltevorgängen kommt (mittlere Geschwindigkeit im Bereich von 27–28 km/h). Auf der übrigen freien Strecke zwischen MP12 und MP7 liegt die mittlere Geschwindigkeit zwischen 40 und 43 km/h. Die geringere Streuung der Geschwindigkeit in diesem Bereich – das 1. Quartil liegt im Bereich von 37–39 km/h, das 3. Quartil zwischen 45–48 km/h – verdeutlicht, dass hier keine Haltevorgänge auftreten.

Die Verkehrsstärke beträgt in diesem Messzeitraum etwa 1250 bis 1670 Fahrzeuge pro Stunde. Die niedrigste Verkehrsstärke wurde mit 1250 Fahrzeugen an MP2 und MP1 aufgezeichnet. Die maximal gemessene Verkehrsstärke beträgt rund 1670 Fahrzeuge pro Stunde an MP10, 9, 6 und 5. Dies ergibt einen Unterschied zwischen minimalem und maximalem Verkehrsaufkommen von 25%. Die unterschiedlichen Verkehrsstärken an den Messpunkten sind nicht nur auf Ab- und Zufahrten an den Lichtsignalanlagen, sondern auch darauf zurückzuführen, dass an einem Messtag jeweils nur 2 Messpunkte erfasst werden konnten, und sich die Streckenauswertung somit aus 7 Messtagen zusammensetzt.

Die blaue Linie zeigt den gemessenen Immissionsschallpegel (zwischen 76,7 dB an MP1 und 68,2 dB an MP8), die blau strichlierte Linie den berechneten Immissionsschallpegel nach RVS 04.02.11 (zwischen 69,4 dB an MP12 und 66,3 dB an MP6). Es wird deutlich, dass die Minimal- bzw. Maximal-Immissionswerte nicht an denselben Messpunkten auftreten. Da die Berechnung des Immissionsschallpegels maßgeblich von der Geschwindigkeit und der Verkehrsstärke abhängt, zeigt sich, dass bei niedrigerer Geschwindigkeit auch der berechnete Immissionsschallpegel niedriger ist, wohingegen der gemessene Immissionsschallpegel im Untersuchungsgebiet in diesen Bereichen höher ist. Nach den beiden Lichtsignalanlagen, wo die Geschwindigkeit wieder ansteigt, erhöhen sich der berechnete und der gemessene Immissionsschallpegel. Insgesamt kann wiederum festgehalten werden, dass es für die Höhe des Immissionsschallpegels nicht nur auf die Geschwindigkeit und die Verkehrsstärke ankommen kann, sondern auch weitere Parameter eine Rolle spielen.

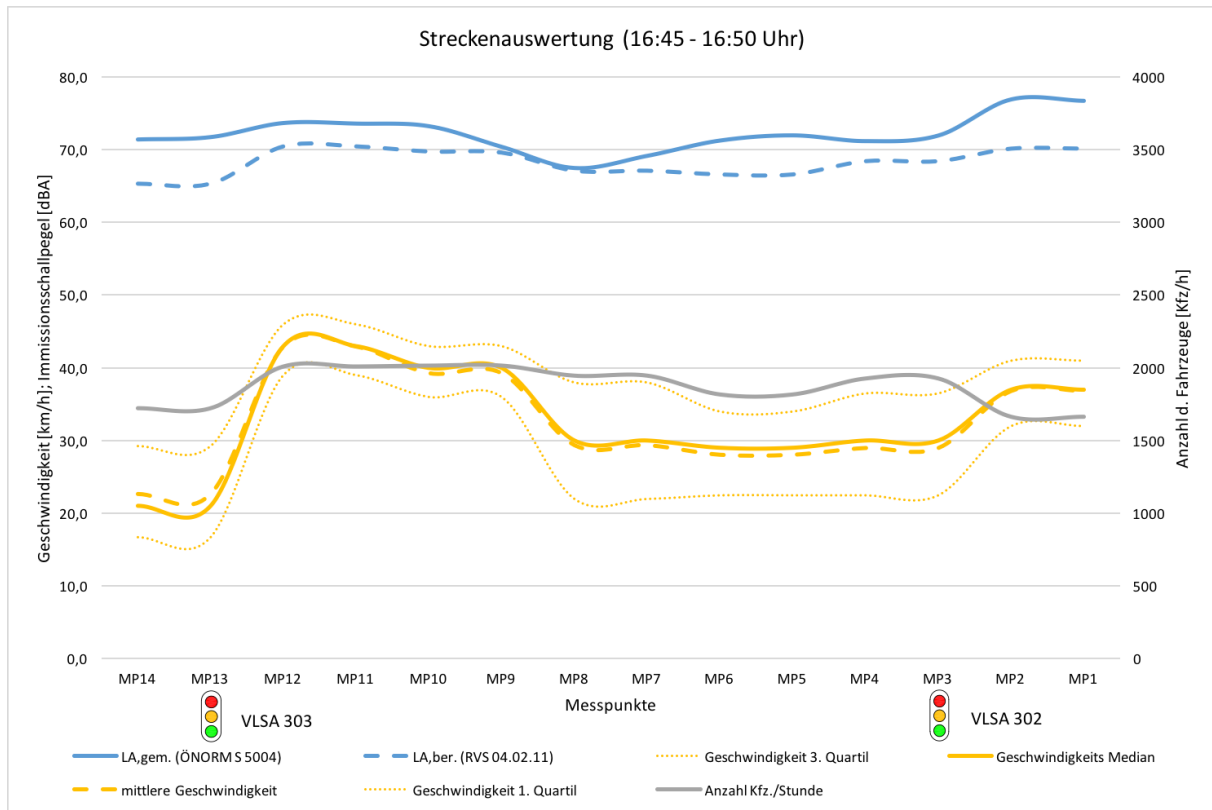


Abbildung 58: Streckenauswertung 16:45 – 16:50 Uhr

In Abbildung 58 zeigt sich der Einfluss der ungenügenden Koordinierung an der VLSA 302 aufgrund des erhöhten Verkehrsaufkommens. Während die mittlere Geschwindigkeit bei MP12 bis MP10 zwischen 39 und 43 km/h liegt, tritt ab MP8 eine deutliche Reduktion der Geschwindigkeit auf 29 km/h ein, welche bis MP3 nahezu unverändert bleibt. Dies lässt auf eine Übersättigung in diesem Bereich schließen. Die Verkehrsstärke liegt in diesem Messzeitraum bei rund 1670 bis 2000 Fahrzeugen pro Stunde und somit deutlich höher als in der Streckenauswertung 15:10–15:15 (Abb. 57).

Abbildung 58 verdeutlicht, dass der berechnete Immissionserschallpegel (65,3 dB an MP13 bis 70 dB an MP1) auch in dieser Streckenauswertung unter dem gemessenen (67,4 dB an MP8 bis 76,9 dB an MP2) liegt. Insbesondere an MP14 und MP13 treten hohe Abweichungen bis zu 6,4 dB auf. Die mittlere Geschwindigkeit beträgt hier bedingt durch Haltevorgänge 23 km/h. Mit Anstieg der Geschwindigkeit an MP2 und MP1 auf 37 km/h steigt auch der berechnete Immissionserschallpegel wieder an, der gemessene liegt dennoch deutlich darüber. Hier sind signifikante Abweichungen von bis zu 6,8 dB ersichtlich.

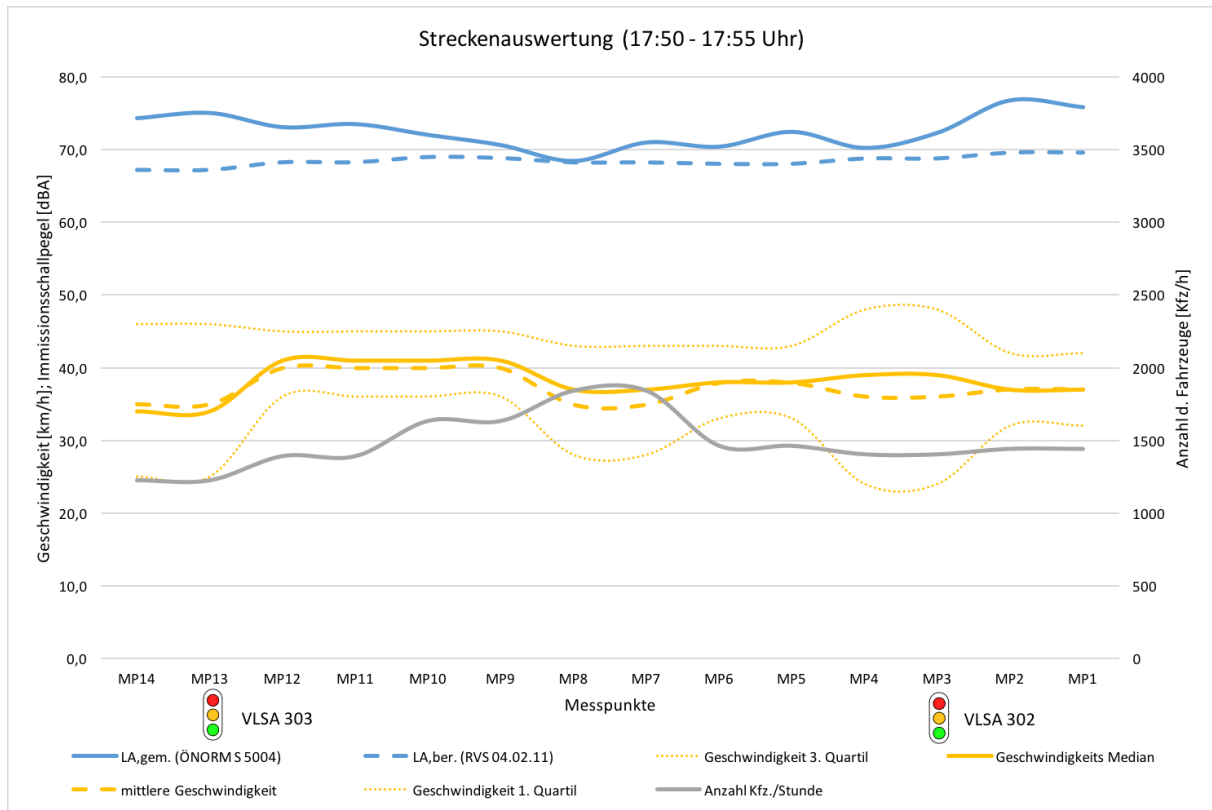


Abbildung 59: Streckenauswertung 17:50 – 17:55 Uhr

Mit nachlassendem Abendverkehr gegen Ende der Messreihen tritt im Untersuchungsgebiet keine Übersättigung mehr auf und es stellt sich eine mittlere Geschwindigkeit zwischen 35 und 40 km/h ein. Zu sehen ist dies in Abbildung 59. Bedingt durch Haltevorgänge zeigen die Quartile eine große Spanne der Geschwindigkeit bei VLSA 303 (zwischen 25 und 46 km/h) und VLSA 302 (zwischen 24 und 48 km/h). Die Verkehrsstärke beläuft sich auf rund 1200–1800 Fahrzeuge pro Stunde. Insgesamt ist der Streckenabschnitt nicht mehr so ausgelastet wie in der Auswertung des Messzeitraumes 16:45-16:50 (Abb. 58), weshalb auch wieder eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit abzulesen ist. Die Koordinierung funktioniert hier bei geringerem Verkehrsaufkommen wieder deutlich besser als zuvor (siehe im Vergleich Abb. 58).

Durch die konstante mittlere Geschwindigkeit im Bereich von 35 bis 40 km/h ergibt die Berechnung des Immissionsschallpegels einen annähernd gleichmäßigen Verlauf zwischen 67 und 69 dB. Im Vergleich dazu ist der gemessene Immissionsschallpegel im Bereich der Verkehrslichtsignalanlagen deutlich höher (75 dB an MP13, 72 dB an MP3), obwohl die Geschwindigkeit in diesen Bereichen niedriger ist. Die deutlichsten Unterschiede zwischen berechnetem und gemessenem Immissionsschallpegel treten an MP13 (7,8 dB) und MP2 (7,3 dB) auf.

Aus der folgenden 15-Minuten-Auswertung zum Ende des Messzeitraums (Abb. 60) kann abgelesen werden, dass sich bei einer nunmehr verminderten Verkehrsstärke von 1200 bis 1400 Fahrzeugen pro Stunde und einer mittleren Geschwindigkeit von 35 bis 40 km/h ein konstanter berechneter Immissionsschallpegel von rund 68 dB einstellt, der tatsächlich gemessene Immissionsschallpegel jedoch insbesondere an der VLSA 303 um 6,4 dB und an der VLSA 302 um 4,4 dB höher ist. Weitere deutliche Abweichungen wurden an MP2 mit 7,3 dB und an MP1 mit 7,7 dB gemessen.

Dies zeigt, dass der Immissionsschallpegel unter realen Messbedingungen nicht nur von der Verkehrsstärke und der Geschwindigkeit, sondern wie auch von De Coensel et al. [2012] beschrieben, von anderen Faktoren (z. B. Querverkehr, Anfahrts-/Haltevorgänge etc.) beeinflusst werden muss, die in der Berechnungsformel (15) nach RVS 04.02.11 [2009] nicht berücksichtigt sind.

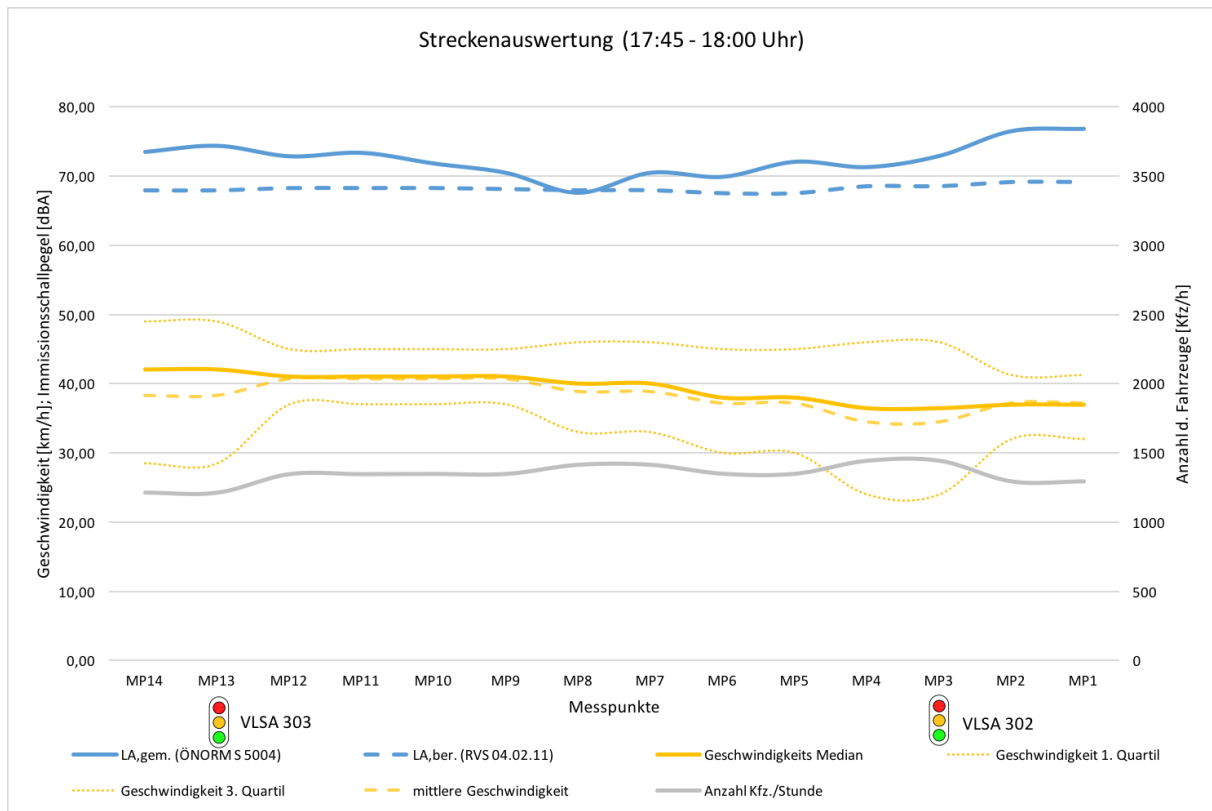


Abbildung 60: Streckenauswertung 17:45 – 18:00 Uhr

Alle weiteren hier nicht dargestellten Streckenauswertungen sind im Anhang A3 ersichtlich. Abschließend ist zu den Streckenauswertungen festzuhalten, dass diese zwar veranschaulichen, inwieweit der berechnete und der gemessene Immissionsschallpegel in bestimmten Bereichen des Streckenzuges divergieren und wo Anpassungen in der Berechnung notwendig sind. Bei den Streckenauswertungen ist es jedoch schwer möglich, einen direkten Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke, Geschwindigkeit und Immissionsschallpegel unter realen Bedingungen aufzuzeigen.

Wie bereits erwähnt wurde, ist aufgrund der geringeren Messabstände von der Mitte der beiden äußeren Fahrstreifen zu den Messpunkten 14, 13, 4, 3, 2, 1 bedingt durch die örtlichen Gegebenheiten (siehe dazu Abschnitt 4.1.2) ein Vergleich der gemessenen Immissionswerte untereinander über den gesamten Streckenzug nicht möglich. Um dennoch vergleichbare Werte über die gesamte Strecke zu erhalten, wurden die energieäquivalenten Dauerschallpegel der gemessenen Immissionswerte an den genannten Messpunkten auf einen einheitlichen Abstand zur Emissionslinie von 7,5m angepasst. Ausgehend von der Tatsache, dass sich mit der Verdopplung des Abstandes zur Linienschallquelle der Immissionsschallpegel um 3 dB reduziert [vgl. FSV, 2007; MVIBW, 2013], wurde der Abstand an MP14 und 13 von 6,5m um 1m auf 7,5m erhöht, wodurch sich eine Schallpegel-

abnahme von -0,46 dB ergab. An den Messpunkten 4, 3, 2, und 1 nahm der Immissionsschallpegel durch Erhöhung des Abstandes von 5,5m auf 7,5m um -1,09 dB ab.

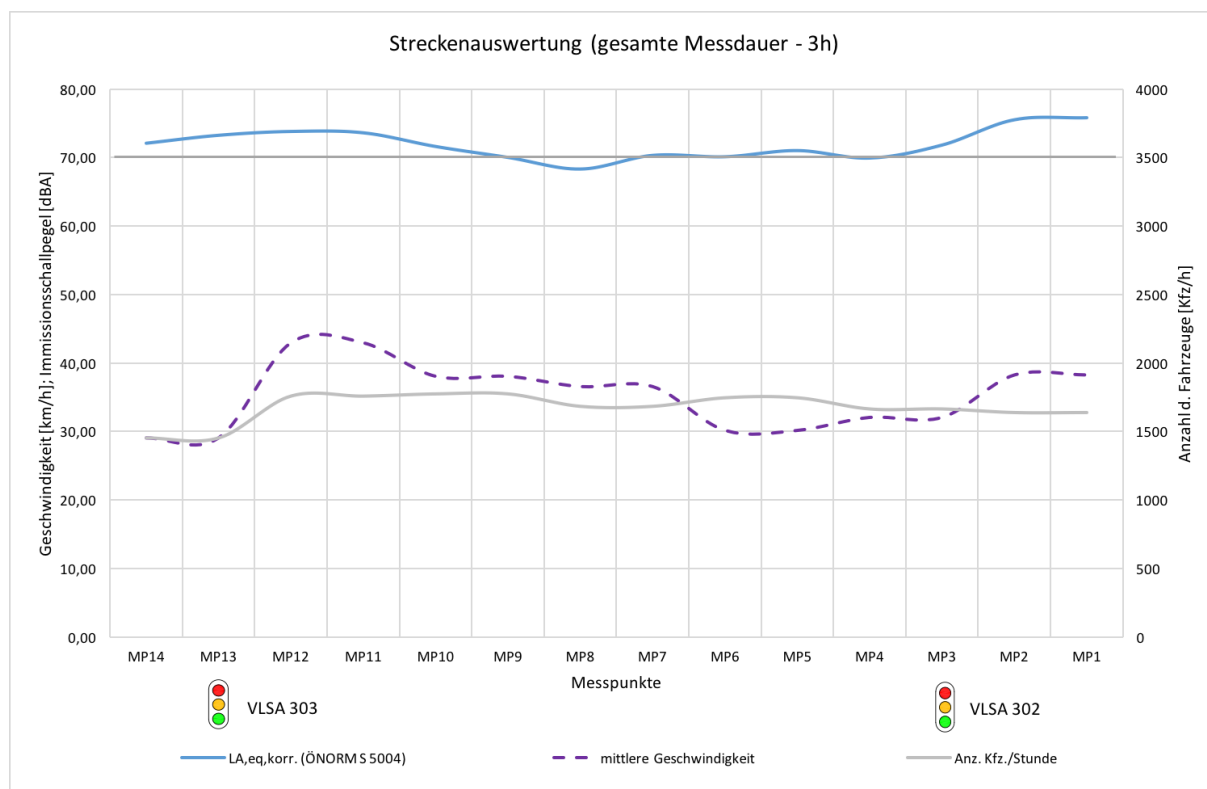


Abbildung 61: Korrigierte Streckenauswertung über die gesamte Messdauer mit einem Messabstand von 7,5m zur Emissionslinie

In dieser Streckenauswertung über die gesamte Messdauer von 3 Stunden werden die Verkehrsstärke, die mittlere Geschwindigkeit und der korrigierte energieäquivalente Dauerschallpegel dargestellt. Damit kann gezeigt werden, dass an MP13 (VLSA 303) eine Abweichung von 3,2 dB und an MP3 (VLSA 302) eine Abweichung von 1,8 dB verglichen mit dem Immissionsschallpegel auf der freien Strecke von rund 70 dB auftritt. Nach den Lichtsignalanlagen tritt an MP12 und MP11 ein Unterschied von bis zu 3,8 dB und an MP2 und MP1 von bis zu 5,8 dB auf.

5.2.4 Lineare und multiple lineare Regressionsanalyse

Mittels linearer Regressionsanalyse soll der Zusammenhang zwischen den für die Berechnung maßgebenden Faktoren Verkehrsstärke bzw. mittlere Geschwindigkeit, und dem vor Ort gemessenen Immissionsschallpegel untersucht werden. In einer multiplen linearen Regressionsanalyse werden beide Faktoren mit dem gemessenen Immissionsschallpegel in Verbindung gebracht, da sowohl die Verkehrsstärke als auch die mittlere Geschwindigkeit in der Berechnungsformel (15) für den Immissionsschallpegel nach RVS 04.02.11 [2009] einzusetzen sind.

Die Regressionsanalyse wird als ein außerordentlich flexibles Verfahren angesehen, das sowohl für die Erklärung von Zusammenhängen als auch für die Durchführung von Prognosen herangezogen

werden kann. Mithilfe der Regressionsanalyse können Beziehungen zwischen einer abhängigen Variablen und einer oder mehreren unabhängigen Variablen untersucht werden. Insbesondere wird sie eingesetzt, um den Grad des Zusammenhangs zwischen Variablen durch statistische Maßzahlen erkennen und erklären zu können. Die Regressionsanalyse ist das am häufigsten angewendete multivariate Analyseverfahren. [Backhaus et al., 2000]

Als Datenbasis dieser Untersuchung der Zusammenhänge dienen die in Abschnitt 5.1.3 erklärten und aufbereiteten Zähldaten der Stadt Graz sowie die vor Ort ermittelte Geschwindigkeit (im 5-Minutenintervall) und die gemessenen Immissionserschallpegel – wie im vorigen Abschnitt erklärt, korrigiert auf einen Abstand von 7,5m.

In den nachfolgenden Abbildungen werden die Ergebnisse der Regressionsanalyse mittels Punktwolkenplots und Bestimmtheitsmaß R^2 dargestellt, wobei $R^2 = 0$ (0%) keinen linearen Zusammenhang und $R^2 = 1$ (100%) einen perfekten linearen Zusammenhang ausdrückt.

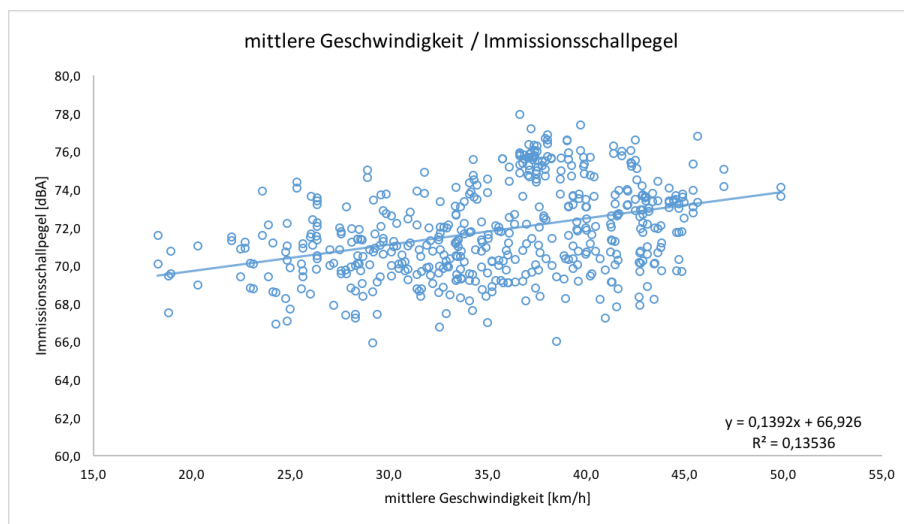


Abbildung 62: Regressionsanalyse der mittleren Geschwindigkeit

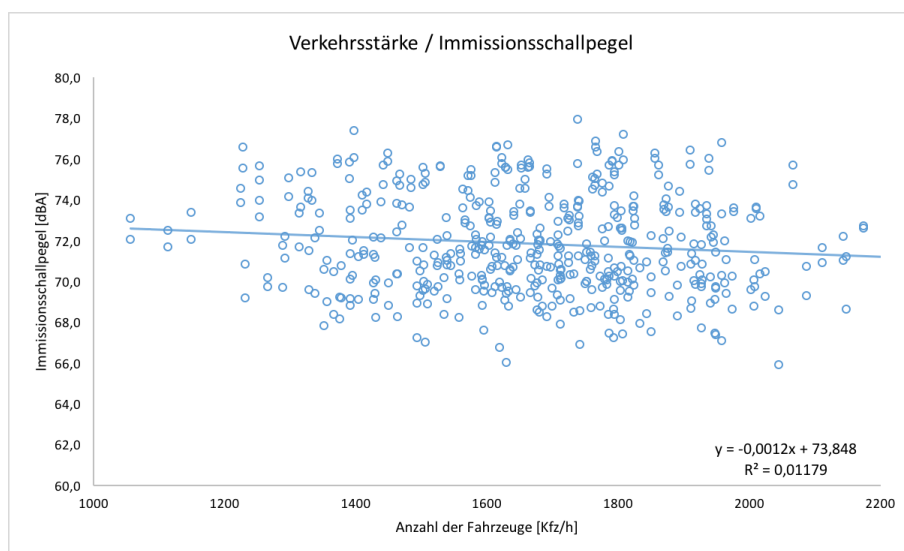


Abbildung 63: Regressionsanalyse der Verkehrsstärke

Es ist deutlich erkennbar, dass sowohl in Abbildung 62 als auch in Abbildung 63 eine sehr große Streuung der Daten vorliegt. Dennoch zeigt sich in Abbildung 62 mit zunehmender mittlerer Geschwindigkeit ein Anstieg des Immissionsschallpegels. Mit einem Bestimmtheitsmaß von nur 13 % (Abb. 62) beziehungsweise 1 % (Abb. 63) wird der real gemessene Immissionsschallpegel an koordinierten Streckenzügen nicht durch die mittlere Geschwindigkeit und die Verkehrsstärke allein beeinflusst. Da die beiden untersuchten Parameter Verkehrsstärke und mittlere Geschwindigkeit in der Berechnungsformel für den Immissionsschallpegel einzusetzen sind, werden in der nachfolgenden Tabelle die Ergebnisse aus der multiplen linearen Regressionsanalyse dieser beiden Kenngrößen dargestellt.

Tabelle 26: Ergebnis der multiplen linearen Regression

Immissionsschallpegel in Abhängigkeit von V_m und Kfz/h				
R^2	Kenngröße	t-Wert	Signifikanz	Regressionsgeradengleichung
$R^2 = 0,14$	V_m	8,75	1,70E-17	$L_{a,eq} \sim 68,6 + 0,14 \cdot V_m$ $- 0,001 \cdot \text{Kfz/h}$
adj. $R^2 = 0,14$	Kfz/h	-2,08		

Mit einem Bestimmtheitsmaß von 14% ist nur ein geringfügiger Anstieg im Vergleich zur Regressionsanalyse mit der mittleren Geschwindigkeit, jedoch ein signifikanter Anstieg im Vergleich zur Regressionsanalyse mit der Verkehrsstärke feststellbar. Der negative Beitrag der Verkehrsstärke, der in die Geradengleichung eingeht, verdeutlicht – wie schon die Ergebnisse von De Coensel et al. [2012] –, dass mit zunehmender Verkehrsstärke der Immissionsschallpegel sinkt.

Die geringen Bestimmtheitsmaße und die großen Streuungen lassen vermuten, dass andere Parameter als die Geschwindigkeit und die Verkehrsstärke für den Immissionsschallpegel mitbeeinflussend sind, wie beispielsweise kreuzende Fahrzeuge im Knotenbereich oder Beschleunigungsvorgänge. Die Gesamtbetrachtung der Messdaten kann den Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke, Geschwindigkeit und Immissionsschallpegel nicht ausreichend abbilden, da das niedrige Bestimmtheitsmaß darauf schließen lässt, dass andere Einflussfaktoren vorhanden sind, die in dieser Darstellung nicht erfasst wurden (z. B. Lage der einzelnen Messpunkte, Vorhandensein von Querverkehr, starkem Gegenverkehr, etc.).

Unter Berücksichtigung der bisherigen Auswertungsergebnisse, insbesondere des erhöhten Korrekturwertes im Bereich der Lichtsignalanlagen, liegt nahe, dass der Messort im Bereich von VLSA einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf den Immissionsschallpegel hat, wobei aber bei der Berechnung des Immissionsschallpegels nach RVS 04.02.11 [2009] der Ort der Emissionen und Immissionen nicht berücksichtigt wird.

5.2.5 Auswertung der Messpunkte

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Verkehrsstärke mit dem berechneten Immissionsschallpegel herausfiltern und einen Vergleich mit dem gemessenen Immissionsschallpegel ziehen zu können, wurden alle Messpunkte einzeln über die gesamte Messdauer betrachtet. In den Grafiken sind die Anzahl der Fahrzeuge pro Stunde, die mittlere Geschwindigkeit, der Geschwindigkeits-Median inklusive oberem und unterem Quartil, der gemessene und berechnete Immissionsschallpegel sowie der energieäquivalente Dauerschallpegel

über die Messdauer von drei Stunden ersichtlich. Ausgewählte Messpunkte sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. MP13 wurde ausgewählt, da dieser genau an der VLSA 303 liegt und dementsprechend die Entwicklung des Immissionserschallpegels an einer Lichtsignalanlage veranschaulicht werden kann. MP8 ist jener Messpunkt, der mittig auf der freien Strecke zwischen den beiden Lichtsignalanlagen liegt und der nach den bisherigen Auswertungsergebnissen die geringsten Unterschiede zwischen gemessenem und berechnetem Immissionserschallpegel aufweist. MP1 wurde ausgewählt, da sich dieser nach der VLSA 302 befindet und hier laufend Beschleunigungsvorgänge bzw. hohe Geschwindigkeiten auftreten, was sich auch im zweithöchsten Durchschnittskorrekturwert widerspiegelt. Alle weiteren Messpunktauswertungen sind im Anhang A4 ersichtlich.

Um noch einmal Bezug darauf zu nehmen, ob die Aggregation einen Einfluss auf die Ergebnisse oder die Darstellung hat, werden hier sowohl die Messpunktauswertungen im 5- als auch im 15-Minuten-Intervall gezeigt. Nähere Erläuterungen zu den Messergebnissen erfolgen bei den 5-Minuten-Intervallauswertungen; bei den 15-Minuten-Intervallauswertungen lediglich dann, wenn es merkbare Unterschiede zum kürzeren Intervall gibt.

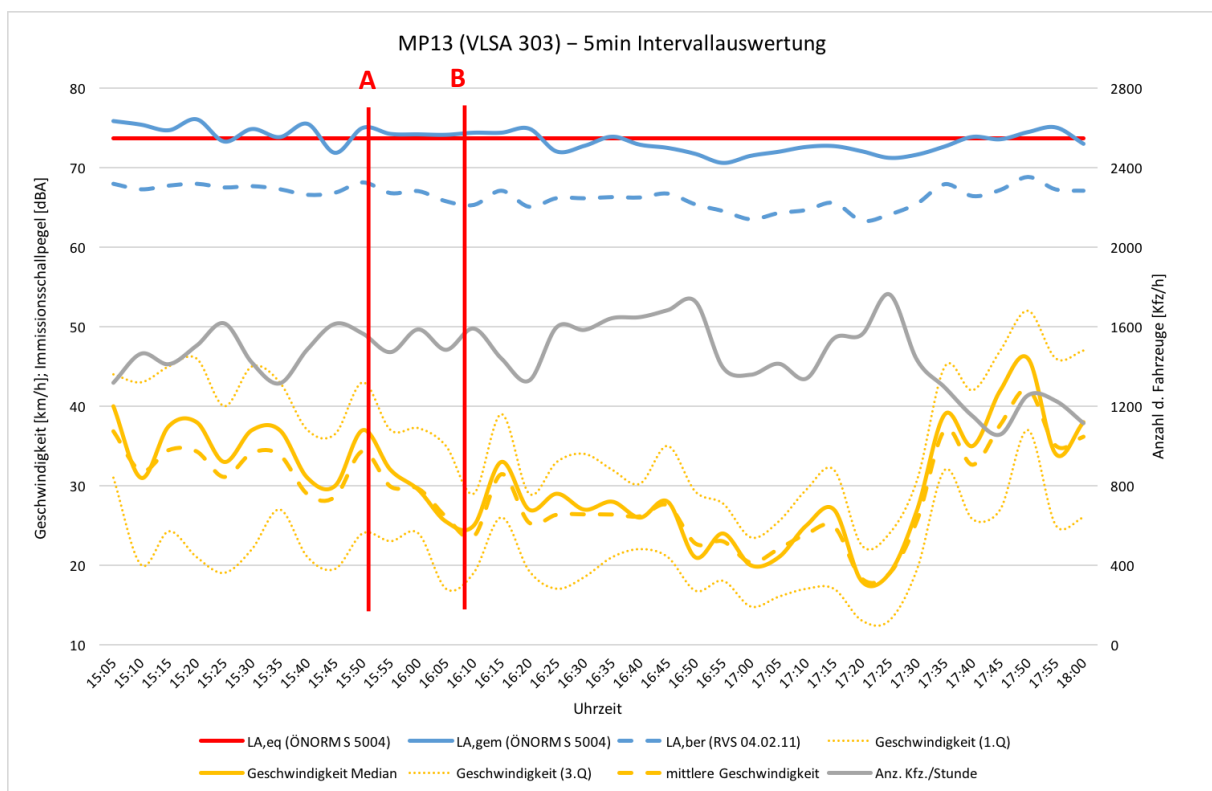


Abbildung 64: Messpunktauswertung MP 13 – 5-Minuten-Intervallauswertung

In dieser Abbildung werden wiederum der energieäquivalente Dauerschallpegel (rot), der gemessene Immissionserschallpegel (blau), der berechnete Immissionserschallpegel (blau strichliert), das 1. Quartil der Geschwindigkeit (gelb gepunktet), der Geschwindigkeitsmedian (gelb), das 3. Quartil der Geschwindigkeit (gelb gepunktet), die mittlere Geschwindigkeit (gelb strichliert) und die Anzahl der Fahrzeuge pro Stunde (grau) dargestellt. Die mittlere Geschwindigkeit wurde aufgetragen, da sie

auch für die Berechnung nach RVS 04.02.11 [2009] herangezogen wurde. Die vertikalen Linien bei den Punkten A und B markieren beispielhaft markante Stellen dieser Auswertung.

Der energieäquivalente Dauerschallpegel beträgt an MP13 73,7 dB. Der berechnete Immissionsschallpegel (63,2–68,8 dB) liegt durchgehend unter dem gemessenen (70,6–76 dB). Die Verkehrsstärke sowie die Geschwindigkeit weisen starke Fluktuationen auf. Dies ist an allen Messpunkten unter anderem auf die möglicherweise unterschiedliche Anzahl der Grünphasen im 5-Minuten-Intervall zurückzuführen. Die mittlere Geschwindigkeit beträgt 18–42 km/h, was eine sehr große Spanne darstellt. Hinsichtlich der Verkehrsstärke ist zudem festzuhalten, dass diese von 15:00 bis 16:20 stets im Bereich zwischen 1400–1600 Fahrzeugen pro Stunde liegt. Von 16:20 bis 16:45 steigt das Verkehrsaufkommen stetig an und erreicht um 16:45 ein vorläufiges Maximum von rund 1720 Fahrzeugen/Stunde. Danach ist wieder ein deutlicher Abfall erkennbar, der sich mit dem Erreichen des Kapazitätsmaximums und somit einer Überlastung erklären lässt. Um 17:25 tritt dann ein insgesamter Spitzenwert von rund 1760 Fahrzeugen pro Stunde auf, was zeigt, dass zu diesem Zeitpunkt wieder mehr Fahrzeuge den Messpunkt im entsprechenden 5-Minuten-Intervall passieren können.

Was die Geschwindigkeit betrifft, veranschaulicht Abbildung 64, dass sich diese – trotz zwischenzeitiger Spitzen – zwischen 15:00 und 17:20 in einem Abwärtstrend befindet. Um 17:20 wird mit 18 km/h der tiefste Wert erreicht. Ab diesem Zeitpunkt lässt der Abendverkehr nach, die Anzahl der Fahrzeuge sinkt stetig und die Verkehrssituation erholt sich.

Um markante Punkte im Messverlauf herauszugreifen, sollen die rot eingezeichneten Stellen A und B näher beschrieben werden. In Punkt A (Messzeitpunkt 15:50) zeigt sich, dass bei hoher mittlerer Geschwindigkeit (34 km/h) trotz sinkender Verkehrsstärke (1560 Fahrzeuge/h) der berechnete Immissionsschallpegel um 1,3 dB auf 68,1 dB und der gemessene Immissionsschallpegel sogar um 3,2 dB auf 75 dB gegenüber den Werten um 15:45 ansteigen.

Im Bereich zwischen Punkt A und Punkt B (Messzeitpunkt 16:10) nimmt die mittlere Geschwindigkeit stetig ab und erreicht in Punkt B 23 km/h. Ebenso nimmt der berechnete Immissionsschallpegel ab und beträgt in Punkt B 65,3 dB. Der gemessene Immissionsschallpegel liegt nach Punkt A und auch in Punkt B stets bei 74,1–74,4 dB und somit deutlich über dem berechneten Pegel.

Aus diesen beiden Einzelbetrachtungen ist abzuleiten, dass anhand dieser Beispiele keine exakten Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und Immissionsschallpegel hergestellt werden können.

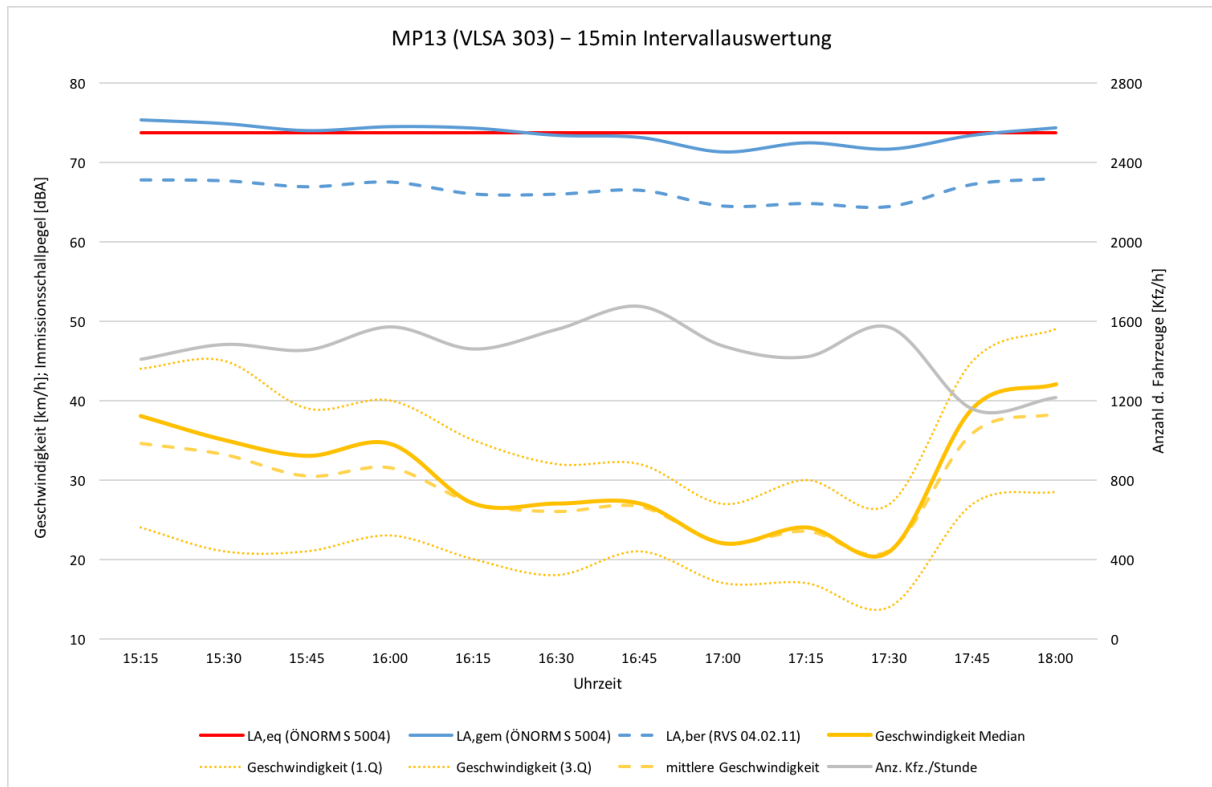


Abbildung 65: Messpunktauswertung MP 13 – 15-Minuten-Intervallauswertung

Aufgrund der größeren Aggregation sind in der 15-Minuten-Intervallauswertung die Linien mehr geglättet. Die Geschwindigkeit nimmt von Beginn der Messreihe an aufgrund des höheren Verkehrsaufkommens (fast) kontinuierlich ab, bis sie um ca. 17:30 ihren Tiefstand erreicht. Danach ist wieder ein deutlicher Anstieg erkennbar. Der Unterschied zwischen berechnetem und gemessenem Immissionserschallpegel fällt auch hier deutlich aus (durchschnittlich 7,1 dB). Mit abnehmender Geschwindigkeit lässt sich hier der Trend erkennen, dass auch der gemessene Immissionserschallpegel leicht sinkt.

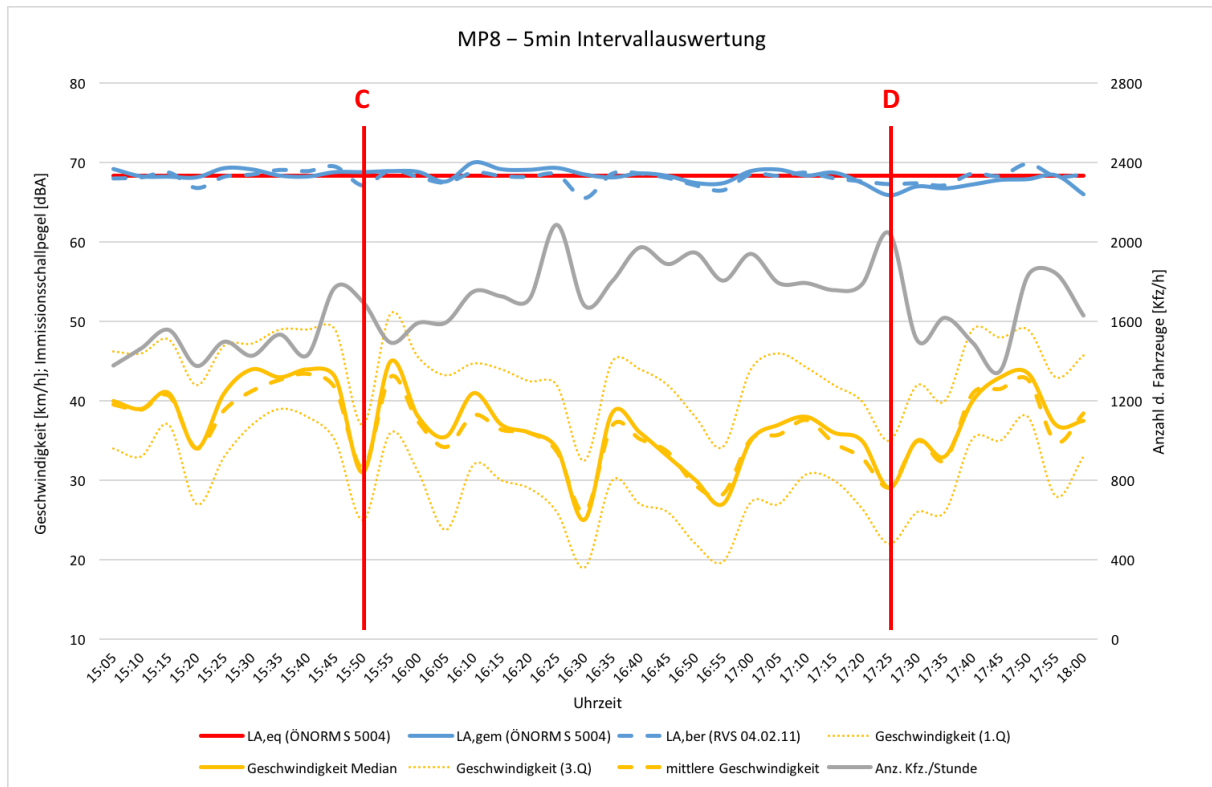


Abbildung 66: Messpunktauswertung MP 8 – 5-Minuten-Intervallauswertung

In der 5-Minuten-Intervallauswertung des Messpunktes 8, der mittig auf freier Strecke zwischen den beiden Verkehrslichtsignalanlagen liegt, ist der energieäquivalente Dauerschallpegel bei 68,3 dB. Der berechnete Immissionschallpegel befindet sich im Bereich von 65,5–69,8 dB, der gemessene Immissionschallpegel im Bereich von 65,9–70 dB. Hier liegt nur ein geringer Unterschied zwischen berechnetem und gemessenem Immissionschallpegel von durchschnittlich 0,2 dB vor. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass auf freier Strecke keine maßgeblichen Beschleunigungsvorgänge sowie kein Querverkehr auftreten.

