

Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitwahl

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 190

bast

Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitwahl

von

Christian Lank
Bernhard Steinauer

isac – Institut für Straßenwesen Aachen
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

unter Mitwirkung von

Christian Busen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 190

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 03.401/2005/FRB:
Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur
Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl

Projektbetreuung

Stefan Matena
Oliver Ripke

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-86509-979-2

Bergisch Gladbach, November 2009

Kurzfassung · Abstract

Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl

Im aktuellen Kontext der Verkehrssicherheitsarbeit besteht in Deutschland insbesondere auf Landstraßen der Bedarf an sicherheitsfördernden Konzepten. Als mögliche Maßnahme werden im Ausland bereits vielfach Rüttelstreifen verwendet um die Geschwindigkeit im Annäherungsbereich von Gefahrenstellen zu reduzieren bzw. die Verkehrsteilnehmer zu warnen und somit die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

Im Rahmen einer Literaturstudie und Befragung von Straßenbauverwaltungen wurde der nationale und internationale Status Quo zum Einsatz von Rüttelstreifen erhoben. Auf Basis dieser Erkenntnisse und theoretischer Grundlagen aus dem Bereich der Akustik, Haptik und Psychologie wurden mögliche Ausführungsvarianten entworfen. Neben psychologischen, physikalischen und verkehrlichen Grundlagen wurden dabei ebenso betriebliche, straßenbautechnische und finanzielle Aspekte berücksichtigt.

Die unterschiedlichen Konzepte wurden auf Versuchsfeldern baulich umgesetzt und mit unterschiedlichen messtechnisch ausgerüsteten Fahrzeugen in allen relevanten Geschwindigkeitsbereichen überfahren. Die Messdaten zur Fahrzeuginnenraumakustik und -schwingung wurden im Hinblick auf ihre psychologische Wirkung auf den Fahrer analysiert und so eine optimierte Bauform und ein optimaler Abstand für Rüttelstreifen ermittelt.

Zur Untersuchung der verkehrlichen Wirkung wurden vier unfallträchtige Landstraßenabschnitte ausgewählt. Auf diesen wurden die zuvor erarbeiteten Varianten umgesetzt und sowohl Geschwindigkeitsmessungen, als auch Beobachtungen des allgemeinen Fahrerverhaltens durchgeführt. Im Rahmen dieser Untersuchungen konnten keine sicherheitskritischen Fahrmanöver beobachtet werden. Im Vorher-Nachher-Vergleich sank die Geschwindigkeit durch den Einsatz von Rüttelstreifen signifikant um mehrere km/h. Im Rahmen von Befragungen der Fahrer und Anwohner ergab sich eine hohe Akzeptanz hinsichtlich der Maßnahme durch die – meist ortskundigen – Fahrer. Bei den Anwohnern fiel die Akzeptanz insbesondere auf Grund der – teilweise messtechnisch nachweisbaren – erhöhten Lärmemission niedriger aus.

Durch die Geschwindigkeitsdämpfung und eine einhergehende Erhöhung der Aufmerksamkeit wird eine Verbesserung der Verkehrssicherheit auf den untersuchten Landstraßen erwartet.

Development of special road surfaces to influence the driving speed

The present discussion of road safety related issues yields an urge for safety enhancements especially on German single-lane rural roads. Abroad, transversal rumble strips (TRS) are a common tool to alert drivers and reduce their velocity in the approach of accident hotspots. Thus, the use of rumble strips leads to an increase in road safety.

The national and international status quo concerning the application of TRS was determined by means of literature research and interviews of members of several road authorities. Based on the survey's results and on theoretical principles regarding acoustics, haptics, and psychology, some possible design variants were developed. In addition to psychological, physical and traffic related fundamentals, the design also featured operational, constructional and financial aspects.

These different concepts were realised in test areas on which vehicles with a variety of sensors passed over the rumble strips at all relevant speeds. The passenger compartments' acoustics and vibrations were measured and analyzed with respect to their psychological effect on the driver in order to optimize the rumble strips' shape and their distance.