Sowohl bei der Geschwindigkeit als auch bei der Verkehrsstärke sind zahlreiche Schwankungen zu erkennen, was – wie oben erklärt – unter anderem mit der Anzahl der Grün-Phasen und einer möglichen Übersättigung zu tun haben kann. Allgemein kann festgehalten werden, dass das Verkehrsaufkommen zwischen 16:25 und 17:30 am höchsten ist (1700–2100 Fahrzeuge pro Stunde). Die mittlere Geschwindigkeit variiert stark und liegt zwischen 26 und 43 km/h. Auch diese Darstellung veranschaulicht bei einer Betrachtung von Einzelpunkten einen direkten Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und dem berechneten Immissionschallpegel.

In Punkt C (Messzeitpunkt 15:50) zeigt sich, dass bei einer deutlich niedrigeren Geschwindigkeit (Reduktion um 10 km/h auf 32 km/h gegenüber 15:45) keine Veränderung des gemessenen Immissionschallpegels (68,8 dB) eintritt. Im Gegensatz dazu sinkt in Punkt D (Messzeitpunkt 17:25) bei deutlich höherem Verkehrsaufkommen (2050 Fahrzeuge/Stunde) und niedriger Geschwindigkeit von 29 km/h der gemessene Immissionschallpegel um 1,5 dB auf 65,9 dB gegenüber den Werten von 17:20. Es wird wiederum deutlich, dass die Geschwindigkeit einen größeren Einfluss auf den gemessenen Immissionschallpegel hat als die Verkehrsstärke, jedoch lassen sich keine direkten Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und gemessenem Immissionschallpegel ableiten.

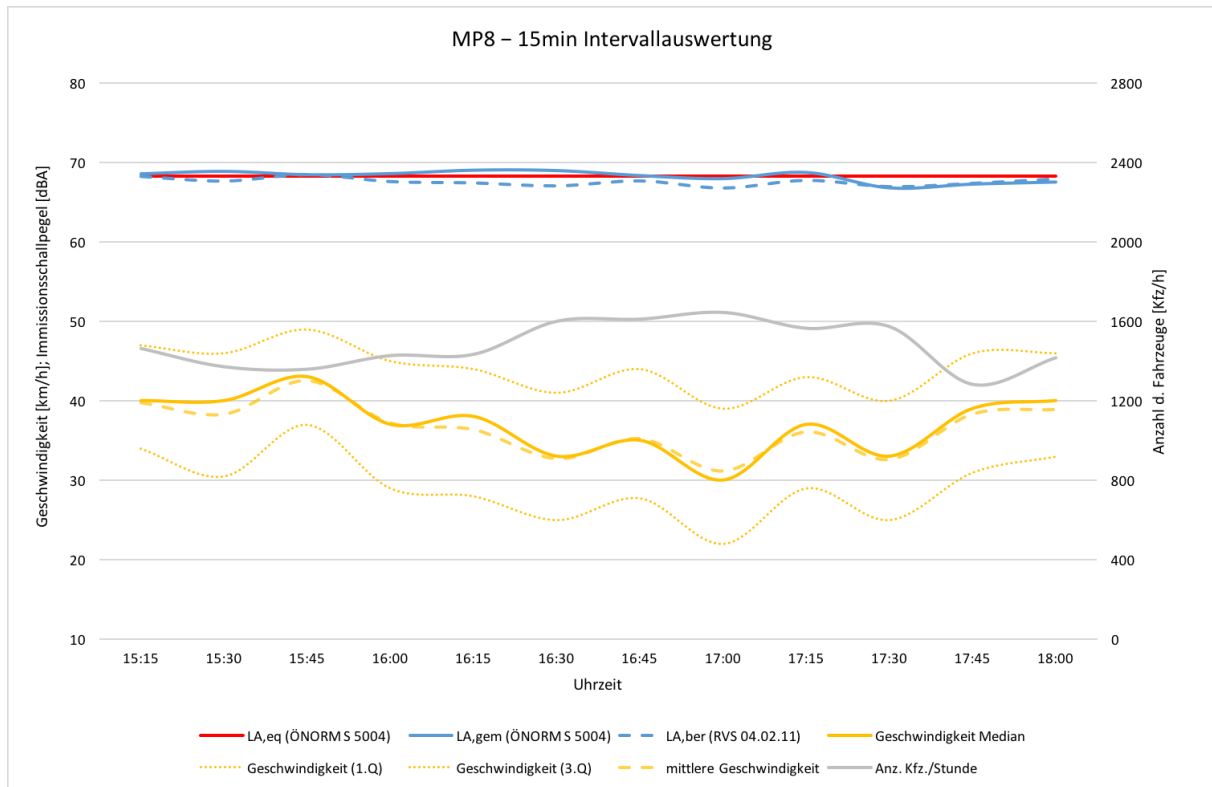


Abbildung 67: Messpunktauswertung MP 8 – 15-Minuten-Intervallauswertung

Bei der 15-Minuten-Auswertung sind die Schwankungen wiederum mehr geglättet, dennoch lassen sich dieselben Tendenzen bezüglich der Geschwindigkeit, Verkehrsstärke und des Immissions-schallpegels ableiten.

Messpunkt 1 (Abb. 68) befindet sich am Ende des Untersuchungsbereiches nach VLSA 302. Der energieäquivalente Dauerschallpegel liegt hier bei 76,9 dB. Der berechnete Immissionsschallpegel liegt zwischen 69,3 und 71,7 dB, und damit deutlich unter dem gemessenen Immissionsschallpegel von 75,6–78,5 dB. Das Verkehrsaufkommen unterliegt Schwankungen zwischen rund 1230 und 2070 Fahrzeugen/Stunde. Zeitlich gesehen passierten zwischen 16:00 und 17:00 die meisten Fahrzeuge MP1. Die Geschwindigkeit ist im Vergleich zu den bereits dargestellten Auswertungen der MP13 und 8 durchgehend im Bereich von 36–42 km/h.

Der Abbildung ist deutlich zu entnehmen, dass starke Schwankungen im Verkehrsaufkommen hier kaum Auswirkungen auf die Geschwindigkeit haben. Der Grund dafür ist, dass nach der Lichtsignalanlage keine Beeinflussung des Verkehrsflusses durch Rückstau oder Haltevorgänge im Untersuchungsgebiet mehr auftritt. Dies ist insbesondere in Punkt E ersichtlich. Die Verkehrsstärke erreicht hier ihr Maximum (2070 Fahrzeuge/Stunde), was einen Anstieg des berechneten Immissionsschallpegels bewirkt; der gemessene Immissionsschallpegel sinkt hingegen um 0,2 dB im Vergleich zum Wert von 16:55 ab.

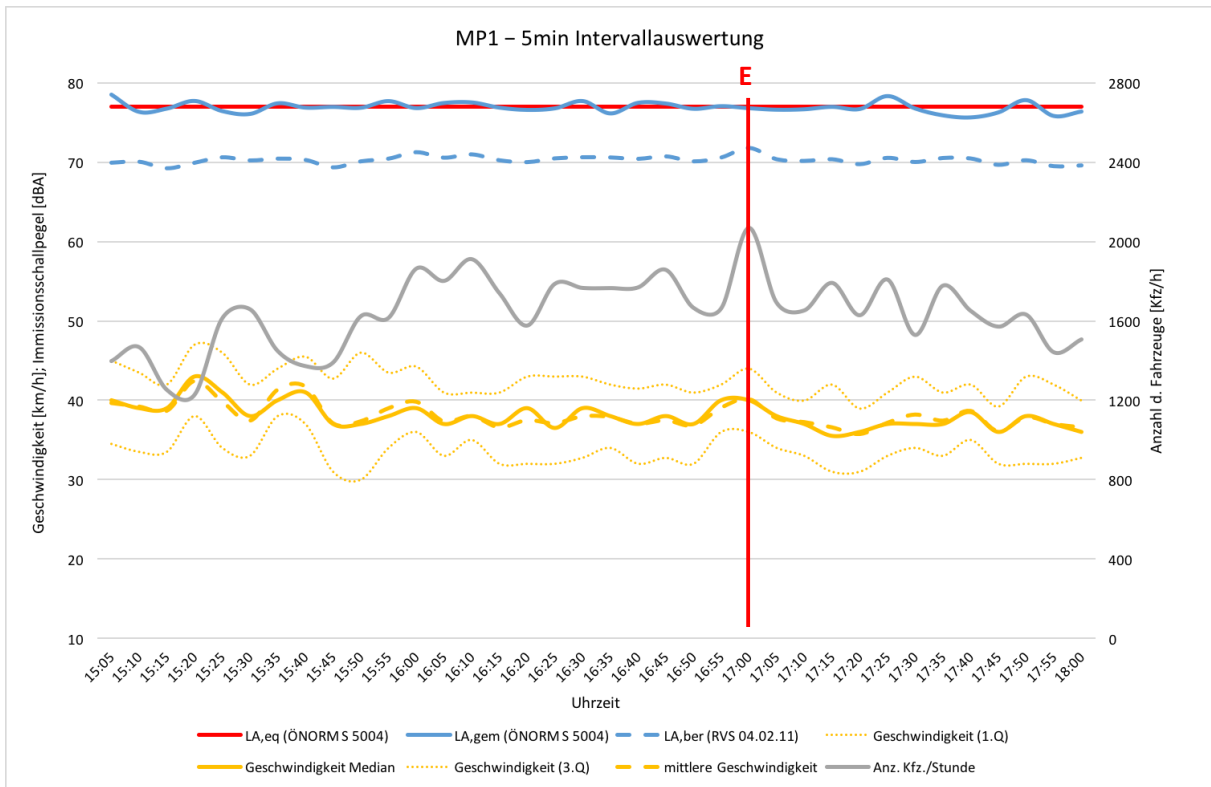


Abbildung 68: Messpunktauswertung MP 1 – 5-Minuten-Intervallauswertung

In der 15-Minuten-Intervallauswertung (Abb. 69) ist noch deutlicher ersichtlich, dass sich die Geschwindigkeit trotz höherem Verkehrsaufkommen zwischen 16:00 und 17:30 nur in geringem Maße ändert. Der gemessene Immissionschallpegel nähert sich hier bereits an eine gerade Linie bei ca. 76–77 dB an. Da der Verlauf der mittleren Geschwindigkeit (37–40 km/h) und des gemessenen Immissionschallpegels (75,9–77,3 dB) keine markanten Abweichungen zeigt, lässt sich auch hier keine konkrete Aussage über den Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern treffen. Vergleichsmessungen mit ebenfalls annähernd konstanten Verläufen fehlen.

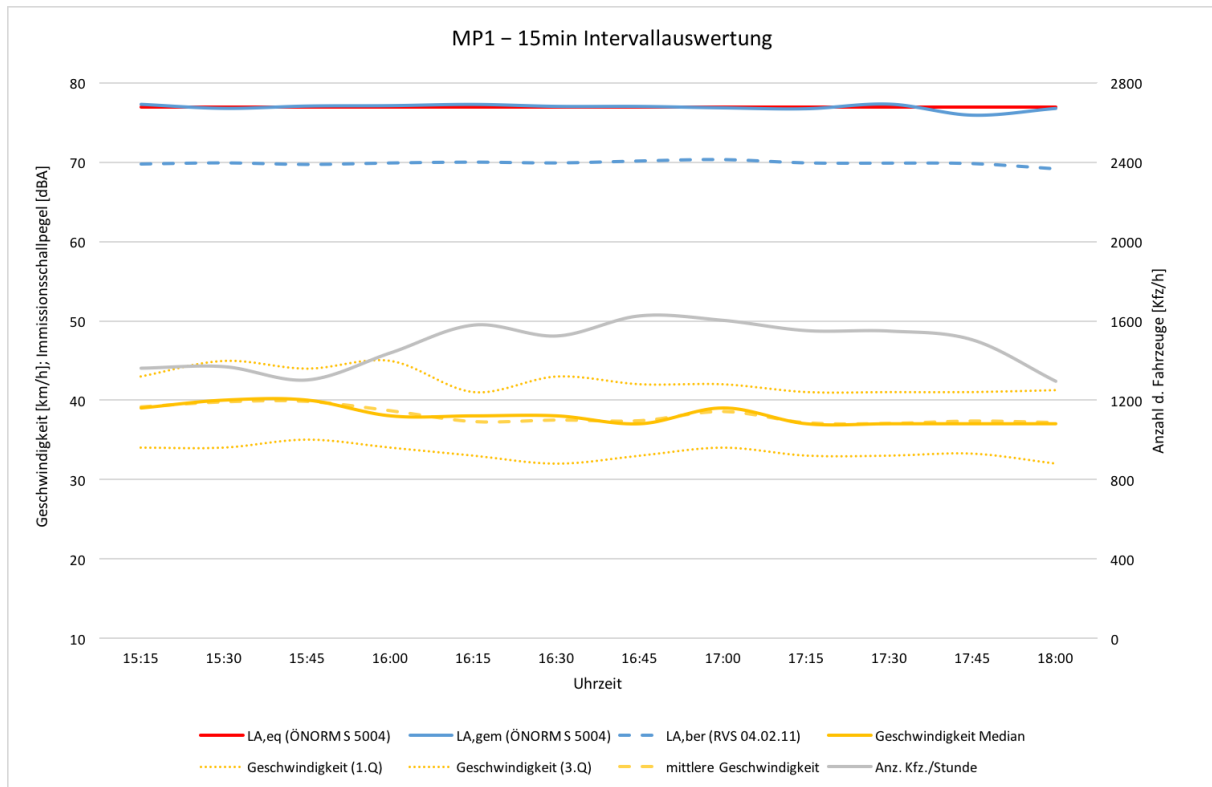


Abbildung 69: Messpunktauswertung MP 1 – 15-Minuten-Intervallauswertung

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Geschwindigkeit einen größeren Einfluss auf den Immissionsschallpegel hat als das Verkehrsaufkommen. In MP 13 an VLSA 303 wies die mittlere Geschwindigkeit unter den dargestellten Messpunkten mit 18–42 km/h die größte Spanne auf. Der Grund dafür ist, dass es an der Lichtsignalanlage während der Rotphasen zu Haltevorgängen kommt, was die mittlere Geschwindigkeit reduziert; während der Grünphasen sind hingegen Durchfahrten bei deutlich höheren Geschwindigkeiten möglich. Aufgrund der durchschnittlich niedrigen Geschwindigkeit ist der berechnete Immissionsschallpegel bei MP13 im Vergleich zu MP8 und MP1 auch am niedrigsten. Der gemessene Immissionsschallpegel lag jedoch deutlich (Korrekturwert von durchschnittlich 7,13 dB) über dem berechneten. Obwohl hier die durchschnittliche mittlere Geschwindigkeit bei 29 km/h lag, ist der energieäquivalente Dauerschallpegel bei 73,7 dB.

Im Vergleich dazu ist in MP8 auf der freien Strecke der energieäquivalente Dauerschallpegel mit 68,3 dB bei einer mittleren Geschwindigkeit von durchschnittlich 36 km/h wesentlich geringer. Hier hat sich herausgestellt, dass der berechnete und der gemessene Immissionsschallpegel kaum voneinander abweichen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass auf freier Strecke Beschleunigungsvorgänge in viel geringerem Ausmaß stattfinden als bei MP13 und der mithilfe der RVS-Formel berechnete Immissionsschallpegel auch den Messungen im Untersuchungsgebiet entspricht.

In MP1 lag die Geschwindigkeit durchschnittlich bei 38 km/h und damit am höchsten. Der energieäquivalente Dauerschallpegel betrug 76,9 dB. Wie bei MP13 liegt jedoch auch hier der gemessene Immissionsschallpegel deutlich über dem berechneten (Korrekturwert von durchschnittlich 6,62 dB). Die höhere Geschwindigkeit an MP8 im Vergleich zu MP13 hatte dennoch einen geringeren Schallpegel zur Folge. Obwohl die durchschnittliche Geschwindigkeit bei MP1 im Bereich

von 38 km/h und damit 9 km/h über jener bei MP13 lag, war der energieäquivalente Dauerschallpegel nur geringfügig höher (Unterschied von 3,2 dB). Die Diskrepanz zwischen berechnetem und gemessenem Immissionsschallpegel bei MP1 und MP13 verdeutlicht, dass an diesen Messpunkten andere Faktoren als die Geschwindigkeit und die Verkehrsstärke einen maßgeblichen Einfluss auf den Immissionsschallpegel haben müssen. Eine Gesamtschau der einzelnen Messpunkte-Auswertungen ergibt, dass kein direkter Zusammenhang zwischen dem gemessenen Immissionsschallpegel im Untersuchungsgebiet und den gemessenen Geschwindigkeiten abzulesen ist. Im Bereich der Verkehrslichtsignalanlagen stellte sich trotz geringer Geschwindigkeit ein höherer $L_{A, eq}$ ein. An den Messpunkten 12, 11, 2, 1, die sich direkt nach den Lichtsignalanlagen befanden, wurden die höchsten Geschwindigkeiten und auch die höchsten Pegel gemessen. Dabei liegt nahe, dass der Pegel auch maßgeblich durch Beschleunigungsvorgänge beeinflusst wurde. Im übrigen Bereich zwischen den Lichtsignalanlagen (MP 10–4) ließ sich aber kein direkter Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und dem Immissionsschallpegel erkennen. Es zeichnete sich jedoch ein Trend dahingehend ab, dass weniger Geschwindigkeit einen niedrigeren Immissionsschallpegel bzw. umgekehrt bedingt.

5.2.6 Detailauswertung an Verkehrslichtsignalanlage 303

Für die nachfolgenden Detailauswertungen wurde das Verkehrsgeschehen an der VLSA 303 vom Verfasser dieser Arbeit beobachtet. Dazu wurden parallel zu den Messungen zahlreiche Umläufe und Anfahrtsvorgänge visuell erfasst und notiert, um so eine fahrzeugspezifische Auswertung durchführen zu können (siehe dazu unten).

Zunächst wird eine durch die visuelle Erfassung mögliche Zuordnung des Pegelverlaufes und der Signalprogrammzustände an der Lichtsignalanlage vorgenommen. Die nachfolgenden Abbildungen 58 bis 61 zeigen ausgewählte Pegelverläufe an jeweils zwei Umläufen der VLSA mit einer Umlaufzeit von je 80 Sekunden zu jeder vollen Stunde zwischen 15:00 und 18:00 Uhr.

Bedingt durch das Verkehrsaufkommen und Abbiegevorgänge, änderte sich die Dauer der Rot- und Grün-Phasen der Hauptverkehrsrichtung über den Messzeitraum. Die einzelnen Phasen dauerten entweder 40 Sekunden (grün) : 40 Sekunden (rot) oder 50 Sekunden (grün) : 30 Sekunden (rot).

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen den zeitlichen Verlauf des Schallpegels anfahrender und vorbeifahrender Fahrzeuge am Messpunkt direkt bei der VLSA 303.

In den Auswertungen für die gesamte Messdauer von 3 Stunden dargestellt sind der Grundgeräuschpegel (oder Basispegel) $L_{A,95}$, der in 95% der Zeit überschritten wird und den geringsten auftretenden Schallpegel markiert. Es ist der „geringste Wert, auf den der Schallpegel wiederholt zurückfällt“ [FSV, 2007]. Der mittlere Spitzenpegel $L_{A,1}$, der in 1% der Zeit überschritten wird, kennzeichnet die Schallpegelspitzen. Der gesamte zeitabhängige Pegelverlauf, welcher zahlreichen Schwankungen unterliegt, wird durch den energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{A,eq}$ abgebildet. Die Signalzustände der Lichtsignalanlage mit einer Umlaufzeit von 80 Sekunden sind durch den rot bzw. grün hinterlegten Bereich gekennzeichnet.

Aus den nachfolgenden vier Abbildungen ist sehr gut ersichtlich, dass bei den Anfahrtsvorgängen nach einer Rot-Phase in den meisten Fällen deutliche Pegelspitzen auftreten, welche teilweise auch den mittleren Spitzenpegel $L_{A,1}$ übersteigen.

Besonders erstaunlich ist, dass nicht nur bei den Anfahrtsvorgängen sondern auch vor den Rot-Phasen deutliche Pegelspitzen auftreten. Diese können entweder auf Verzögerungsgeräusche, wie quietschende Bremsen, höhere Motordrehzahlen durch Schaltvorgänge in einen niedrigeren Gang oder aber auch auf nochmaliges rasches Beschleunigen, um die Ampel noch passieren zu können, hindeuten. Während der Rot-Phasen liegt der Immissionserschallpegel deutlich unter dem energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{A,eq}$.

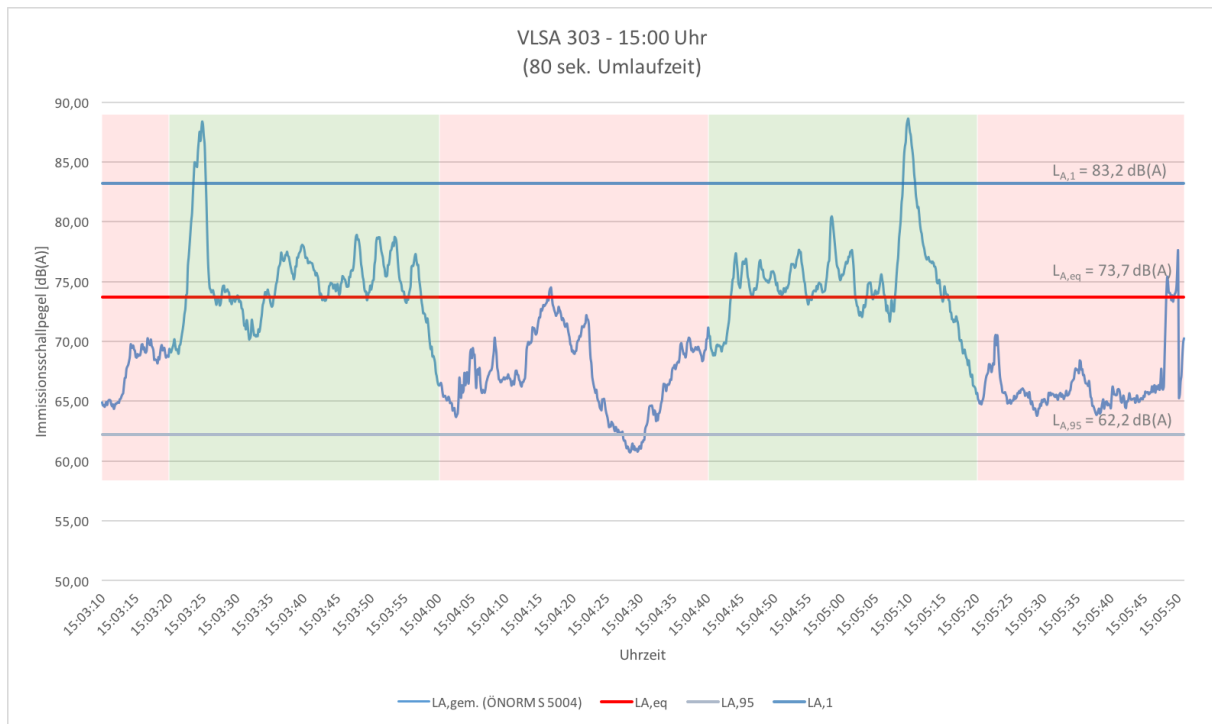


Abbildung 70: Schallpegelverlauf des Verkehrslärms an der VLSA 303 – 15:00 Uhr

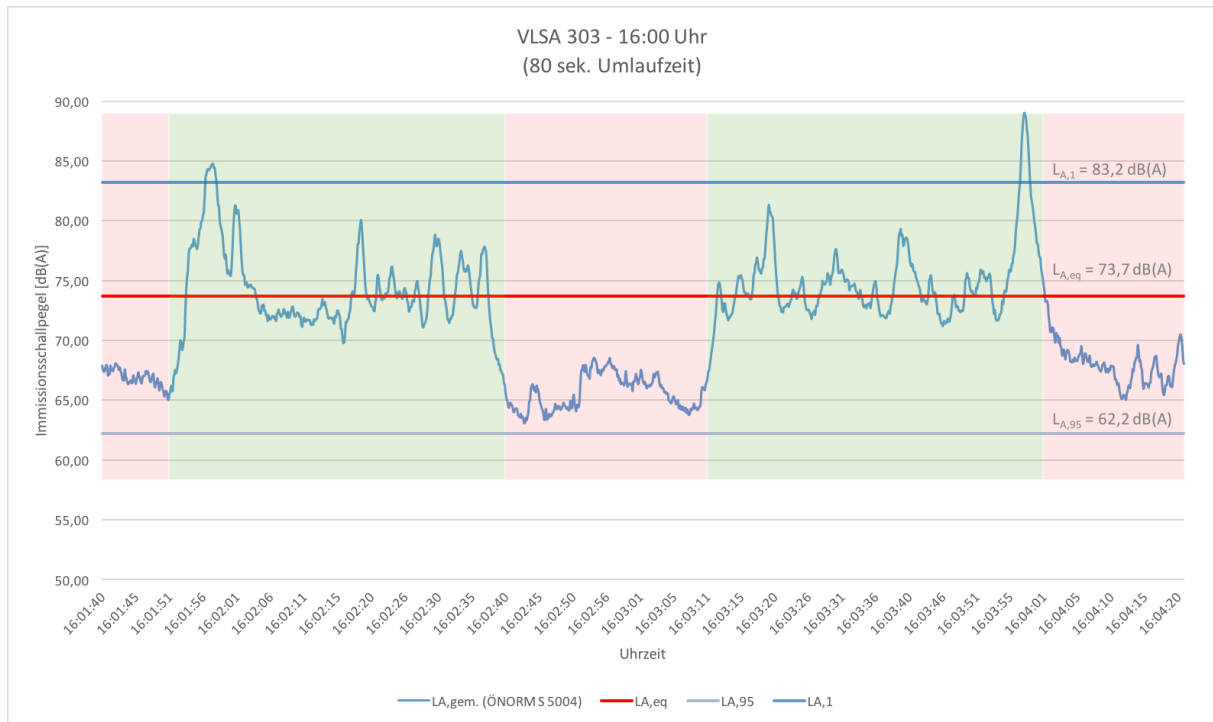


Abbildung 71: Schallpegelverlauf des Verkehrslärms an der VLSA 303 – 16:00 Uhr

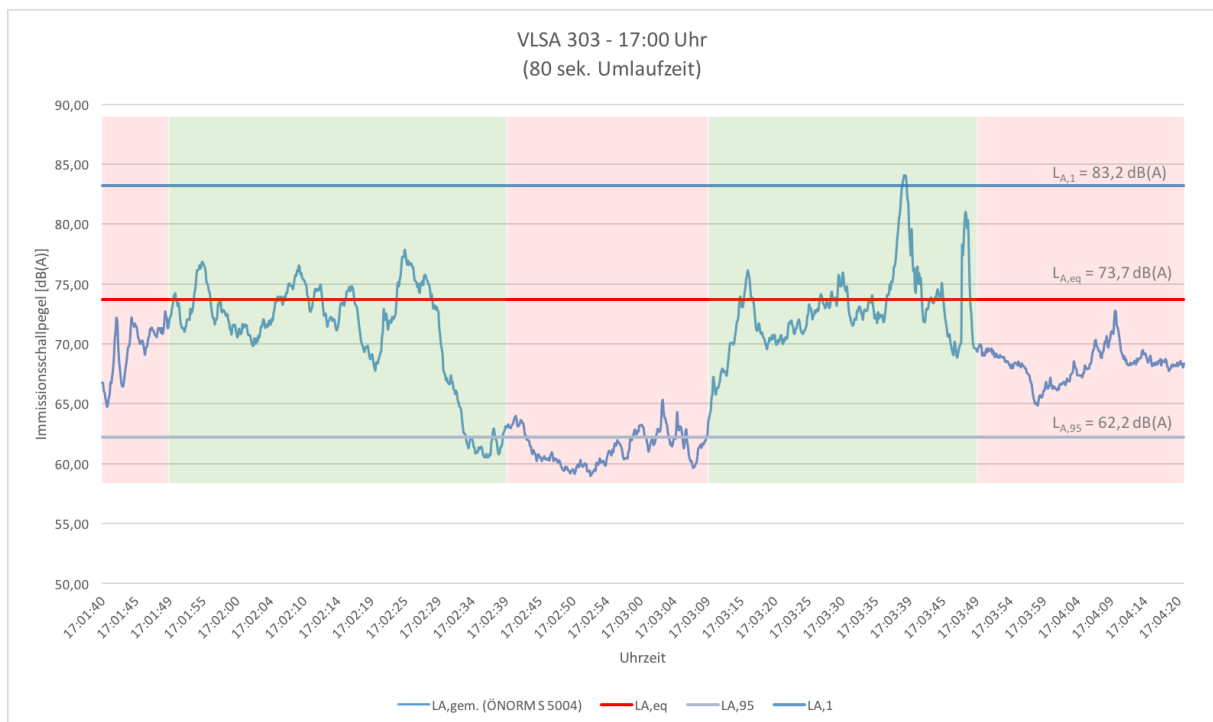


Abbildung 72: Schallpegelverlauf des Verkehrslärms an der VLSA 303 – 17:00 Uhr

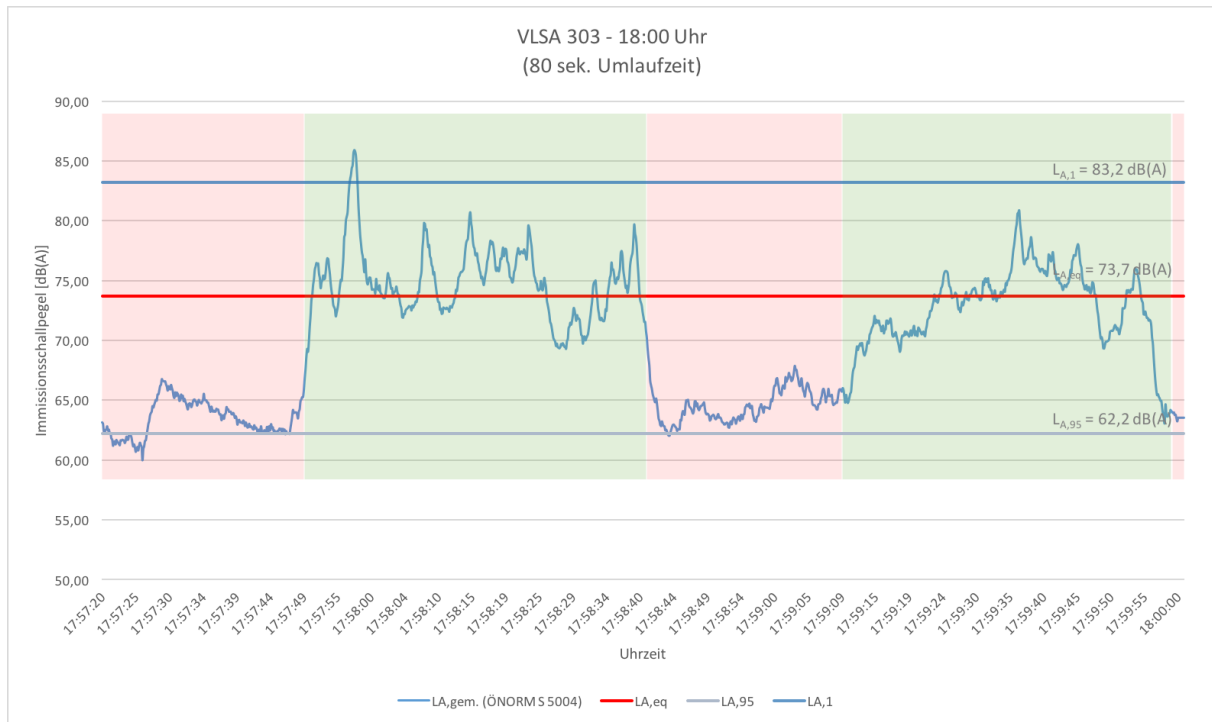


Abbildung 73: Schallpegelverlauf des Verkehrslärms an der VLSA 303 – 18:00 Uhr

Die nächsten Auswertungen sollen den starken Einfluss von Beschleunigungsvorgängen im Gegensatz zu Fahrverhalten ohne maßgebliche Beschleunigungen (Vorbeifahrten) aufzeigen. Zur Beschreibung der Schallereignisse werden getrennt nach den verschiedenen Fahrzeugkategorien (Pkw, Lkw und Motorrad) der Vorbeifahrtpegel und der Pegelverlauf bei Anfahrtsvorgängen gegenübergestellt und betrachtet.

Für diese Auswertung wurde ebenfalls eine visuelle Erfassung von mehreren Vorbeifahrten und Anfahrtsvorgängen durch den Verfasser dieser Arbeit getrennt nach Fahrzeugkategorie durchgeführt und zeitlich erfasst.

Die Abbildungen enthalten den Grundgeräuschpegel, den energieäquivalenten Dauerschallpegel, den mittleren Spitzenpegel und die Pegelverläufe getrennt nach Fahrzeugkategorie an der VLSA 303.

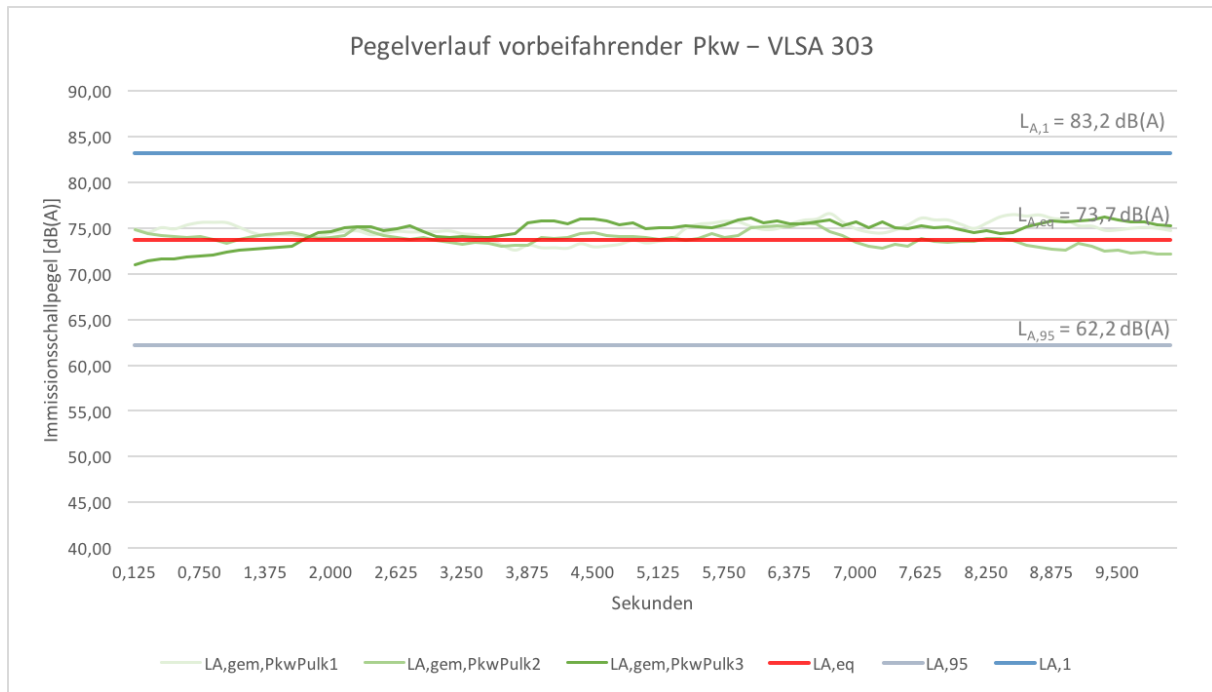


Abbildung 74: Schallpegelverlauf für vorbeifahrende Pkw

In Abbildung 74 werden 3 10-sekündige Zeitabschnitte dargestellt, in denen während einer Grün-Phase ausschließlich Pkws die VLSA 303 passierten. Aus den exemplarisch ausgewählten Durchfahrtvorgängen sind Immissionsschallpegel zwischen 71 und 76,5 dB abzulesen. Die Auswertung lässt keine Pegelspitzen bzw. deutliche Pegelschwankungen erkennen.

Für die Analyse der Pkw-Anfahrtvorgänge (Abb. 75) werden drei Zeitabschnitte bei Signalprogrammänderung gewählt, an denen ausschließlich Pkws an der Haltelinie beider Fahrspuren standen. Der Pegelverlauf dieser drei Anfahrtvorgänge von Pkws wird durch die drei grünen Linien dargestellt. Bei allen drei Anfahrtvorgängen tritt im Zuge der Beschleunigungsvorgänge nach Umschalten auf die Grün-Phase eine deutliche Pegelzunahme ein. Die Pegelspitzen liegen bei etwa 79 dB, während der Immissionsschallpegel vorbeifahrender Pkws stets im Bereich des $L_{A,eq}$ von 73,7 dB liegt.

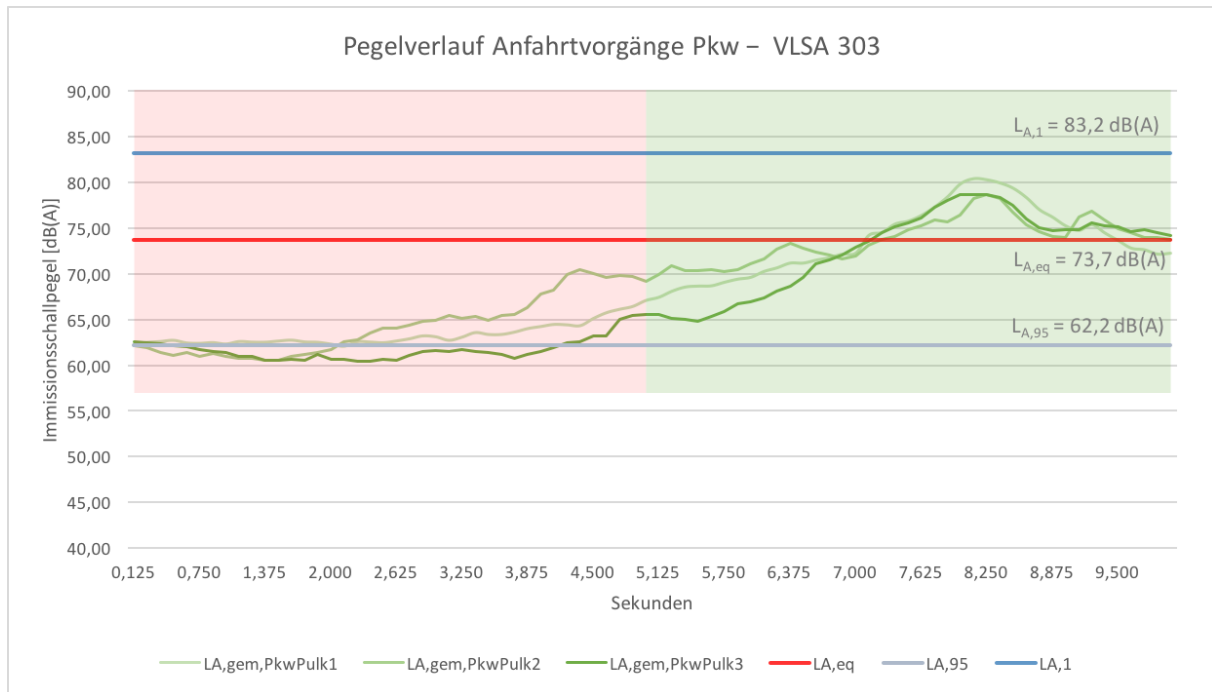


Abbildung 75: Schallpegelverlauf für anfahrende Pkw

In Abb. 76 werden drei Vorbeifahrten (Durchfahrten) von jeweils einem Lkw am ersten Fahrstreifen beobachtet. Im Gegensatz zu den vorbeifahrenden Pkws, bei denen der Immissionsschallpegel keine Pegelspitzen aufwies, kommt es beim Passieren eines Lkws am Messpunkt in allen drei Fällen zu einem deutlichen Anstieg des Immissionsschallpegels. Die Pegelspitzen liegen knapp unter dem mittleren Spitzenpegel von 83,2 dB.

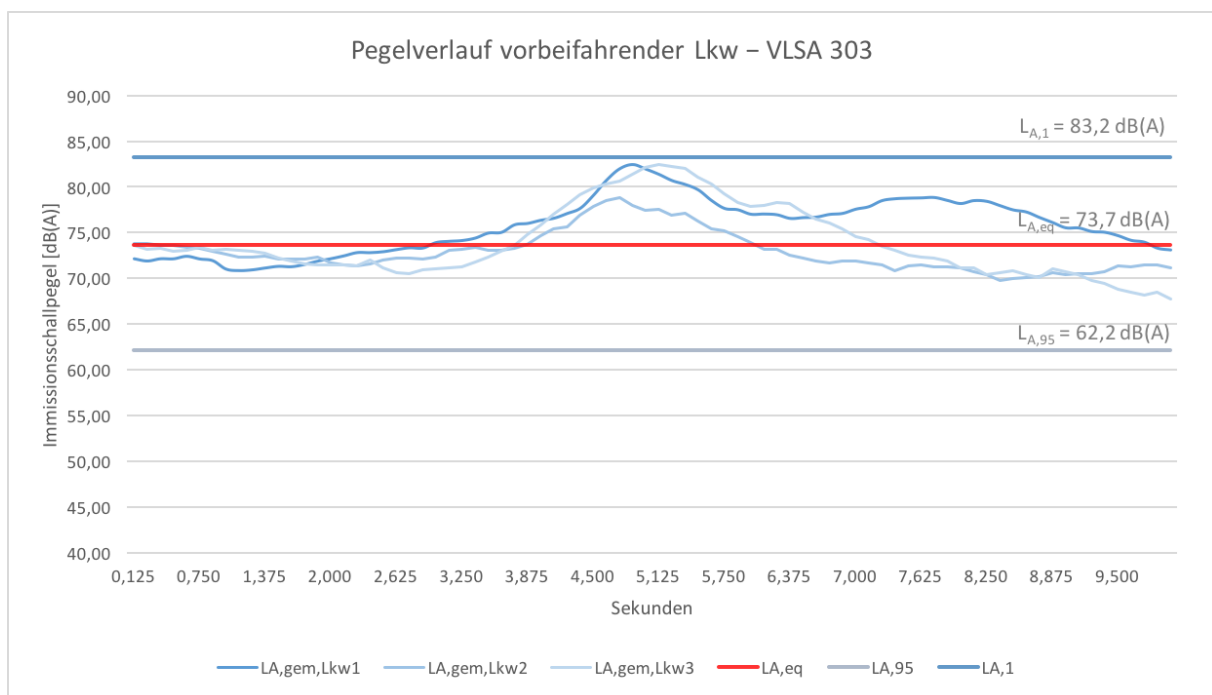


Abbildung 76: Schallpegelverlauf für vorbeifahrende Lkw

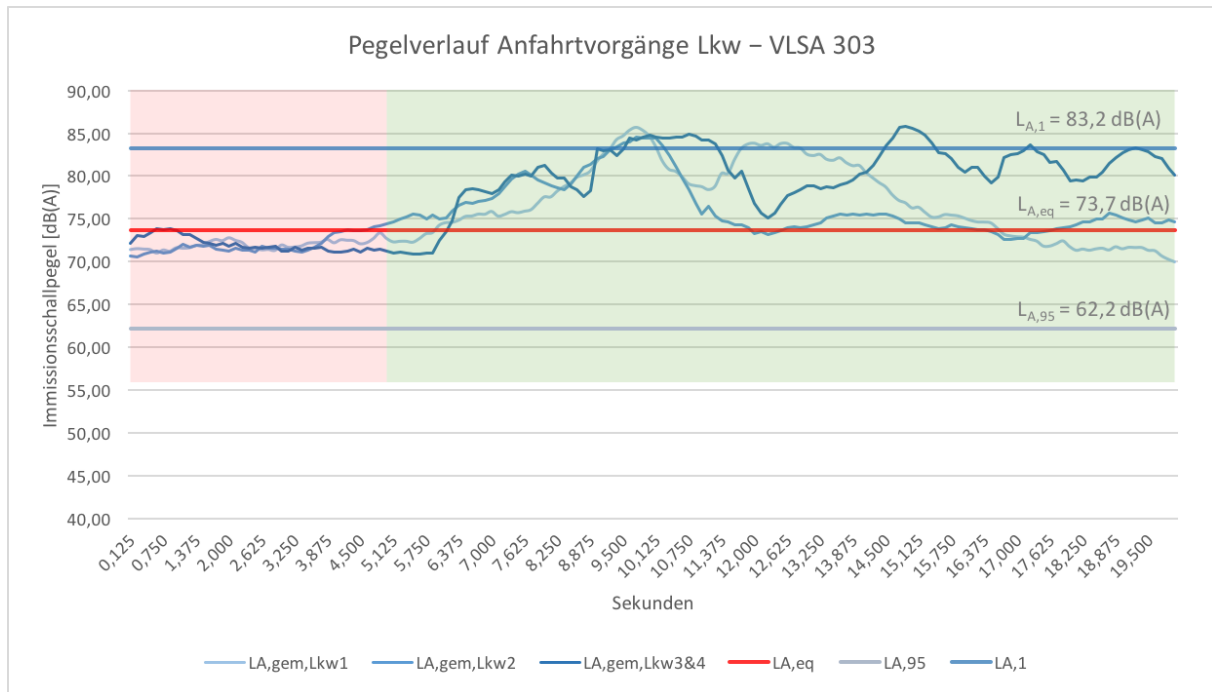


Abbildung 77: Schallpegelverlauf für anfahrende Lkw

Für die Analyse der Lkw-Anfahrtvorgänge werden drei Zeitabschnitte bei Signalprogrammänderung gewählt, an denen ein Lkw bzw. zwei Lkws direkt an der Haltelinie bei VLSA 303 stand(en). Der Pegelverlauf dieser drei Anfahrtvorgänge von Lkws wird durch die drei blauen Linien dargestellt. Bei allen drei Anfahrtvorgängen tritt im Zuge der Beschleunigungsvorgänge nach Umschalten auf die Grün-Phase eine deutliche Pegelzunahme ein. Die Pegelspitzen überschreiten hier bei allen vier beobachteten Lkws den mittleren Spitzenpegel $L_{A,1}$ und liegen bei rund 85 dB. Die deutlichen Einbrüche in den Pegelverläufen sind auf Schaltvorgänge der Lkws zurückzuführen.