Subsequently, four hazardous rural road sections were chosen to field-test the strips' overall effect on the traffic. Here, the already theoretically designed and meanwhile optimized variants were realised and vehicles' speeds as well as the general driving behaviour were monitored. During this inquiry no precarious driving manoeuvres could be observed. A before-after-comparison showed a significant decrease of velocity by several kmph while the TRS were in use. Finally, a survey in which both residents and drivers took part at the end of the field test revealed an over-all acceptance for the adopted measure by the mainly local road users. The residents showed less acceptance towards the TRS mainly due to the – partially measurable – increase of noise emissions.

However, due to the decrease of velocity in line with an increasing attentiveness an improvement of road safety is expected on the analyzed rural road sections.

Inhalt

1	Einleitung	7	4	Konzeption	42
1.1	Aufgabenstellung	8	4.1	Akustisch wirksame Parameter	42
1.2	Methodik.....	9	4.2	Haptisch wirksame Parameter.....	44
2	Aktueller Stand der Technik	10	4.2.1	Schwingungssystem	44
2.1	Begriffsbestimmungen	10	4.3	Bauliche, betriebliche und wirtschaftliche Aspekte	44
2.2	Einsatzgebiete.....	11	5	Messtechnische Untersuchung ohne Verkehr	47
2.3	Anordnung.....	11	5.1	Messkonzept.....	47
2.3.1	Anordnung in Längsrichtung	11	5.2	Messstrecke.....	47
2.3.2	Anordnung in Querrichtung	12	5.3	Messtechnik.....	48
2.4	Bauliche Umsetzung	12	5.4	Versuchsaufbau	49
2.5	Einfluss auf die Unfallhäufigkeit und das Geschwindigkeitsniveau.....	13	5.4.1	Herstellung der Versuchskörper	49
2.6	Nationale Anwendungsbeispiele und Forschungsergebnisse.....	13	5.4.2	Versuchsträger.....	50
2.6.1	Verbesserung der Verkehrssicherheit in Ortsdurchfahrten	13	5.4.3	Versuche zu Einzelementen	51
2.6.2	Mechanisch-akustische Bremsen in Verbindungsrampen von Autobahnknoten	16	5.4.4	Versuche zu einer Abfolge von mehreren Elementen.....	51
2.6.3	Arbeitsstellen kürzerer Dauer	19	5.5	Messergebnisse.....	53
2.6.4	Merkblatt zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Motorradstrecken .	21	5.5.1	Systematik der Messreihenauswertung.....	53
2.6.5	Profilierte Fahrbahnmarkierung	22	5.5.2	Ergebnisse der Messungen von Einzelementen	55
2.7	Internationale Anwendungsbeispiele	23	5.5.3	Ergebnisse der Messungen einer Elementfolge	58
2.7.1	Einsatz von Rüttelstrecken in Österreich ..	23	5.5.4	Zusammenfassung der messtechnischen Vorversuche zur Ableitung wirksamer Bauformen	62
2.7.2	Einsatz von Rüttelstreifen in Frankreich ...	24	6	Untersuchung unter Verkehr	63
2.7.3	Einsatz von Rüttelstreifen in Spanien	25	6.1	Streckenauswahl.....	63
2.7.4	Einsatz von Rüttelstreifen in Dänemark....	26	6.1.1	Unfallgeschehen im Kreis Düren	64
2.7.5	Einsatz von Rüttelstreifen in Großbritannien (praktische Grundsätze).....	27	6.2	B 477 zwischen Eggersheim und Lützhain.....	64
2.7.6	Einsatz von Rüttelstreifen in Großbritannien (wissenschaftliche Untersuchung)	27	6.2.1	Ortslage und Trassierung	64
2.7.7	Einsatz von Rüttelstreifen in den USA am Beispiel Texas	33	6.2.2	Verkehrsdaten.....	65
2.8	Zusammenfassung vorgestellter Ausführungsvarianten und wissenschaftlicher Erkenntnisse	34	6.2.3	Unfallgeschehen	65
3	Theoretische Grundlagen	34	6.3	B 399 zwischen Großhau und Gey.....	66
3.1	Sinneswahrnehmung des Fahrers	35	6.3.1	Ortslage und Trassierung	66
3.2	Akustik.....	35	6.3.2	Verkehrsdaten.....	66
3.2.1	Grundbegriffe der Akustik	35	6.3.3	Unfallgeschehen	67
3.2.2	Psychoakustik	36	6.4	L 257 zwischen Morschenich und Buir	67
3.3	Fahrzeugakustik.....	37	6.4.1	Ortslage und Trassierung	67
3.4	Haptik	39	6.4.2	Verkehrsdaten.....	67
3.5	Fahrzeugschwingungen.....	40	6.4.3	Unfallgeschehen	68
3.5.1	Wirkung von Schwingungen auf den Menschen.....	40	6.5	L 257 zwischen Buir und Morschenich	68
			6.5.1	Ortslage und Trassierung	68
			6.5.2	Verkehrsdaten.....	68
			6.5.3	Unfallgeschehen	69
			6.6	Ausführung der Versuchsfelder	69