Obwohl der Vorbeifahrtpegel bei Lkws schon deutliche Spitzen aufweist, führen die Beschleunigungsvorgänge – wie auch bei den Pkws – zu einem noch höheren Immissionsschallpegel.

In Abbildung 78 werden die Anfahrtvorgänge von Motorrädern dargestellt. Schon während der Rot-Phasen weisen die drei beobachteten Motorräder einen deutlich divergierenden Immissionsschallpegel auf, der möglicherweise auf die Motorradtype zurückzuführen ist. Der frühe Anstieg des Immissionsschallpegels im Vergleich zu Pkws und Lkws lässt auf eine raschere Anfahrt schon während der Gelb-Phase schließen. Im Zuge der Beschleunigung werden Pegelspitzen zwischen 86–92 dB erreicht.

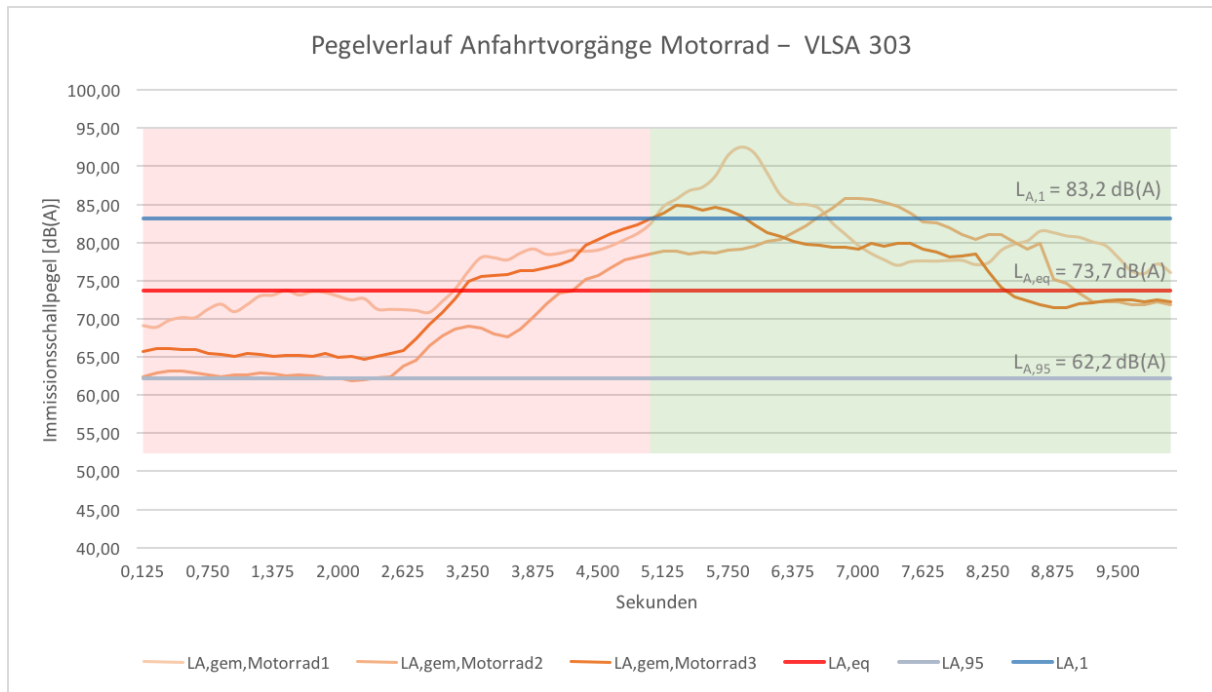


Abbildung 78: Schallpegelverlauf für anfahrende Motorräder

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Beschleunigungsvorgänge – wie bei den vorigen Auswertungen ersichtlich – einen großen Einfluss auf den Immissionsschallpegel haben. Zudem wurde deutlich, dass dies auch von der Art des Fahrzeuges abhängt. Lkws und Motorräder erreichten bei der Beschleunigung viel höhere Pegelspitzen als Pkws. Verkehrszählungen an der Wiener Straße [Schaffenberger; Winkler, 2016] haben ergeben, dass der Anteil der Motorräder am Gesamtverkehrsaufkommen rund 3% beträgt und somit sogar über dem Schwerverkehrsanteil liegt. Der Einfluss von Motorrädern auf den Immissionsschallpegel ist daher nicht vernachlässigbar und sollte Eingang in die Berechnungsformel des Immissionsschallpegels finden.

5.2.7 Detailauswertung GPS-unterstützter Messfahrten an VLSA 302

Die in den Messfahrzeugen aufgezeichneten GPS-Trajektorien wurden als Geschwindigkeitsprofil ausgewertet. Bei der Korrelationsanalyse von realen Geschwindigkeits- und Immissionsschallpegel-Trajektorien ist zu beachten, dass die vier Messfahrzeuge in keinem isolierten Untersuchungsbereich unterwegs waren. Es befanden sich neben den Messfahrzeugen noch weitere Fahrzeuge im Messbereich, welche auch Einfluss auf den Immissionsschallpegel hatten. Zudem hat ein einzelnes Fahrzeug nur sehr kurz Einfluss auf den an den Messpunkten gemessenen Immissionsschallpegel.

Mittels GPS-Messfahrten und parallel dazu aufgezeichneten Schallpegeln soll eine genauere Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Anfahrts- bzw. Durchfahrtvorgängen und deren Einfluss auf den Immissionsschallpegel ermöglicht werden.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Auswertungen der GPS-unterstützten Messfahrten und Schallpegelmessungen ersichtlich. Es ist davon auszugehen, dass die abgebildeten Trajektorien der vier Messfahrzeuge auch den anderen im Untersuchungsabschnitt – insbesondere am zweiten Fahrstreifen – verkehrenden Fahrzeuge ähneln.

Da sich die Fahrzeuge bewegen, jedoch die Mikrofone stationär sind und die Fahrzeuge somit hintereinander in den Einflussbereich der Mikrofone kamen, wird der Pegelverlauf über die Dauer dargestellt, in der sich die Fahrzeuge im Messbereich der Mikrofone befanden. Die Vorbeifahrt der einzelnen Fahrzeuge an den Messpunkten wird durch eine vertikale Linie markiert.

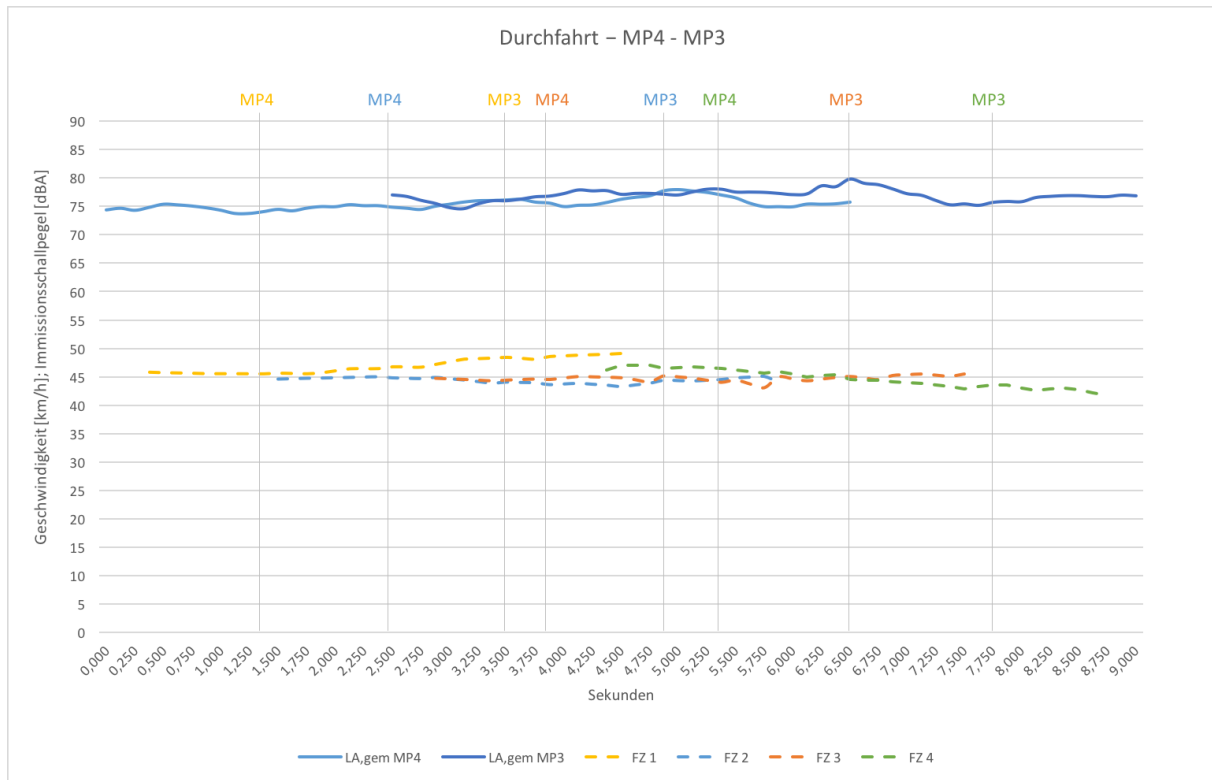


Abbildung 79: Pegelverläufe an MP4 u. MP3 bei GPS-unterstützter Durchfahrt

Abbildung 79 veranschaulicht den gemessenen Schallpegel an MP4 (hellblaue Linie) und an MP3 (dunkelblaue Linie). Die strichlierten Linien stellen die Geschwindigkeits-Trajektorien der vier Messfahrzeuge dar. Fahrzeug 1 war das erste des Pulks und passierte dementsprechend als erstes die beiden Messpunkte. Der Punkt, an dem das Fahrzeug exakt an MP4 bzw. MP3 vorbeifuhr, wird durch die vertikale Linie gekennzeichnet.

Direkte Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und Immissions-schallpegel sind nicht erkennbar. Jedoch ist feststellbar, dass eine mittlere Geschwindigkeit von ca. 45 km/h einen Immissions-schallpegel von rund 75–78 dB verursachte. Im Vergleich dazu wurde bei den Vorbeifahrten an den Messpunkten 2 und 1 (Abbildung 80) eine mittlere Geschwindigkeit von rund 50 km/h und ein Immissions-schallpegel von ca. 80 dB aufgezeichnet.

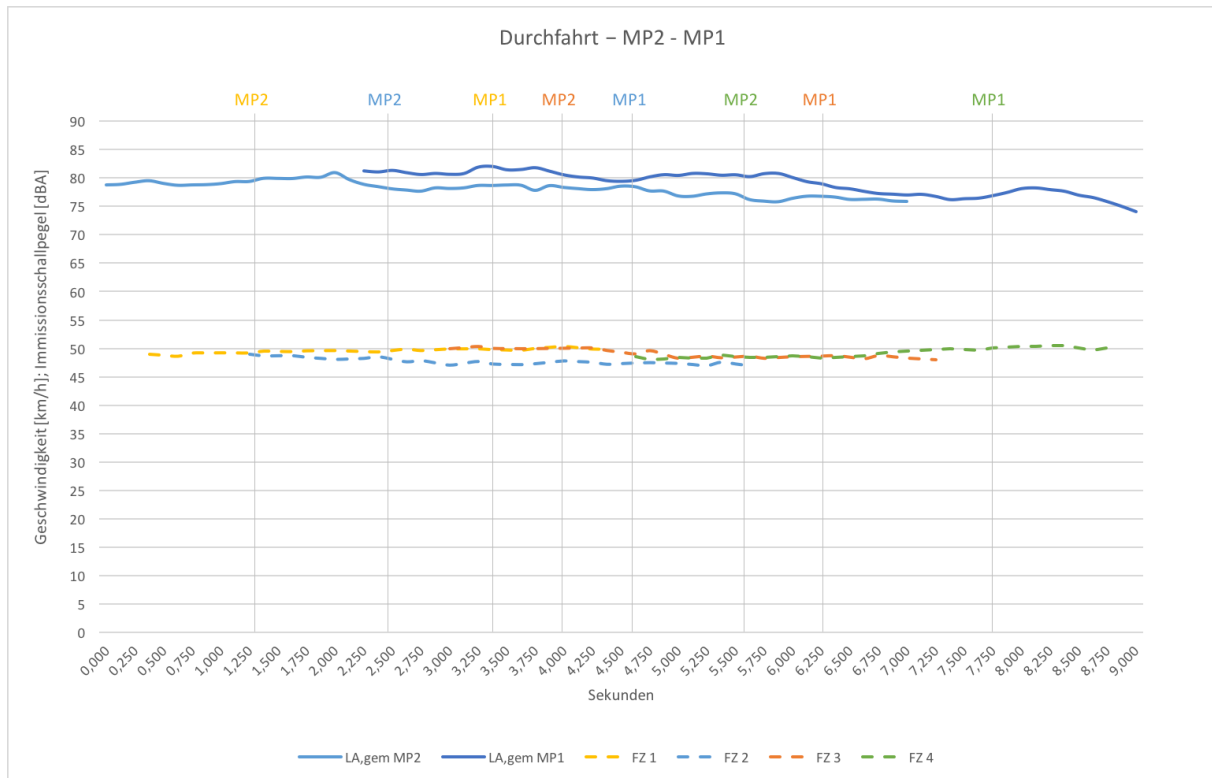


Abbildung 80: Pegelverläufe an MP2 u. MP1 bei GPS-unterstützter Durchfahrt

Während der Rotphase wurde ein niedrigerer Schallpegel aufgezeichnet, der erst wieder durch die Anfahrtsvorgänge steigt. Der Anstieg des Pegels vor Anfahrt des Fahrzeuges 1 in Abbildung 81 ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass das Fahrzeug am zweiten Fahrstreifen, welches kein Messfahrzeug war, schneller losfuhr. Dennoch ist durch die Beschleunigungsvorgänge ein deutlich merkbarer Anstieg des Immissionschallpegels feststellbar. Eine detaillierte Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Beschleunigung und Immissionschallpegel ist aufgrund der zahlreichen nicht erfassbaren Einflussfaktoren (andere Fahrzeuge, Fahrzeuge auf der anderen Richtungsfahrbahn, etc.) nicht möglich.

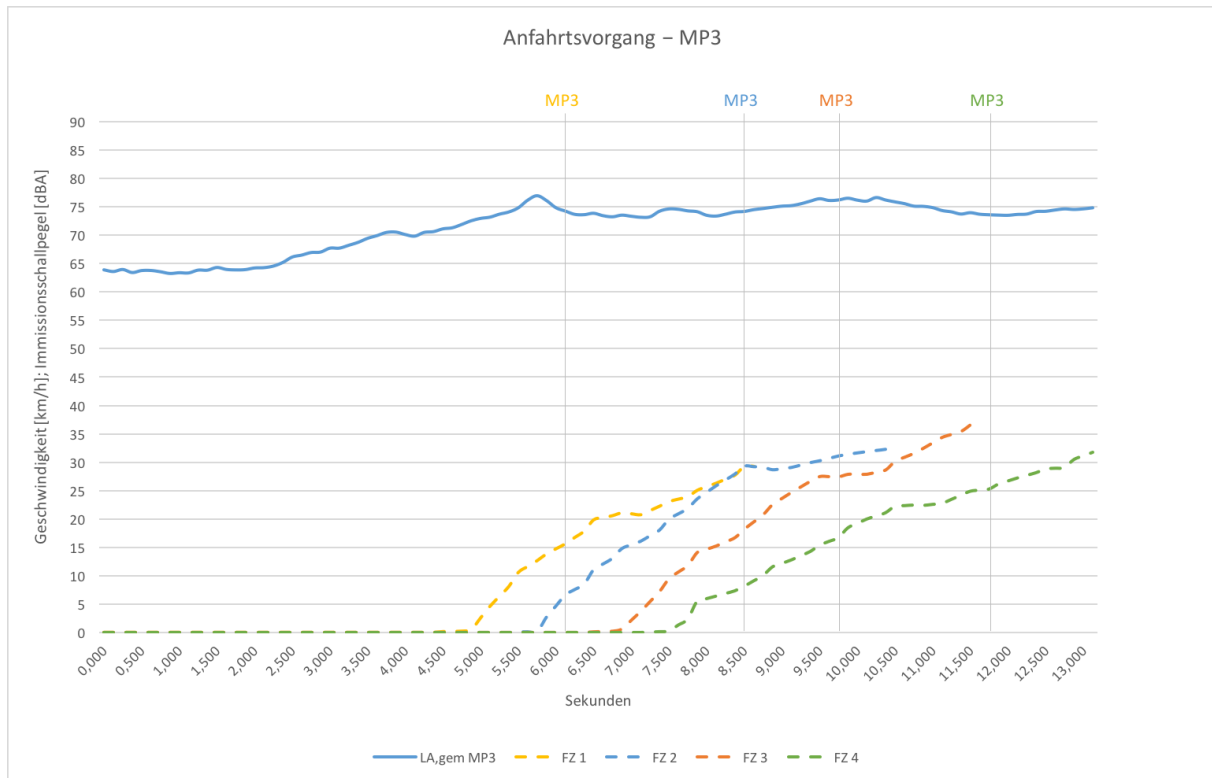


Abbildung 81: Pegelverlauf an MP3 bei GPS-unterstützter Anfahrt

Zum Zeitpunkt der Pegelmessungen an den Messpunkten 2 und 1 (Abb. 82) ist es nicht gelungen, die Fahrzeuge so zu koordinieren, dass diese die erste Position an der Haltelinie der VLSA 302 während der Rot-Phase einnahmen. Aus diesem Grund wurde der Pegelverlauf schon vor dem Zeitpunkt, als die Messfahrzeuge die Messpunkte erreichten, abgebildet, um dennoch den Anstieg des Immissionsschallpegels bedingt durch Anfahrtsvorgänge nach der Rot-Phase aufzeigen zu können. Der Anstieg des Immissionsschallpegels ist somit auf die sich in der Beschleunigungsphase befindlichen ersten Fahrzeuge an der Haltelinie beider Fahrstreifen zurückzuführen.

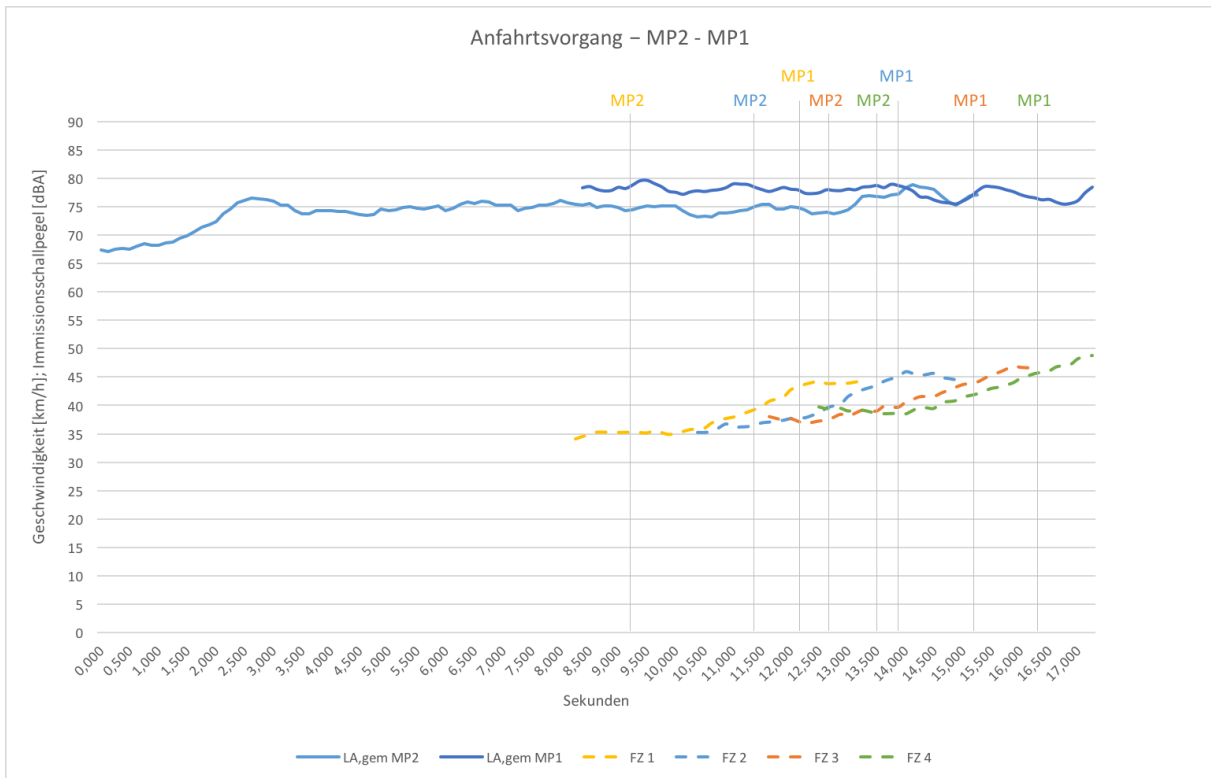


Abbildung 82: Pegelverläufe an MP2 u. MP1 bei GPS-unterstützter Anfahrt

Der direkte Zusammenhang zwischen einem Fahrzeug und dessen Einfluss auf den Immissionsschallpegel kann aus den vorliegenden Auswertungen nicht herausgelesen werden, da es sich bei den Messfahrzeugen nicht um isolierte Fahrzeuge handelte, sondern auch viele andere Fahrzeuge bzw. weitere nicht von den Messungen erfassbare Einflüsse im System Straße eine Veränderung im Verlauf des Immissionsschallpegels verursachten.

Jedoch kann aufgrund eines Vergleichs zwischen Anfahrts- und Durchfahrtsvorgängen festgehalten werden, dass bei den Anfahrtsvorgängen eine viel geringere Geschwindigkeit beim Passieren der Messpunkte einen annähernd gleich hohen Schallpegel erzeugt wie bei Vorbeifahrten mit deutlich höheren Geschwindigkeiten. Daraus kann abgeleitet werden, dass bei der Berechnungsformel nach RVS nicht nur die Geschwindigkeit, sondern auch Beschleunigungswerte berücksichtigt werden müssten, da die Berechnung des Immissionsschallpegels aufgrund der einzusetzenden tatsächlichen Geschwindigkeit immer einen zu niedrigen Pegel bei Anfahrtsvorgängen ergibt.

Nachfolgend werden mögliche fahrdynamische Kenngrößen, die in eine erweiterte Berechnungsformel für den Immissionsschallpegel an koordinierten Streckenzügen im innerstädtischen Bereich einfließen könnten, beschrieben und ausgewertet.

- Positive Beschleunigung a^+

Die Beschleunigung ist Geschwindigkeitsänderung pro Zeitintervall. Man versteht darunter die Änderung des Bewegungszustandes eines Körpers.

$$a^+ = \frac{v_{i+1} - v_i}{\Delta t} \quad [m/s^2] \quad (24)$$

$\Delta t = \text{verstrichene Zeit [s]}$

- Positive kinetische Energie **PKE**

Die positive kinetische Energie kann als die repräsentative Beschleunigung in einem Mikrotrip (kleine Fahrstrecke von einem Halt zum nächsten Halt) oder für gesamte Trips angesehen werden. Jeder Mikrotrip stellt die weniger als 1 sec dauernde Fahrt eines Fahrzeuges dar. Konstantas [2004] beschreiben mithilfe der Geschwindigkeit und der PKE unterschiedliche Fahrmodi (Beschleunigung, Verzögerung, Fahrt, Stillstand). Die PKE berechnet sich aus der quadratischen Geschwindigkeitsdifferenz, gebrochen durch die zurückgelegte Strecke Δx , während sich das Fahrzeug in einem Beschleunigungsvorgang befindet.

$$PKE = \frac{v_{i+1}^2 - v_i^2}{\Delta x} \quad [m/s^2] \quad (25)$$

$\Delta x = \text{zurückgelegte Strecke [m]}$

- Relative Positive Acceleration **RPA**

Die Relative Positive Beschleunigung (RPA) ist der geschwindigkeitsabhängige Durchschnitt der Beschleunigung eines Fahrzeuges. Sie hängt direkt mit der durchschnittlichen Beschleunigungsenergie eines Fahrzeuges zusammen. [Pelkmans; Debal, 2006]

$$RPA = \frac{\int_0^T (v_i - a_i^+) dt}{x} \quad [m/s^2] \quad (26)$$

$x = \text{gesamte Strecke [m]}$

$T = \text{Gesamtdauer [s]}$

In den nachfolgenden Tabellen wurden die eben beschriebenen Kenngrößen für die vier Messfahrzeuge aufgelistet. Ersichtlich sind die aus den GPS-Trajektorien ausgewerteten mittleren Geschwindigkeiten, positive Beschleunigungskennwerte, sowie PKE und RPA für die Anfahrts- und Vorbeifahrtsvorgänge an den Messpunkten 4, 3, 2 und 1.

Tabelle 27: Ergebnisse der Analyse der Fahrdynamischen Kenngrößen an MP4 und MP3

Kenngrößen	FZ 1		FZ 2		FZ 3		FZ 4		gemittelte Werte	
	Anfahrt	Vorbeifahrt	Anfahrt	Vorbeifahrt	Anfahrt	Vorbeifahrt	Anfahrt	Vorbeifahrt	Anfahrt	Vorbeifahrt
V_m [m/s]	4,6	13,0	5,8	12,3	5,6	12,4	4,9	12,4	5,2	12,5
$a_{r,avg}^+$ [m/s ²]	2,1	0,5	2,0	0,3	2,1	1,0	1,5	0,6	1,9	0,6
PKE [m/s ²]	3,9	0,9	3,6	0,7	3,2	1,9	2,8	1,3	3,4	1,2
RPA [m/s ²]	2,1	0,8	1,7	0,5	2,7	2,2	1,9	1,5	2,1	1,3
Immissionsschallpegel LA,eq [dB]									74,5	76,2

Tabelle 28: Ergebnisse der Analyse der Fahrdynamischen Kenngrößen an MP2 und MP1

Kenngrößen	FZ 1		FZ 2		FZ 3		FZ 4		gemittelte Werte	
	Anfahrt	Vorbeifahrt	Anfahrt	Vorbeifahrt	Anfahrt	Vorbeifahrt	Anfahrt	Vorbeifahrt	Anfahrt	Vorbeifahrt
V_m [m/s]	10,4	13,8	11,2	13,3	11,4	13,6	11,7	13,7	11,2	13,6
$a_{r,avg}^+$ [m/s ²]	0,8	0,4	0,9	0,4	1,0	0,3	0,8	0,4	0,9	0,4
PKE [m/s ²]	1,7	0,7	1,8	0,8	2,0	0,7	1,6	0,9	1,8	0,8
RPA [m/s ²]	1,3	0,5	1,5	0,6	2,4	0,8	2,4	1,3	1,9	0,8
Immissionsschallpegel LA,eq [dB]									76,4	77,9

Bei den Anfahrtsvorgängen an MP3 (Tabelle 27) erreichte der L_{Aeq} einen Wert von 74,5 dB. Bei den Vorbeifahrten lag der L_{Aeq} nur um 1,7 dB höher bei 76,2 dB (Unterschied von 2,2%). Aus der Betrachtung der mittleren Geschwindigkeit zeigt sich zwischen den Anfahrtsvorgängen mit 5,2m/s und den Vorbeifahrten mit 12,5m/s ein Unterschied von 58%. Daraus lässt sich wiederum ableiten, dass nicht nur die Höhe der Geschwindigkeit für den entstehenden Immissionsschallpegel verantwortlich ist. Aus dem Vergleich der positiven Beschleunigung mit 1,9m/s² bei Anfahrten und 0,6 m/s² bei Durchfahrten ergibt sich eine Differenz von 69%. Die PKE betrug bei den Anfahrten 3,4 m/s² und bei den Durchfahrten 1,2 m/s² (Differenz von 64%).

An MP2 und 1 (Tabelle 28), die nach der VLSA 302 lagen, belief sich der L_{Aeq} bei den Anfahrten auf 76,4 dB und bei den Vorbeifahrten auf 77,9 dB. Die Geschwindigkeit war bei den Anfahrten durchschnittlich 11,2 m/s und bei den Vorbeifahrten 13,6 m/s, was einem Unterschied von 18% entspricht. Trotz erheblicher Unterschiede in den Geschwindigkeiten zwischen MP4 und 3 bzw. MP2 und 1 liegt der gemessene Immissionsschallpegel stets in einem Bereich von 74,5 bis 77,9 dB.

Obwohl in diese Tabellen nur die Werte weniger Fahrzeug-Trajektorien Eingang gefunden haben, lassen die großen Unterschiede der gemittelten fahrdynamischen Kenngrößen zwischen Anfahrts- und Vorbeifahrtsvorgängen darauf schließen, dass jene fahrdynamische Kenngrößen, die bisher nicht in der Berechnungsformel für den Immissionsschallpegel berücksichtigt wurden, insbesondere im Bereich von VLSA in der Berechnung berücksichtigt werden müssen. Genauere Aussagen können auf Grundlage der vorhandenen Daten nicht getroffen werden. Diese liefern nur einen Anhaltspunkt für weitergehende Untersuchungen, um eine konkrete Anpassung der Berechnungsformel zu ermöglichen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Masterarbeit hatte vertiefte Korrelationsanalysen zwischen Geschwindigkeits-Trajektorien und Immissionserschallpegel-Trajektorien zum Thema. Ziel dieser Arbeit war es, an einem koordinierten Streckenzug einer Hauptverkehrsstraße in Graz durch Ermittlung von Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, fahrzeugspezifischer GPS-Daten und parallel dazu erfolgender Messung des Immissionserschallpegels den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeits-Trajektorien und Immissionserschallpegel-Trajektorien unter realen Messbedingungen aufzeigen zu können. Im Zuge dessen sollte auch ein Vergleich zwischen dem real gemessenen und dem nach Berechnungsformel der österreichischen Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen ermittelten Immissionserschallpegel erfolgen.

Im theoretischen Teil dieser Arbeit wurde zunächst auf grundlegende Begriffe der Akustik, insbesondere auf Schall und Lärm eingegangen. Die Erläuterungen zum Thema Schall konzentrierten sich auf den für diese Arbeit relevanten Hörschall und dessen Darstellbarkeit als physikalische Größe sowie die Problematik der subjektiven Wahrnehmung von Schall. Um die Anpassung der physikalischen Messgrößen des Schallsignales an das menschliche Gehör zu erreichen, wird heute eine an die menschliche Gehörcharakteristik angepasste Bewertungskurve („A-Bewertungskurve“) verwendet, weshalb auf diese gesondert eingegangen wurde. Anschließend wurde der energieäquivalente Dauerschallpegel erläutert, welcher eine Größe zur Darstellung von lang andauernden, zeitlich veränderlichen Schallsituationen darstellt. Der nächste Abschnitt wurde dem unerwünschten, als störend empfundenen Schall gewidmet, dem Lärm. Nach einer Beschreibung der Auswirkungen von Lärm auf die menschliche Gesundheit wurden die Ergebnisse des letzten in Österreich durchgeführten Mikrozensus in Bezug auf die Lärmbelastung der österreichischen Wohnbevölkerung dargestellt. Danach wurden in einem weiteren Unterkapitel die Möglichkeiten der Lichtsignalanlagen im Straßenverkehr, welche für diese Arbeit von zentraler Bedeutung waren, näher erläutert. Den Abschluss dieses Grundlagenkapitels bildete ein Überblick über die bisherige Forschung zur Auswirkung von VLSA auf Lärmemissionen. In Kapitel 3 wurde die Ermittlung des Immissionserschallpegels durch Lärmmessungen auf Basis von ÖNORM S 5004 sowie die Berechnung des Emissions- und Immissionserschallpegels nach RVS 04.02.11 dargestellt. Danach wurde in Kapitel 4 auf den zentralen Inhalt der Arbeit, die Durchführung der Messungen und das dafür entworfene Messkonzept eingegangen. Die Lärmmessungen und Messungen der verkehrsbezogenen Parameter wurden dabei an 14 Messpunkten zwischen zwei Verkehrslichtsignalanlagen im Kernbereich der Wiener Straße in Graz durchgeführt. Zusätzlich erfolgte an vier Messpunkten im Bereich einer Lichtsignalanlage, parallel zu Messungen des Immissionserschallpegels, eine detaillierte Erfassung von Geschwindigkeits-Trajektorien mittels GPS-unterstützter Fahrzeugerkennung.

Im nächsten Kapitel erfolgte schließlich die Aufbereitung der Rohdaten und die Auswertung der gewonnenen Daten mithilfe von statistischen Analysen. Zunächst wurde ein Vergleich zwischen den berechneten und real gemessenen Immissionserschallpegeln vorgenommen. Dabei wurde deutlich, dass der real gemessene fast immer über dem berechneten Immissionserschallpegel lag und insbesondere im Bereich der Lichtsignalanlagen und unmittelbar davor sehr hohe Abweichungen (sogar im Bereich von bis zu 9,9 dB, was eine Verdopplung des Lautheitseindrucks bewirkt) auftraten. Insgesamt war der Korrekturwert bei den meisten Messpunkten über die gesamte Messdauer hinweg bei über 3 dB, was laut RVS 04.02.11 ein zu diskutierendes Ergebnis darstellt. Auf der freien Strecke konnten die niedrigsten Korrekturwerte ermittelt werden, wobei bei Messpunkt 8 der berechnete und der gemessene Immissionserschallpegel lediglich um 0,2 dB voneinander abwichen.

Aufgrund der Analysen der Korrekturwerte im Untersuchungsbereich wurde im Kreuzungsbereich der VLSA 303 ein Korrekturfaktor von 5,5 dB und im Kreuzungsbereich der VLSA 302 von 5,3 dB vorgeschlagen.

Die durchgeführte lineare bzw. multiple lineare Regressionsanalyse ergab eine sehr große Streuung der Daten und damit ein sehr geringes Bestimmtheitsmaß für den Zusammenhang der tatsächlichen Geschwindigkeiten, der Verkehrsstärke und des gemessenen Immissionserschallpegels, was bedeutet, dass der real gemessene Immissionserschallpegel an koordinierten Streckenzügen nicht durch die mittlere Geschwindigkeit und die Verkehrsstärke allein beeinflusst wird. Die große Streuung legte nahe, dass auch andere Parameter als die genannten für den Immissionserschallpegel mitbeeinflussend sind. Bei der Streckenauswertung zeigte sich, dass sich zum Ende des Messzeitraums bei einer nunmehr verminderten, aber ähnlichen Verkehrsstärke und einer mittleren Geschwindigkeit von 35–40 km/h, ein konstanter berechneter Immissionserschallpegel einstellte, der tatsächlich gemessene Immissionserschallpegel insbesondere in den Bereichen vor und nach den Verkehrslichtsignalanlagen aber deutlich erhöht war. Die Streckenauswertungen veranschaulichten zwar, inwieweit der berechnete und der gemessene Immissionserschallpegel in bestimmten Bereichen des Streckenzuges divergierten und wo Anpassungen in der Berechnung notwendig sind, jedoch konnten keine gesetzmäßigen Korrelationen zwischen Verkehrsstärke, Geschwindigkeit und Immissionserschallpegel abgeleitet werden.

Aus den Einzelbetrachtungen der Messpunkte war abzuleiten, dass die Geschwindigkeit einen größeren Einfluss auf den gemessenen Immissionserschallpegel hat als die Verkehrsstärke. Bei MP 13, der direkt an der VLSA 303 lag, war die Geschwindigkeit unter den im Hauptteil dieser Arbeit dargestellten Messpunkten mit durchschnittlich 29 km/h am geringsten. Der Grund dafür ist, dass es an der Lichtsignalanlage immer wieder zu Haltevorgängen kommt. Aufgrund der niedrigeren Geschwindigkeiten war der berechnete Immissionserschallpegel bei MP 13 auch am niedrigsten. Der gemessene Immissionserschallpegel lag jedoch deutlich (Korrekturwert von durchschnittlich 7,1 dB) über dem berechneten. Obwohl die mittlere Geschwindigkeit bei MP 13 bei nur 29 km/h lag, war der energieäquivalente Dauerschallpegel mit 73,7 dB sehr hoch. Im Vergleich dazu war bei MP 8 auf der freien Strecke der energieäquivalente Dauerschallpegel mit 68,3 dB trotz einer mittleren Geschwindigkeit von 36 km/h wesentlich geringer. Hier stellte sich heraus, dass der berechnete und der gemessene Immissionserschallpegel kaum voneinander abwichen (Differenz von 0,2 dB). Dies könnte darauf zurückgeführt werden, dass auf freier Strecke Beschleunigungsvorgänge in viel geringerem Ausmaß stattfanden als bei MP 13 und der mithilfe der RVS-Formel berechnete Immissionserschallpegel daher auch den Messungen im Untersuchungsbereich entsprach. Bei MP 1 lag die Geschwindigkeit im Bereich von 38 km/h, der energieäquivalente Dauerschallpegel betrug 76,9 dB. Wie bei MP 13 lag jedoch auch hier der gemessene Immissionserschallpegel deutlich über dem berechneten (Korrekturwert von durchschnittlich 6,62 dB).

An den Messpunkten 12, 11, 2, 1, die sich direkt nach den Lichtsignalanlagen befanden, wurden die höchsten Geschwindigkeiten und auch die höchsten Pegel gemessen. Dabei wurde der Pegel auch maßgeblich durch Beschleunigungsvorgänge beeinflusst. Im übrigen Bereich zwischen den Lichtsignalanlagen (MP 10–4) lässt sich aber kein direkter Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und dem Immissionserschallpegel erkennen. Aus der Analyse der einzelnen Messpunkte ließ sich lediglich ein Trend dahingehend feststellen, dass höhere Geschwindigkeiten auch einen höheren Immissionserschallpegel zur Folge haben.

Aus den Detailauswertungen des Schallpegelverlaufs an der VLSA 303 war sehr gut ersichtlich, dass bei den Anfahrtsvorgängen nach einer Rot-Phase in den meisten Fällen deutliche Pegelspitzen auftraten, welche teilweise auch den mittleren Spitzenpegel $L_{A,1}$ überstiegen. Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auch darauf, dass nicht nur bei den Anfahrtsvorgängen sondern auch vor den Rot-Phasen deutliche Pegelspitzen auftraten. Diese könnten entweder auf Verzögerungsgeräusche, wie quietschende Bremsen, höhere Motordrehzahlen durch Schaltvorgänge in einen niedrigeren Gang oder aber auch auf nochmaliges rasches Beschleunigen, um die Ampel noch passieren zu können, hindeuten. Während der Rot-Phasen lag der Immissionsschallpegel deutlich unter dem energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{A,eq}$ und befand sich annähernd im Bereich des Basispegels $L_{A,95}$.

Zudem wurde der Pegelverlauf vorbeifahrender Fahrzeuge mit jenem anfährender Fahrzeuge bei einer VLSA verglichen. Es zeigte sich, dass im Zuge der Beschleunigungsvorgänge nach Umschalten auf die Grünphase eine deutliche Pegelzunahme eintrat. Die Pegelspitzen lagen bis zu 3 dB über dem Immissionsschallpegel vorbeifahrender Pkws. Aus den Analysen der Lkw-Anfahrten war abzuleiten, dass im Zuge der Beschleunigungsvorgänge nach Umschalten auf die Grünphase eine deutliche Pegelzunahme eintrat. Die Pegelspitzen überschritten hier bei allen ausgewerteten Lkws den mittleren Spitzenpegel $L_{A,1}$ und lagen bei rund 85 dB. Auch bei den dargestellten Anfahrtsvorgängen von Motorrädern war ein deutlicher Anstieg des Immissionsschallpegels sichtbar, der jedoch schon vor Umschalten auf die Grünphase eintrat – wahrscheinlich aufgrund eines früheren Beschleunigens während der Gelbphase. Damit kann festgehalten werden, dass auch die Art des Fahrzeuges (Pkw, Lkw, Motorrad) einen deutlichen Einfluss auf die Pegelentwicklung bei Beschleunigungsvorgängen hat. Zudem haben Verkehrszählungen an der Wiener Straße ergeben, dass der Anteil der Motorräder am Gesamtverkehrsaufkommen rund 3% beträgt und somit sogar über dem Schwerverkehrsanteil liegt. Der Einfluss von Motorrädern auf den Immissionsschallpegel ist daher nicht vernachlässigbar und sollte ebenfalls Eingang in die Berechnungsformel des Immissionsschallpegels finden.

Der letzte Abschnitt der Auswertung bezog sich auf GPS-unterstützte Messfahrten und die parallel dazu aufgezeichneten Immissionsschallpegel an ausgewählten Messpunkten des Untersuchungsbereichs. Dabei wurden Anfahrts- und Durchfahrtsvorgänge miteinander verglichen. Der direkte Zusammenhang zwischen einem Fahrzeug und dessen Einfluss auf den Immissionsschallpegel konnte aus den vorliegenden Auswertungen nicht herausgelesen werden, da sich die Messfahrzeuge in keinem isolierten System bewegten und somit auch nicht erfassbare Faktoren im System Straße den Immissionsschallpegel beeinflussten.

Jedoch konnte aufgrund eines Vergleichs zwischen Anfahrts- und Durchfahrtsvorgängen festgestellt werden, dass bei den Anfahrtsvorgängen eine viel geringere Geschwindigkeit beim Passieren der Messpunkte einen annähernd gleich hohen Schallpegel erzeugte wie bei Vorbeifahrten mit deutlich höheren Geschwindigkeiten. Daraus konnte abgeleitet werden, dass bei der Berechnungsformel nach RVS 04.02.11 nicht nur die Geschwindigkeit, sondern auch Beschleunigungswerte berücksichtigt werden müssten, da die Berechnung des Immissionsschallpegels aufgrund der einzusetzenden tatsächlichen Geschwindigkeit immer einen zu niedrigen Pegel bei Anfahrtsvorgängen ergibt.

De Coensel et al. [2007] ist also nach Auswertung der real gemessenen Daten insofern beizupflichten, als die Dynamik von Kreuzungen und deren Auswirkung auf Lärmemissionen (und in weiterer Folge auf Lärmimmissionen) durch einen entsprechenden Korrekturfaktor berücksichtigt werden muss. Die

vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen, dass Beschleunigungsvorgänge an VLSA bei der Berechnung von Lärmimmissionen jedenfalls einzubeziehen sind.

Was den Einfluss der Koordinierung auf den Immissionsschallpegel betrifft, ist festzuhalten, dass die Koordinierung im Untersuchungsgebiet durch teilweise Übersättigung nur unzureichend gegeben war, weshalb aus den Messungen keine direkten Aussagen über den Einfluss der Koordinierung auf den Immissionsschallpegel getroffen werden können.

Wie bereits eingangs erwähnt, ist derzeit eine detaillierte, ortsbezogene Ermittlung des Lärmimmissionspegels bei einer größeren Anzahl von Messpunkten unter realen Bedingungen nicht möglich. Das heißt, dass ein Einzugsgebiet einer gewählten Strecke nicht in dem Detaillierungsgrad erfasst werden kann, wie man es gerne würde, da man nicht zahlreiche Messpunkte zur selben Zeit betrachten kann. Die im Rahmen dieser Masterarbeit in situ gemessenen Daten können jedoch in weiterer Folge zur Kalibrierung eines Lärmsimulationsmodells zur mikroskopischen Nachbildung des Verkehrsablaufes auf der Straße und der aus Fahrverläufen abgeleiteten Berechnungen der Lärmemissionen dienen, um damit eine Aussage über den Einfluss der Koordinierungsqualität von Lichtsignalanlagen auf Immissionsschallpegel treffen zu können.

Aus der Analyse der den Fahrzeug-Trajektorien entnommenen Fahrdynamischen Kenngrößen der Messfahrzeuge (V_m , a_{avg}^+ , PKE, RPA) ging hervor, dass diese große Unterschiede zwischen Anfahrten und Vorbeifahrten aufwiesen, was wiederum eine Einbeziehung der bisher unberücksichtigten Kennwerte in die Berechnungsformel für den Immissionsschallpegel nahelegt. Genauere Aussagen konnten auf Grundlage der vorhandenen Daten nicht getroffen werden.

Insgesamt hat diese Arbeit noch weiteren Forschungsbedarf aufgezeigt. So wird einerseits zu eruieren sein, wie die genannten Fahrdynamischen Kenngrößen in die Berechnungsformel einzubinden sind. Zudem wäre in Anlehnung an Radl [2012] auch denkbar, die Anzahl der Haltevorgänge als einfachen Korrekturfaktor in die Berechnungsformel aufzunehmen. Andererseits wäre es wünschenswert, dass Messungen in einem anderen innerstädtischen Untersuchungsgebiet durchgeführt werden, in dem eine durchgehend gute bis sehr gute Qualität der Koordinierung gegeben ist, sodass möglicherweise eine Aussage über den Einfluss der Koordinierung auf den Immissionsschallpegel unter realen Bedingungen getroffen werden kann.