7	Verkehrserhebung	70
7.1	Messmethodik	70
7.2	Bewertungsmaßstäbe.....	72
7.3	Wirkungsanalyse	72
7.3.1	Geschwindigkeitsverhalten.....	72
7.3.2	Allgemeines Fahrerverhalten.....	84
7.3.3	Akzeptanzuntersuchung	86
7.3.4	Analyse der Akzeptanzerhebung	87
7.3.5	Allgemeine Akzeptanz in der Bevölkerung	89
7.4	Zusammenfassung der Untersuchungen unter Verkehr	90
7.4.1	Ausführung und Ortslage.....	90
7.4.2	Geschwindigkeitsverhalten.....	90
7.4.3	Fahrerverhalten und Akzeptanz	92
7.4.4	Unfallgeschehen.....	93
8	Zusammenfassung und Ausblick	93
8.1	Vorgehen und Ergebnisse	93
8.2	Forschungsbedarf.....	95
8.3	Empfehlungen	95
	Literatur	98
	Anhang	101

1 Einleitung

Die Europäische Union hat sich 2000 mit Verfassung des WEISSBUCHS (2001) ein hohes Ziel bzgl. Ihrer Verkehrssicherheitspolitik gesteckt. Die Forderung, die Anzahl der Verkehrstoten im Zeitraum von 2000 bis 2010 zu halbieren bestimmt seitdem die Forschung und Maßnahmenplanung im Bereich der Verkehrssicherheitsarbeit.

Betrachtet man die Entwicklung der Verkehrstoten seit Veröffentlichung des WEISSBUCH (2001), so ist zu vermuten, dass die dort veröffentlichten Ziele ohne außerordentliche zusätzliche Kraftanstrengungen nicht erreichbar sind. Die EU 27 Staaten¹ (sowie auch die ursprünglichen Verfasser des WEISSBUCH (2001), die EU 15²) liegen derzeit hinter den formulierten Zielen. Legt man eine lineare Reduktion der Getöteten zu Grunde, müsste die Zahl der Unfalltote im Jahr 2005³ um 25 % auf 39.367 reduziert werden. Die tatsächliche Reduktion liegt jedoch lediglich bei rund 21 % (41.302 Unfalltote) (siehe Bild 1).

Der Hauptanteil der angestrebten Reduktion ist dabei von den Ländern mit dem größten Anteil an der Gesamtzahl der Unfalltote zu erbringen. Mit 5.361 (entspricht 13 %) Getöteten im Jahr 2005 gehört Deutschland neben Polen, Italien und Frankreich zu den wichtigsten Ländern bei der Umsetzung dieser Ziele. Die verstärkten nationalen Anstrengungen im Bereich der Verkehrssicherheit sind anhand aktueller Unfallzahlen bereits zu belegen. Mit einer Reduktion von 28,5 % bis einschließlich 2005 lag Deutschland leicht über den angestrebten 25 % (siehe Bild 2). Inwieweit dieser Rückgang als Beitrag zum Erreichen der Europäischen Ziele ausreicht bleibt jedoch zu diskutieren. Klar ist hingegen, dass sich moderne Verkehrssicherheitsbemühung nicht ausschließlich an der Entwicklung der Zahl der Verkehrstoten, sondern auch an der Zahl der schwerverletzten Unfallopfer messen lassen muss. Dies gewinnt insbesondere vor dem Hintergrund neuer Erkenntnisse zu der Entwicklung der Schwerstverletztetenzahlen an Bedeutung. „Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass die so gemessene Verbesserung der Verkehrssicherheit mit einer Zunahme der Anzahl der

¹ Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Irland, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Griechenland, Großbritannien, Österreich, Polen, Portugal, Slowakei, Slowenien, Schweden, Spanien, Tschechien, Ungarn, Zypern

² Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Irland, Italien, Luxemburg, Niederlande, Österreich, Portugal, Schweden, Spanien

³ Die Daten der Unfalltote in Europa für das Bezugsjahr 2006 lagen zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch nicht vor.

schwerstverletzten Personen, das heißt Personen mit irreparablen Behinderungen, oft begleitet mit lebenslanger Minderung der Erwerbsfähigkeit, einhergeht.“ (HÖHNSCHIED 2005)

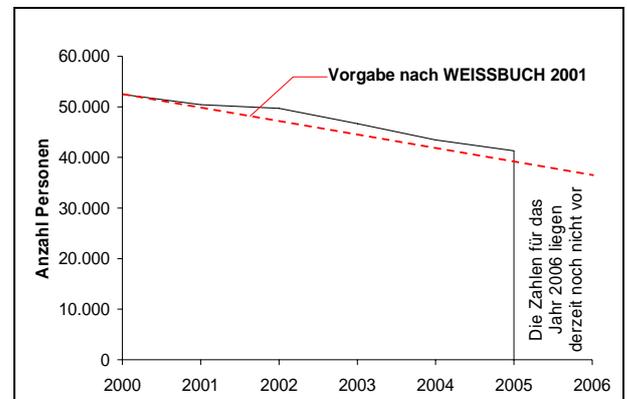


Bild 1: Zeitliche Entwicklung der Anzahl der Getöteten im europäischen Straßenverkehr (EUROSTAT, 2007)

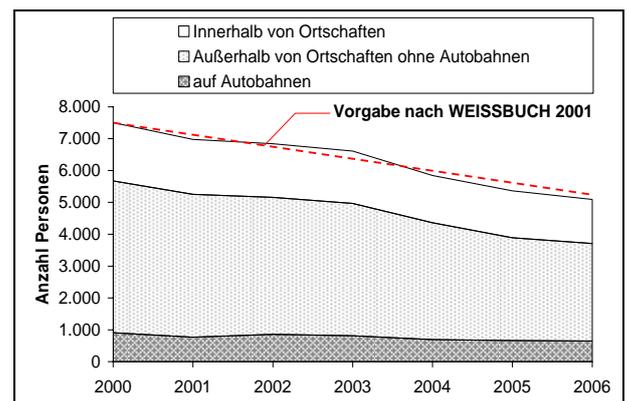


Bild 2: Zeitliche Entwicklung der Anzahl der Getöteten im bundesdeutschen Straßenverkehr differenziert nach Ortslage (DESTATIS, 2007) (zusätzlich wurde der interpolierte Verlauf der Anzahl Getöteter auf Basis der Forderung nach einer Halbierung in 10 Jahren eingezeichnet)

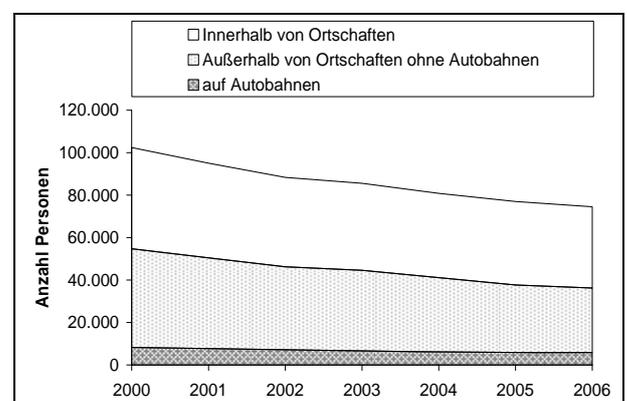


Bild 3: Zeitliche Entwicklung der Anzahl der Schwerverletzten im bundesdeutschen Straßenverkehr differenziert nach Ortslage (DESTATIS, 2007)

Der erhöhte Handlungsbedarf insbesondere im Bereich von Landstraßen wird in Bild 2 und Bild 3 deutlich. Gemäß Bild 2 starben im Jahr 2006 ungefähr 60 % aller im deutschen Straßenverkehr Getöteter auf Landstraßen. Hier liegt demnach der größte Handlungsbedarf, aber auch das größte Potential hinsichtlich einer Steigerung der Verkehrssicherheit.