Literaturverzeichnis

Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (ADAC) (2006) – *Straßenverkehrslärm*, München

Avramovic, N.; Brkic, S.; Fenzl, R.; Frisee, A. M. (2009): *Vergleichsmessung Seitenradar – Videodetektion*, Masterprojekt am Institut für Straßen- und Verkehrswesen – Technische Universität Graz, Graz

Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R. (2000): *Multivariate Analysemethoden*, Springer Verlag, 9. Auflage, Berlin, Heidelberg

Bayrisches Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr – Wie Straßenverkehrs-Lärm entsteht:
<http://www.leiserstrassenverkehr.bayern.de/laerm/entstehung/>
[Datum des Zugriffs am 17.01.2017 16:15]

Brannolte, U.; Walther, Ch. (2005): *Analyse von Umweltwirkungen*, In: Steierwald, G; Künne, H. D.; Vogt, W.(Hrsg.): *Stadtverkehrsplanung – Grundlagen, Methoden, Ziele*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, S.160-194

Brenner, M. (2005): *Lichtsignalsteuerung*, In: Steierwald, G; Künne, H. D.; Vogt, W.(Hrsg.): *Stadtverkehrsplanung – Grundlagen, Methoden, Ziele*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, S.720-780

Bühler, B. (1981): *Untersuchung der Fahrgeräusche an Kraftfahrzeugen*, Vertiefearbeit am Institut für Verkehrswesen – Universität Karlsruhe, Karlsruhe

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft der Schweiz (BUWAL) (2003): *Umwelt Schweiz 2002 – Die Umwelt unter Druck – Lärm*

Can, A.; Leclercq, L.; Lelong, J. (2008): *Dynamic estimation of urban traffic noise: influence of traffic and noise source representations*, In: *Applied Acoustics* 69, S.858-867

De Coensel, B.; De Muer, T.; Yperman, I.; Botteldooren, D. (2005): *The influence of traffic flow dynamics on urban soundscapes*, In: *Applied Acoustics* 66, S.175-194

De Coensel, B.; Botteldooren, D. (2011): *Traffic signal coordination: a measure to reduce the environment impact of urban road traffic?*, 40th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering: Sound Environment as a Global Issue, INTER-NOISE 2011, 4 September through 7 September 2011

De Coensel, B.; Botteldooren, D.; Logghe, S. (2006): *Noise emission corrections at intersections based on microscopic traffic simulation*, 6th European Conference on Noise Control: Advanced Solutions for Noise Control, EURONOISE 2006, 30 May 2006 through 1 June 2006

De Coensel, B.; Botteldooren, D.; Vanhove, F.; Logghe, S. (2007): *Microsimulation Based Corrections on the Road Traffic Noise Emission Near Intersections*, In: *ACTA Acustica United with Acustica*, Vol. 93, S.241-252

De Coensel, B.; Can, A.; Degraeuwe, B.; De Vlieger, I.; Botteldooren, D. (2012): *Effects of traffic signal coordination on noise and air pollutant emissions*, In: *Environmental Modelling & Software* 35, S.74-83

- Desarnaulds, V.; Monay, G.; Carvalho, Antonio (2004): *Noise Reduction by Urban Traffic Management*, Proceedings of The 18th International Congress on Acoustics (ICA), Kyoto, Japan, April 2004
- DIN Deutsches Institut für Normung (2006): *DIN ISO 226:2006 – Akustik - Normalkurven gleicher Lautstärkepegel (ISO 226:2003)*, Beuth Verlag, Berlin
- Eder, A.; Theurl, T. (2017): *Fahrdynamische Kennwerte aus GPS-Trajektorien und Koordinierungsbewertung*, Bachelorarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen – Technische Universität Graz, Graz
- Europäisches Parlament, Rat der Europäischen Union (2002): *Richtlinie 2002/49/EG – Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm*
- Fellendorf, M. (2016): *Straßenverkehrstechnik und Telematik*, Vorlesungsskript am Institut für Straßen- und Verkehrswesen – Technische Universität Graz, Graz
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2001): *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)*, Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2010): *Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA)*, Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2015): *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)*, Köln
- Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV) (2007): *RVS 04.02.13 – Verkehrsberuhigung – Auswirkungen auf die Lärm- und Luftschadstoffbelastung*, Wien
- Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV) (2009): *RVS 04.02.11 – Lärmschutz*, Wien
- Gabler Wirtschaftslexikon (2017): *Aggregation*:
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/aggregation.html>
[Datum des Zugriffs am 25.08.2017 16:25]
- G.R.A.S. Sound & Vibration A/S (2016a) – Produkt Katalog:
http://www.gras.dk/media/MiscFiles/SalesMat/GRASProductCatalogue_WEB.pdf
[Datum des Zugriffs am 11.04.2017 11:00]
- G.R.A.S. Sound & Vibration A/S (2016b) – 40AE ½“ Mikrofon Datenblatt:
<http://www.gras.dk/40ae.html>
[Datum des Zugriffs am 03.04.2017 18:00]
- G.R.A.S. Sound & Vibration A/S (2016c) – 26AK ½“ Vorverstärker Datenblatt:
<http://www.gras.dk/26ak.html>
[Datum des Zugriffs am 03.04.2017 18:10]
- Haas, M. (1985): *LAERM – Mikroskopisches Modell zur Berechnung des Straßenverkehrslärms*, In: Schriftenreihe des Institutes für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe – Heft 29 (1985), Karlsruhe

- Heckl, M. (1994): *Physikalische Grundlagen*, In: Heckl, M.; Müller, G. (Hrsg): *Taschenbuch der technischen Akustik*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, S.1-25
- Hering, E.; Martin, R.; Stohrer, M. (2009): *Taschenbuch der Mathematik und Physik*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- Heutschi, K. (1997): *Neues EMPA-Modell für Straßenlärm*, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Forschungsbericht, Dübendorf
- Hoyer, R. (2012): *Fahrzeug-Infrastruktur-Kooperationen an Lichtsignalanlagen*, In: Proff, H.; Schönharting, J.; Schramm, D.; Ziegler, J. (Hrsg.): *Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität. Betriebswirtschaftliche und technische Aspekte*, Springer Gabler, Wiesbaden, S.629-640
- Konbattulwar, V.; Velaga, N.; Jain, S.; Sharmila, R. (2016): *Development of in-vehicle noise prediction models for Mumbai Metropolitan Region, India*, In: *Journal of Traffic and Transportation Engineering X (X)*, S.1-8
- Konstantas, G.; Stamatelos, A. (2004): *Quality assurance of exhaust emission test data*. *Journal of Automobile Engineering*, Thessaly, August 2004
- Lapierre, R.; Steierwald, G. (1988): *Verkehrsleittechnik für den Straßenverkehr. Band II - Leittechnik für den innerörtlichen Straßenverkehr*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- Li, Q.; Qiao, F.; Qiao, Y.; Yu, L. (2016): *Impacts of Traffic Signal Coordination on In-Vehicle Noise along an Arterial Road: A Case Study in Houston, Texas*. *Proceedings in the 11th Asia Pacific Transportation Development Conference and 29th ICTPA Annual Conference, Bridging the East and West: Theories and Practices of Transportation in the Asia Pacific. # 80*. ASCE Publishing, Hsinchu, Taiwan, May 2016
- Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (2013): *Städtebauliche Lärmfibel – Hinweise für die Bauleitplanung*
- Möser, M. (2012): *Technische Akustik*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- Oshino, Y.; Tachibana, H. (1993): *Prediction of road traffic noise taking into account of transient running conditions of vehicles*. *Proceedings of The 22nd International Congress on Noise Control Engineering (Inter-noise)*, Leuven, Belgium, August 1993
- Oshino, Y.; Tsukui, K.; Tachibana H. (1996): *Road traffic noise prediction taking account of transient vehicle running conditions*. *Proceedings of The 25th International Congress on Noise Control Engineering (Inter-noise)*, Liverpool, UK, July 1996
- Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr (FSV) (1998a): *RVS 05.04.31 – Verkehrslichtsignalanlagen. Einsatzkriterien*, Wien
- Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr (FSV) (1998b): *RVS 05.04.32 – Verkehrslichtsignalanlagen. Planen von Verkehrslichtsignalanlagen*, Wien
- Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr (FSV) (2009): *RVS 04.02.11 – Lärmschutz*, Wien
- Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung (ÖAL) (2011): *ÖAL-Richtlinie Nr. 6/18 – Die Wirkungen des Lärms auf den Menschen*, Wien
- Österreichisches Normungsinstitut (2008): *ÖNORM S 5004 – Messung von Schallimmissionen*, Wien

- Pelkmans, L.; Debal, P. (2006): *Comparison of on-road emissions with emissions measured on chassis dynamometer test cycles*, Flemish Institute for Technological Research, Belgium
- PCP Group, Inc. – Larson Davis CAL200 Datenblatt:
<http://www.larsondavis.com/products/calibrators/modelcal200>
[Datum des Zugriffs am 03.04.2017 20:00]
- Pflüger, M.; Brandl, F.; Bernhard, U.; Feitzelmayer K. (2009): *Fahrzeugakustik*, Springer Verlag, Wien
- Pottlacher, G. (2008): *Physik für Bauingenieure*, Skriptum am Institut für Experimentalphysik – Technische Universität Graz, Graz
- Qstarz International Co. – Qstarz BT-Q1000ex Datenblatt:
<http://racing.qstarz.com/Products/BT-Q1000eX.html>
[Datum des Zugriffs am 01.08.2017 18:00]
- Schaffenberger, A.; Winkler, B. (2016): *Verkehrserhebung an der Wienerstraße in Graz und Leistungsfähigkeitsbewertung*, Bachelorarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen – Technische Universität Graz, Graz
- Schick, P. (1998): *Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmaßnahmen auf die Lärmbelästigung*, Diplomarbeit an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Architektur – Universität Innsbruck, Innsbruck
- Schmidt, M. (2015): *Forschungsprojekt zu Kurven gleicher Lautstärke für DIN 45680*, DIN Deutsches Institut für Normung, Forschungsprojekt
- Schnabel, W.; Lohse, D. (2011): *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung*, Band 1 - Straßenverkehrstechnik; Beuth Verlag, 3. Auflage, Berlin, Wien, Zürich
- Sierzega Elektronik GmbH – Sierzega SR4 Datenblatt:
<https://www.sierzega.com/LinkClick.aspx?fileticket=7FSalcUqJFE%3d&tabid=198&portalid=0&language=en-US>
[Datum des Zugriffs am 03.04.2017 16:00]
- SINUS Messtechnik GmbH (2017a) – Soundbook Datenblatt:
<https://www.sinus-leipzig.de/de/produkte/messsysteme/soundbook-mk2>
[Datum des Zugriffs am 04.04.2017 10:00]
- SINUS Messtechnik GmbH (2017b) – SAMURAI Datenblatt:
<https://www.sinus-leipzig.de/de/produkte/software/samurai>
[Datum des Zugriffs am 04.04.2017 10:00]
- Stadt Graz – Straßenamt – Referat für VLSA (2012): *Überarbeitung Steuergebiet 30 Wiener Straße. Gesamtbericht*, Graz
- Statistik Austria (2013): *Umweltbedingungen, Umweltverhalten 2011 – Ergebnisse des Mikrozensus*, Wien
- Suzuki, T.; Tsukui, K.; Oshino, Y. (2003): *Road traffic noise prediction model around signalized intersections*. Proceedings of The 32nd International Congress on Noise Control Engineering (Inter-noise), Jeju Island, South Korea, August 2003

Umweltbundesamt Deutschland (2011): *Auswertung der Online- Lärmumfrage des Umweltbundesamtes*, Dessau-Roßlau

Umweltbundesamt GmbH – Lärm:

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/laerm>

[Datum des Zugriffs am 17.01.2017 16:00]

World Health Organization (WHO) (1999): *Guidelines for community noise*, Genf

World Health Organization (WHO) (2009): *Night noise guidelines*, Kopenhagen

Anhang

A1 – Messberichte

A2 – Ergebnisse der Messdaten

A3 – Streckenauswertungen

A4 - Messpunktauswertung

A1 – Messberichte



Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz

Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008		 Graz University of Technology		
Messort: Wiener Straße				
Datum und Uhrzeit: 06.04.2017 14:30 Uhr				
Messpunkt: MP1				
Messdauer: 3h				
Beginn der Messung: 15:00 Uhr				
Ende der Messung: 18:00 Uhr				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Messmikrofon	G.R.A.S.	40AE 1/2"	240251	01.2017
Vorverstärker	G.R.A.S.	26AK 1/2"	201362	01.2017
Prüfschallquelle	Larson Davis	CAL200	4490	01.2017
Schallpegelmesser	SINUS	quadro	6097	01.2017
Verkehrserfassungsgerät	Sierzega	SR4	3009295	
Schallquellen:	<input checked="" type="checkbox"/> Straßenverkehr		<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)	
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:	16:10 / 16:36 Uhr - Rettung 16:41 - Störgeräusch			
Messbedingungen:	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:	Ungenauigkeit des Seitenradars durch Überschneidung der FZ bei hohem Verkehrsaufkommen			
Sonstige Anmerkungen:				
Unterschrift des Messverantwortlichen: 				

Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz

Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008		 TU Graz Graz University of Technology		
Messort: Wiener Straße				
Datum und Uhrzeit: 06.04.2017 14:30 Uhr				
Messpunkt: MP2				
Messdauer: 3h				
Beginn der Messung: 15:00 Uhr				
Ende der Messung: 18:00 Uhr				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Messmikrofon	G.R.A.S.	40AE 1/2"	162464	01.2017
Vorverstärker	G.R.A.S.	26AK 1/2"	96840	01.2017
Prüfschallquelle	Larson Davis	CAL200	4490	01.2017
Schallpegelmesser	SINUS	quadro	6097	01.2017
Verkehrserfassungsgerät	Sierzega	SR4	3009295	
Schallquellen:	<input checked="" type="checkbox"/> Straßenverkehr		<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)	
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:	15:42 / 16:10 / 16:36 Uhr - Rettung			
Messbedingungen:	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:				
Sonstige Anmerkungen:				
Unterschrift des Messverantwortlichen:				
				

Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz

Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008		 TU Graz Graz University of Technology		
Messort: Wiener Straße				
Datum und Uhrzeit: 10.04. / 24.04.2017 14:30 / 16:00 Uhr				
Messpunkt: MP3				
Messdauer: 3h				
Beginn der Messung: 15:00 Uhr				
Ende der Messung: 18:00 Uhr				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Messmikrofon	G.R.A.S.	40AE 1/2"	240251	01.2017
Vorverstärker	G.R.A.S.	26AK 1/2"	201362	01.2017
Prüfschallquelle	Larson Davis	CAL200	4490	01.2017
Schallpegelmesser	SINUS	quadro	6097	01.2017
Verkehrserfassungsgerät	Sierzega	SR4	3009295	
Schallquellen:	<input checked="" type="checkbox"/> Straßenverkehr		<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)	
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:	15:30 / 15:58 / 16:13 Uhr - Rettung			
Messbedingungen:	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:	Ungenauigkeit des Seitenradars durch Überschneidung der FZ bei hohem Verkehrsaufkommen			
Sonstige Anmerkungen:				
Unterschrift des Messverantwortlichen:				
				

Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz
Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008				
Messort: Wiener Straße				
Datum und Uhrzeit: 10.04.2017 14:30 Uhr				
Messpunkt: MP4				
Messdauer: 3h				
Beginn der Messung: 15:00 Uhr				
Ende der Messung: 18:00 Uhr				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Messmikrofon	G.R.A.S.	40AE 1/2"	162464	01.2017
Vorverstärker	G.R.A.S.	26AK 1/2"	96840	01.2017
Prüfschallquelle	Larson Davis	CAL200	4490	01.2017
Schallpegelmesser	SINUS	quadro	6097	01.2017
Verkehrserfassungsgerät	Sierzega	SR4	3009295	
Schallquellen:	<input checked="" type="checkbox"/> Straßenverkehr		<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)	
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:	15:30 / 15:58 / 16:13 Uhr - Rettung			
Messbedingungen:	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:				
Sonstige Anmerkungen:				
Unterschrift des Messverantwortlichen:				
				

Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz
Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008		 TU Graz Graz University of Technology		
Messort: Wiener Straße				
Datum und Uhrzeit: 11.04.2017 14:30 Uhr				
Messpunkt: MP5				
Messdauer: 3h				
Beginn der Messung: 15:00 Uhr				
Ende der Messung: 18:00 Uhr				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Messmikrofon	G.R.A.S.	40AE 1/2"	240251	01.2017
Vorverstärker	G.R.A.S.	26AK 1/2"	201362	01.2017
Prüfschallquelle	Larson Davis	CAL200	4490	01.2017
Schallpegelmesser	SINUS	quadro	6097	01.2017
Verkehrserfassungsgerät	Sierzega	SR4	3009295	
Schallquellen:	<input checked="" type="checkbox"/> Straßenverkehr		<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)	
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:	16:05 Uhr - Feuerwehr			
Messbedingungen:	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:	Ungenauigkeit des Seitenradars durch Überschneidung der FZ bei hohem Verkehrsaufkommen			
Sonstige Anmerkungen:	Seitenradar auf Mittelstreifen			
Unterschrift des Messverantwortlichen:				

Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz

Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008		 TU Graz Graz University of Technology		
Messort: Wiener Straße				
Datum und Uhrzeit: 11.04.2017 14:30 Uhr				
Messpunkt: MP6				
Messdauer: 3h				
Beginn der Messung: 15:00 Uhr				
Ende der Messung: 18:00 Uhr				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Messmikrofon	G.R.A.S.	40AE 1/2"	162464	01.2017
Vorverstärker	G.R.A.S.	26AK 1/2"	96840	01.2017
Prüfschallquelle	Larson Davis	CAL200	4490	01.2017
Schallpegelmesser	SINUS	quadro	6097	01.2017
Verkehrserfassungsgerät	Sierzega	SR4	3009295	
Schallquellen:	<input checked="" type="checkbox"/> Straßenverkehr		<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)	
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:	16:05 Uhr - Feuerwehr			
Messbedingungen:	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:				
Sonstige Anmerkungen:				
Unterschrift des Messverantwortlichen:				
				

Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz
 Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008		 TU Graz Graz University of Technology		
Messort: Wiener Straße				
Datum und Uhrzeit: 12.04.2017 14:30 Uhr				
Messpunkt: MP7				
Messdauer: 3h				
Beginn der Messung: 15:00 Uhr				
Ende der Messung: 18:00 Uhr				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Messmikrofon	G.R.A.S.	40AE 1/2"	240251	01.2017
Vorverstärker	G.R.A.S.	26AK 1/2"	201362	01.2017
Prüfschallquelle	Larson Davis	CAL200	4490	01.2017
Schallpegelmesser	SINUS	quadro	6097	01.2017
Verkehrserfassungsgerät	Sierzega	SR4	3009295	
Schallquellen:	<input checked="" type="checkbox"/> Straßenverkehr		<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)	
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Messbedingungen:	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:	Ungenauigkeit des Seitenradars durch Überschneidung der FZ bei hohem Verkehrsaufkommen			
Sonstige Anmerkungen:				
Unterschrift des Messverantwortlichen:				
				

Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz

Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008				
Messort: Wiener Straße				
Datum und Uhrzeit: 12.04.2017 14:30 Uhr				
Messpunkt: MP8				
Messdauer: 3h				
Beginn der Messung: 15:00 Uhr				
Ende der Messung: 18:00 Uhr				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Messmikrofon	G.R.A.S.	40AE 1/2"	162464	01.2017
Vorverstärker	G.R.A.S.	26AK 1/2"	96840	01.2017
Prüfschallquelle	Larson Davis	CAL200	4490	01.2017
Schallpegelmesser	SINUS	quadro	6097	01.2017
Verkehrserfassungsgerät	Sierzega	SR4	3009295	
Schallquellen:	<input checked="" type="checkbox"/> Straßenverkehr		<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)	
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Messbedingungen:	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:				
Sonstige Anmerkungen:				
Unterschrift des Messverantwortlichen:				
				

Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz
Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008		 TU Graz Graz University of Technology		
Messort: Wiener Straße				
Datum und Uhrzeit: 16.05.2017 14:30 Uhr				
Messpunkt: MP9				
Messdauer: 3h				
Beginn der Messung: 15:00 Uhr				
Ende der Messung: 18:00 Uhr				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Messmikrofon	G.R.A.S.	40AE 1/2"	162464	01.2017
Vorverstärker	G.R.A.S.	26AK 1/2"	96840	01.2017
Prüfschallquelle	Larson Davis	CAL200	4490	01.2017
Schallpegelmesser	SINUS	quadro	6097	01.2017
Verkehrserfassungsgerät	Sierzega	SR4	3009295	
Schallquellen:	<input checked="" type="checkbox"/> Straßenverkehr		<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)	
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Messbedingungen:	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:				
Sonstige Anmerkungen:				
Unterschrift des Messverantwortlichen:				
				

Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz

Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008		 TU Graz Graz University of Technology		
Messort: Wiener Straße				
Datum und Uhrzeit: 16.05.2017 14:30 Uhr				
Messpunkt: MP10				
Messdauer: 3h				
Beginn der Messung: 15:00 Uhr				
Ende der Messung: 18:00 Uhr				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Messmikrofon	G.R.A.S.	40AE 1/2"	162464	01.2017
Vorverstärker	G.R.A.S.	26AK 1/2"	96840	01.2017
Prüfschallquelle	Larson Davis	CAL200	4490	01.2017
Schallpegelmesser	SINUS	quadro	6097	01.2017
Verkehrserfassungsgerät	Sierzega	SR4	3009295	
Schallquellen:	<input checked="" type="checkbox"/> Straßenverkehr		<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)	
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Messbedingungen:	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:				
Sonstige Anmerkungen:				
Unterschrift des Messverantwortlichen:				
				


Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz

Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008				
Messort: Wiener Straße				
Datum und Uhrzeit: 25.04.2017 14:30 Uhr				
Messpunkt: MP11				
Messdauer: 3h				
Beginn der Messung: 15:00 Uhr				
Ende der Messung: 18:00 Uhr				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Messmikrofon	G.R.A.S.	40AE 1/2"	240251	01.2017
Vorverstärker	G.R.A.S.	26AK 1/2"	201362	01.2017
Prüfschallquelle	Larson Davis	CAL200	4490	01.2017
Schallpegelmesser	SINUS	quadro	6097	01.2017
Verkehrserfassungsgerät	Sierzega	SR4	3009295	
Schallquellen:	<input checked="" type="checkbox"/> Straßenverkehr		<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)	
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:	15:35 / 15:44 Uhr - Rettung			
Messbedingungen:	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:	Ungenauigkeit des Seitenradars durch Überschneidung der FZ bei hohem Verkehrsaufkommen			
Sonstige Anmerkungen:	Seitenradar auf Mittelstreifen			
Unterschrift des Messverantwortlichen:				

Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz

Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008				
Messort: Wiener Straße				
Datum und Uhrzeit: 25.04.2017 14:30 Uhr				
Messpunkt: MP12				
Messdauer: 3h				
Beginn der Messung: 15:00 Uhr				
Ende der Messung: 18:00 Uhr				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Messmikrofon	G.R.A.S.	40AE 1/2"	162464	01.2017
Vorverstärker	G.R.A.S.	26AK 1/2"	96840	01.2017
Prüfschallquelle	Larson Davis	CAL200	4490	01.2017
Schallpegelmesser	SINUS	quadro	6097	01.2017
Verkehrserfassungsgerät	Sierzega	SR4	3009295	
Schallquellen:	<input checked="" type="checkbox"/> Straßenverkehr		<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)	
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:	15:35 / 15:44 Uhr - Rettung			
Messbedingungen:	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:				
Sonstige Anmerkungen:				
Unterschrift des Messverantwortlichen:				
				

Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz
Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008		 TU Graz Graz University of Technology		
Messort: Wiener Straße				
Datum und Uhrzeit: 08.05.2017 14:30 Uhr				
Messpunkt: MP13				
Messdauer: 3h				
Beginn der Messung: 15:00 Uhr				
Ende der Messung: 18:00 Uhr				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Messmikrofon	G.R.A.S.	40AE 1/2"	240251	01.2017
Vorverstärker	G.R.A.S.	26AK 1/2"	201362	01.2017
Prüfschallquelle	Larson Davis	CAL200	4490	01.2017
Schallpegelmesser	SINUS	quadro	6097	01.2017
Verkehrserfassungsgerät	Sierzega	SR4	3009295	
Schallquellen:	<input checked="" type="checkbox"/> Straßenverkehr		<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)	
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Messbedingungen:	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:	Ungenauigkeit des Seitenradars durch Überschneidung der FZ bei hohem Verkehrsaufkommen			
Sonstige Anmerkungen:	Seitenradar neben Lichtsignalmast			
Unterschrift des Messverantwortlichen:				
				

Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz

Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008		 TU Graz Graz University of Technology		
Messort: Wiener Straße				
Datum und Uhrzeit: 08.05.2017 14:30 Uhr				
Messpunkt: MP14				
Messdauer: 3h				
Beginn der Messung: 15:00 Uhr				
Ende der Messung: 18:00 Uhr				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Messmikrofon	G.R.A.S.	40AE 1/2"	162464	01.2017
Vorverstärker	G.R.A.S.	26AK 1/2"	96840	01.2017
Prüfschallquelle	Larson Davis	CAL200	4490	01.2017
Schallpegelmesser	SINUS	quadro	6097	01.2017
Verkehrserfassungsgerät	Sierzega	SR4	3009295	
Schallquellen:	<input checked="" type="checkbox"/> Straßenverkehr		<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)	
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Messbedingungen:	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:				
Sonstige Anmerkungen:				
Unterschrift des Messverantwortlichen:				
				

Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz
 Vertiefte Korrelationsanalysen von Immissionsschallpegel-Trajektorien und Geschwindigkeitstrajektorien

Messbericht nach ÖNORM S 5004:2008		 TU Graz Graz University of Technology		
Messort:	Standort und Messaufbau (Bild einfügen)			
Datum und Uhrzeit:				
Messpunkt:				
Messdauer:				
Beginn der Messung:				
Ende der Messung:				
Verwendete Messgeräte:				
	Hersteller:	Type:	Seriennummer:	Letzte Eichung:
Schallquellen:				
	<input type="checkbox"/> Straßenverkehr	<input type="checkbox"/> Hintergrundgeräusche (zB Baustelle)		
	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Messbedingungen:				
	<input type="checkbox"/> Hindernis	<input type="checkbox"/> starker Bewuchs	<input type="checkbox"/> _____	
<input type="checkbox"/> starker Wind	<input type="checkbox"/> Niederschlag	<input type="checkbox"/> Nebel	<input type="checkbox"/> Bewölkung	
<input type="checkbox"/> hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			
Anmerkungen:				
Angaben zur Ergebnisunsicherheit:				
Sonstige Anmerkungen:				
Unterschrift des Messverantwortlichen:				

A2 – Ergebnisse der Messdaten

Uhrzeit	MP1										MP2									
	L _{A,eq} (dB(A))	L _{A,gem} (dB(A))	L _{A,ber} (dB(A))	Geschwindigkeit (1.Q)	Geschwindigkeit Median	Geschwindigkeit (3.Q)	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde	L _{A,eq} (dB(A))	L _{A,gem} (dB(A))	L _{A,ber} (dB(A))	Geschwindigkeit (1.Q)	Geschwindigkeit Median	Geschwindigkeit (3.Q)	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde				
15:05	76,9	78,5	69,9	34,5	40,0	45,0	39,7	1397	76,6	77,2	69,9	34,5	40,0	45,0	39,7	1397				
15:10	76,9	76,3	70,1	33,5	39,0	43,5	39,2	1467	76,6	75,8	70,1	33,5	39,0	43,5	39,2	1467				
15:15	76,9	76,7	69,3	33,5	39,0	42,0	38,7	1253	76,6	76,1	69,3	33,5	39,0	42,0	38,7	1253				
15:20	76,9	77,7	69,9	38,0	43,0	47,0	42,5	1228	76,6	76,6	69,9	38,0	43,0	47,0	42,5	1228				
15:25	76,9	76,4	70,6	34,0	41,0	46,0	39,9	1612	76,6	75,9	70,6	34,0	41,0	46,0	39,9	1612				
15:30	76,9	76,1	70,2	33,0	38,0	42,0	37,4	1657	76,6	75,6	70,2	33,0	38,0	42,0	37,4	1657				
15:35	76,9	77,4	70,4	38,0	40,0	44,0	41,4	1448	76,6	77,0	70,4	38,0	40,0	44,0	41,4	1448				
15:40	76,9	76,9	70,3	37,0	41,0	45,5	41,8	1372	76,6	77,1	70,3	37,0	41,0	45,5	41,8	1372				
15:45	76,9	77,0	69,4	31,0	37,0	42,8	37,1	1390	76,6	76,1	69,4	31,0	37,0	42,8	37,1	1390				
15:50	76,9	76,8	70,1	30,0	37,0	46,0	37,4	1623	76,6	77,1	70,1	30,0	37,0	46,0	37,4	1623				
15:55	76,9	77,7	70,4	34,0	38,0	43,5	39,0	1614	76,6	77,7	70,4	34,0	38,0	43,5	39,0	1614				
16:00	76,9	76,8	71,2	36,0	39,0	44,3	39,8	1862	76,6	76,3	71,2	36,0	39,0	44,3	39,8	1862				
16:05	76,9	77,4	70,6	33,0	37,0	41,0	37,3	1800	76,6	76,8	70,6	33,0	37,0	41,0	37,3	1800				
16:10	76,9	77,5	71,0	35,0	38,0	41,0	38,0	1909	76,6	76,8	71,0	35,0	38,0	41,0	38,0	1909				
16:15	76,9	76,9	70,2	32,0	37,0	41,0	36,6	1738	76,6	79,0	70,2	32,0	37,0	41,0	36,6	1738				
16:20	76,9	76,6	70,0	32,0	39,0	43,0	37,5	1576	76,6	76,3	70,0	32,0	39,0	43,0	37,5	1576				
16:25	76,9	76,8	70,5	32,0	36,5	43,0	37,1	1785	76,6	75,7	70,5	32,0	36,5	43,0	37,1	1785				
16:30	76,9	77,7	70,6	32,8	39,0	43,0	38,0	1765	76,6	78,0	70,6	32,8	39,0	43,0	38,0	1765				
16:35	76,9	76,1	70,6	34,0	38,0	42,0	37,9	1764	76,6	75,8	70,6	34,0	38,0	42,0	37,9	1764				
16:40	76,9	77,5	70,4	32,0	37,0	41,5	37,0	1767	76,6	76,3	70,4	32,0	37,0	41,5	37,0	1767				
16:45	76,9	77,4	70,7	32,8	38,0	42,0	37,5	1856	76,6	77,1	70,7	32,8	38,0	42,0	37,5	1856				
16:50	76,9	76,7	70,1	32,0	37,0	41,0	36,8	1665	76,6	76,9	70,1	32,0	37,0	41,0	36,8	1665				
16:55	76,9	77,0	70,6	36,0	40,0	42,0	39,1	1662	76,6	76,7	70,6	36,0	40,0	42,0	39,1	1662				
17:00	76,9	76,8	71,7	36,0	40,0	44,0	40,2	2066	76,6	75,8	71,7	36,0	40,0	44,0	40,2	2066				
17:05	76,9	76,6	70,4	34,0	38,0	41,0	37,7	1691	76,6	76,3	70,4	34,0	38,0	41,0	37,7	1691				
17:10	76,9	76,7	70,2	33,0	37,0	40,0	37,3	1652	76,6	76,8	70,2	33,0	37,0	40,0	37,3	1652				
17:15	76,9	77,0	70,4	31,0	35,5	42,0	36,6	1790	76,6	77,0	70,4	31,0	35,5	42,0	36,6	1790				
17:20	76,9	76,7	69,8	31,0	36,0	39,0	35,7	1628	76,6	76,7	69,8	31,0	36,0	39,0	35,7	1628				
17:25	76,9	78,3	70,5	33,0	37,0	41,0	37,2	1807	76,6	77,0	70,5	33,0	37,0	41,0	37,2	1807				
17:30	76,9	76,8	70,0	34,0	37,0	43,0	38,2	1528	76,6	76,7	70,0	34,0	37,0	43,0	38,2	1528				
17:35	76,9	75,9	70,5	33,0	37,0	41,0	37,4	1776	76,6	75,5	70,5	33,0	37,0	41,0	37,4	1776				
17:40	76,9	75,6	70,5	35,0	38,5	42,0	38,7	1650	76,6	74,9	70,5	35,0	38,5	42,0	38,7	1650				
17:45	76,9	76,3	69,7	32,0	36,0	39,3	36,1	1570	76,6	75,5	69,7	32,0	36,0	39,3	36,1	1570				
17:50	76,9	77,8	70,2	32,0	38,0	43,0	37,9	1631	76,6	76,6	70,2	32,0	38,0	43,0	37,9	1631				
17:55	76,9	75,8	69,5	32,0	37,0	42,0	37,0	1442	76,6	76,8	69,5	32,0	37,0	42,0	37,0	1442				
18:00	76,9	76,4	69,6	32,8	36,0	40,0	36,6	1506	76,6	75,9	69,6	32,8	36,0	40,0	36,6	1506				

Uhrzeit	MP3											MP4										
	$L_{A,eq}$ (ØNORM S 5004)	$L_{A,gem}$	$L_{A,ber}$	Geschwindigkeit (1.Q)	Median	Geschwindigkeit (3.Q)	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde	$L_{A,eq}$ (ØNORM S 5004)	$L_{A,gem}$	$L_{A,ber}$	Geschwindigkeit (1.Q)	Median	Geschwindigkeit (3.Q)	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde						
	[db(A)]	[db(A)]	[db(A)]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[Kfz/h]	[db(A)]	[db(A)]	[db(A)]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[Kfz/h]						
15:05	72,9	71,9	67,8	20,0	32,0	47,0	34,4	1230	71,0	70,3	67,8	20,0	32,0	47,0	34,4	1230						
15:10	72,9	72,9	68,1	17,0	37,0	47,0	33,0	1427	71,0	71,0	68,1	17,0	37,0	47,0	33,0	1427						
15:15	72,9	71,9	66,7	23,0	26,0	32,0	27,0	1503	71,0	71,1	66,7	23,0	26,0	32,0	27,0	1503						
15:20	72,9	72,6	67,7	24,0	33,5	41,0	32,5	1329	71,0	70,7	67,7	24,0	33,5	41,0	32,5	1329						
15:25	72,9	71,9	68,5	25,0	33,0	42,5	32,2	1627	71,0	70,1	68,5	25,0	33,0	42,5	32,2	1627						
15:30	72,9	73,1	68,6	29,0	36,0	45,0	35,6	1395	71,0	71,4	68,6	29,0	36,0	45,0	35,6	1395						
15:35	72,9	75,2	68,6	23,0	33,5	42,8	33,4	1574	71,0	73,8	68,6	23,0	33,5	42,8	33,4	1574						
15:40	72,9	74,2	68,5	23,0	34,0	44,0	33,3	1537	71,0	72,3	68,5	23,0	34,0	44,0	33,3	1537						
15:45	72,9	71,9	69,3	29,3	37,5	46,8	36,8	1538	71,0	70,3	69,3	29,3	37,5	46,8	36,8	1538						
15:50	72,9	72,0	66,4	16,0	24,0	29,0	25,6	1525	71,0	70,8	66,4	16,0	24,0	29,0	25,6	1525						
15:55	72,9	73,4	69,2	24,8	32,5	48,0	34,7	1676	71,0	71,0	69,2	24,8	32,5	48,0	34,7	1676						
16:00	72,9	73,1	69,1	20,0	33,0	44,0	32,9	1815	71,0	71,1	69,1	20,0	33,0	44,0	32,9	1815						
16:05	72,9	73,2	69,3	26,0	38,0	45,0	35,4	1650	71,0	70,3	69,3	26,0	38,0	45,0	35,4	1650						
16:10	72,9	73,0	68,0	19,0	28,0	37,0	28,5	1821	71,0	71,2	68,0	19,0	28,0	37,0	28,5	1821						
16:15	72,9	74,0	68,1	23,3	32,0	38,8	29,7	1738	71,0	72,3	68,1	23,3	32,0	38,8	29,7	1738						
16:20	72,9	73,7	68,4	22,5	31,5	37,0	30,1	1803	71,0	71,1	68,4	22,5	31,5	37,0	30,1	1803						
16:25	72,9	74,2	69,3	27,0	34,0	41,5	33,6	1798	71,0	71,6	69,3	27,0	34,0	41,5	33,6	1798						
16:30	72,9	71,8	67,9	21,5	33,0	37,5	30,1	1608	71,0	70,5	67,9	21,5	33,0	37,5	30,1	1608						
16:35	72,9	73,8	69,2	25,0	36,0	41,0	33,4	1785	71,0	72,2	69,2	25,0	36,0	41,0	33,4	1785						
16:40	72,9	71,9	69,0	24,0	32,0	40,0	31,5	1910	71,0	69,8	69,0	24,0	32,0	40,0	31,5	1910						
16:45	72,9	73,1	69,2	25,8	32,5	39,0	32,0	1962	71,0	71,0	69,2	25,8	32,5	39,0	32,0	1962						
16:50	72,9	71,9	68,4	22,5	30,0	36,5	29,0	1927	71,0	71,2	68,4	22,5	30,0	36,5	29,0	1927						
16:55	72,9	74,7	67,6	19,0	27,0	34,0	26,3	1924	71,0	71,4	67,6	19,0	27,0	34,0	26,3	1924						
17:00	72,9	74,2	68,2	21,0	27,0	36,0	27,8	2003	71,0	70,7	68,2	21,0	27,0	36,0	27,8	2003						
17:05	72,9	72,2	68,7	24,0	31,5	41,0	31,9	1749	71,0	71,0	68,7	24,0	31,5	41,0	31,9	1749						
17:10	72,9	72,1	68,7	23,8	30,5	40,3	30,9	1824	71,0	70,9	68,7	23,8	30,5	40,3	30,9	1824						
17:15	72,9	72,2	68,6	23,3	29,0	34,8	29,5	1964	71,0	70,5	68,6	23,3	29,0	34,8	29,5	1964						
17:20	72,9	72,4	68,7	26,0	31,0	39,0	32,5	1676	71,0	69,7	68,7	26,0	31,0	39,0	32,5	1676						
17:25	72,9	72,9	69,4	27,0	36,0	43,0	35,7	1677	71,0	70,3	69,4	27,0	36,0	43,0	35,7	1677						
17:30	72,9	73,1	68,8	24,8	31,0	44,3	32,8	1678	71,0	71,6	68,8	24,8	31,0	44,3	32,8	1678						
17:35	72,9	72,4	68,5	21,0	35,0	43,0	33,4	1519	71,0	70,6	68,5	21,0	35,0	43,0	33,4	1519						
17:40	72,9	71,6	67,6	23,0	31,0	40,0	31,6	1366	71,0	69,5	67,6	23,0	31,0	40,0	31,6	1366						
17:45	72,9	70,9	68,3	25,0	30,0	42,5	32,7	1509	71,0	70,0	68,3	25,0	30,0	42,5	32,7	1509						
17:50	72,9	72,5	68,6	25,0	32,0	45,0	33,5	1560	71,0	72,1	68,6	25,0	32,0	45,0	33,5	1560						
17:55	72,9	72,3	68,7	24,0	39,0	48,0	36,0	1404	71,0	70,2	68,7	24,0	39,0	48,0	36,0	1404						
18:00	72,9	73,3	69,4	22,3	39,5	43,0	33,8	1850	71,0	71,3	69,4	22,3	39,5	43,0	33,8	1850						

Uhrzeit	MP5										MP6									
	L _{A,eq} (DINORM S 5004)	L _{A,gem} (DINORM S 5004)	L _{A,ber} (RVS 04.02.11)	Geschwindigkeit (1.Q)	Median	Geschwindigkeit (3.Q)	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde	L _{A,eq} (DINORM S 5004)	L _{A,gem} (DINORM S 5004)	L _{A,ber} (RVS 04.02.11)	Geschwindigkeit (1.Q)	Median	Geschwindigkeit (3.Q)	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde				
15:05	71,0	70,2	65,7	24,0	29,0	38,8	30,8	1265	70,1	69,7	65,7	24,0	29,0	38,8	30,8	1265				
15:10	71,0	69,6	65,6	22,5	29,0	34,0	27,5	1502	70,1	71,7	65,6	22,5	29,0	34,0	27,5	1502				
15:15	71,0	71,4	66,3	20,0	29,0	36,0	28,4	1666	70,1	70,1	66,3	20,0	29,0	36,0	28,4	1666				
15:20	71,0	69,9	65,6	22,0	30,0	34,0	28,1	1450	70,1	68,8	65,6	22,0	30,0	34,0	28,1	1450				
15:25	71,0	70,6	67,0	24,0	32,5	36,3	30,6	1713	70,1	70,1	67,0	24,0	32,5	36,3	30,6	1713				
15:30	71,0	71,4	67,5	30,0	35,0	40,5	34,7	1544	70,1	70,8	67,5	30,0	35,0	40,5	34,7	1544				
15:35	71,0	71,6	68,5	28,8	34,5	41,0	35,0	1875	70,1	71,4	68,5	28,8	34,5	41,0	35,0	1875				
15:40	71,0	71,3	67,0	22,0	31,0	36,5	30,2	1764	70,1	71,0	67,0	22,0	31,0	36,5	30,2	1764				
15:45	71,0	70,5	65,6	19,8	26,5	34,0	26,3	1635	70,1	72,1	65,6	19,8	26,5	34,0	26,3	1635				
15:50	71,0	69,2	67,5	23,0	31,0	39,0	30,9	1877	70,1	72,5	67,5	23,0	31,0	39,0	30,9	1877				
15:55	71,0	69,5	67,0	25,8	32,5	37,0	31,4	1632	70,1	68,8	67,0	25,8	32,5	37,0	31,4	1632				
16:00	71,0	71,7	67,5	25,0	33,0	41,0	32,6	1709	70,1	70,8	67,5	25,0	33,0	41,0	32,6	1709				
16:05	71,0	73,9	67,6	27,0	34,0	40,0	34,1	1603	70,1	71,8	67,6	27,0	34,0	40,0	34,1	1603				
16:10	71,0	70,1	67,1	24,0	31,0	36,0	30,5	1782	70,1	69,8	67,1	24,0	31,0	36,0	30,5	1782				
16:15	71,0	71,9	69,6	34,5	39,0	45,0	39,5	1944	70,1	72,3	69,6	34,5	39,0	45,0	39,5	1944				
16:20	71,0	71,4	66,9	24,0	29,0	35,8	29,7	1757	70,1	70,6	66,9	24,0	29,0	35,8	29,7	1757				
16:25	71,0	71,8	66,7	21,5	29,0	34,0	27,5	1926	70,1	69,7	66,7	21,5	29,0	34,0	27,5	1926				
16:30	71,0	70,1	66,1	22,0	27,0	33,0	27,2	1712	70,1	67,9	66,1	22,0	27,0	33,0	27,2	1712				
16:35	71,0	71,7	67,5	23,0	28,0	35,0	29,2	2111	70,1	70,9	67,5	23,0	28,0	35,0	29,2	2111				
16:40	71,0	71,4	66,8	22,0	28,0	34,0	28,4	1872	70,1	70,5	66,8	22,0	28,0	34,0	28,4	1872				
16:45	71,0	70,7	66,8	22,0	30,0	36,0	29,2	1805	70,1	73,4	66,8	22,0	30,0	36,0	29,2	1805				
16:50	71,0	72,0	66,6	22,5	29,0	34,0	28,1	1818	70,1	71,2	66,6	22,5	29,0	34,0	28,1	1818				
16:55	71,0	71,9	67,7	28,0	34,0	41,3	33,6	1707	70,1	69,4	67,7	28,0	34,0	41,3	33,6	1707				
17:00	71,0	71,8	68,3	29,0	36,5	42,0	35,5	1752	70,1	70,0	68,3	29,0	36,5	42,0	35,5	1752				
17:05	71,0	70,5	66,7	22,0	30,0	33,5	28,6	1784	70,1	68,4	66,7	22,0	30,0	33,5	28,6	1784				
17:10	71,0	69,8	66,8	21,0	29,0	34,0	27,8	1948	70,1	67,4	66,8	21,0	29,0	34,0	27,8	1948				
17:15	71,0	70,3	65,9	17,0	26,0	30,0	24,8	1958	70,1	67,1	65,9	17,0	26,0	30,0	24,8	1958				
17:20	71,0	69,9	65,9	18,0	26,0	31,8	24,9	1926	70,1	67,7	65,9	18,0	26,0	31,8	24,9	1926				
17:25	71,0	71,2	66,1	17,8	25,0	30,0	24,1	2148	70,1	68,6	66,1	17,8	25,0	30,0	24,1	2148				
17:30	71,0	68,7	66,6	23,0	29,0	35,0	28,3	1793	70,1	67,2	66,6	23,0	29,0	35,0	28,3	1793				
17:35	71,0	68,6	65,3	18,8	24,0	30,0	24,3	1741	70,1	66,9	65,3	18,8	24,0	30,0	24,3	1741				
17:40	71,0	70,7	65,3	19,3	25,5	29,0	24,7	1691	70,1	68,3	65,3	19,3	25,5	29,0	24,7	1691				
17:45	71,0	70,1	65,5	18,0	26,0	33,0	25,5	1684	70,1	68,8	65,5	18,0	26,0	33,0	25,5	1684				
17:50	71,0	71,7	67,7	28,0	34,5	41,8	34,0	1644	70,1	69,6	67,7	28,0	34,5	41,8	34,0	1644				
17:55	71,0	72,4	68,0	33,0	38,0	43,0	37,9	1462	70,1	70,4	68,0	33,0	38,0	43,0	37,9	1462				
18:00	71,0	71,6	68,8	31,0	42,0	48,0	40,3	1582	70,1	69,6	68,8	31,0	42,0	48,0	40,3	1582				