Analysiert man die Ursache der hohen Zahl von Getöteten und Schwerverletzten auf Landstraßen, so fällt auf, dass insbesondere in Kurven ein hohes Unfallaufkommen zu verzeichnen war (DVR, 2007). Betrachtet man darüber hinaus die Unfälle auf Straßen außerhalb von Ortschaften (mit Autobahnen), so ist die Ursache „nicht angepasste Geschwindigkeit“ mit 47 % Anteil an der Gesamtzahl der Getöteten und 41 % Anteil an schwerverletzten Personen die am stärksten vertretene Ursache. Eine Reduktion der Geschwindigkeit kann nach ERSO (2006) das Unfallrisiko und die Unfallfolgen verringern.

Auf Grundlage der Erkenntnisse über das Fahrerverhalten auf Landstraßen insbesondere im Annäherungsbereich von Gefahrenstellen müssen gezielte Maßnahmen zur Unfallreduktion erarbeitet werden. Mit einer Beeinflussung des Fahrerverhaltens in diesen Bereichen kann das Unfallgeschehen und insbesondere das Auftreten schwerer Unfälle mit Personenschäden reduziert und somit eine Erhöhung der Verkehrssicherheit bewirkt werden.

1.1 Aufgabenstellung

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens besteht in der Entwicklung einer kostengünstigen und schnell umsetzbaren Maßnahme zur Beeinflussung der Geschwindigkeit und Steigerung der Aufmerksamkeit von Kraftfahrern an potentiellen Gefahrenpunkten auf Landstraßen. Durch die positive Beeinflussung wird eine Erhöhung der Verkehrssicherheit erwartet.

Unabhängig von der speziellen Aufgabenstellung dieses Vorhabens ist es aus Sicht der Verkehrssicherheit generell wünschenswert, die Fahrbahnoberfläche immer so zu konzipieren, dass sie dem Ausbaustandard der Straße (Lageplan, Höhenplan) entspricht, d.h. dass die Verkehrsteilnehmer durch haptische oder akustische Rückmeldungen von der Straße dazu bewegt werden, die dem Ausbaustand entsprechende Geschwindigkeit zu wählen (siehe hierzu STEINAUER, 1991).

Die Umsetzung der oben genannten Ziele kann durch die gezielte akustische und haptische Anregung der Fahrzeuge erreicht werden. Zu diesem Zweck wird die Fahrbahnoberfläche modifiziert, um die Aufmerksamkeit des Kraftfahrers zu erhöhen bzw. eine angemessene Geschwindigkeit für den weiteren Streckenverlauf zu implizieren.

Profilierte Markierungen und „Rüttel Elemente“ wurden bisher eher auf Grund pragmatischer Ansätze konzipiert. Der wissenschaftliche Hintergrund fehlt diesen Ansätzen weitestgehend und macht eine vergleichende Bewertung der Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit unmöglich.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes sollen die schwingungsmechanischen und akustischen Grundlagen aufbereitet werden, die eine gezielte Bewertung solcher Maßnahmen ermöglichen. Auf Basis dieser Grundlagen werden unterschiedliche Bauformen und Anordnungen von Rüttelstreifen konzipiert. Diese werden auf ausgewählten Versuchsstrecken baulich umgesetzt und hinsichtlich ihrer verkehrlichen Wirkung überprüft.