Uhrzeit	MP7										MP8									
	L _{A,eq} (DINORM S 5004) [db(A)]	L _{A,gem} (DINORM S 5004) [db(A)]	L _{A,ber} (RVS 04.02.11) [db(A)]	Geschwindigkeit (1.Q.) [km/h]	Median [km/h]	Geschwindigkeit (3.Q.) [km/h]	mittlere Geschwindigkeit [km/h]	Anz. Kfz./Stunde	L _{A,eq} (DINORM S 5004) [db(A)]	L _{A,gem} (DINORM S 5004) [db(A)]	L _{A,ber} (RVS 04.02.11) [db(A)]	Geschwindigkeit (1.Q.) [km/h]	Median [km/h]	Geschwindigkeit (3.Q.) [km/h]	mittlere Geschwindigkeit [km/h]	Anz. Kfz./Stunde				
15:05	70,3	70,8	68,0	34,0	40,0	46,3	39,6	1377	68,3	69,2	68,0	34,0	40,0	46,3	39,6	1377				
15:10	70,3	70,4	68,1	33,0	39,0	46,0	38,9	1464	68,3	68,3	68,1	33,0	39,0	46,0	38,9	1464				
15:15	70,3	70,4	68,7	37,0	41,0	47,8	40,7	1557	68,3	68,2	68,7	37,0	41,0	47,8	40,7	1557				
15:20	70,3	69,2	66,7	27,0	34,0	42,0	34,0	1375	68,3	68,1	66,7	27,0	34,0	42,0	34,0	1375				
15:25	70,3	70,5	68,2	33,0	41,0	47,0	38,9	1497	68,3	69,3	68,2	33,0	41,0	47,0	38,9	1497				
15:30	70,3	71,3	68,5	37,0	44,0	47,3	41,3	1427	68,3	69,1	68,5	37,0	44,0	47,3	41,3	1427				
15:35	70,3	70,2	69,0	39,0	43,0	49,0	42,7	1534	68,3	68,4	69,0	39,0	43,0	49,0	42,7	1534				
15:40	70,3	70,1	68,9	38,0	44,0	49,0	43,4	1430	68,3	68,2	68,9	38,0	44,0	49,0	43,4	1430				
15:45	70,3	70,3	69,5	35,0	43,0	49,0	41,6	1772	68,3	68,8	69,5	35,0	43,0	49,0	41,6	1772				
15:50	70,3	69,7	67,1	25,0	31,0	37,0	31,6	1699	68,3	68,8	67,1	25,0	31,0	37,0	31,6	1699				
15:55	70,3	71,0	69,0	36,0	45,0	51,0	43,1	1493	68,3	68,9	69,0	36,0	45,0	51,0	43,1	1493				
16:00	70,3	70,1	68,1	31,0	38,0	45,5	37,4	1592	68,3	68,8	68,1	31,0	38,0	45,5	37,4	1592				
16:05	70,3	69,5	67,4	23,8	35,5	43,3	34,2	1595	68,3	67,6	67,4	23,8	35,5	43,3	34,2	1595				
16:10	70,3	71,4	68,7	32,0	41,0	44,8	38,2	1751	68,3	70,0	68,7	32,0	41,0	44,8	38,2	1751				
16:15	70,3	70,3	68,3	30,0	37,0	44,0	36,4	1726	68,3	69,2	68,3	30,0	37,0	44,0	36,4	1726				
16:20	70,3	70,6	68,1	29,0	36,0	42,5	36,0	1711	68,3	69,1	68,1	29,0	36,0	42,5	36,0	1711				
16:25	70,3	70,7	68,5	26,0	34,0	42,0	33,6	2087	68,3	69,3	68,5	26,0	34,0	42,0	33,6	2087				
16:30	70,3	71,5	65,5	19,0	25,0	32,5	26,0	1680	68,3	68,5	65,5	19,0	25,0	32,5	26,0	1680				
16:35	70,3	69,5	68,6	30,0	38,5	45,0	36,9	1803	68,3	68,1	68,6	30,0	38,5	45,0	36,9	1803				
16:40	70,3	70,3	68,6	27,0	36,0	44,0	35,2	1973	68,3	68,6	68,6	27,0	36,0	44,0	35,2	1973				
16:45	70,3	69,8	68,0	26,0	33,0	42,0	33,6	1889	68,3	68,3	68,0	26,0	33,0	42,0	33,6	1889				
16:50	70,3	69,1	67,1	22,0	30,0	38,0	29,4	1947	68,3	67,4	67,1	22,0	30,0	38,0	29,4	1947				
16:55	70,3	70,0	66,5	19,8	27,0	34,3	28,3	1806	68,3	67,4	66,5	19,8	27,0	34,3	28,3	1806				
17:00	70,3	70,2	68,5	27,3	35,0	44,0	35,2	1941	68,3	68,9	68,5	27,3	35,0	44,0	35,2	1941				
17:05	70,3	70,2	68,3	27,0	37,0	46,0	35,8	1794	68,3	69,1	68,3	27,0	37,0	46,0	35,8	1794				
17:10	70,3	70,7	68,7	30,8	38,0	44,3	37,6	1794	68,3	68,4	68,7	30,8	38,0	44,3	37,6	1794				
17:15	70,3	71,2	68,0	30,0	36,0	42,0	34,7	1758	68,3	68,7	68,0	30,0	36,0	42,0	34,7	1758				
17:20	70,3	70,3	67,6	26,5	35,0	40,0	32,9	1786	68,3	67,5	67,6	26,5	35,0	40,0	32,9	1786				
17:25	70,3	68,6	67,2	22,0	29,0	35,0	29,1	2044	68,3	65,9	67,2	22,0	29,0	35,0	29,1	2044				
17:30	70,3	69,6	67,4	26,0	35,0	42,0	35,0	1505	68,3	67,0	67,4	26,0	35,0	42,0	35,0	1505				
17:35	70,3	70,0	67,1	26,0	33,0	40,0	32,6	1618	68,3	66,8	67,1	26,0	33,0	40,0	32,6	1618				
17:40	70,3	69,8	68,6	35,3	40,0	49,0	40,9	1493	68,3	67,3	68,6	35,3	40,0	49,0	40,9	1493				
17:45	70,3	70,6	68,3	35,0	43,0	48,0	41,5	1351	68,3	67,8	68,3	35,0	43,0	48,0	41,5	1351				
17:50	70,3	70,7	69,8	38,0	43,5	49,0	42,7	1832	68,3	67,9	69,8	38,0	43,5	49,0	42,7	1832				
17:55	70,3	70,9	68,2	28,0	37,0	43,0	34,9	1843	68,3	68,4	68,2	28,0	37,0	43,0	34,9	1843				
18:00	70,3	69,4	68,5	33,0	37,5	45,8	38,5	1630	68,3	66,0	68,5	33,0	37,5	45,8	38,5	1630				

Uhrzeit	MP9										MP10									
	L _{A,eq} (ØNORM S 5004)	L _{A,gem} (ØNORM S 5004)	L _{A,ber} (RV5.04.02.11)	Geschwindigkeit (1.Q)	Geschwindigkeit (3.Q)	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde	L _{A,eq} (ØNORM S 5004)	L _{A,gem} (ØNORM S 5004)	L _{A,ber} (RV5.04.02.11)	Geschwindigkeit (1.Q)	Geschwindigkeit (3.Q)	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde						
15:05	70,0	69,7	68,7	41,0	48,0	44,8	1288	71,6	71,8	68,8	41,0	45,0	44,8	1288						
15:10	70,0	70,1	69,2	39,0	47,0	42,7	1592	71,6	72,0	69,4	39,0	43,0	42,7	1592						
15:15	70,0	69,5	68,9	37,0	45,0	40,2	1665	71,6	71,2	69,1	37,0	41,0	40,2	1665						
15:20	70,0	69,1	68,3	38,0	46,0	41,2	1391	71,6	71,4	68,5	38,0	42,0	41,2	1391						
15:25	70,0	69,7	69,5	39,0	47,3	43,8	1622	71,6	71,2	69,6	39,0	44,0	43,8	1622						
15:30	70,0	70,8	68,6	35,0	46,0	40,4	1524	71,6	72,0	68,7	35,0	40,0	40,4	1524						
15:35	70,0	69,7	69,7	40,5	49,0	44,6	1630	71,6	71,8	69,8	40,5	45,0	44,6	1630						
15:40	70,0	70,6	69,3	39,0	47,0	43,1	1606	71,6	72,2	69,5	39,0	43,0	43,1	1606						
15:45	70,0	70,1	69,8	39,0	47,0	43,5	1779	71,6	72,0	70,0	39,0	43,0	43,5	1779						
15:50	70,0	69,7	69,7	39,0	47,0	42,7	1776	71,6	72,6	69,8	39,0	44,0	42,7	1776						
15:55	70,0	70,8	69,3	38,0	49,0	42,7	1615	71,6	72,9	69,4	38,0	43,0	42,7	1615						
16:00	70,0	70,7	69,7	36,0	46,0	41,2	1896	71,6	72,2	69,8	36,0	41,0	41,2	1896						
16:05	70,0	70,0	69,4	33,0	44,0	39,5	1915	71,6	71,8	69,5	33,0	40,0	39,5	1915						
16:10	70,0	69,7	69,0	32,0	43,0	37,2	1948	71,6	71,4	69,1	32,0	37,0	37,2	1948						
16:15	70,0	69,0	66,8	23,0	35,0	28,6	1912	71,6	71,4	67,0	23,0	29,0	28,6	1912						
16:20	70,0	69,2	67,8	28,0	40,5	33,4	1814	71,6	70,5	67,9	28,0	34,0	33,4	1814						
16:25	70,0	69,8	69,2	34,0	43,8	37,6	2008	71,6	71,1	69,3	34,0	39,5	37,6	2008						
16:30	70,0	72,2	68,8	32,0	42,0	36,4	1941	71,6	72,7	68,9	32,0	37,0	36,4	1941						
16:35	70,0	71,0	70,1	41,0	48,0	43,8	1868	71,6	72,1	70,2	41,0	44,0	43,8	1868						
16:40	70,0	69,8	68,0	31,0	41,0	35,9	1673	71,6	70,8	68,2	31,0	37,0	35,9	1673						
16:45	70,0	69,5	67,5	24,0	41,0	32,1	1816	71,6	71,3	67,6	24,0	33,0	32,1	1816						
16:50	70,0	70,4	69,6	36,0	43,0	39,3	2016	71,6	73,2	69,7	36,0	40,0	39,3	2016						
16:55	70,0	71,0	67,8	24,0	36,0	30,4	2142	71,6	72,2	67,9	24,0	32,0	30,4	2142						
17:00	70,0	69,4	65,7	15,0	26,0	22,4	2297	71,6	70,9	65,9	15,0	21,0	22,4	2297						
17:05	70,0	67,5	63,4	15,0	22,0	18,8	1850	71,6	69,4	63,6	15,0	18,0	18,8	1850						
17:10	70,0	68,8	65,3	18,0	27,0	23,1	2007	71,6	70,1	65,5	18,0	23,0	23,1	2007						
17:15	70,0	69,3	68,3	25,5	40,0	33,4	2024	71,6	70,5	68,4	25,5	35,0	33,4	2024						
17:20	70,0	68,5	67,5	24,8	43,3	33,1	1731	71,6	70,4	67,7	24,8	33,0	33,1	1731						
17:25	70,0	69,8	69,3	35,3	44,0	39,3	1918	71,6	71,0	69,5	35,3	39,5	39,3	1918						
17:30	70,0	70,3	69,6	41,0	49,0	44,7	1591	71,6	71,8	69,7	41,0	44,0	44,7	1591						
17:35	70,0	70,7	69,7	40,0	48,0	43,6	1696	71,6	72,0	69,8	40,0	43,0	43,6	1696						
17:40	70,0	70,1	69,3	36,0	46,0	41,4	1708	71,6	71,3	69,4	36,0	41,0	41,4	1708						
17:45	70,0	70,7	68,8	35,0	45,0	40,0	1639	71,6	71,8	68,9	35,0	39,0	40,0	1639						
17:50	70,0	70,2	69,2	38,0	47,0	42,9	1576	71,6	71,7	69,3	38,0	42,5	42,9	1576						
17:55	70,0	70,6	68,8	36,0	45,0	40,0	1634	71,6	72,0	68,9	36,0	41,0	40,0	1634						
18:00	70,0	70,3	68,8	37,0	44,0	39,1	1711	71,6	71,6	68,9	37,0	41,0	39,1	1711						

Uhrzeit	MPI11										MPI12									
	L _{A,eq} (ØNORM S 5004)	L _{A,gem} (ØNORM S 5004)	L _{A,ber} (RVS 04.02.11)	Geschwindigkeit (1.Q)	Geschwindigkeit (3.Q)	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde	L _{A,eq} (ØNORM S 5004)	L _{A,gem} (ØNORM S 5004)	L _{A,ber} (RVS 04.02.11)	Geschwindigkeit (1.Q)	Geschwindigkeit (3.Q)	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde						
15:05	73,6	74,2	69,2	41,0	46,0	47,0	1297	73,8	75,1	69,2	41,0	46,0	47,0	1297						
15:10	73,6	74,0	69,1	39,0	46,0	45,4	1332	73,8	75,3	69,1	39,0	46,0	45,4	1332						
15:15	73,6	73,0	69,4	39,0	43,0	43,1	1566	73,8	72,9	69,4	39,0	43,0	43,1	1566						
15:20	73,6	73,3	69,0	40,0	44,0	44,9	1344	73,8	72,5	69,0	40,0	44,0	44,9	1344						
15:25	73,6	73,7	70,9	45,5	51,0	49,8	1694	73,8	74,1	70,9	45,5	51,0	49,8	1694						
15:30	73,6	73,3	70,8	41,0	44,0	45,6	1957	73,8	76,8	70,8	41,0	44,0	45,6	1957						
15:35	73,6	73,1	70,5	40,0	43,0	44,2	1934	73,8	73,3	70,5	40,0	43,0	44,2	1934						
15:40	73,6	75,2	69,8	39,0	43,0	42,3	1794	73,8	75,4	69,8	39,0	43,0	42,3	1794						
15:45	73,6	75,1	69,8	37,0	43,0	42,5	1761	73,8	74,5	69,8	37,0	43,0	42,5	1761						
15:50	73,6	75,4	70,1	36,0	42,0	42,2	1938	73,8	76,0	70,1	36,0	42,0	42,2	1938						
15:55	73,6	73,5	69,9	41,0	45,5	44,4	1666	73,8	73,4	69,9	41,0	45,5	44,4	1666						
16:00	73,6	74,2	70,0	38,0	42,5	42,8	1824	73,8	73,7	70,0	38,0	42,5	42,8	1824						
16:05	73,6	73,5	69,3	38,0	43,0	42,5	1605	73,8	72,9	69,3	38,0	43,0	42,5	1605						
16:10	73,6	73,5	69,4	35,8	41,0	39,6	1870	73,8	73,8	69,4	35,8	41,0	39,6	1870						
16:15	73,6	73,6	69,6	34,0	40,5	40,4	1876	73,8	74,7	69,6	34,0	40,5	40,4	1876						
16:20	73,6	73,7	70,2	38,0	42,0	42,8	1935	73,8	72,7	70,2	38,0	42,0	42,8	1935						
16:25	73,6	72,7	70,5	38,0	41,0	41,6	2174	73,8	72,6	70,5	38,0	41,0	41,6	2174						
16:30	73,6	72,6	68,9	33,0	40,0	37,8	1805	73,8	72,5	68,9	33,0	40,0	37,8	1805						
16:35	73,6	73,4	70,3	40,0	44,0	44,2	1872	73,8	74,1	70,3	40,0	44,0	44,2	1872						
16:40	73,6	73,8	70,1	41,0	45,0	44,9	1717	73,8	73,6	70,1	41,0	45,0	44,9	1717						
16:45	73,6	74,0	69,5	37,0	42,0	41,6	1738	73,8	72,7	69,5	37,0	42,0	41,6	1738						
16:50	73,6	73,6	70,4	39,0	43,0	42,9	2010	73,8	73,7	70,4	39,0	43,0	42,9	2010						
16:55	73,6	72,0	69,3	37,0	41,0	41,3	1680	73,8	72,6	69,3	37,0	41,0	41,3	1680						
17:00	73,6	73,4	70,3	38,0	43,0	43,0	1976	73,8	73,6	70,3	38,0	43,0	43,0	1976						
17:05	73,6	72,8	70,4	41,0	45,0	45,4	1824	73,8	73,1	70,4	41,0	45,0	45,4	1824						
17:10	73,6	73,7	70,3	39,0	43,0	44,5	1822	73,8	73,5	70,3	39,0	43,0	44,5	1822						
17:15	73,6	73,8	70,3	38,0	44,0	43,4	1917	73,8	73,4	70,3	38,0	44,0	43,4	1917						
17:20	73,6	73,9	69,6	37,8	42,0	42,1	1740	73,8	73,2	69,6	37,8	42,0	42,1	1740						
17:25	73,6	73,7	69,1	35,3	39,5	39,3	1738	73,8	73,6	69,1	35,3	39,5	39,3	1738						
17:30	73,6	73,0	70,1	41,0	44,0	44,7	1726	73,8	73,2	70,1	41,0	44,0	44,7	1726						
17:35	73,6	73,4	70,3	40,0	43,0	43,6	1893	73,8	74,4	70,3	40,0	43,0	43,6	1893						
17:40	73,6	73,7	69,6	36,0	41,0	41,4	1794	73,8	73,3	69,6	36,0	41,0	41,4	1794						
17:45	73,6	73,1	69,2	35,0	39,0	40,0	1723	73,8	72,5	69,2	35,0	39,0	40,0	1723						
17:50	73,6	72,9	69,7	38,0	42,5	42,9	1708	73,8	72,3	69,7	38,0	42,5	42,9	1708						
17:55	73,6	73,5	68,2	36,0	41,0	40,0	1391	73,8	73,1	68,2	36,0	41,0	40,0	1391						
18:00	73,6	73,1	68,7	37,0	41,0	39,1	1603	73,8	73,1	68,7	37,0	41,0	39,1	1603						

Uhrzeit	MPI13										MPI14									
	L _{A,eq} (ØNORM S 5004) [db(A)]	L _{A,gem} (ØNORM S 5004) [db(A)]	L _{A,ber} (RVS 04.02.11) [db(A)]	Geschwindigkeit (1.Q.) [km/h]	Geschwindigkeit Median [km/h]	Geschwindigkeit (3.Q.) [km/h]	mittlere Geschwindigkeit [km/h]	Anz. Kfz./Stunde	L _{A,eq} (ØNORM S 5004) [db(A)]	L _{A,gem} (ØNORM S 5004) [db(A)]	L _{A,ber} (RVS 04.02.11) [db(A)]	Geschwindigkeit (1.Q.) [km/h]	Geschwindigkeit Median [km/h]	Geschwindigkeit (3.Q.) [km/h]	mittlere Geschwindigkeit [km/h]	Anz. Kfz./Stunde				
15:05	73,7	75,8	67,9	31,0	40,0	44,0	36,8	1316	72,5	74,1	67,9	31,0	40,0	44,0	36,8	1316				
15:10	73,7	75,4	67,2	20,0	31,0	43,0	31,8	1462	72,5	74,3	67,2	20,0	31,0	43,0	31,8	1462				
15:15	73,7	74,7	67,7	24,3	37,5	45,0	34,4	1409	72,5	73,9	67,7	24,3	37,5	45,0	34,4	1409				
15:20	73,7	76,0	67,9	21,0	38,0	46,0	34,2	1502	72,5	75,2	67,9	21,0	38,0	46,0	34,2	1502				
15:25	73,7	73,3	67,5	19,0	33,0	40,0	31,0	1614	72,5	71,7	67,5	19,0	33,0	40,0	31,0	1614				
15:30	73,7	74,8	67,6	22,0	37,0	45,0	34,0	1417	72,5	74,2	67,6	22,0	37,0	45,0	34,0	1417				
15:35	73,7	73,8	67,3	27,0	37,0	43,0	33,8	1313	72,5	72,1	67,3	27,0	37,0	43,0	33,8	1313				
15:40	73,7	75,5	66,5	21,0	31,0	37,0	28,9	1484	72,5	75,1	66,5	21,0	31,0	37,0	28,9	1484				
15:45	73,7	71,8	66,8	19,5	30,0	36,5	28,6	1612	72,5	70,2	66,8	19,5	30,0	36,5	28,6	1612				
15:50	73,7	75,0	68,1	24,0	37,0	43,0	34,3	1563	72,5	74,1	68,1	24,0	37,0	43,0	34,3	1563				
15:55	73,7	74,2	66,8	23,0	32,0	37,0	29,8	1470	72,5	73,2	66,8	23,0	32,0	37,0	29,8	1470				
16:00	73,7	74,2	67,0	24,0	29,5	37,3	29,6	1584	72,5	72,5	67,0	24,0	29,5	37,3	29,6	1584				
16:05	73,7	74,1	65,7	17,0	25,5	35,0	26,0	1481	72,5	72,1	65,7	17,0	25,5	35,0	26,0	1481				
16:10	73,7	74,4	65,3	19,0	25,0	29,0	23,5	1588	72,5	72,0	65,3	19,0	25,0	29,0	23,5	1588				
16:15	73,7	74,4	67,1	26,0	33,0	39,0	31,4	1437	72,5	72,6	67,1	26,0	33,0	39,0	31,4	1437				
16:20	73,7	74,9	65,0	19,3	27,0	29,0	25,3	1327	72,5	74,5	65,0	19,3	27,0	29,0	25,3	1327				
16:25	73,7	72,0	66,1	17,0	29,0	33,0	26,3	1596	72,5	70,3	66,1	17,0	29,0	33,0	26,3	1596				
16:30	73,7	72,7	66,1	18,5	27,0	34,0	26,3	1582	72,5	71,8	66,1	18,5	27,0	34,0	26,3	1582				
16:35	73,7	73,9	66,3	21,0	28,0	32,0	26,3	1641	72,5	73,7	66,3	21,0	28,0	32,0	26,3	1641				
16:40	73,7	72,9	66,2	22,0	26,0	30,3	26,1	1646	72,5	71,5	66,2	22,0	26,0	30,3	26,1	1646				
16:45	73,7	72,5	66,7	21,0	28,0	35,0	27,5	1681	72,5	71,3	66,7	21,0	28,0	35,0	27,5	1681				
16:50	73,7	71,7	65,3	16,8	21,0	29,3	22,7	1724	72,5	71,4	65,3	16,8	21,0	29,3	22,7	1724				
16:55	73,7	70,6	64,5	18,0	24,0	27,8	22,9	1391	72,5	69,3	64,5	18,0	24,0	27,8	22,9	1391				
17:00	73,7	71,5	63,4	14,8	20,0	23,5	20,3	1356	72,5	69,5	63,4	14,8	20,0	23,5	20,3	1356				
17:05	73,7	72,0	64,2	16,0	21,0	25,5	22,0	1411	72,5	71,8	64,2	16,0	21,0	25,5	22,0	1411				
17:10	73,7	72,6	64,6	17,0	25,0	29,5	23,9	1337	72,5	69,9	64,6	17,0	25,0	29,5	23,9	1337				
17:15	73,7	72,7	65,5	17,0	27,0	32,0	24,8	1539	72,5	71,5	65,5	17,0	27,0	32,0	24,8	1539				
17:20	73,7	72,0	63,2	13,0	18,0	22,5	18,3	1558	72,5	70,5	63,2	13,0	18,0	22,5	18,3	1558				
17:25	73,7	71,2	64,0	13,0	19,0	24,0	18,9	1760	72,5	70,0	64,0	13,0	19,0	24,0	18,9	1760				
17:30	73,7	71,6	65,4	19,5	27,0	30,8	25,6	1429	72,5	69,9	65,4	19,5	27,0	30,8	25,6	1429				
17:35	73,7	72,7	67,9	32,0	39,0	45,0	37,0	1292	72,5	71,6	67,9	32,0	39,0	45,0	37,0	1292				
17:40	73,7	73,8	66,4	25,8	35,0	42,0	32,6	1148	72,5	72,5	66,4	25,8	35,0	42,0	32,6	1148				
17:45	73,7	73,5	67,2	27,0	42,0	47,0	37,6	1056	72,5	72,5	67,2	27,0	42,0	47,0	37,6	1056				
17:50	73,7	74,4	68,8	37,0	46,0	52,0	42,1	1253	72,5	73,6	68,8	37,0	46,0	52,0	42,1	1253				
17:55	73,7	75,0	67,2	25,0	34,0	46,0	35,0	1225	72,5	74,3	67,2	25,0	34,0	46,0	35,0	1225				
18:00	73,7	73,0	67,1	26,0	38,0	47,0	36,1	1113	72,5	72,2	67,1	26,0	38,0	47,0	36,1	1113				

Uhrzeit	MP2							MP1						
	L _{A,eq} (ØNORM S 5004) [db(A)]	L _{A,gem} (ØNORM S 5004) [db(A)]	L _{A,ber} (RVS 04.02.11) [db(A)]	Geschwindigkeit (1.Q.) [km/h]	Geschwindigkeit (3.Q.) [km/h]	mittlere Geschwindigkeit [km/h]	Anz. Kfz./Stunde	L _{A,eq} (ØNORM S 5004) [db(A)]	L _{A,gem} (ØNORM S 5004) [db(A)]	L _{A,ber} (RVS 04.02.11) [db(A)]	Geschwindigkeit (1.Q.) [km/h]	Geschwindigkeit (3.Q.) [km/h]	mittlere Geschwindigkeit [km/h]	Anz. Kfz./Stunde
15:15	76,6	76,4	69,7	34,0	39,0	39,2	1362	76,9	77,3	69,7	34,0	39,0	39,2	1362
15:30	76,6	76,1	69,9	34,0	40,0	39,8	1369	76,9	76,8	69,9	34,0	40,0	39,8	1369
15:45	76,6	76,8	69,7	35,0	40,0	39,9	1303	76,9	77,1	69,7	35,0	40,0	39,9	1303
16:00	76,6	76,8	69,9	34,0	38,0	38,7	1439	76,9	77,1	69,9	34,0	38,0	38,7	1439
16:15	76,6	77,7	70,0	33,0	38,0	37,3	1578	76,9	77,3	70,0	33,0	38,0	37,3	1578
16:30	76,6	76,8	69,9	32,0	38,0	37,5	1524	76,9	77,0	69,9	32,0	38,0	37,5	1524
16:45	76,6	76,5	70,1	33,0	37,0	37,5	1625	76,9	77,0	70,1	33,0	37,0	37,5	1625
17:00	76,6	76,5	70,3	34,0	39,0	38,6	1602	76,9	76,9	70,3	34,0	39,0	38,6	1602
17:15	76,6	76,7	69,9	33,0	37,0	37,2	1550	76,9	76,7	69,9	33,0	37,0	37,2	1550
17:30	76,6	76,8	69,8	33,0	37,0	37,1	1548	76,9	77,3	69,8	33,0	37,0	37,1	1548
17:45	76,6	75,3	69,8	33,3	37,0	37,4	1504	76,9	75,9	69,8	33,3	37,0	37,4	1504
18:00	76,6	76,4	69,1	32,0	37,0	37,2	1296	76,9	76,8	69,1	32,0	37,0	37,2	1296

Uhrzeit	MP4							MP3						
	L _{A,eq} (ØNORM S 5004) [db(A)]	L _{A,gem} (ØNORM S 5004) [db(A)]	L _{A,ber} (RVS 04.02.11) [db(A)]	Geschwindigkeit (1.Q.) [km/h]	Geschwindigkeit (3.Q.) [km/h]	mittlere Geschwindigkeit [km/h]	Anz. Kfz./Stunde	L _{A,eq} (ØNORM S 5004) [db(A)]	L _{A,gem} (ØNORM S 5004) [db(A)]	L _{A,ber} (RVS 04.02.11) [db(A)]	Geschwindigkeit (1.Q.) [km/h]	Geschwindigkeit (3.Q.) [km/h]	mittlere Geschwindigkeit [km/h]	Anz. Kfz./Stunde
15:15	71,0	70,8	67,7	19,0	30,0	31,7	1402	72,9	72,4	67,7	19,0	30,0	31,7	1402
15:30	71,0	70,8	67,8	26,0	34,0	33,5	1294	72,9	72,6	67,8	26,0	34,0	33,5	1294
15:45	71,0	72,3	68,5	25,0	35,0	34,5	1428	72,9	74,0	68,5	25,0	35,0	34,5	1428
16:00	71,0	70,8	67,9	21,0	30,0	32,3	1424	72,9	72,9	67,9	21,0	30,0	32,3	1424
16:15	71,0	71,4	68,0	23,0	31,5	31,5	1529	72,9	73,4	68,0	23,0	31,5	31,5	1529
16:30	71,0	71,1	67,9	24,8	33,0	31,2	1493	72,9	73,4	67,9	24,8	33,0	31,2	1493
16:45	71,0	71,1	68,4	25,0	33,0	32,3	1582	72,9	73,0	68,4	25,0	33,0	32,3	1582
17:00	71,0	71,1	67,5	20,0	28,0	27,7	1695	72,9	73,7	67,5	20,0	28,0	27,7	1695
17:15	71,0	70,8	67,9	23,8	30,0	30,8	1556	72,9	72,2	67,9	23,8	30,0	30,8	1556
17:30	71,0	70,6	68,3	25,8	32,0	33,5	1465	72,9	72,8	68,3	25,8	32,0	33,5	1465
17:45	71,0	70,0	67,6	24,0	32,0	32,6	1313	72,9	71,7	67,6	24,0	32,0	32,6	1313
18:00	71,0	71,3	68,5	24,0	36,5	34,5	1446	72,9	72,9	68,5	24,0	36,5	34,5	1446

Uhrzeit	MP6										MP5									
	$L_{A,eq}$ [dB(A)]	$L_{A,gem}$ [dB(A)]	$L_{A,ber}$ [dB(A)]	Geschwindigkeit (1.Q)	Geschwindigkeit (3.Q)	Median	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde	$L_{A,eq}$ [dB(A)]	$L_{A,gem}$ [dB(A)]	$L_{A,ber}$ [dB(A)]	Geschwindigkeit (1.Q)	Geschwindigkeit (3.Q)	Median	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde				
	($\hat{O}NORM\ S\ 5004$)	($\hat{O}NORM\ S\ 5004$)	($RVS\ 04.02.11$)	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[Kfz./h]	($\hat{O}NORM\ S\ 5004$)	($\hat{O}NORM\ S\ 5004$)	($RVS\ 04.02.11$)	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[Kfz./h]				
15:15	70,1	70,6	65,9	22,0	36,0	29,0	28,9	1486	71,0	70,5	65,9	22,0	36,0	29,0	28,9	1486				
15:30	70,1	70,0	66,4	25,0	37,0	33,0	31,4	1420	71,0	70,7	66,4	25,0	37,0	33,0	31,4	1420				
15:45	70,1	71,5	66,4	24,0	37,5	32,0	30,8	1460	71,0	71,2	66,4	24,0	37,5	32,0	30,8	1460				
16:00	70,1	70,6	66,7	25,0	39,0	32,0	31,7	1493	71,0	70,3	66,7	25,0	39,0	32,0	31,7	1493				
16:15	70,1	71,4	67,8	28,0	41,0	35,0	35,0	1598	71,0	72,2	67,8	28,0	41,0	35,0	35,0	1598				
16:30	70,1	69,6	66,1	23,0	34,0	29,0	28,3	1591	71,0	71,2	66,1	23,0	34,0	29,0	28,3	1591				
16:45	70,1	71,8	66,4	22,0	35,0	28,0	28,9	1654	71,0	71,3	66,4	22,0	35,0	28,0	28,9	1654				
17:00	70,1	70,3	67,2	26,0	40,0	33,0	32,7	1592	71,0	71,9	67,2	26,0	40,0	33,0	32,7	1592				
17:15	70,1	67,7	65,8	21,0	32,8	29,0	27,5	1579	71,0	70,2	65,8	21,0	32,8	29,0	27,5	1579				
17:30	70,1	67,9	65,5	18,8	32,0	26,5	25,8	1664	71,0	70,0	65,5	18,8	32,0	26,5	25,8	1664				
17:45	70,1	68,1	64,9	18,3	30,8	25,0	24,8	1552	71,0	69,9	64,9	18,3	30,8	25,0	24,8	1552				
18:00	70,1	69,9	67,5	30,0	45,0	38,0	37,2	1352	71,0	72,0	67,5	30,0	45,0	38,0	37,2	1352				

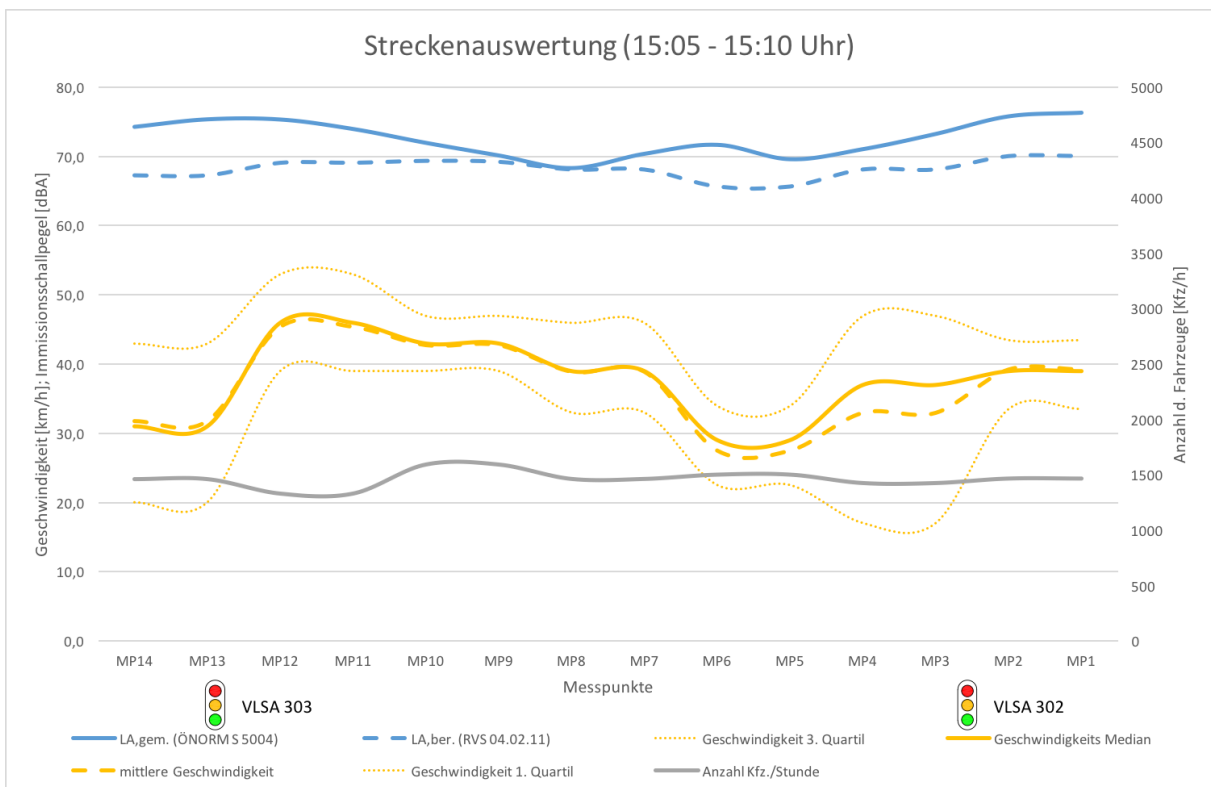
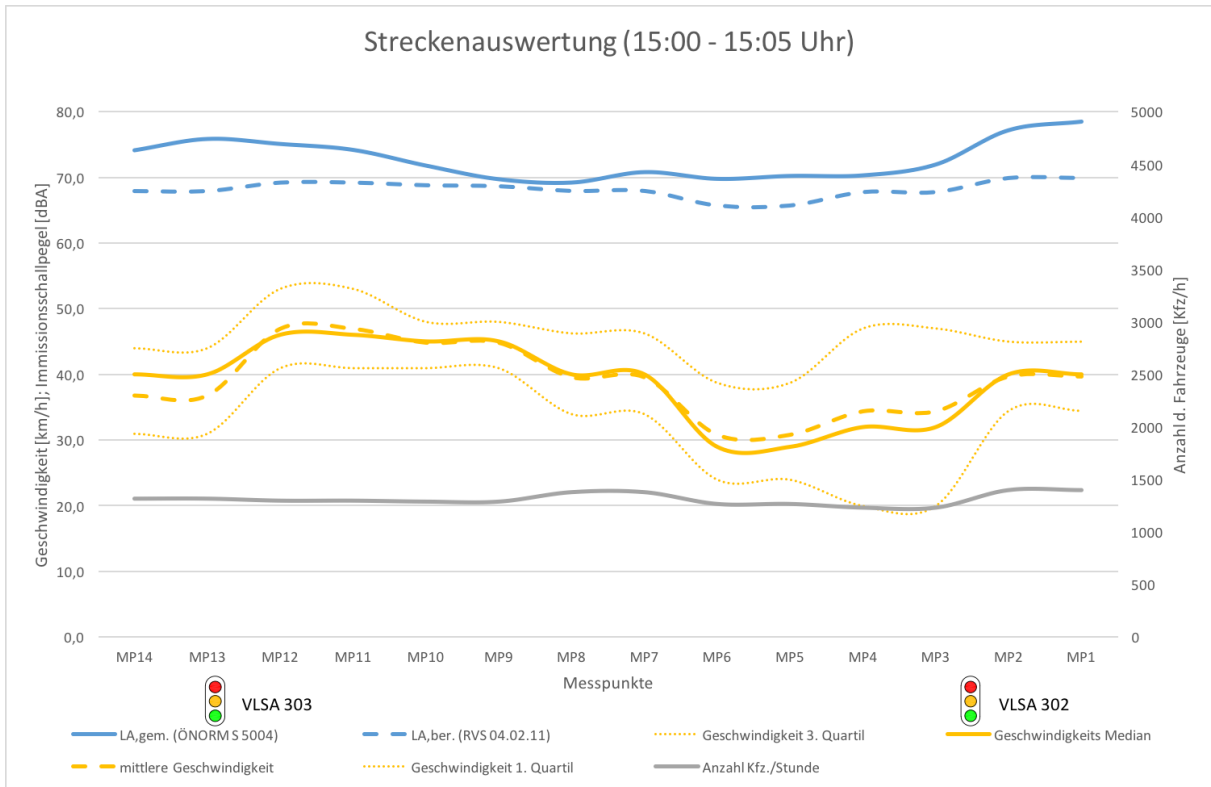
Uhrzeit	MP8										MP7									
	$L_{A,eq}$ [dB(A)]	$L_{A,gem}$ [dB(A)]	$L_{A,ber}$ [dB(A)]	Geschwindigkeit (1.Q)	Geschwindigkeit (3.Q)	Median	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde	$L_{A,eq}$ [dB(A)]	$L_{A,gem}$ [dB(A)]	$L_{A,ber}$ [dB(A)]	Geschwindigkeit (1.Q)	Geschwindigkeit (3.Q)	Median	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde				
	($\hat{O}NORM\ S\ 5004$)	($\hat{O}NORM\ S\ 5004$)	($RVS\ 04.02.11$)	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[Kfz./h]	($\hat{O}NORM\ S\ 5004$)	($\hat{O}NORM\ S\ 5004$)	($RVS\ 04.02.11$)	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[Kfz./h]				
15:15	68,3	68,6	68,26	34,0	47,0	40,0	39,8	1463	70,3	70,5	68,3	34,0	47,0	40,0	39,8	1463				
15:30	68,3	68,9	67,68	30,5	46,0	40,0	38,3	1371	70,3	70,4	67,7	30,5	46,0	40,0	38,3	1371				
15:45	68,3	68,5	68,49	37,0	49,0	43,0	42,5	1359	70,3	70,2	68,5	37,0	49,0	43,0	42,5	1359				
16:00	68,3	68,6	67,62	29,0	45,0	37,0	37,2	1427	70,3	70,3	67,6	29,0	45,0	37,0	37,2	1427				
16:15	68,3	69,0	67,46	28,0	44,0	38,0	36,4	1434	70,3	70,5	67,5	28,0	44,0	38,0	36,4	1434				
16:30	68,3	69,0	67,08	25,0	41,0	33,0	32,7	1600	70,3	71,0	67,1	25,0	41,0	33,0	32,7	1600				
16:45	68,3	68,4	67,71	27,8	44,0	35,0	35,2	1611	70,3	69,9	67,7	27,8	44,0	35,0	35,2	1611				
17:00	68,3	68,0	66,81	22,0	39,0	30,0	31,1	1644	70,3	69,8	66,8	22,0	39,0	30,0	31,1	1644				
17:15	68,3	68,7	67,77	29,0	43,0	37,0	36,1	1565	70,3	70,7	67,8	29,0	43,0	37,0	36,1	1565				
17:30	68,3	66,8	66,98	25,0	40,0	33,0	32,6	1573	70,3	69,5	67,0	25,0	40,0	33,0	32,6	1573				
17:45	68,3	67,3	67,40	31,0	46,0	39,0	38,3	1283	70,3	70,1	67,4	31,0	46,0	39,0	38,3	1283				
18:00	68,3	67,6	67,95	33,0	46,0	40,0	38,9	1416	70,3	70,4	67,9	33,0	46,0	40,0	38,9	1416				

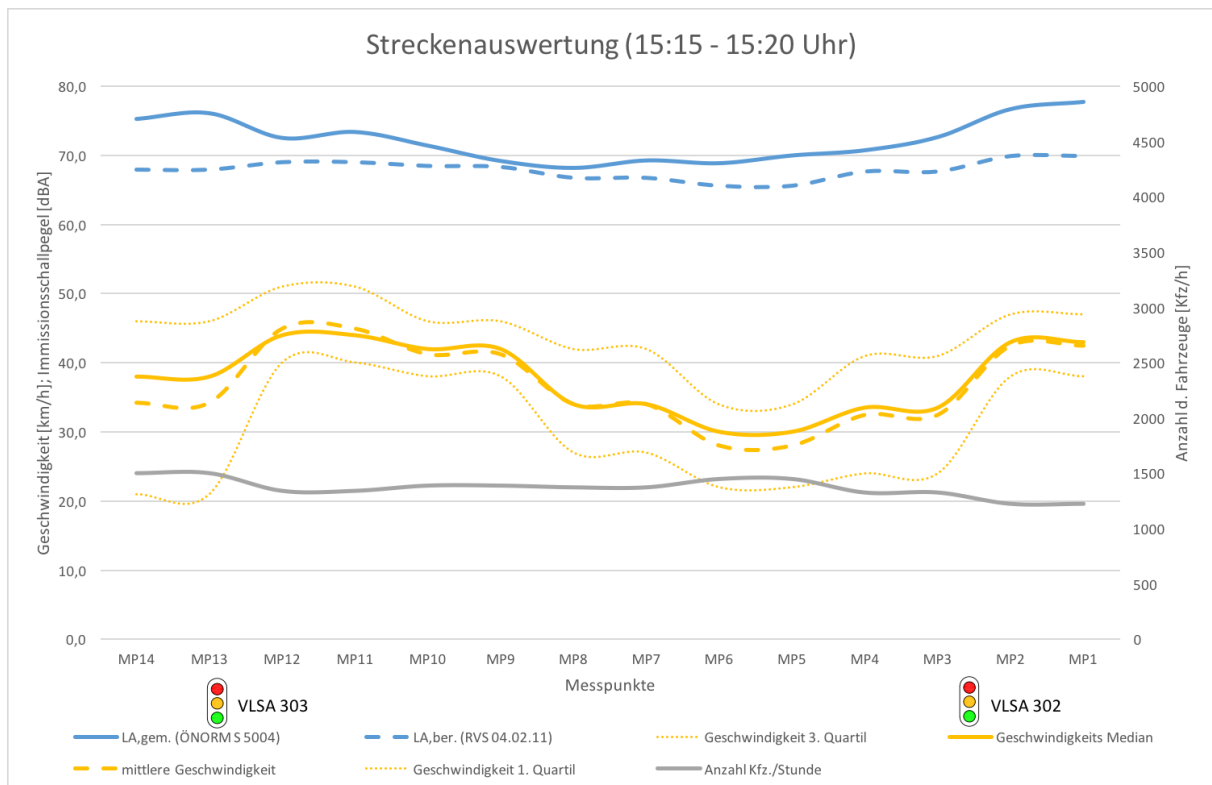
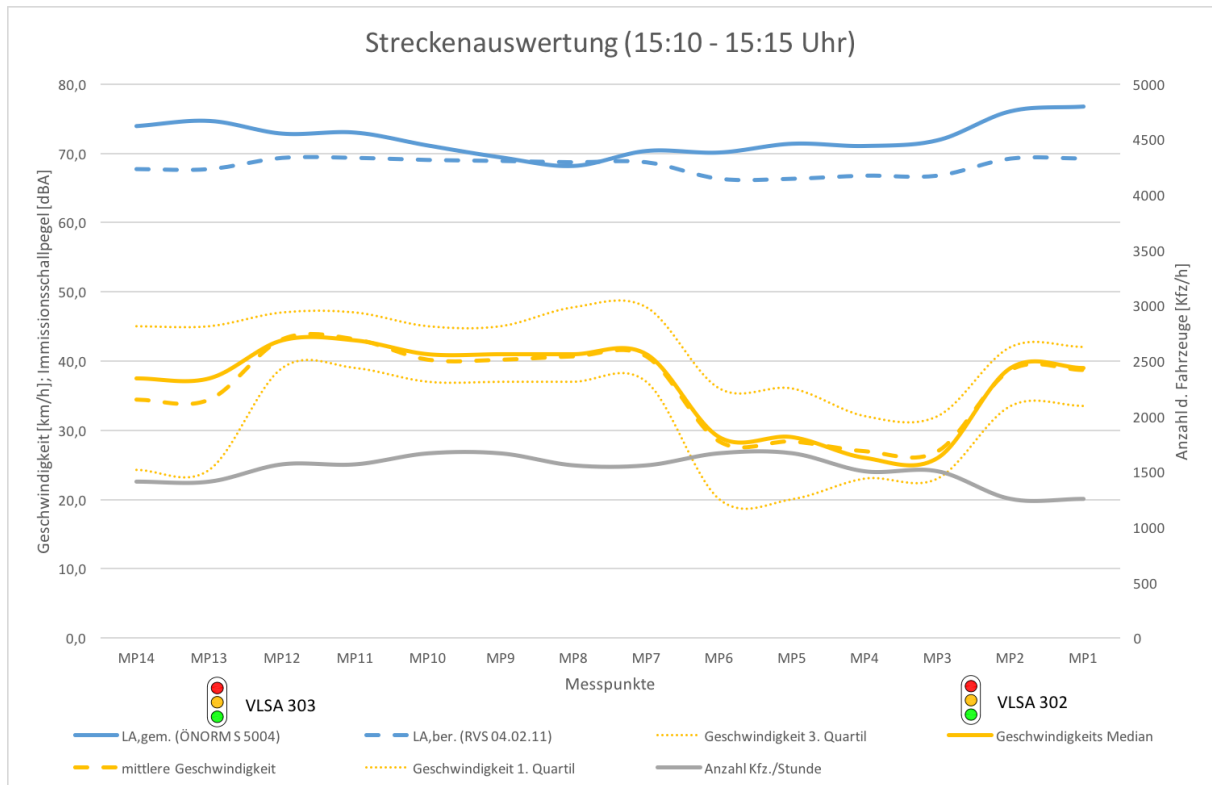
Uhrzeit	MP10										MP9									
	L _{A,eq} [dB(A)]	L _{A,gem} [dB(A)]	L _{A,ber} [dB(A)]	Geschwindigkeit (1.Q)	Geschwindigkeit (3.Q)	Median	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde	L _{A,eq} [dB(A)]	L _{A,gem} [dB(A)]	L _{A,ber} [dB(A)]	Geschwindigkeit (1.Q)	Geschwindigkeit (3.Q)	Median	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde				
	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[Kfz/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[Kfz/h]				
15:15	71,6	71,6	68,9	38,0	43,0	43,0	42,5	1459	70,0	69,8	68,8	38,0	47,0	43,0	42,5	1459				
15:30	71,6	71,5	68,3	38,0	42,0	42,0	41,7	1295	70,0	69,9	68,1	38,0	47,0	42,0	41,7	1295				
15:45	71,6	72,0	68,9	39,0	43,0	43,0	43,7	1389	70,0	70,2	68,8	39,0	48,0	43,0	43,7	1389				
16:00	71,6	72,3	68,8	37,0	43,0	43,0	42,2	1435	70,0	70,4	68,7	37,0	47,0	43,0	42,2	1435				
16:15	71,6	71,5	67,8	31,0	36,0	36,0	35,6	1580	70,0	69,6	67,7	31,0	42,0	36,0	35,6	1580				
16:30	71,6	71,5	67,6	31,3	37,0	37,0	35,7	1502	70,0	70,6	67,5	31,3	42,0	37,0	35,7	1502				
16:45	71,6	71,4	67,9	32,0	38,0	38,0	37,0	1483	70,0	70,1	67,8	32,0	43,0	38,0	37,0	1483				
17:00	71,6	72,2	67,5	24,0	34,0	34,0	32,0	1783	70,0	70,3	67,4	24,0	40,0	34,0	32,0	1783				
17:15	71,6	70,0	65,7	19,0	25,0	25,0	26,9	1594	70,0	68,6	65,5	19,0	35,0	25,0	26,9	1594				
17:30	71,6	71,1	68,1	33,0	41,0	41,0	39,1	1404	70,0	69,6	67,9	33,0	46,0	41,0	39,1	1404				
17:45	71,6	71,7	68,5	37,0	42,0	42,0	41,7	1365	70,0	70,5	68,4	37,0	46,0	42,0	41,7	1365				
18:00	71,6	71,8	68,3	37,0	41,0	41,0	40,7	1350	70,0	70,4	68,1	37,0	45,0	41,0	40,7	1350				

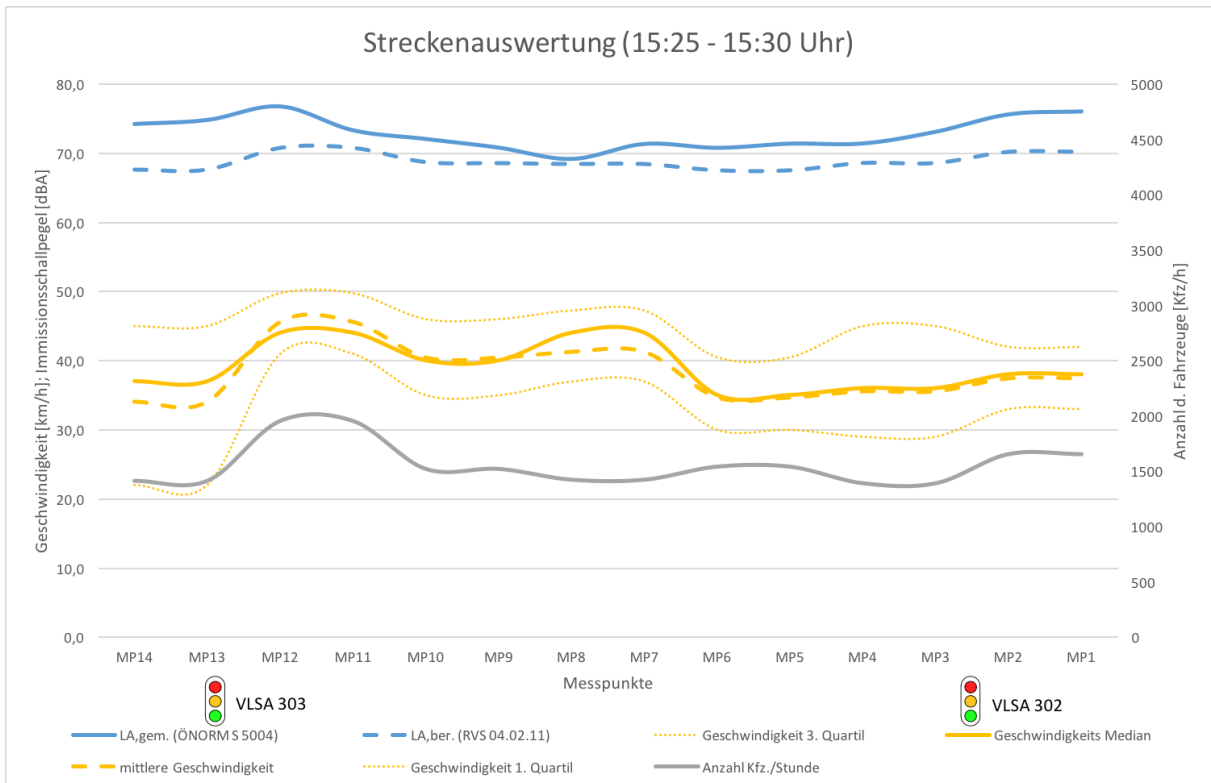
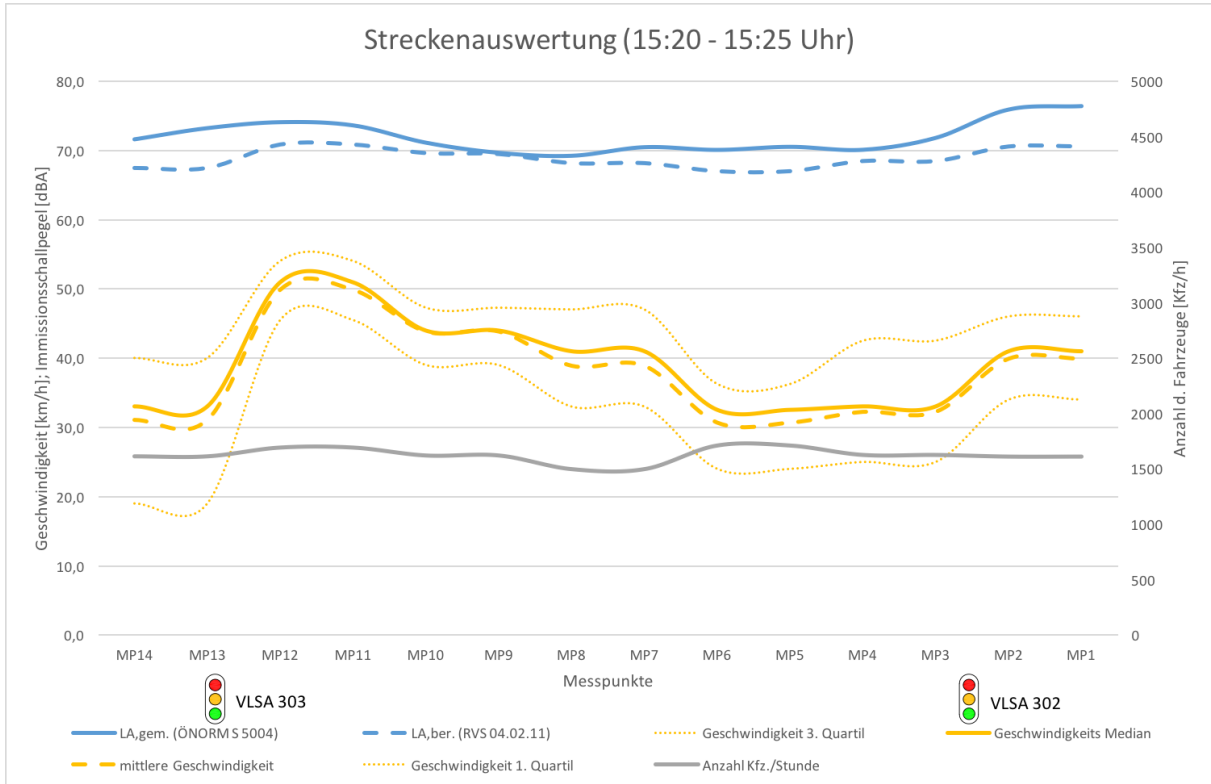
Uhrzeit	MP12										MP11									
	L _{A,eq} [dB(A)]	L _{A,gem} [dB(A)]	L _{A,ber} [dB(A)]	Geschwindigkeit (1.Q)	Geschwindigkeit (3.Q)	Median	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde	L _{A,eq} [dB(A)]	L _{A,gem} [dB(A)]	L _{A,ber} [dB(A)]	Geschwindigkeit (1.Q)	Geschwindigkeit (3.Q)	Median	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde				
	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[Kfz/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[Kfz/h]				
15:15	73,8	74,6	69,2	39,0	44,0	44,0	45,1	1403	73,6	73,7	69,2	39,0	51,0	44,0	45,1	1403				
15:30	73,8	74,8	69,6	41,0	46,0	46,0	46,8	1430	73,6	73,4	69,6	41,0	52,0	46,0	46,8	1430				
15:45	73,8	74,5	69,3	38,5	43,0	43,0	42,9	1553	73,6	74,6	69,3	38,5	48,0	43,0	42,9	1553				
16:00	73,8	74,4	69,3	38,0	43,0	43,0	43,1	1557	73,6	74,4	69,3	38,0	48,0	43,0	43,1	1557				
16:15	73,8	73,8	69,0	36,0	42,0	42,0	40,8	1595	73,6	73,5	69,0	36,0	46,0	42,0	40,8	1595				
16:30	73,8	72,6	69,3	37,0	41,0	41,0	40,7	1724	73,6	73,0	69,3	37,0	45,0	40,7	1724					
16:45	73,8	73,5	69,3	38,0	44,0	44,0	43,5	1503	73,6	73,7	69,3	38,0	49,0	44,0	43,5	1503				
17:00	73,8	73,3	69,4	37,0	42,0	42,0	42,5	1608	73,6	73,1	69,4	37,0	47,0	42,5	1608					
17:15	73,8	73,3	69,7	40,0	44,0	44,0	44,4	1616	73,6	73,4	69,7	40,0	49,0	44,4	1616					
17:30	73,8	73,4	68,9	37,0	42,0	42,0	42,0	1495	73,6	73,6	68,9	37,0	47,0	42,0	1495					
17:45	73,8	73,5	69,0	37,0	42,0	42,0	41,7	1525	73,6	73,4	69,0	37,0	47,0	41,7	1525					
18:00	73,8	72,8	68,3	37,0	41,0	41,0	40,7	1349	73,6	73,3	68,3	37,0	45,0	40,7	1349					

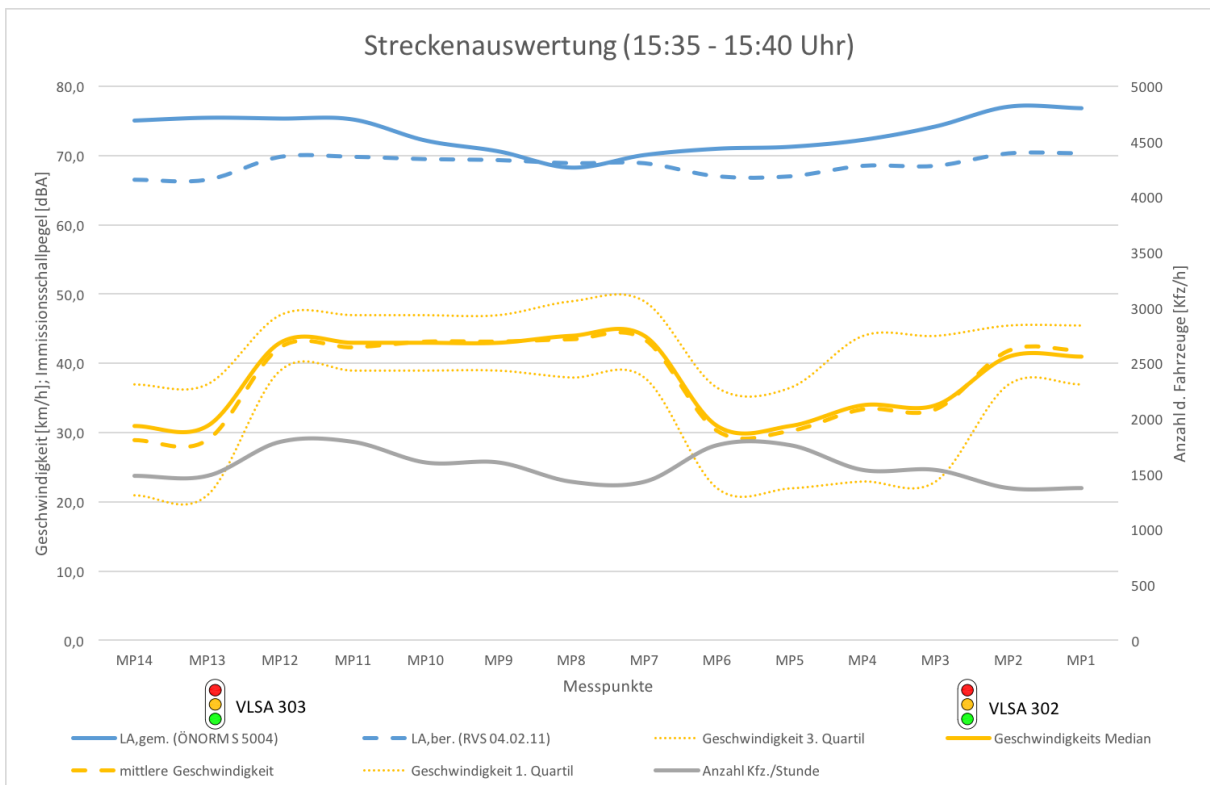
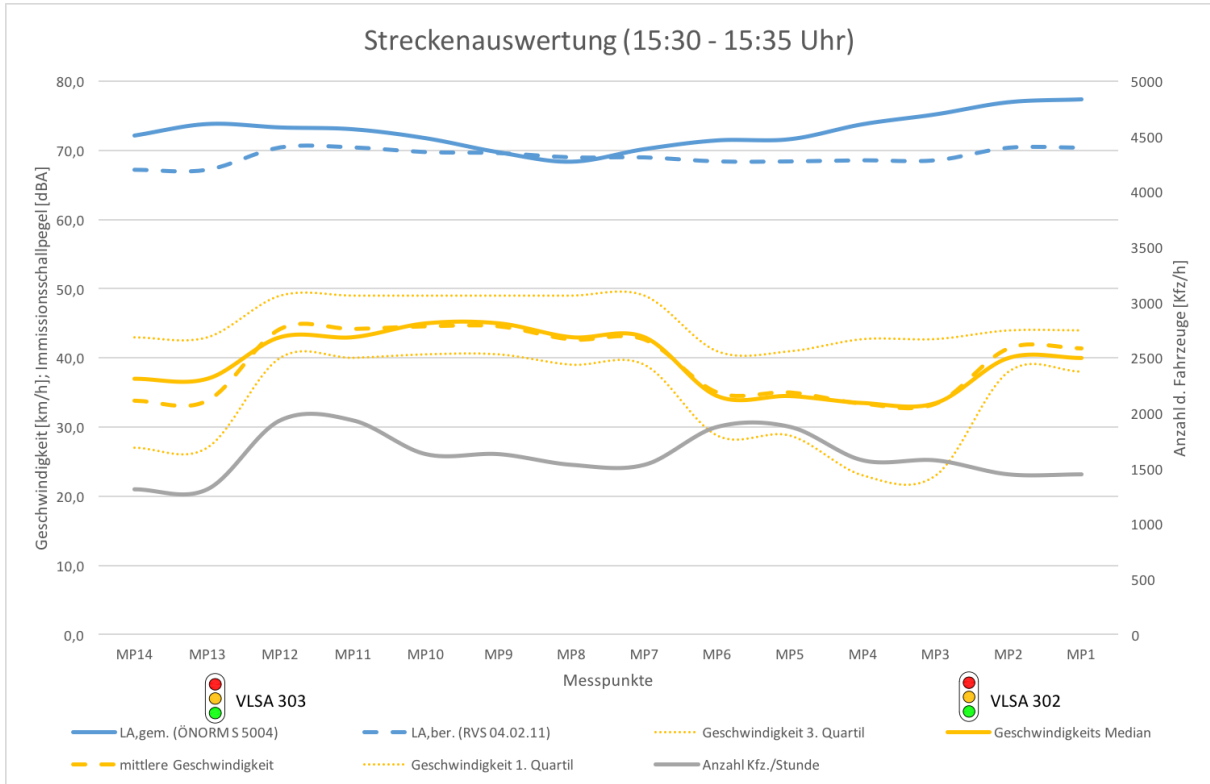
Uhrzeit	MP14										MP13									
	L _{A,eq} [db(A)] (DINORM S 5004)	L _{A,gem} [db(A)] (DINORM S 5004)	L _{A,ber} [db(A)] (RVS 04.02.11)	Geschwindigkeit (1.Q)	Median	Geschwindigkeit (3.Q)	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde	L _{A,eq} [db(A)] (DINORM S 5004)	L _{A,gem} [db(A)] (DINORM S 5004)	L _{A,ber} [db(A)] (RVS 04.02.11)	Geschwindigkeit (1.Q)	Median	Geschwindigkeit (3.Q)	mittlere Geschwindigkeit	Anz. Kfz./Stunde				
15:15	72,5	74,1	67,7	24,0	38,0	44,0	34,6	1409	73,7	75,3	67,7	24,0	38,0	44,0	34,6	1409				
15:30	72,5	73,9	67,6	21,0	35,0	45,0	33,2	1483	73,7	74,8	67,6	21,0	35,0	45,0	33,2	1483				
15:45	72,5	72,9	66,9	21,0	33,0	39,0	30,5	1455	73,7	74,0	66,9	21,0	33,0	39,0	30,5	1455				
16:00	72,5	73,2	67,5	23,0	34,5	40,0	31,5	1572	73,7	74,5	67,5	23,0	34,5	40,0	31,5	1572				
16:15	72,5	72,2	66,0	20,0	27,0	35,0	27,1	1460	73,7	74,3	66,0	20,0	27,0	35,0	27,1	1460				
16:30	72,5	72,6	65,9	18,0	27,0	32,0	26,0	1559	73,7	73,4	65,9	18,0	27,0	32,0	26,0	1559				
16:45	72,5	72,3	66,4	21,0	27,0	32,0	26,7	1675	73,7	73,1	66,4	21,0	27,0	32,0	26,7	1675				
17:00	72,5	70,2	64,4	17,0	22,0	27,0	22,1	1475	73,7	71,3	64,4	17,0	22,0	27,0	22,1	1475				
17:15	72,5	71,1	64,8	17,0	24,0	30,0	23,6	1421	73,7	72,4	64,8	17,0	24,0	30,0	23,6	1421				
17:30	72,5	70,2	64,4	14,0	21,0	27,0	21,2	1569	73,7	71,6	64,4	14,0	21,0	27,0	21,2	1569				
17:45	72,5	72,2	67,2	27,0	39,0	45,0	35,9	1157	73,7	73,4	67,2	27,0	39,0	45,0	35,9	1157				
18:00	72,5	73,5	67,9	28,5	42,0	49,0	38,3	1215	73,7	74,3	67,9	28,5	42,0	49,0	38,3	1215				

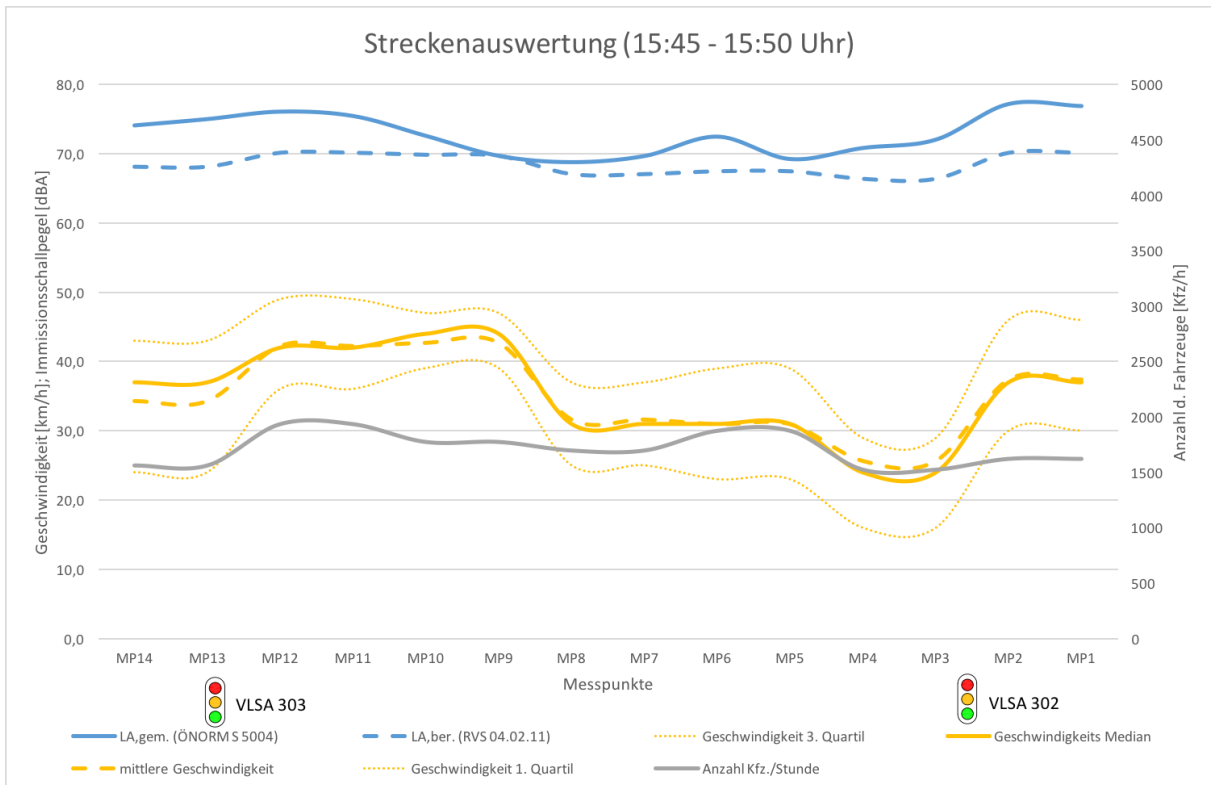
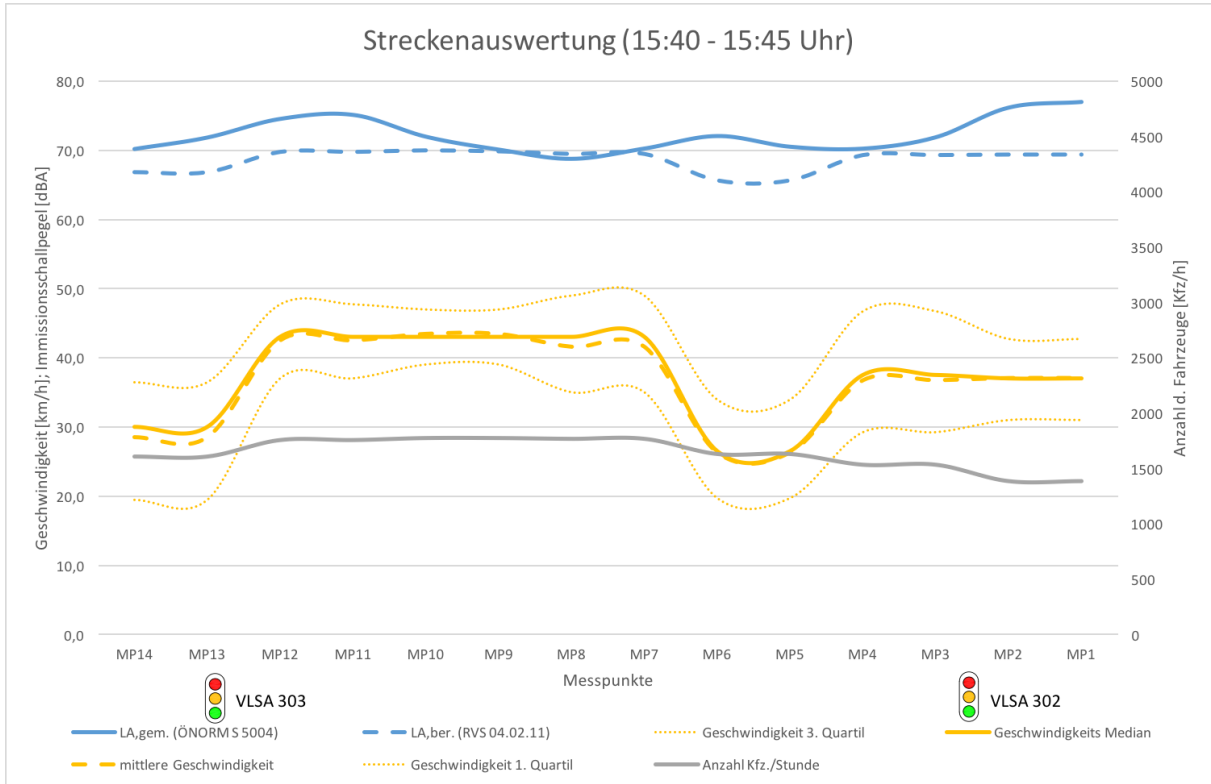
A3 – Streckenauswertungen

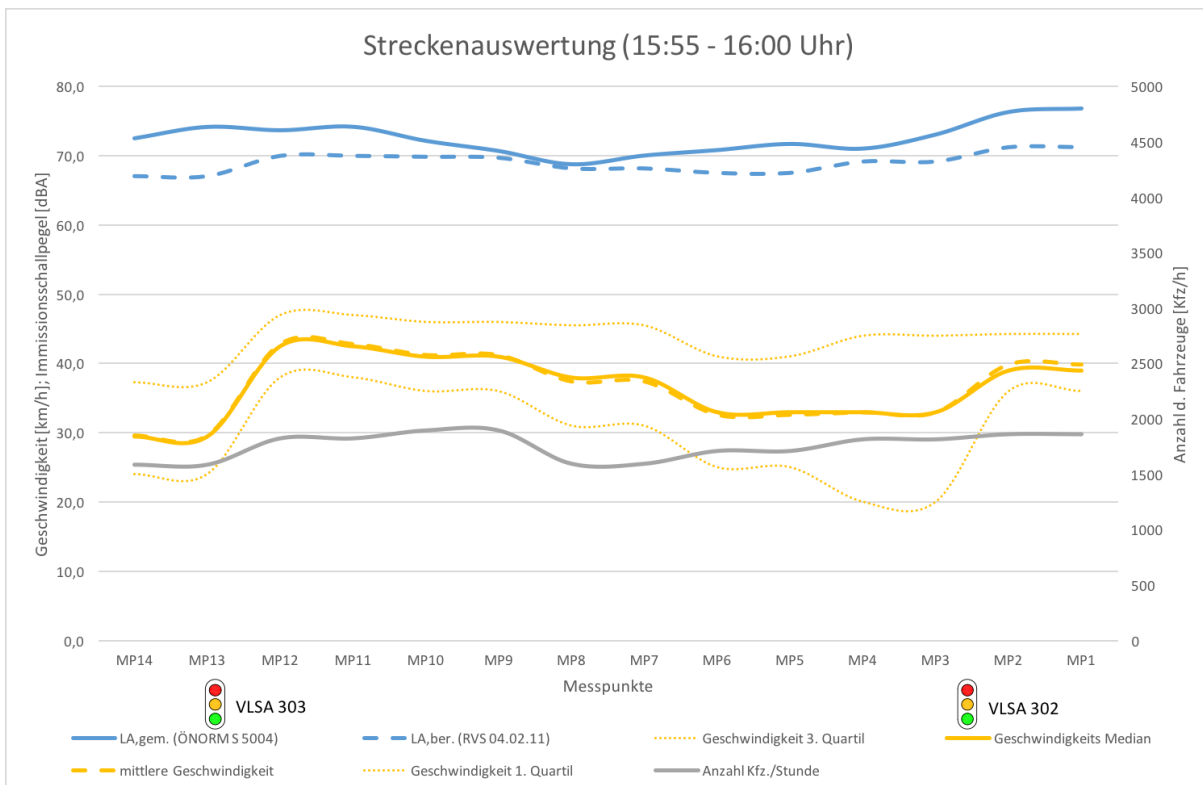
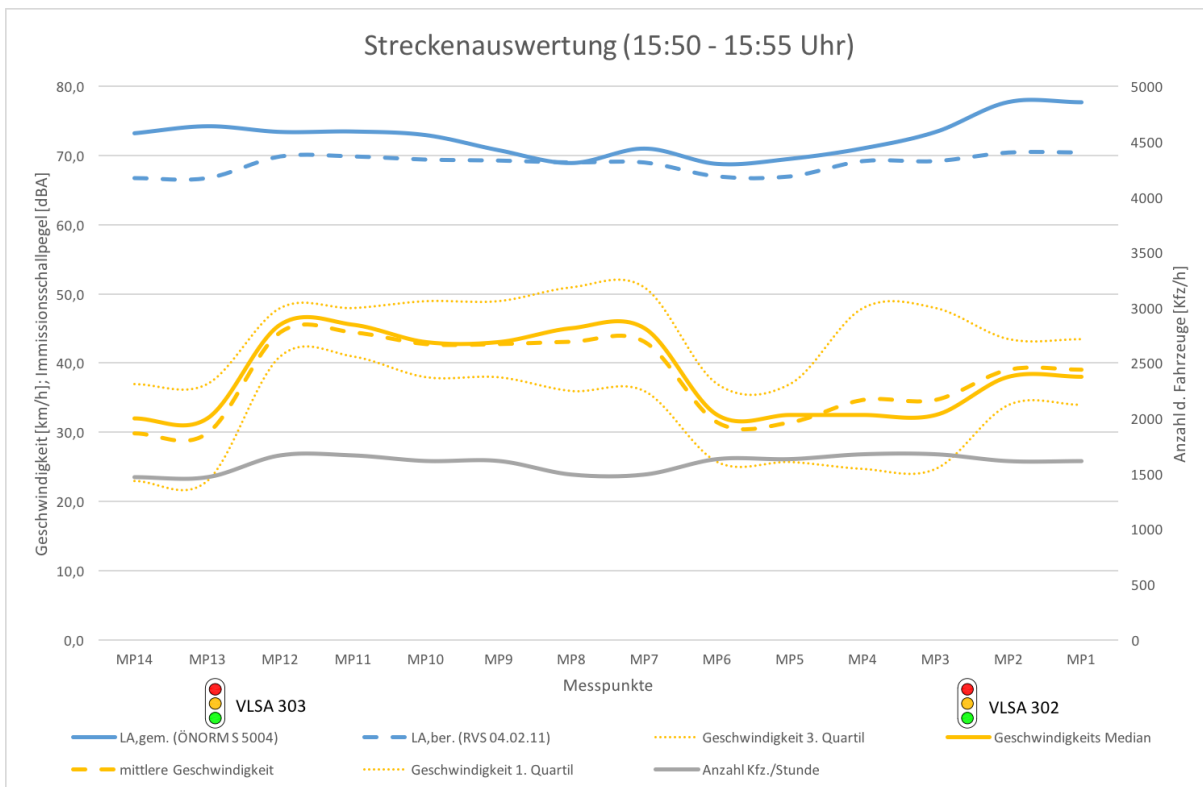


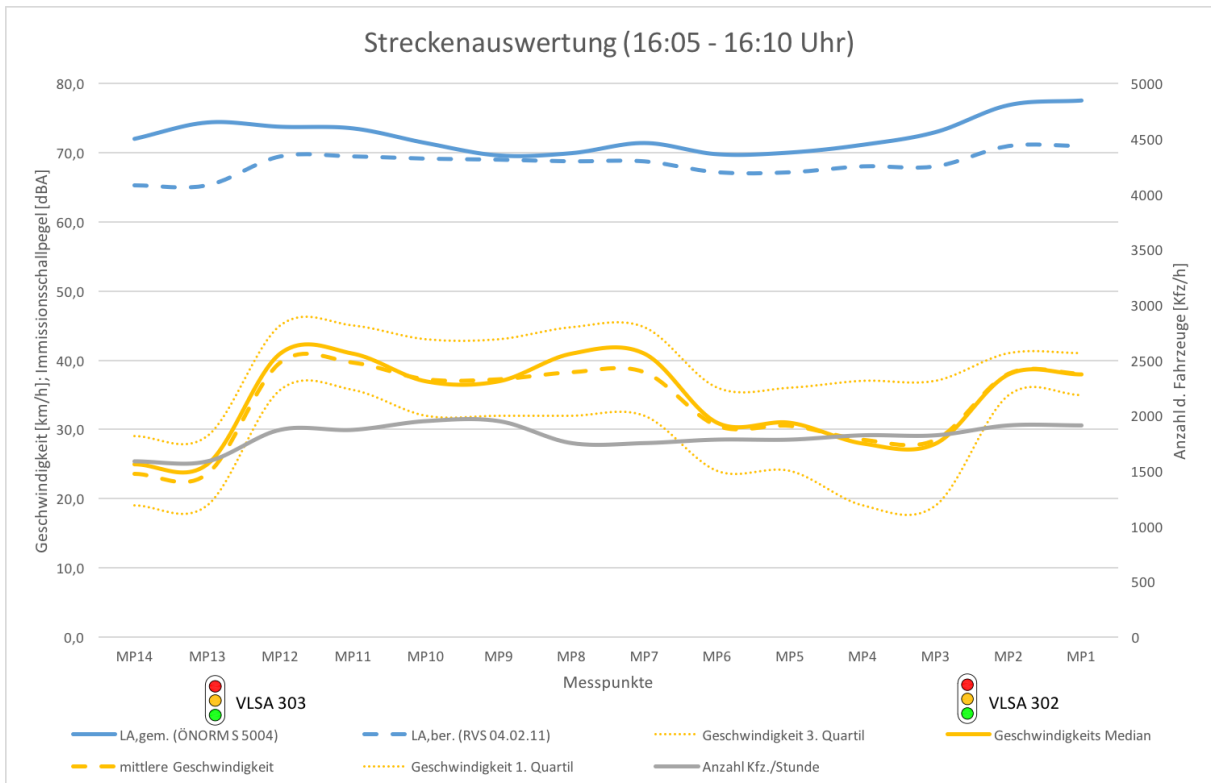
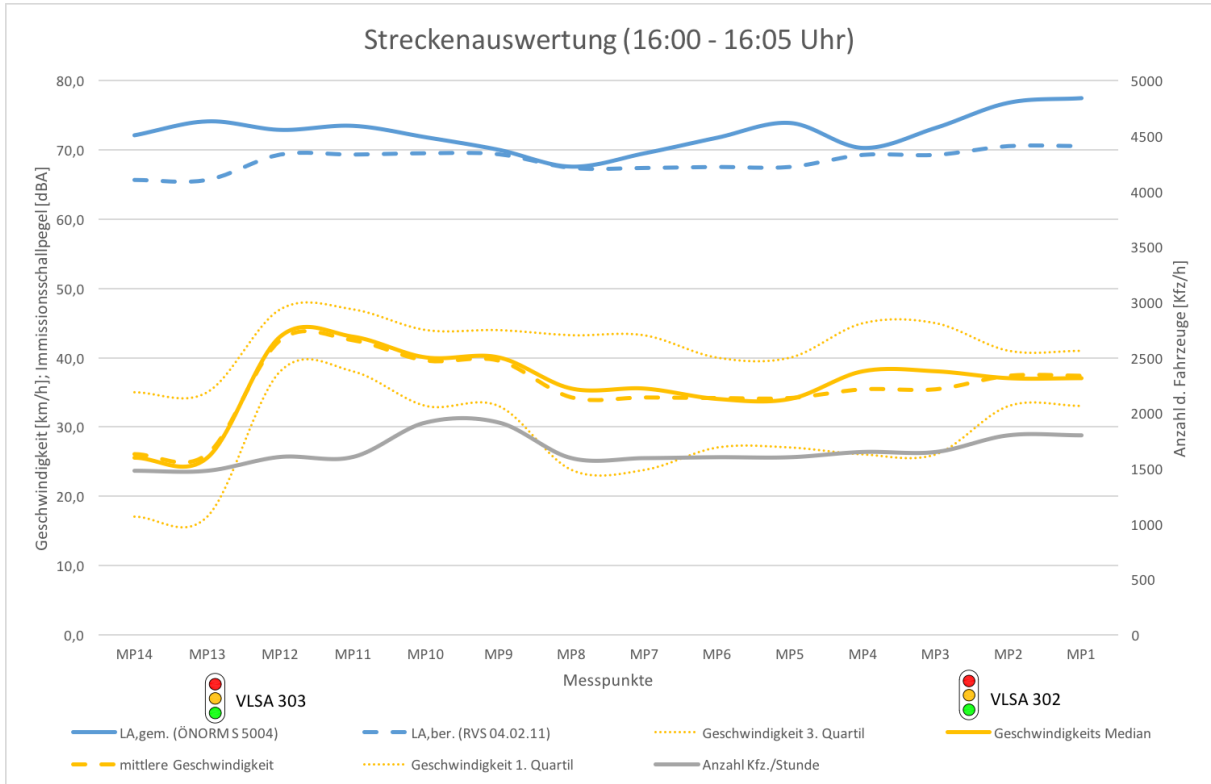


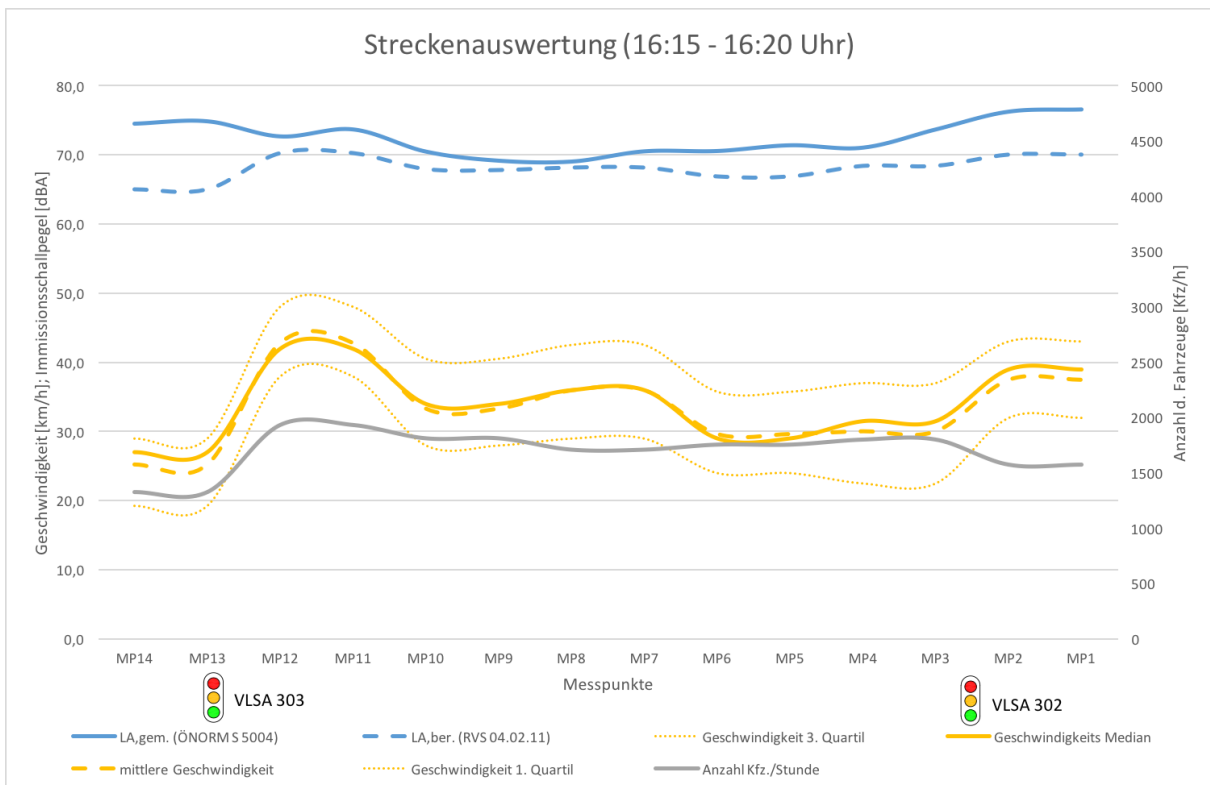
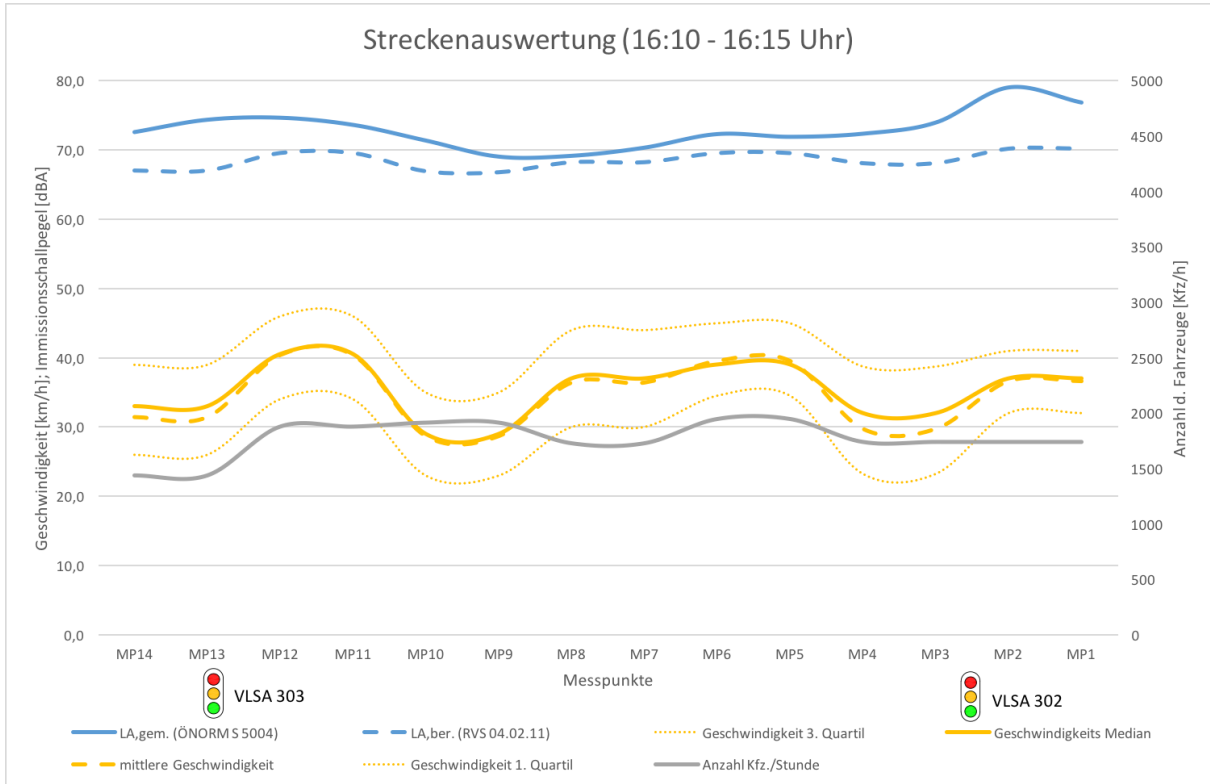


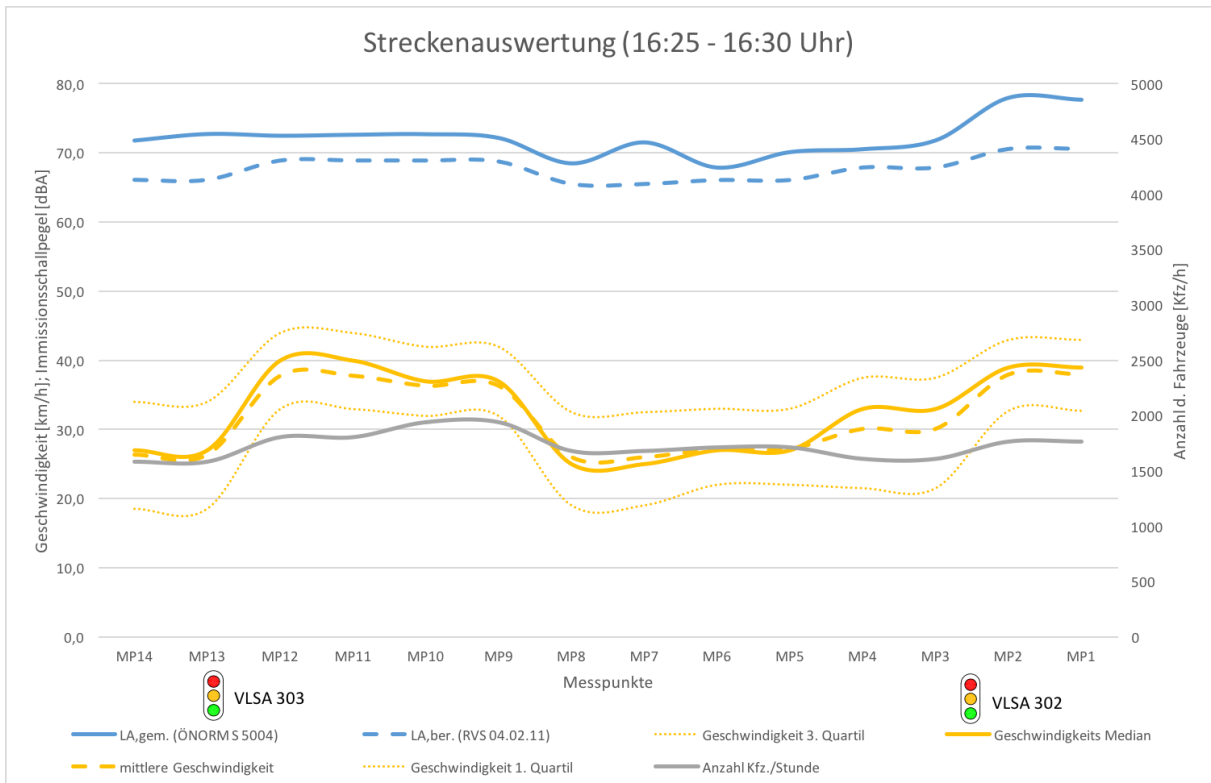
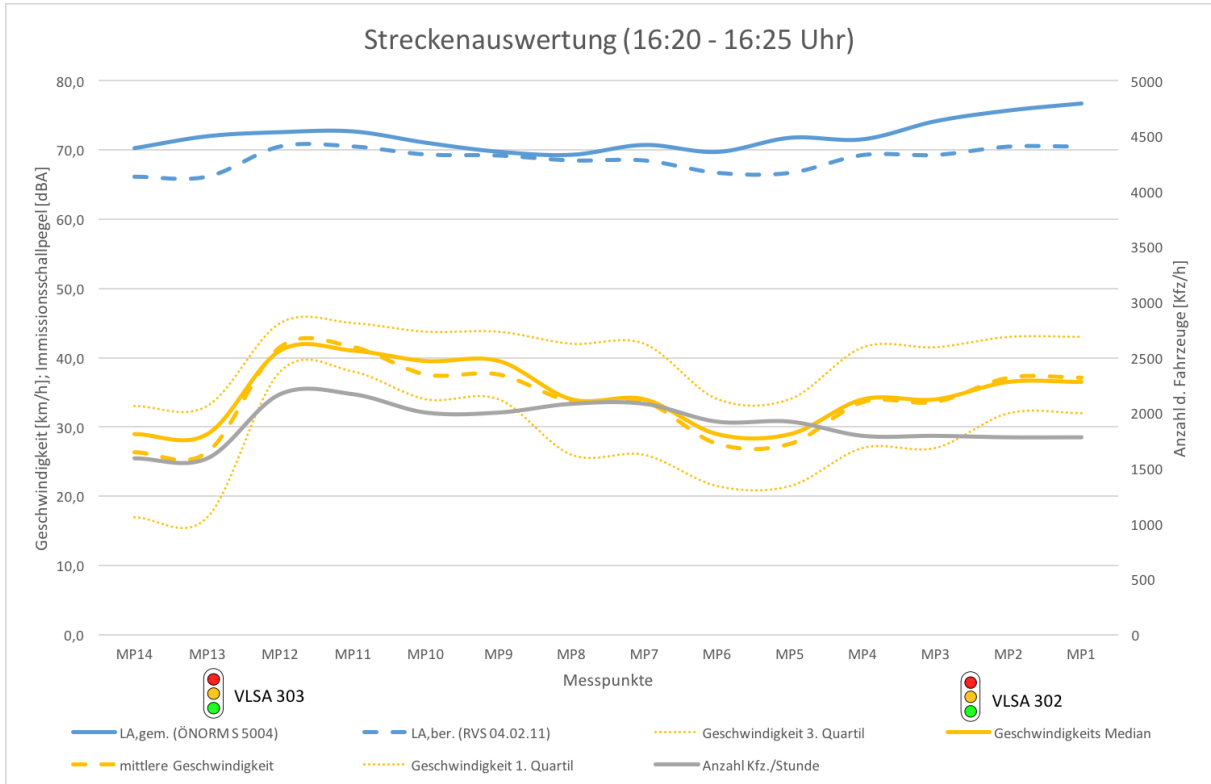