Die wissenschaftliche Bedeutung dieser Arbeit tritt dabei in zweierlei Hinsicht weiter in den Vordergrund:

- Zum einen hat sich die Europäische Gemeinschaft das ehrgeizige Ziel gesteckt, die Zahl der Verkehrstoten bis zum Jahre 2010 zu halbieren. Dieser Kraftakt ist mit vertretbarem Aufwand nur mit gezielten Maßnahmen möglich. Die Wirkung solcher Maßnahmen muss dabei vorhersehbar sein, da ansonsten die Bemühungen ins Leere laufen und wichtige Ressourcen verschwendet werden.
- Zum anderen muss diese Arbeit im Kontext der allgemeinen Entwicklung des Straßenentwurfes gesehen werden. Mit der Einführung der RAA und RAL werden neben fahrdynamischen Entwurfskriterien zunehmend psychologische Gesichtspunkte berücksichtigt. Den neuen Richtlinien liegt die Idee der „selbsterklärenden Straße“ zu Grunde. Die Straße soll durch ihre Entwurfs- und Betriebsmerkmale das Verhalten des Verkehrsteilnehmers erheblich prägen und so die Verkehrssicherheit positiv beeinflussen. Eine haptische und akustische Einwirkung auf das Fahrerverhalten ist als schlüssige Konsequenz dieser Grundidee anzusehen.

Das Untersuchungsdesign und die Methodik zur Klärung der o. g. Probleme werden im nächsten Kapitel dargestellt.