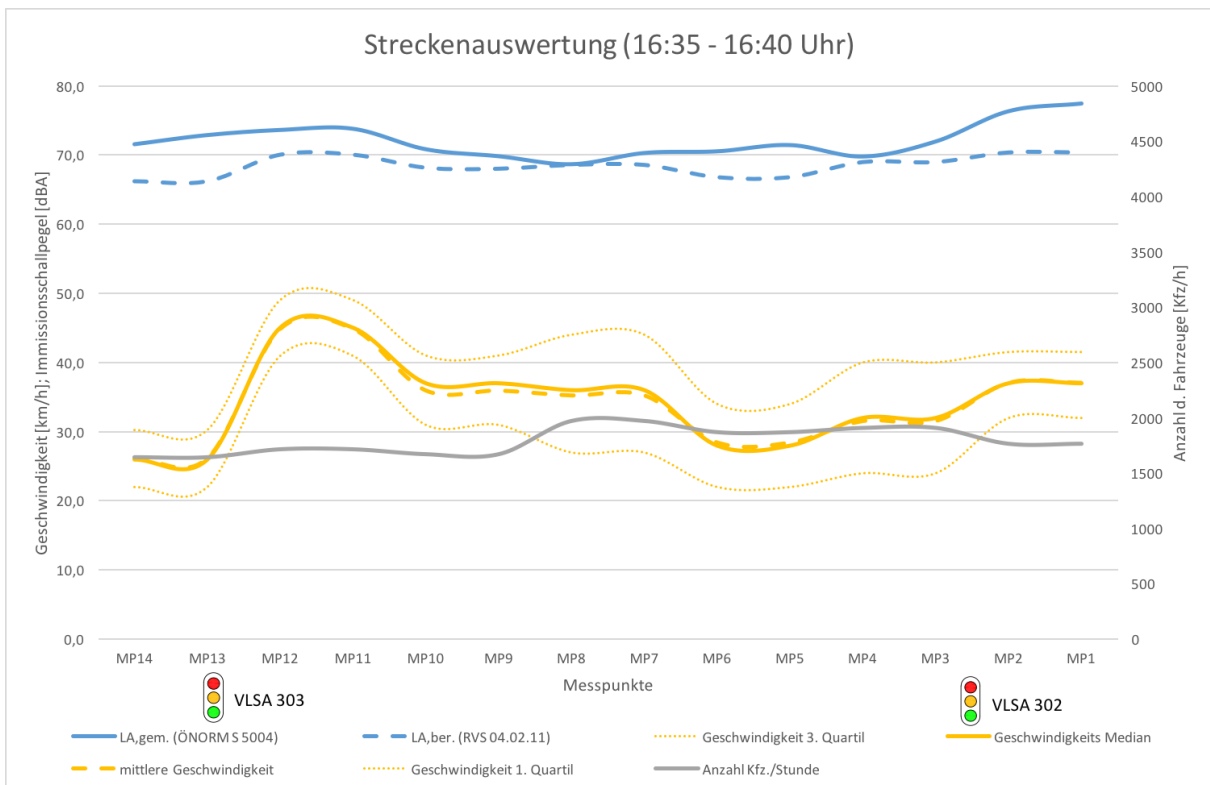
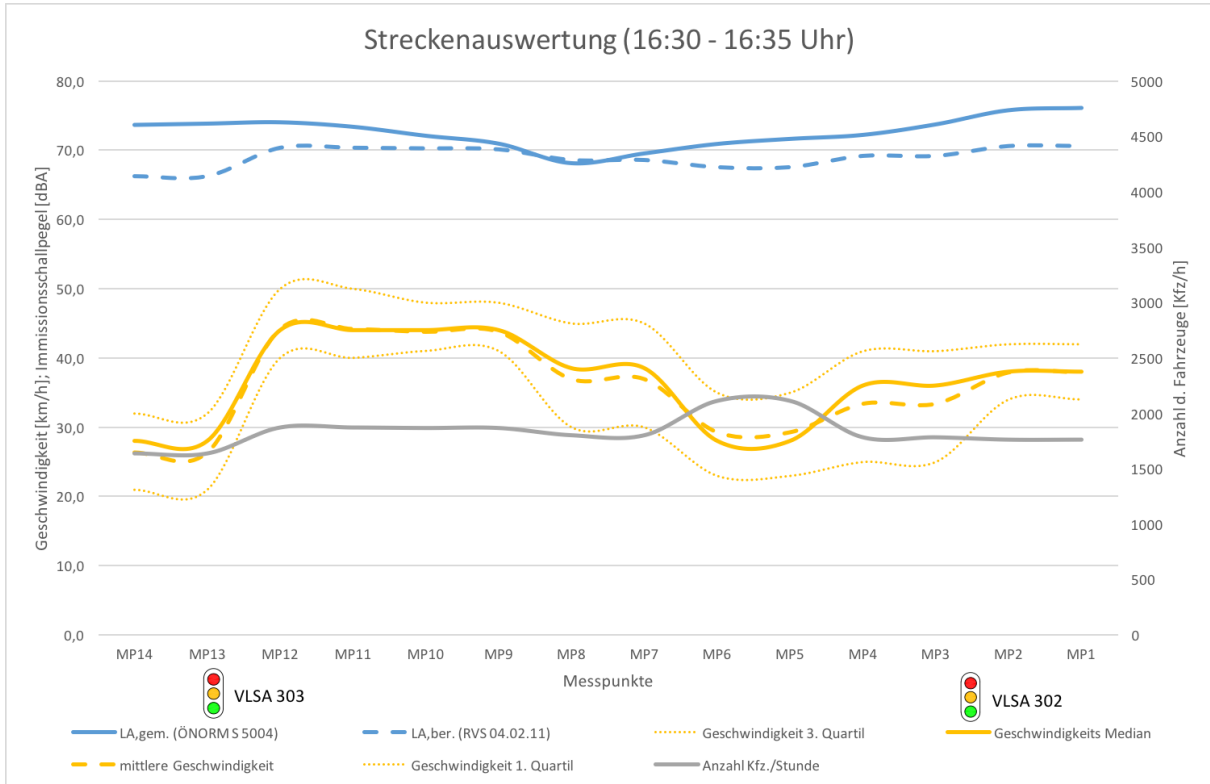


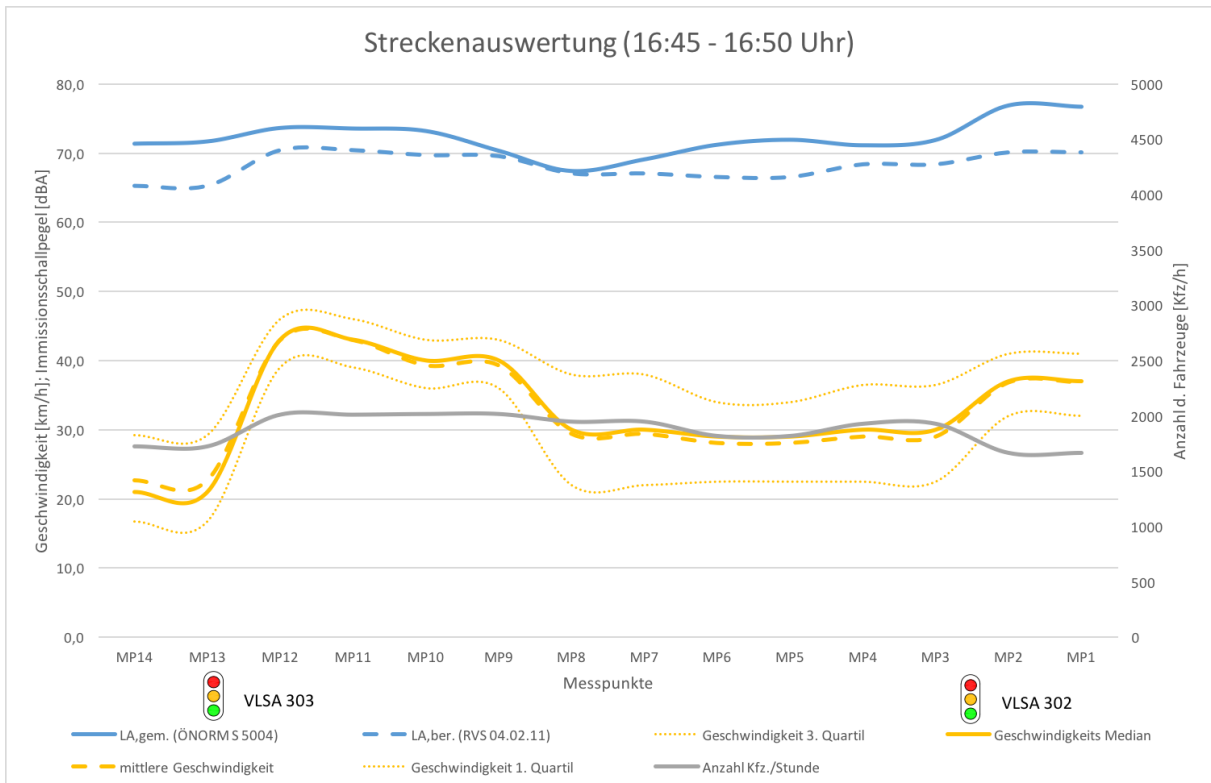
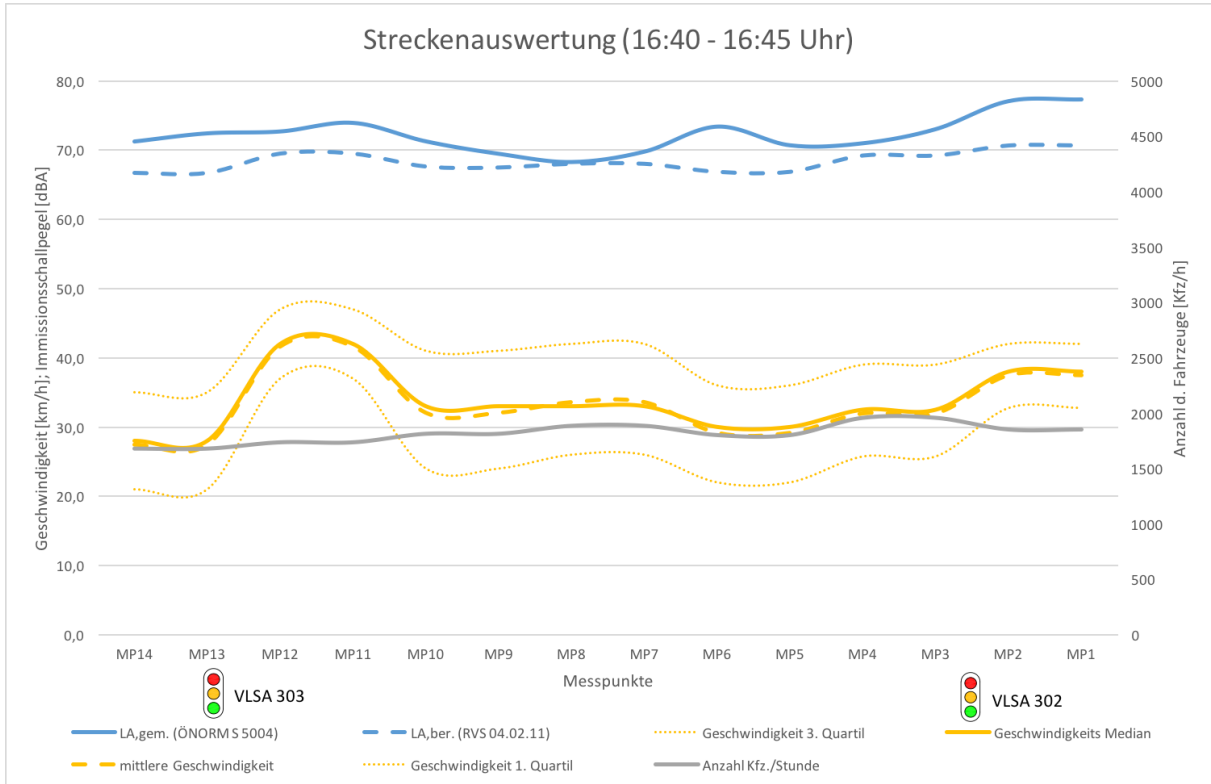


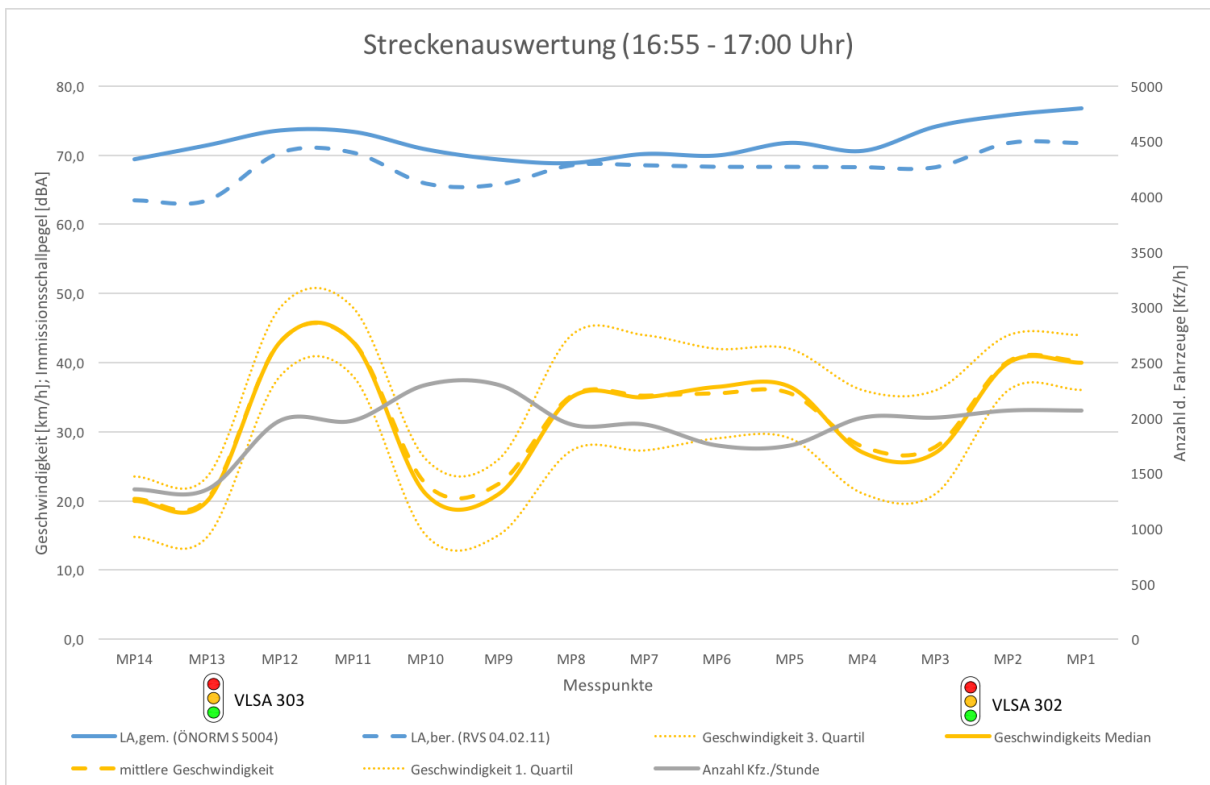
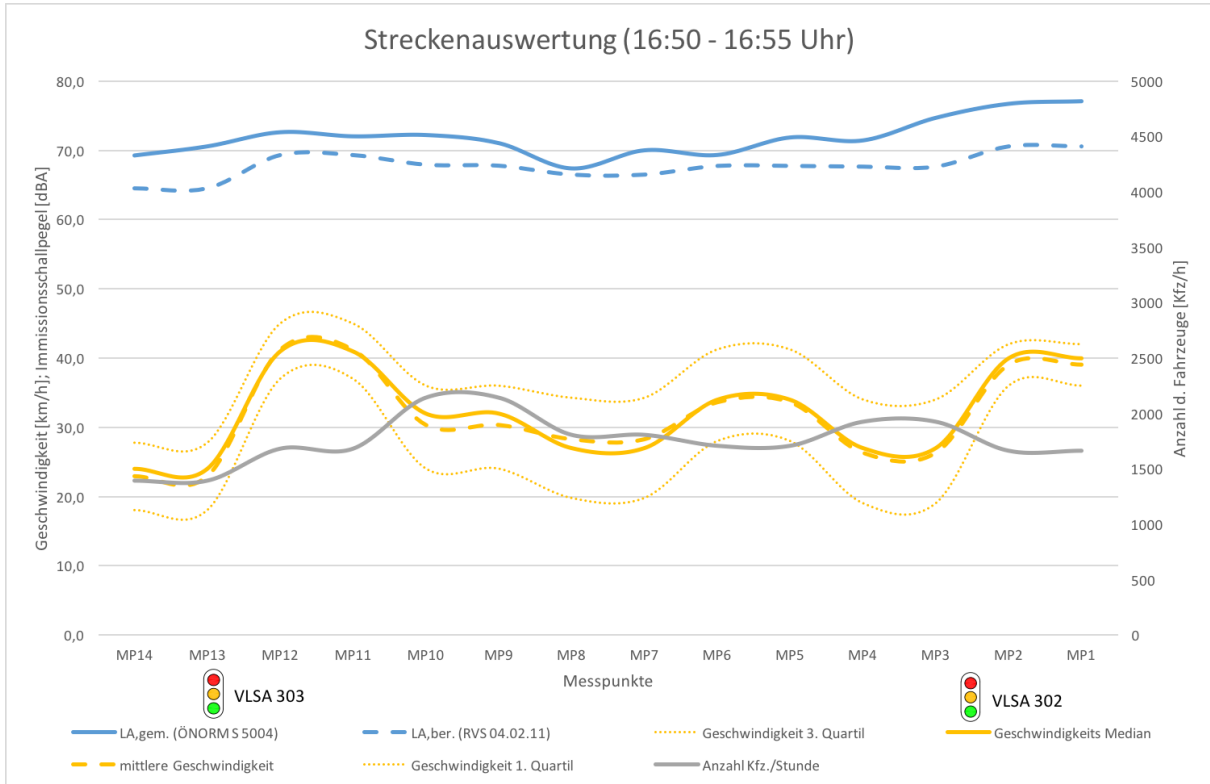


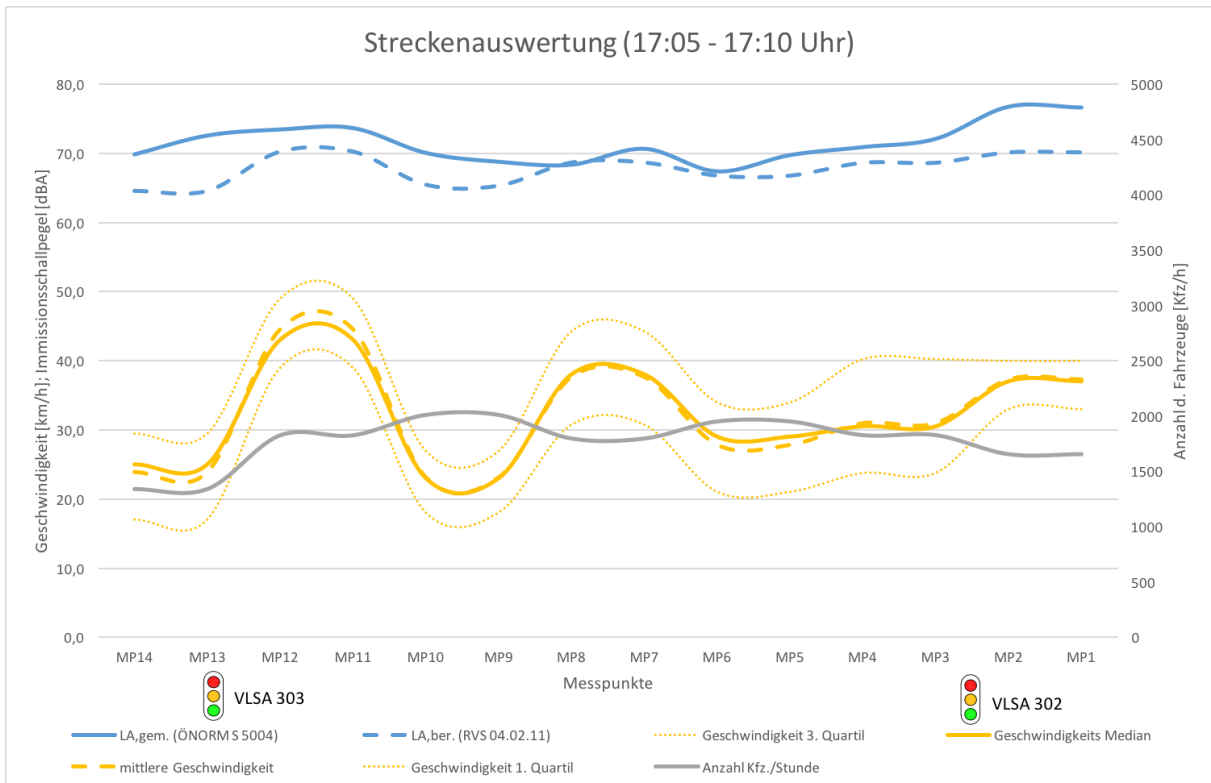
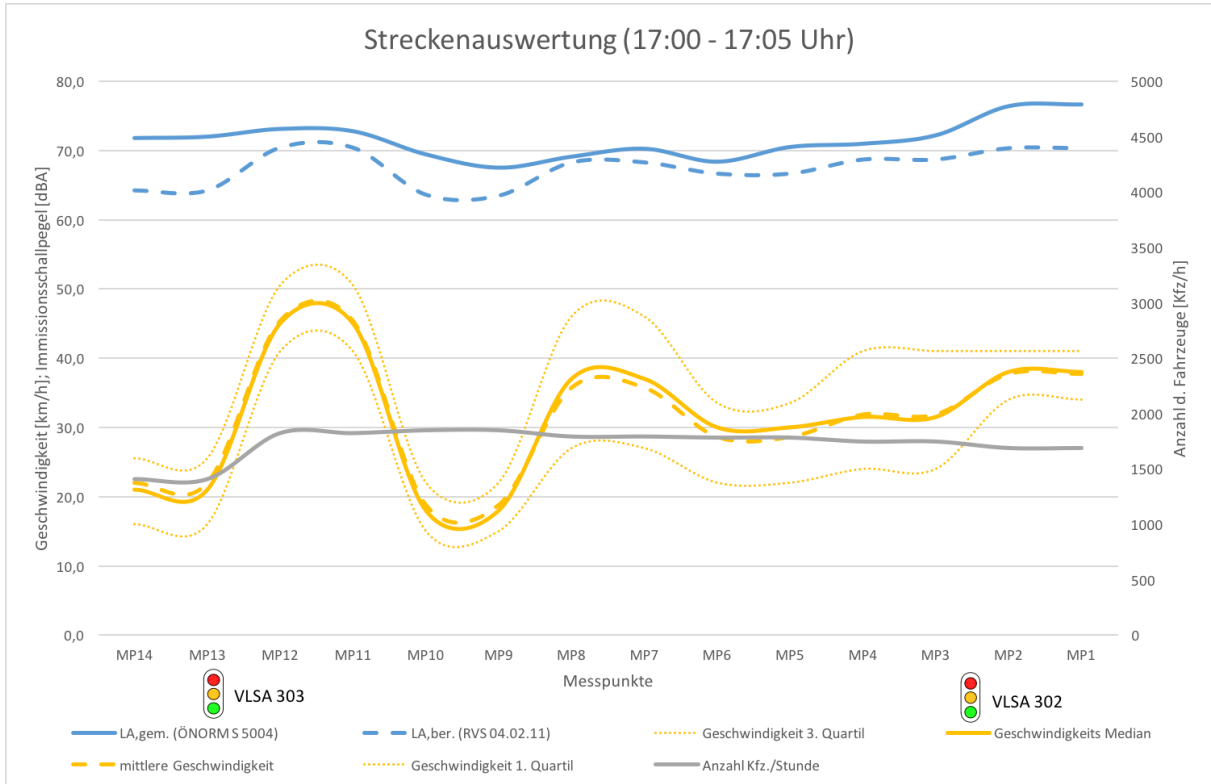


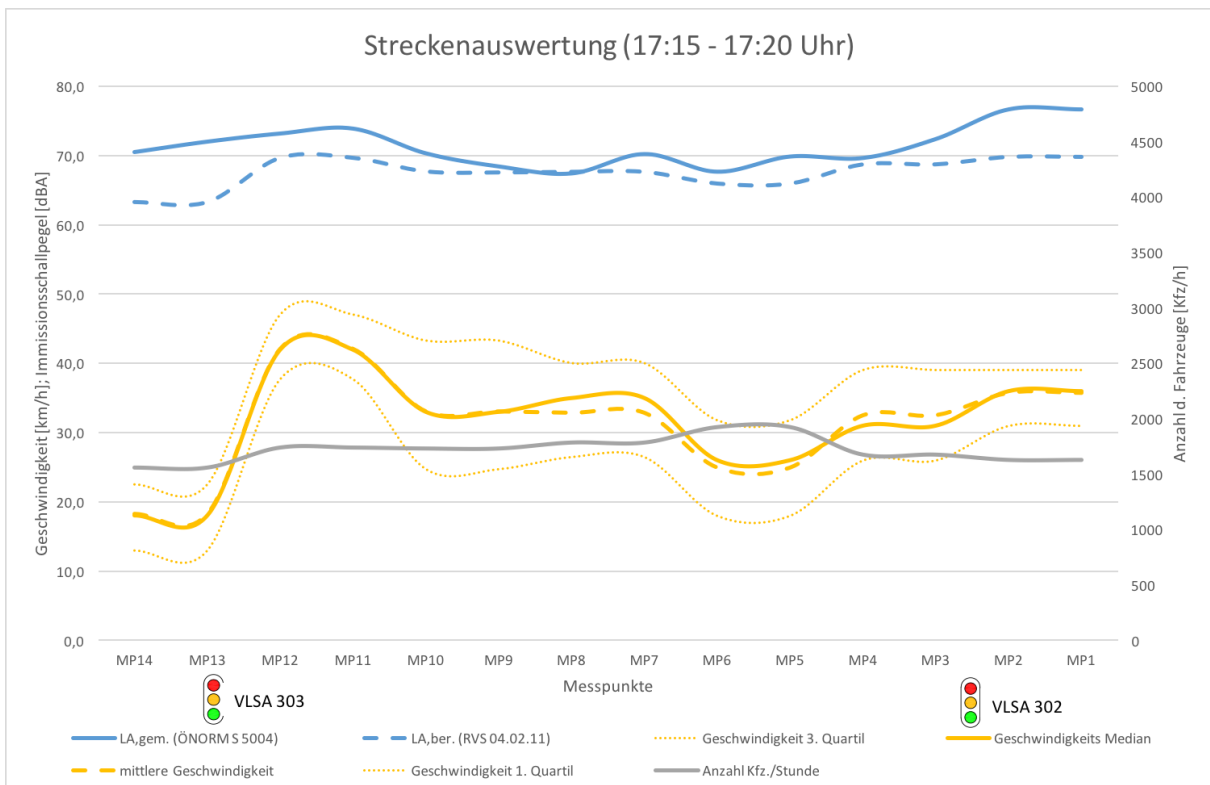
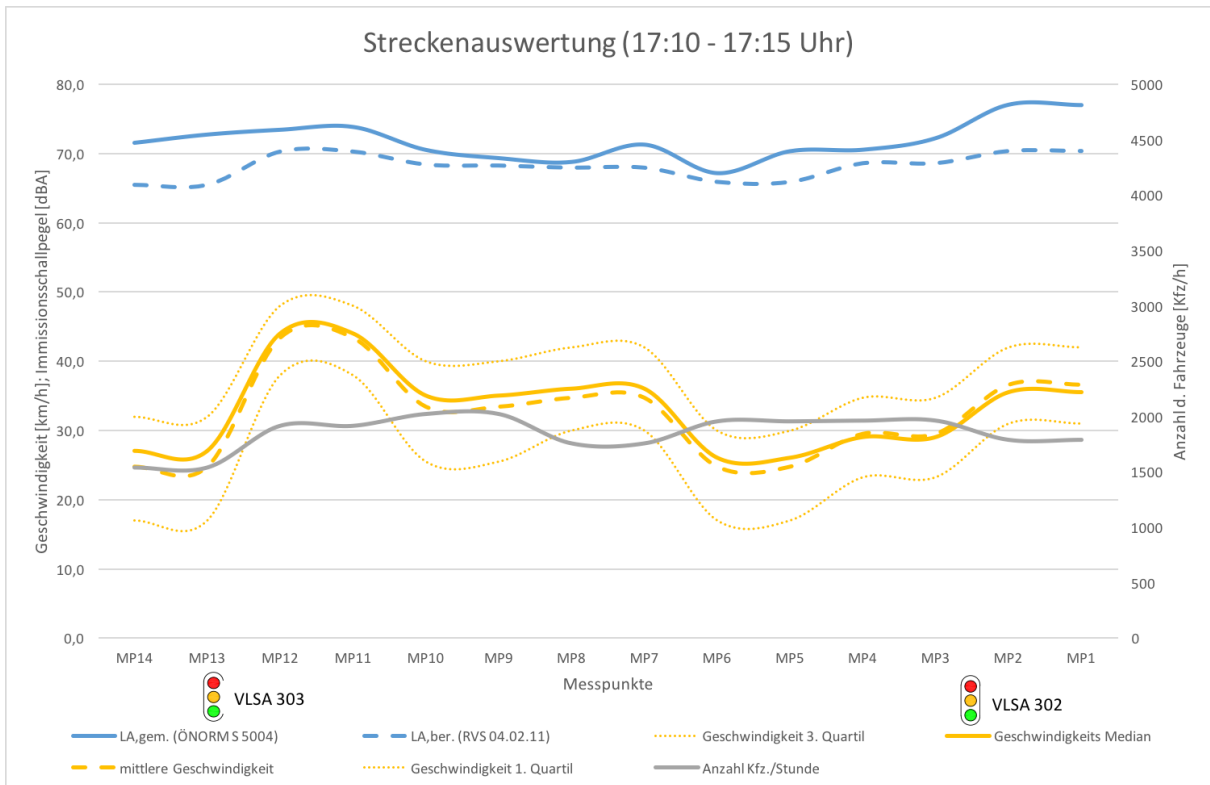


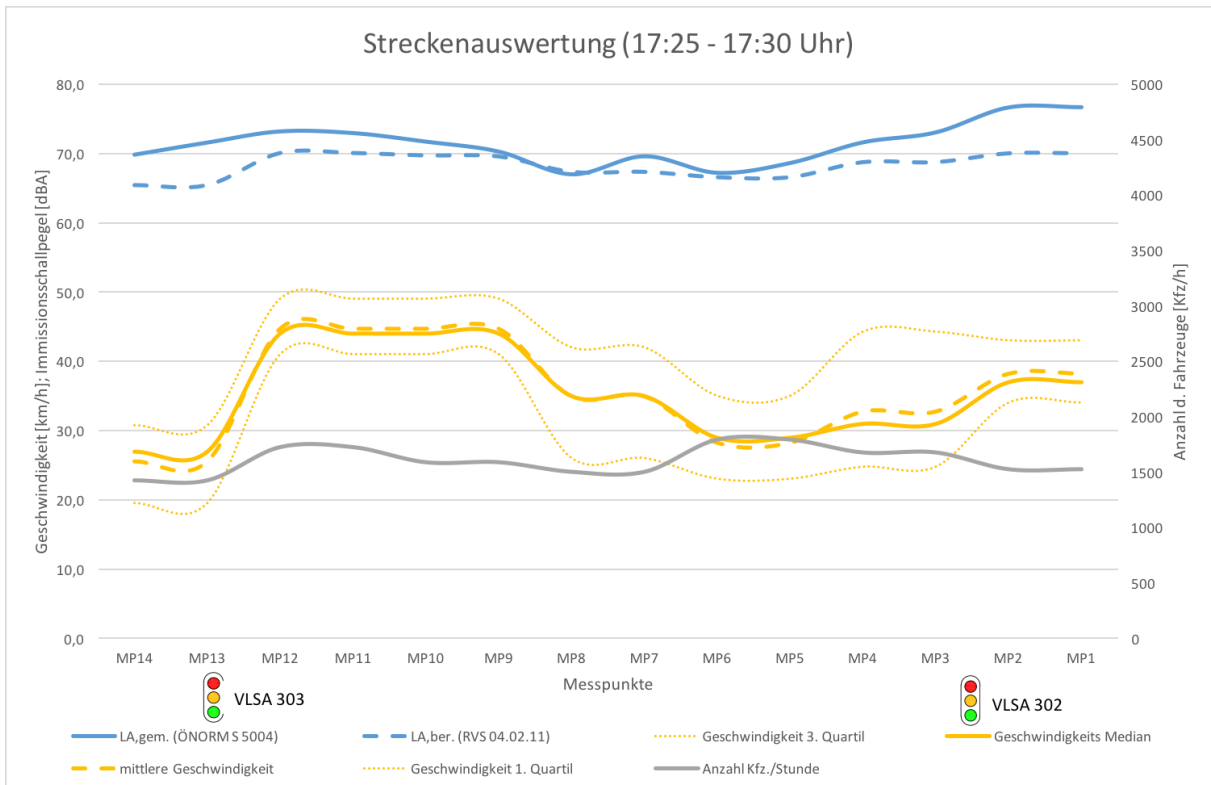
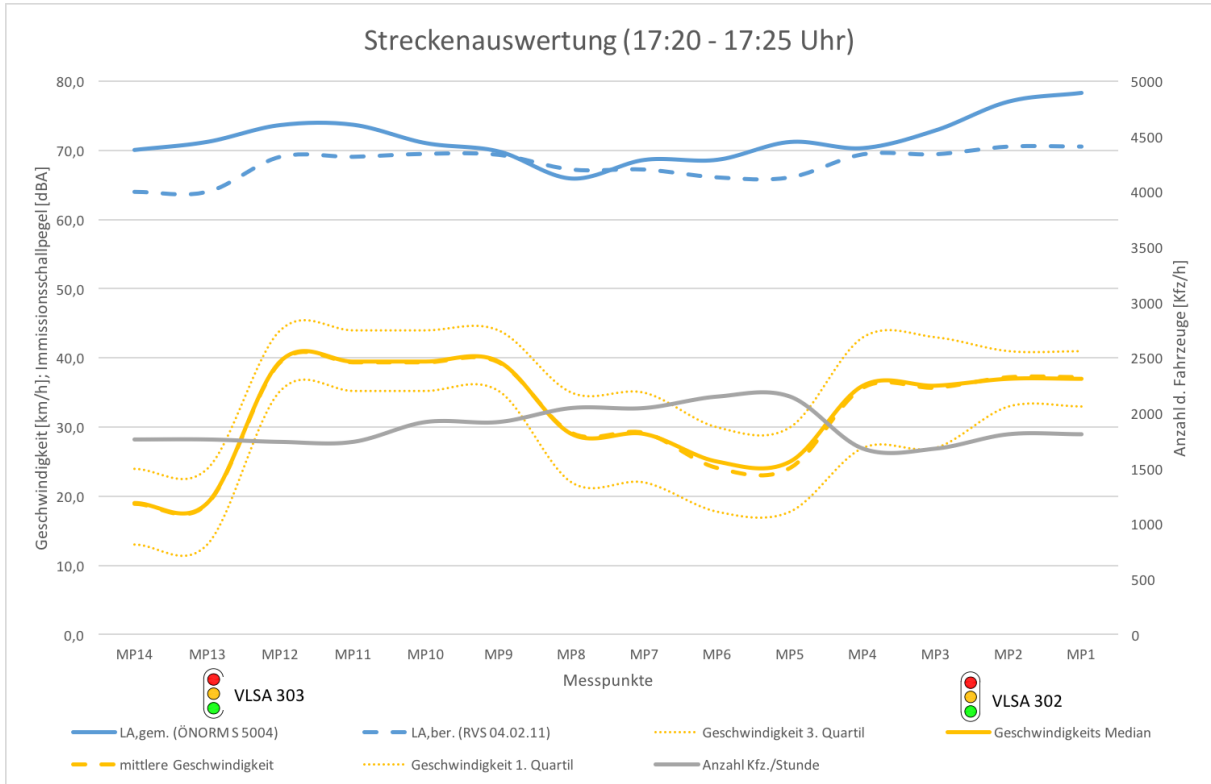


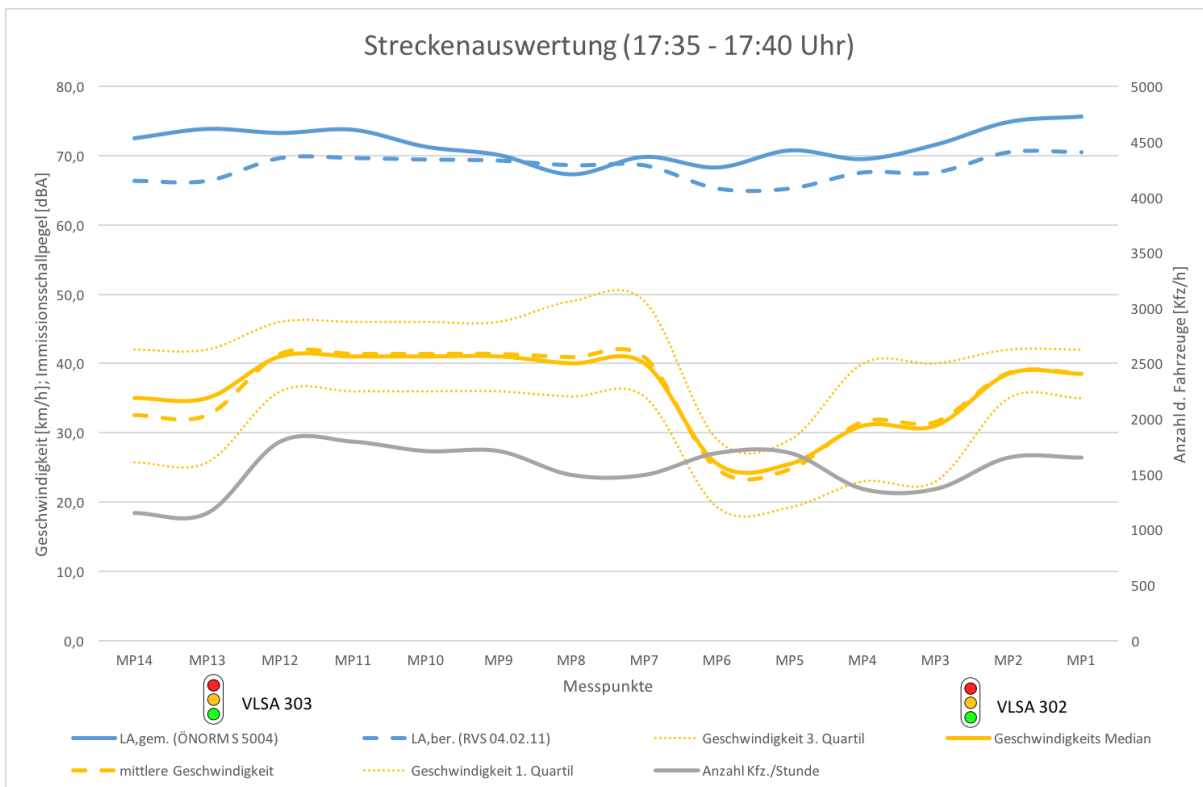
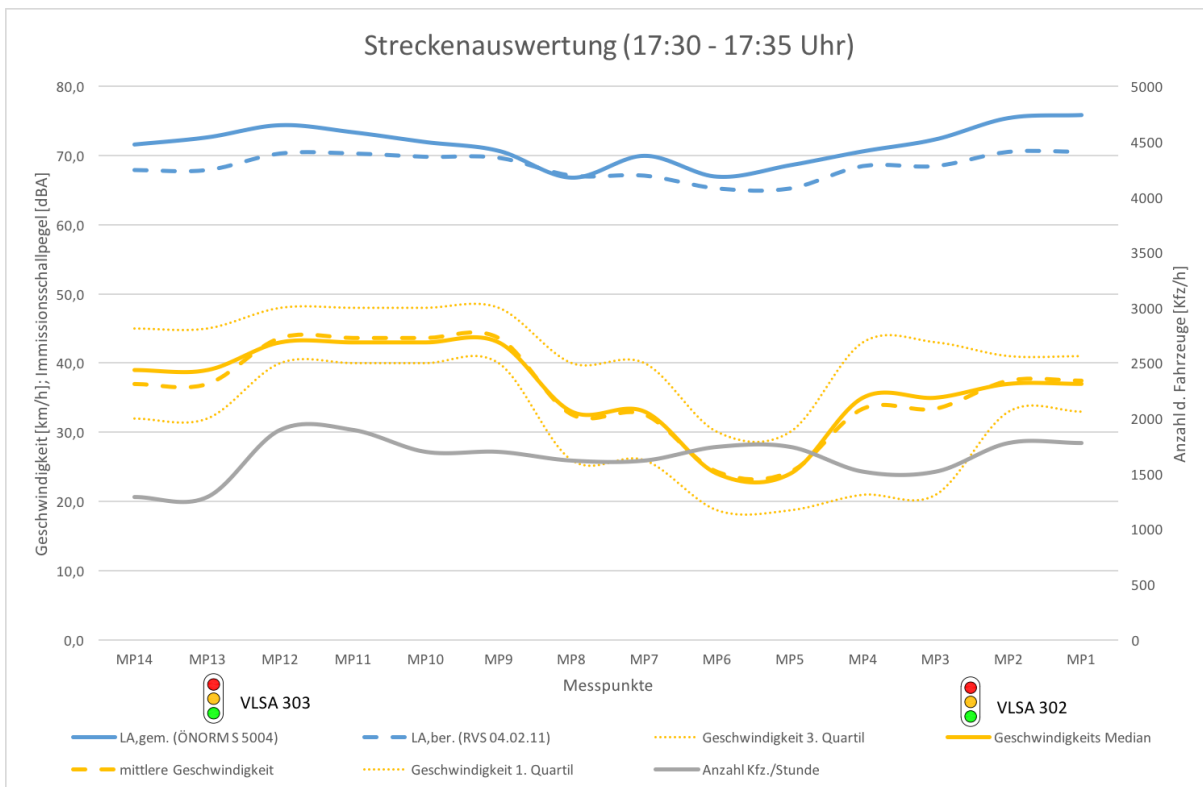


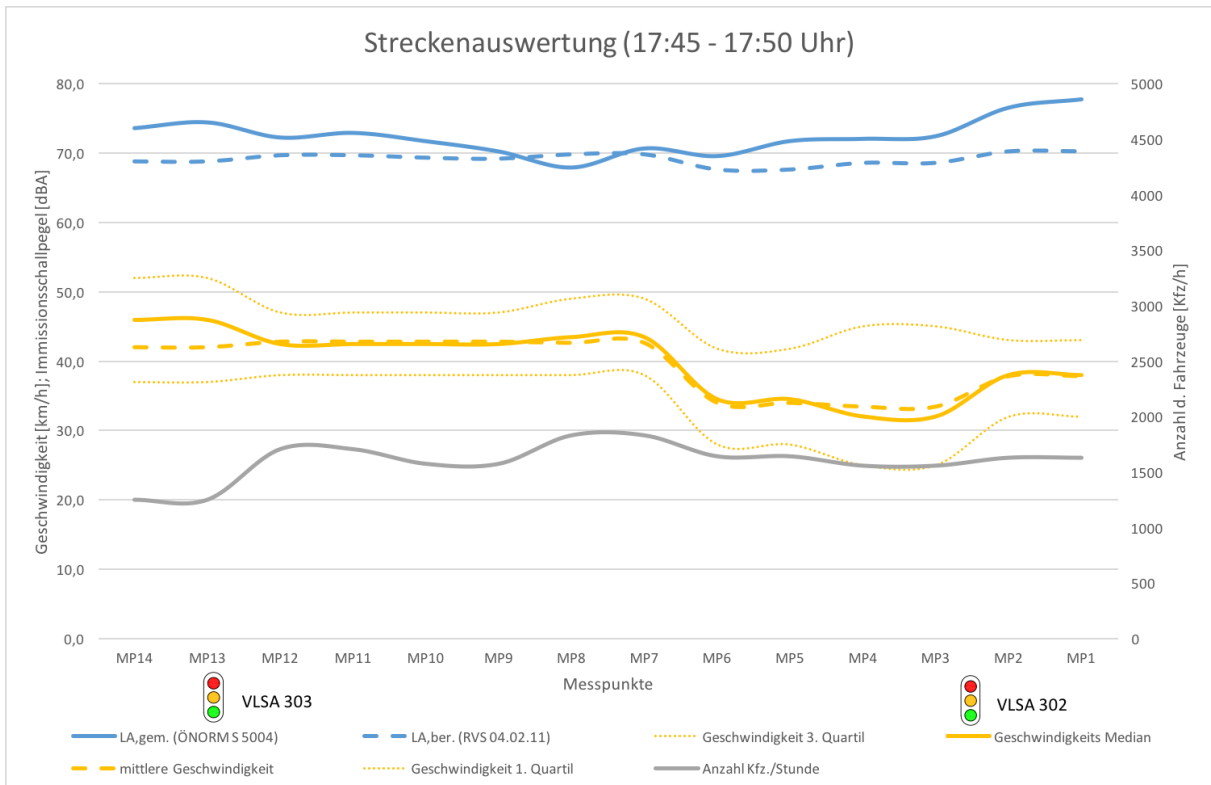
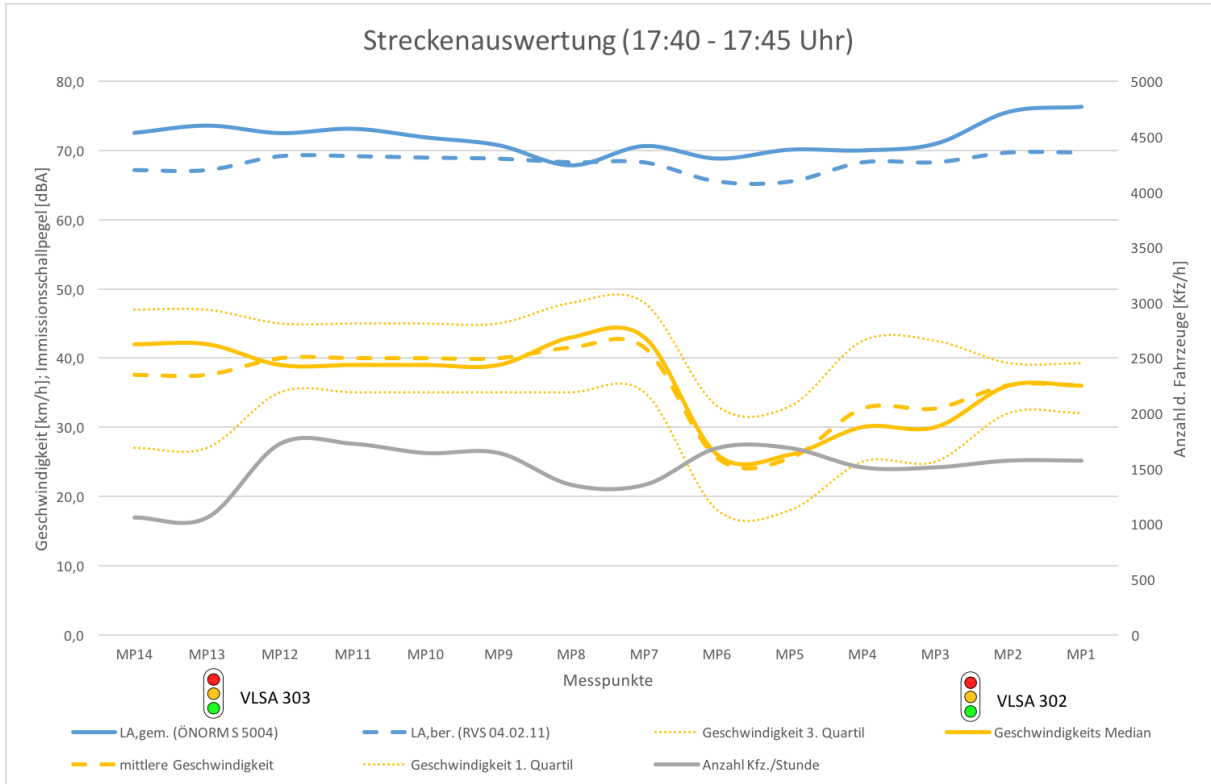


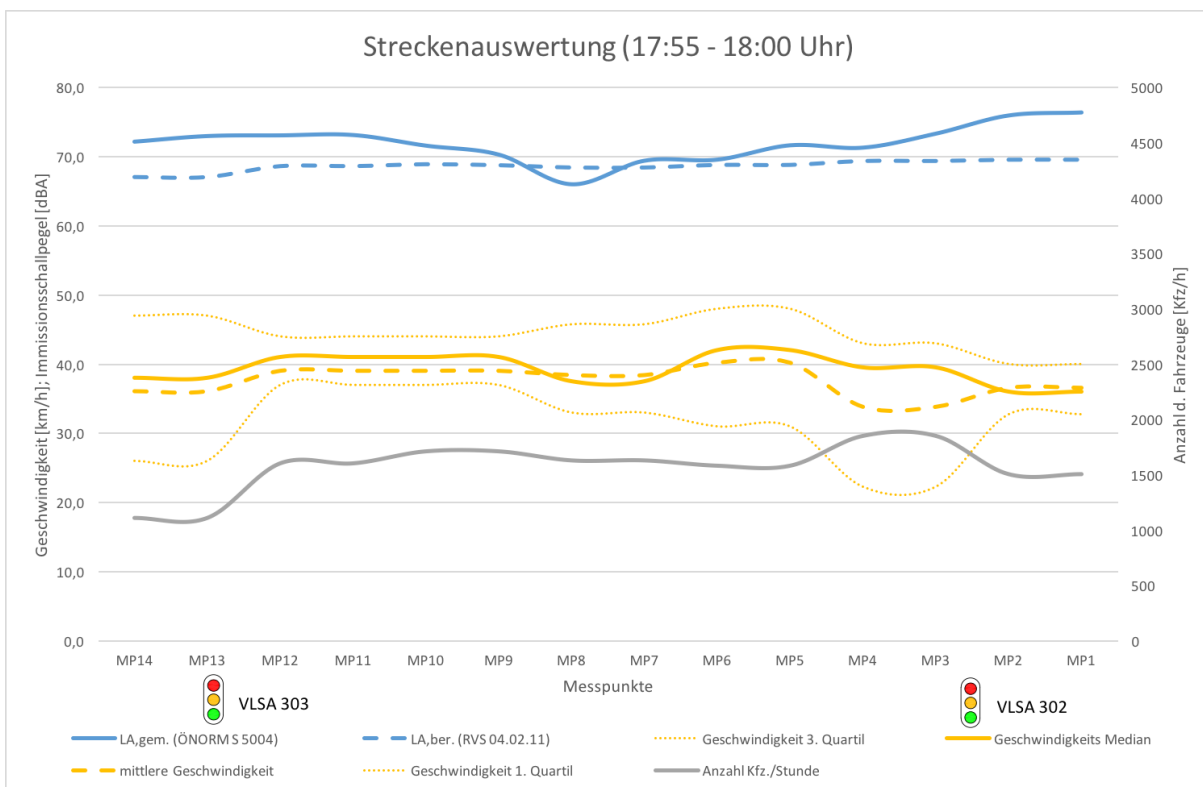
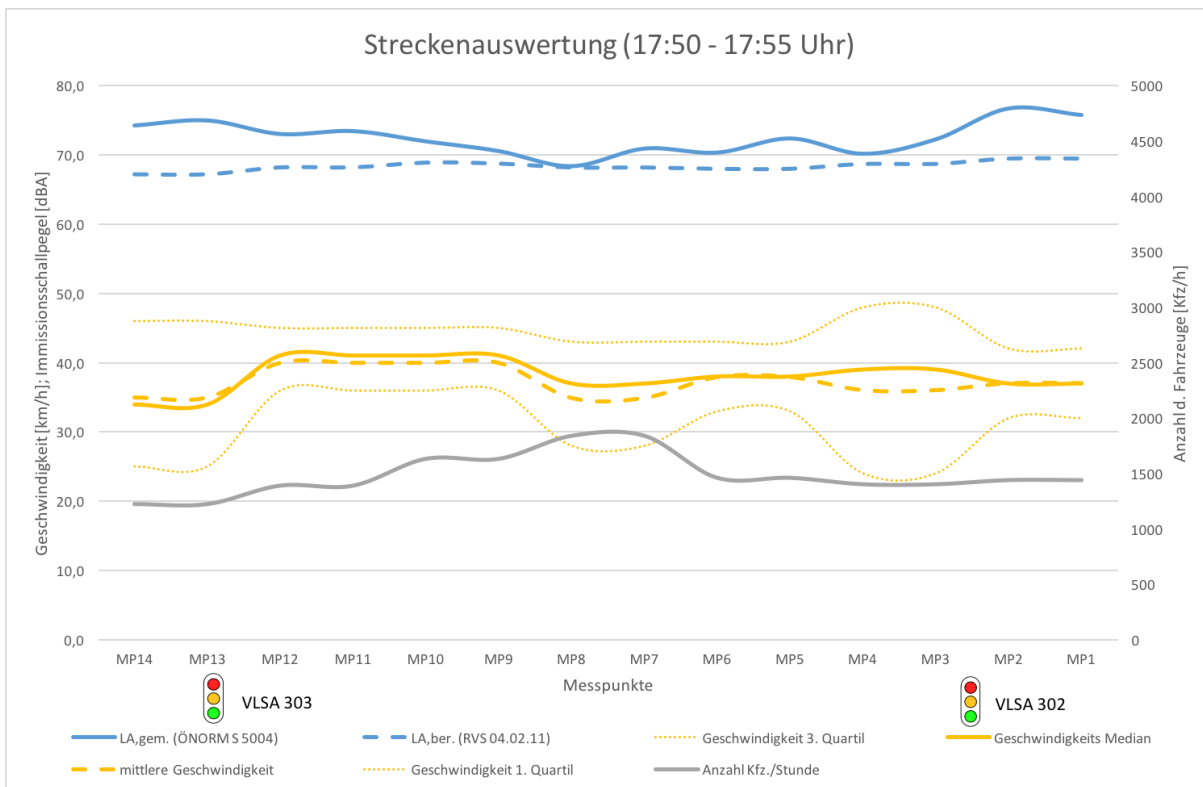


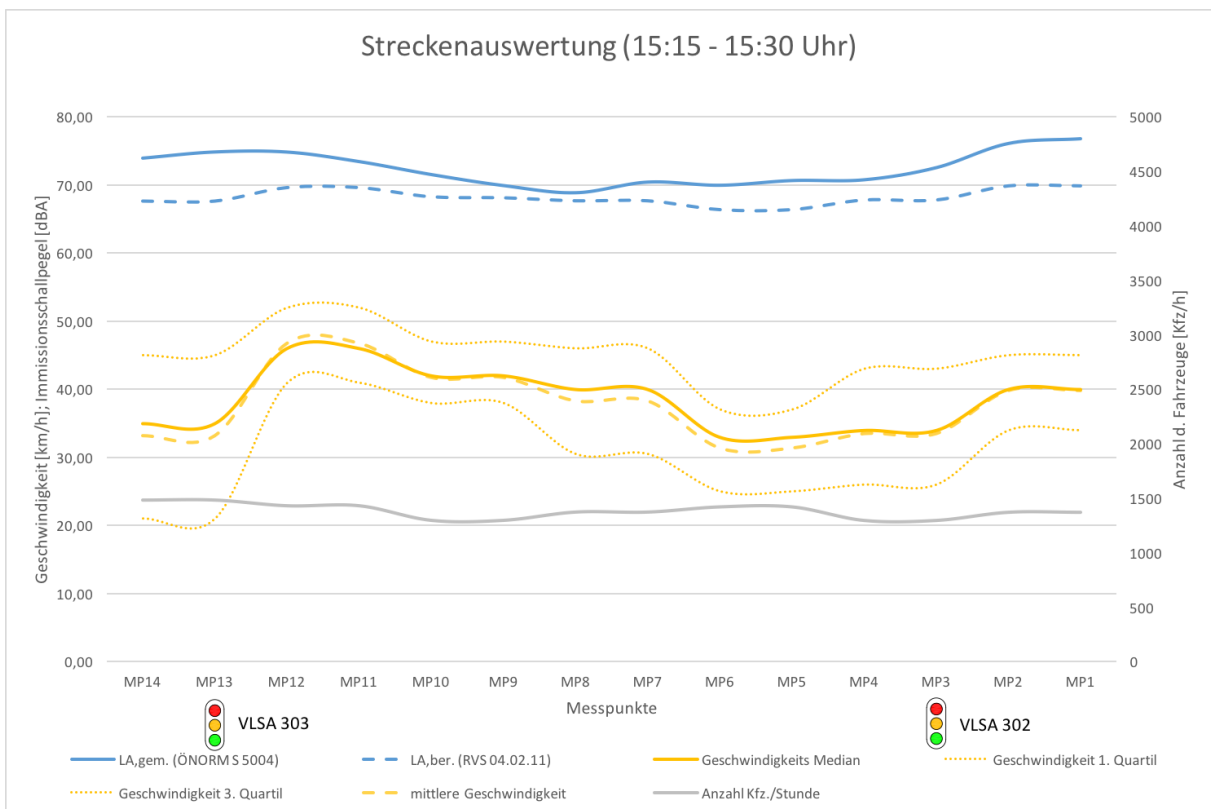
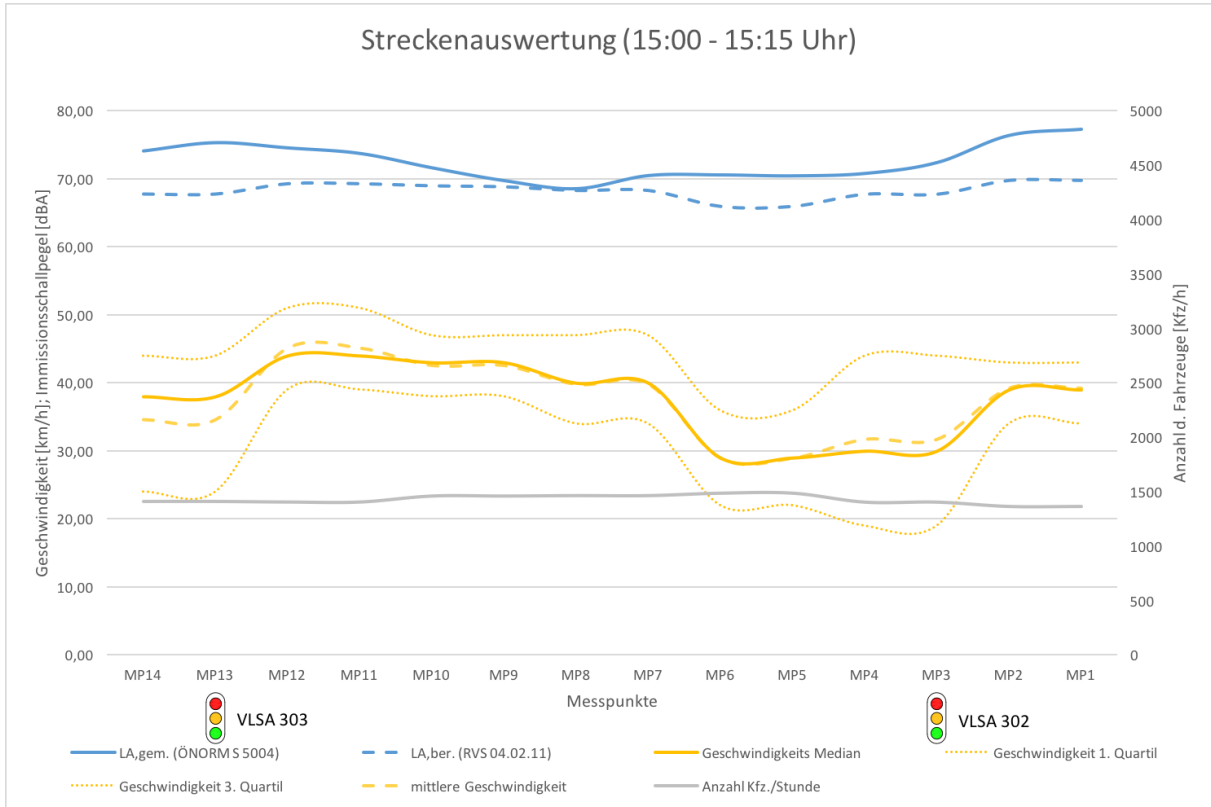


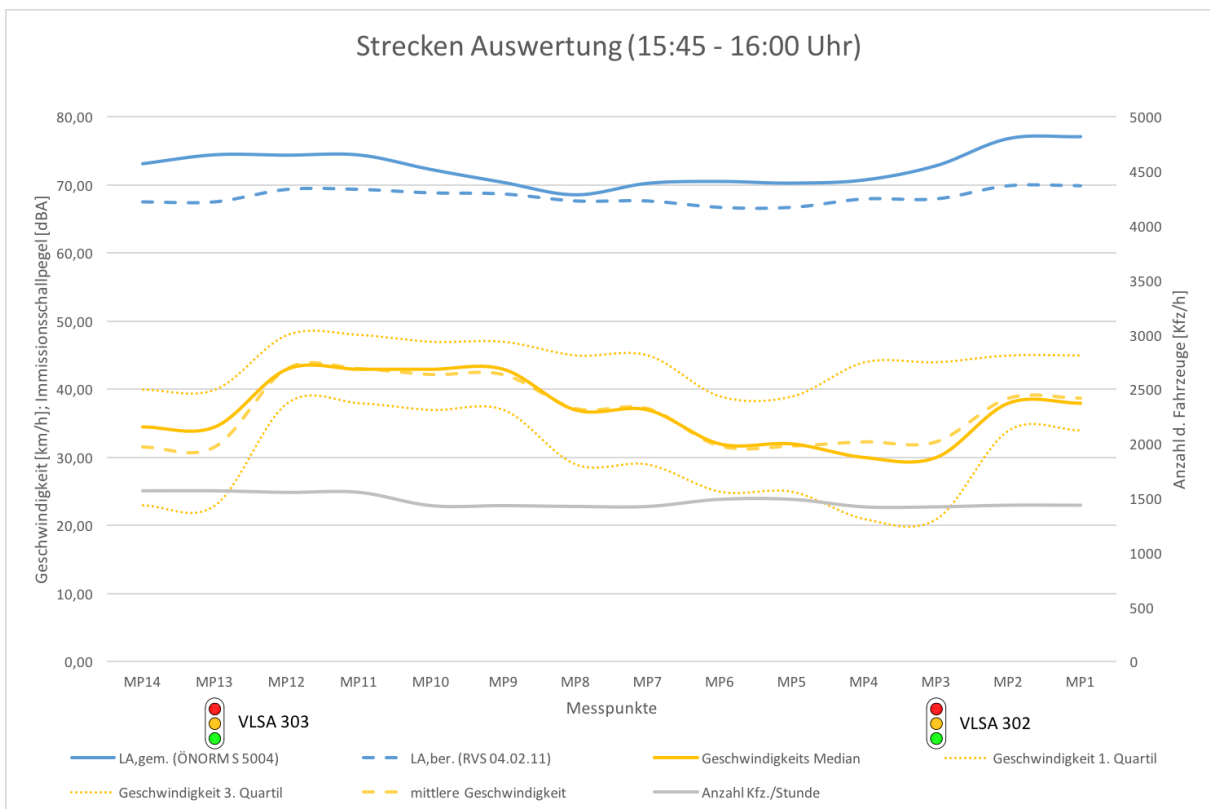
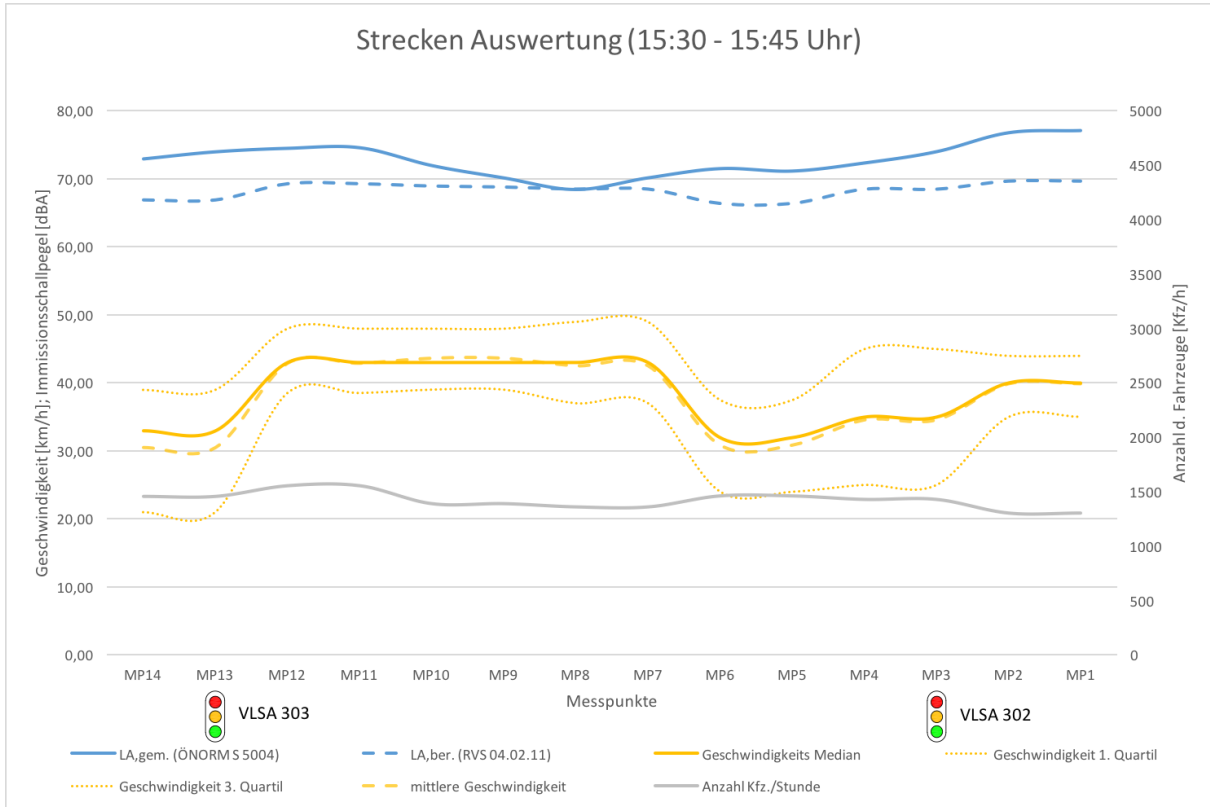


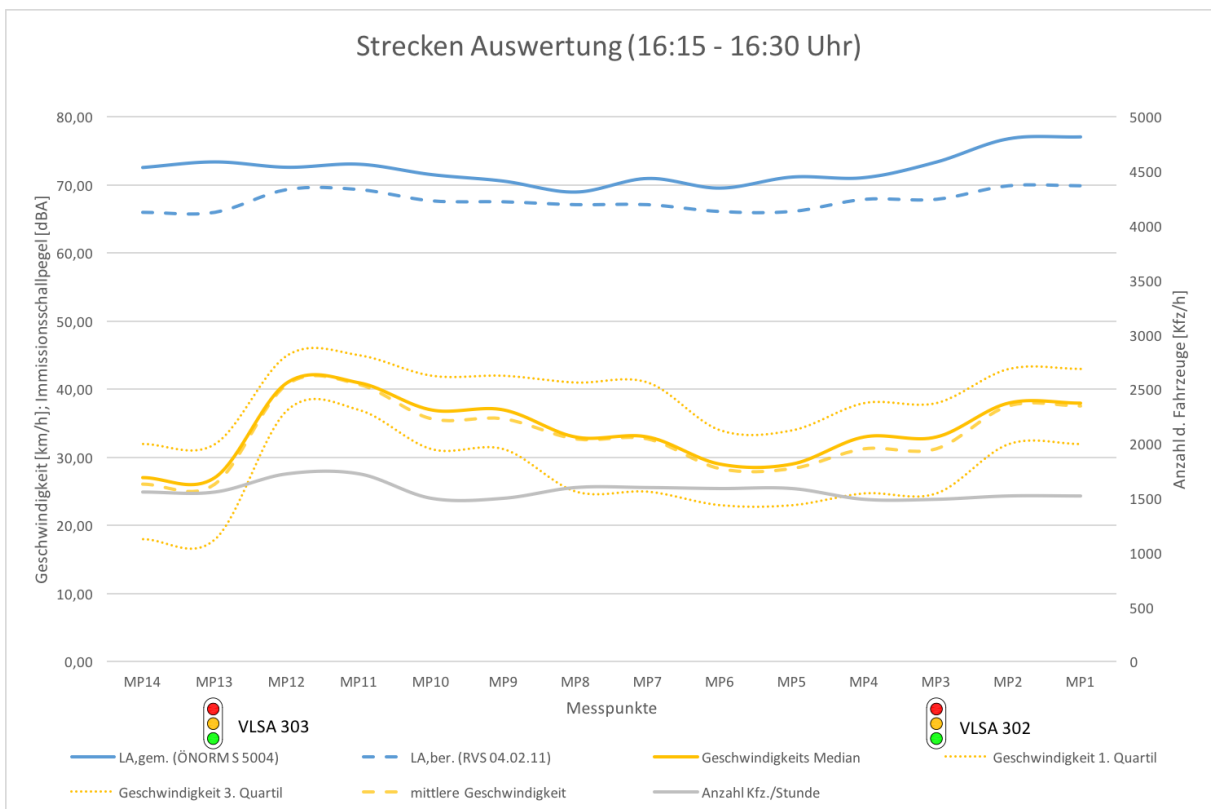
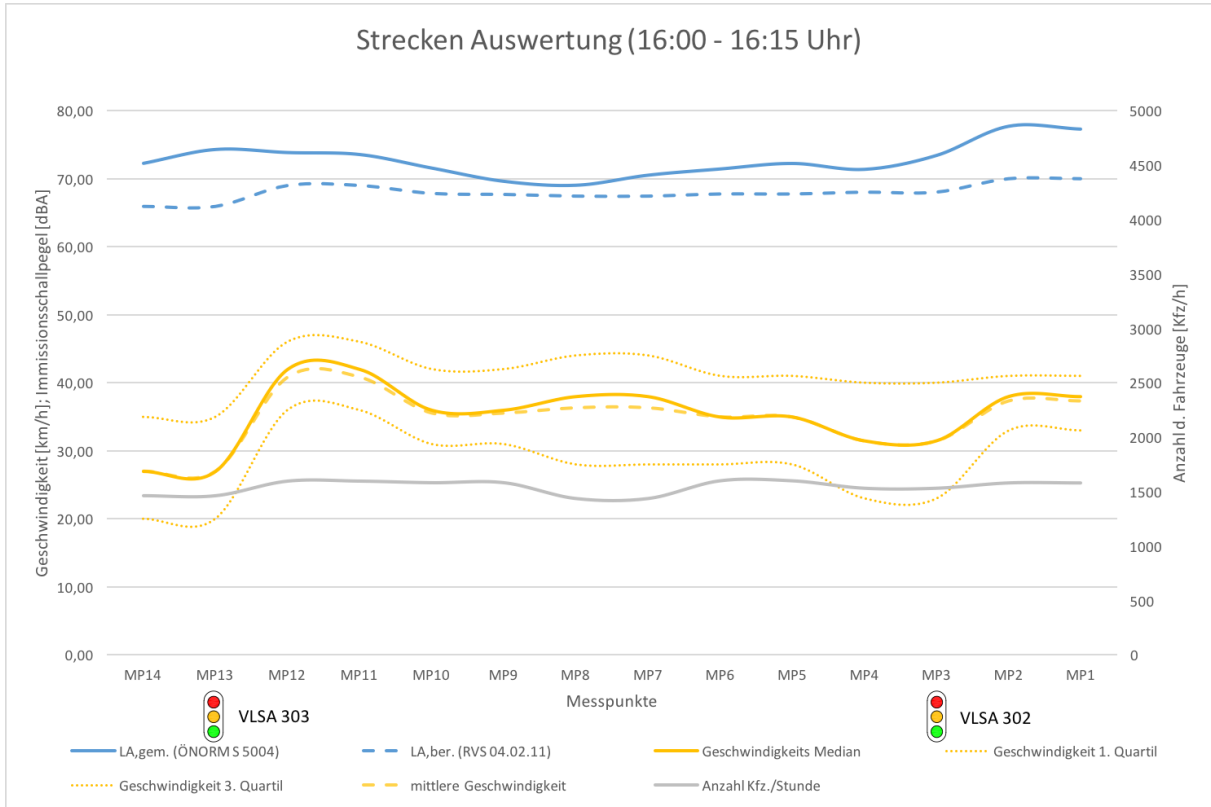


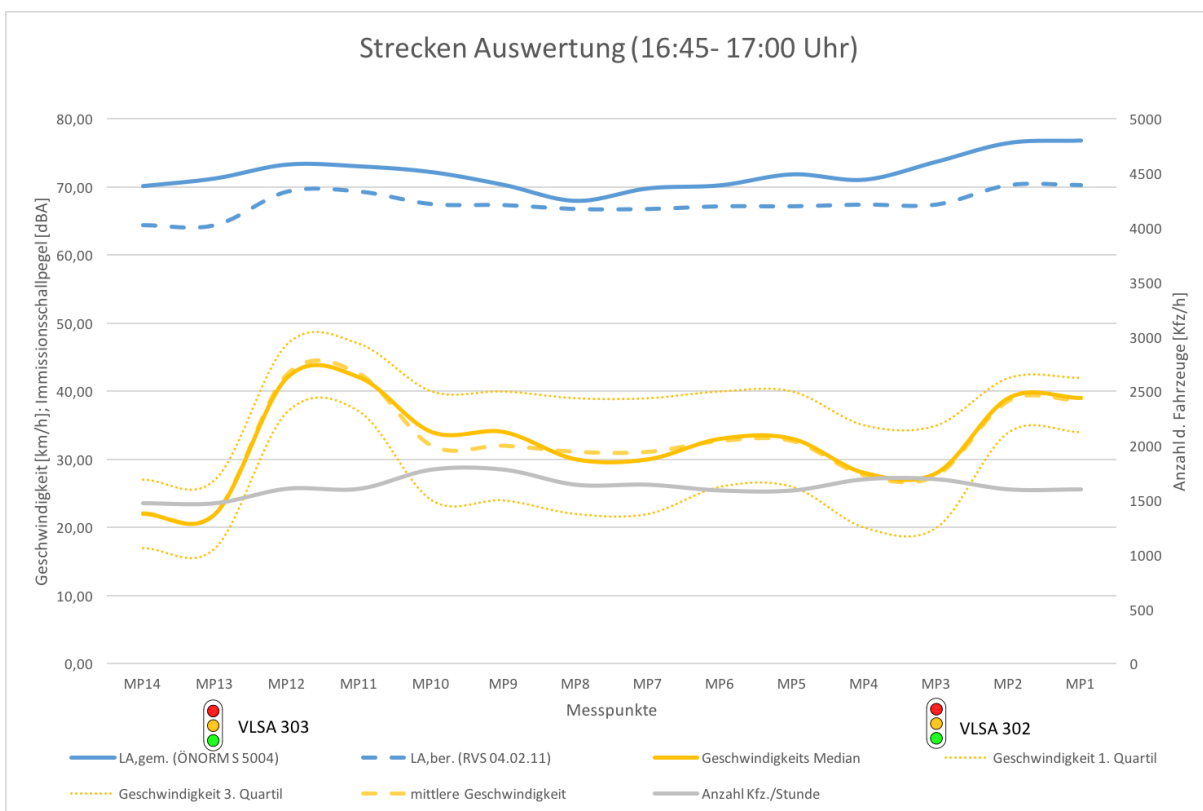
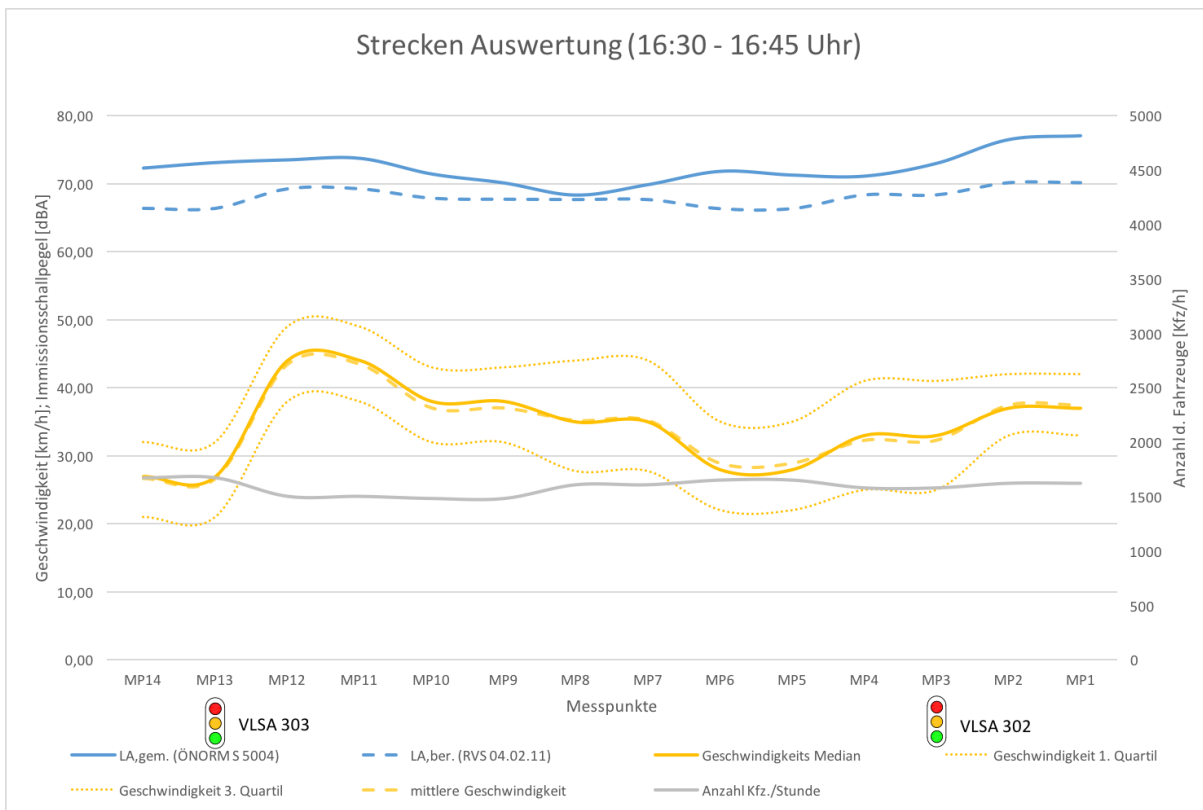


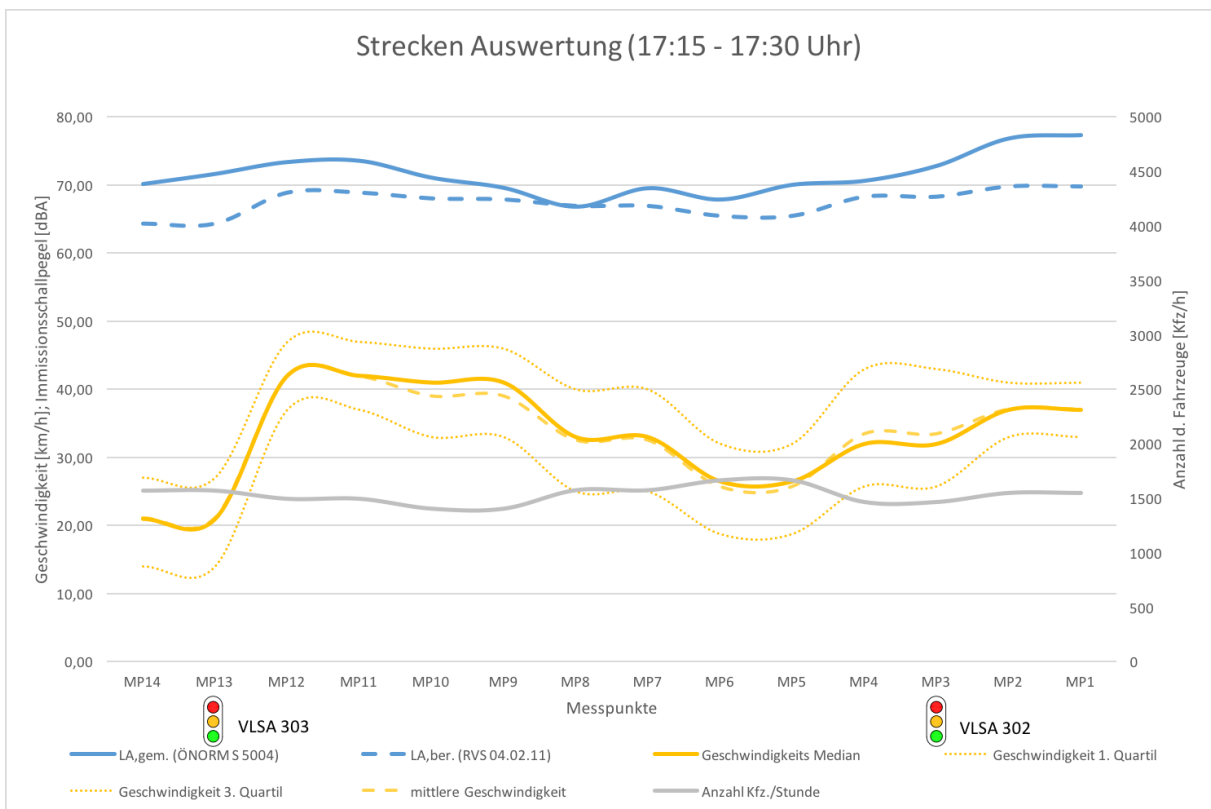
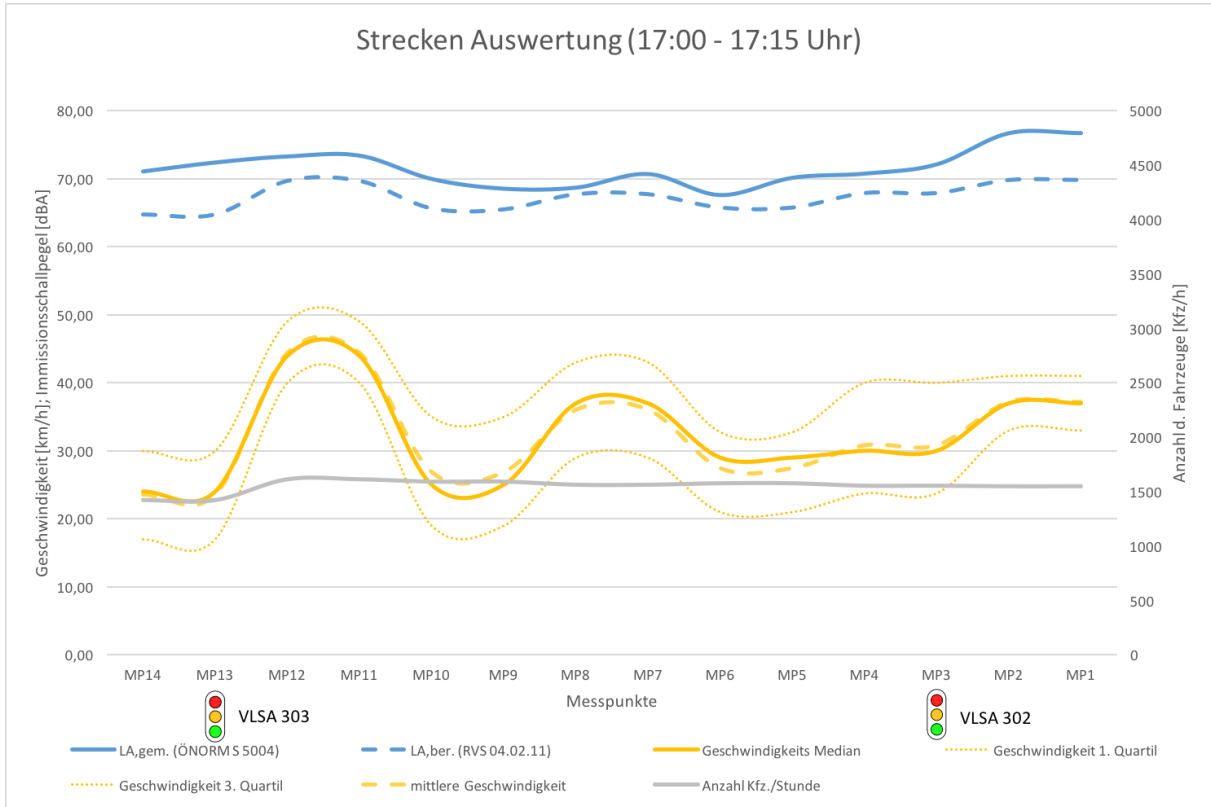


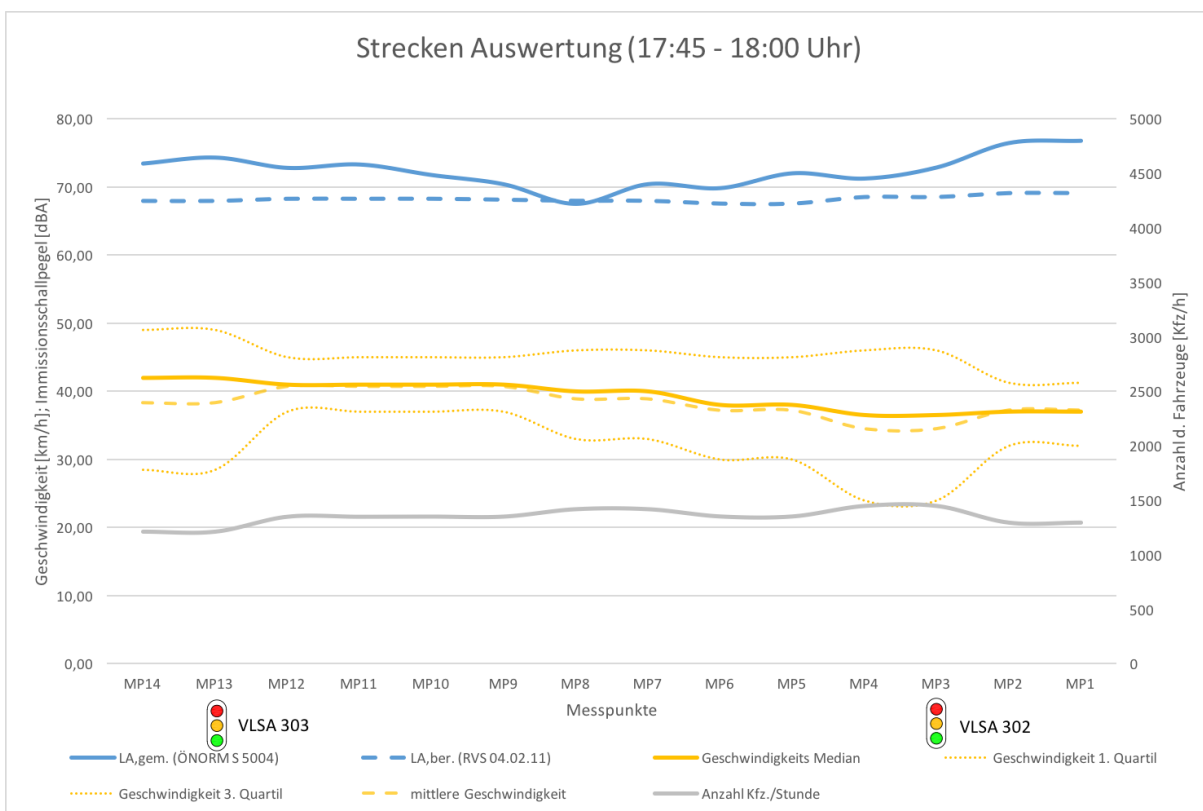
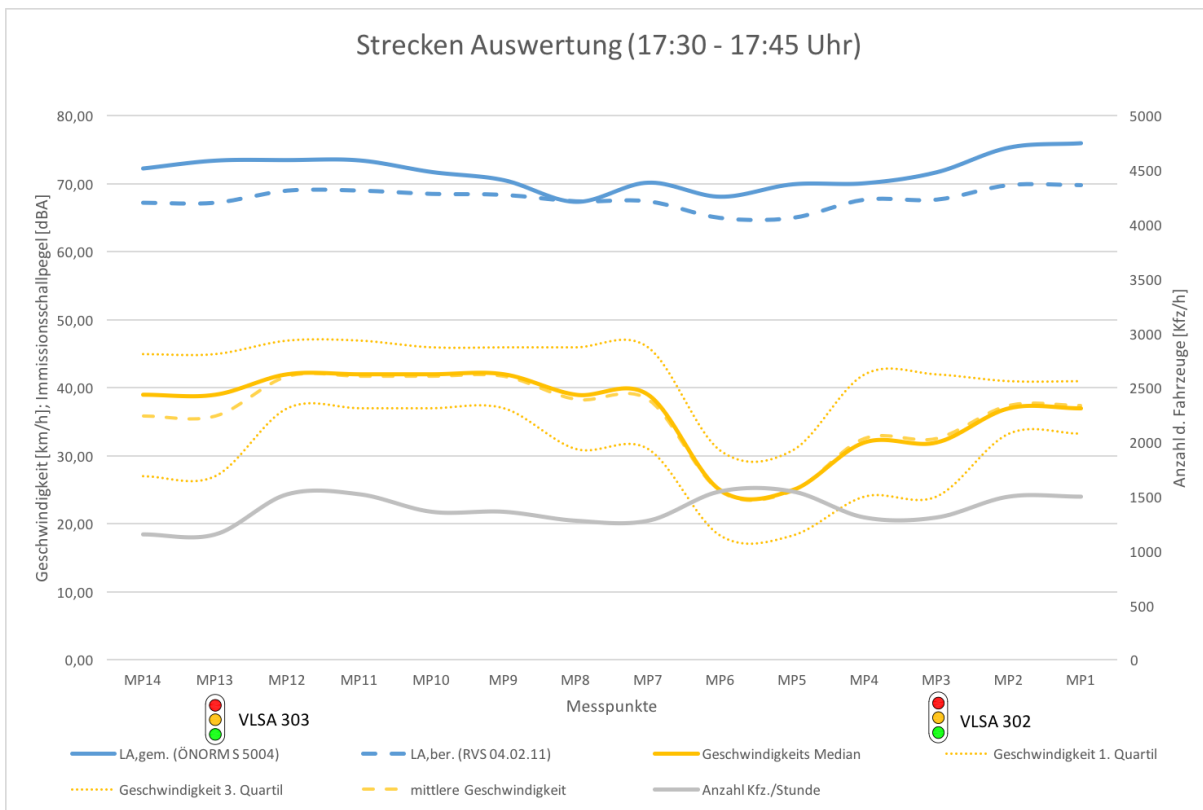












A4 – Messpunktauswertung