1.2 Methodik

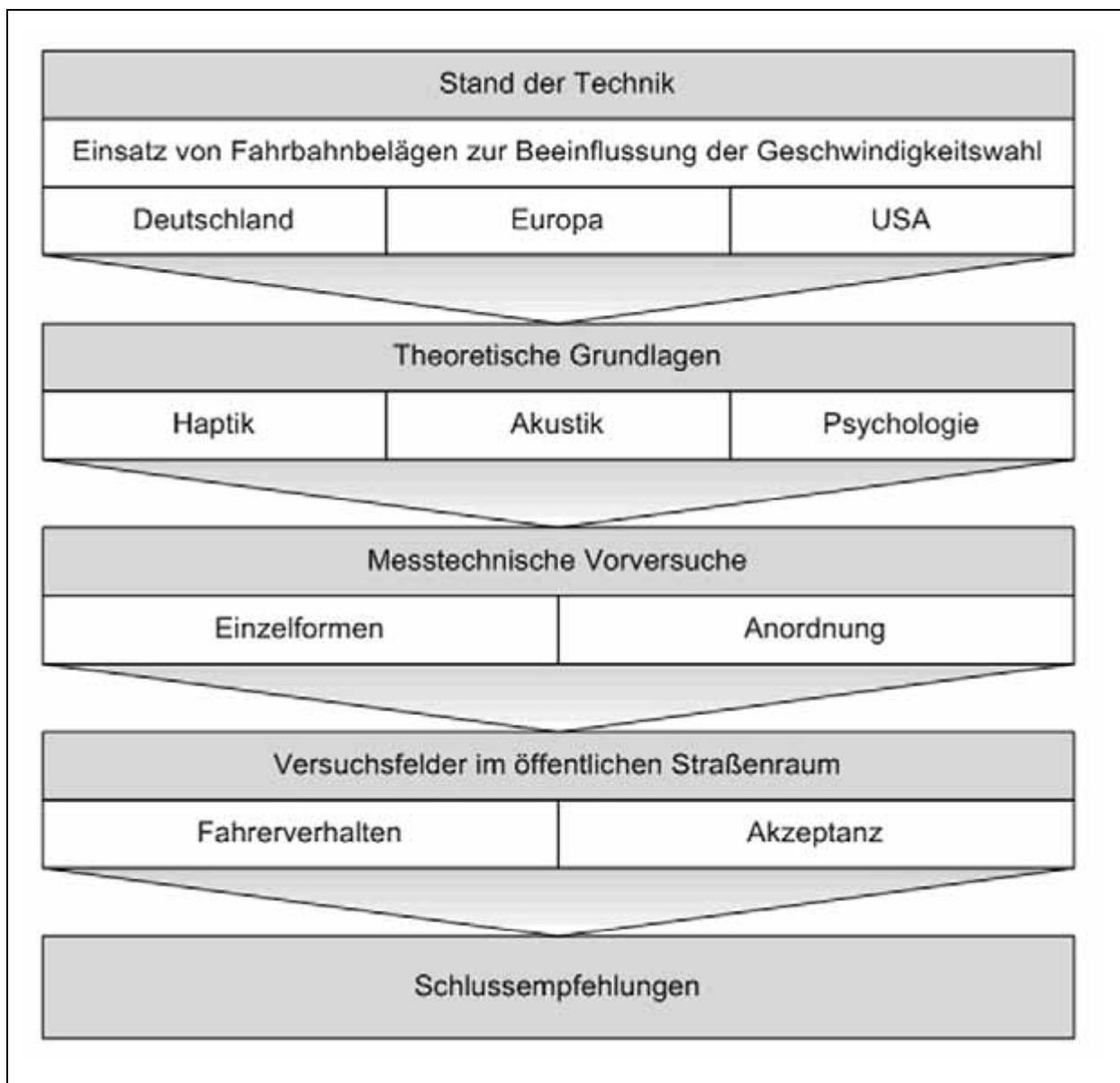


Bild 4: Methodik der Projektarbeit

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit sollen durch theoretische und empirische Ansätze baulich umsetzbare hinsichtlich ihrer Wirksamkeit optimierte Lösungsvorschläge für Rüttel Elemente erarbeitet werden.

In einem ersten Arbeitsschritt wird der aktuelle Stand der Technik zusammengefasst. Dieser Arbeitsschritt ermöglicht eine erste Übersicht über die bereits praktizierten Anwendungen. Auf Basis dieser Daten ist es möglich, die bestehenden Varianten zu vergleichen und deren Umsetzbarkeit auf deutschen Strassen zu hinterfragen.

Die Vielzahl der so ermittelten sinnvollen Varianten wird im Weiteren durch theoretische Modelle weiter eingegrenzt, um so lediglich die relevanten Formen von Rüttelstreifen in Feldversuchen zu untersuchen. Für diesen Arbeitsschritt sind primär mathematische Modelle, Simulationen und Forschungserkenntnisse aus dem Bereich der Haptik und der Akustik geeignet. In Kapitel 3 werden die Grundlagen für derartige Untersuchungen zusammengefasst und entsprechende Berechnungswege aufgezeigt. Nach Abschluss dieser Voruntersuchungen werden die ausgewählten Varianten in Feldversuchen analysiert. Die Feldversuche werden dabei nochmals unterteilt. In der ersten Phase

werden einzelne Elemente auf einer Versuchsstrecke ohne Verkehr untersucht. Im Vordergrund dieser ersten Feldversuche steht die physikalische Wirkung auf die Fahrzeuge. Diese werden durch Sensoren innerhalb der Fahrzeuge erfasst und analysiert. Auf Grund der Erkenntnisse dieser Untersuchungen lassen sich optimierte Bauformen ableiten, die in einer zweiten Versuchsreihe auf freier Strecke unter Verkehr hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Verkehrsteilnehmer untersucht werden.

2 Aktueller Stand der Technik

Fahrbahnbeläge bzw. Applikationen auf der Fahrbahn werden in vielen Ländern schon seit Jahren zur Beeinflussung der Geschwindigkeit der Verkehrsteilnehmer eingesetzt. Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über die Verbreitung von „Rüttelelementen“ in Europa und den USA. Ob die Anwendung und Bauweise experimenteller Natur ist, oder als Standardanwendung eingesetzt wird ist dabei nicht immer ersichtlich.

2.1 Begriffsbestimmungen

Die Schwierigkeit in der Begrifflichkeit unterschiedlicher Bauformen von „Rüttelelementen“ liegt zum einen in der Vielzahl der einzelnen Ausführungen, als auch in der Anwendung in unterschiedlichen Ländern. Im Wesentlichen unterscheidet man

- Rüttelstreifen („rumble strips“),
- Rüttelstrecken („rumble areas“),
- Rippleprint⁴,
- Aufpflasterung („road humps“) und
- Warnschwellen.

Als Rüttelstreifen werden im Folgenden die in diesem Forschungsprojekt vorrangig untersuchten transversalen Streifen, einzelne quer zur Fahrbahn verlaufende künstliche Unebenheiten, mit definiertem Abstand, aber kurzer Ausdehnung in Längsrichtung (siehe Bild 5) bezeichnet.

Rüttelstrecken unterscheiden sich lediglich in der größeren Längsausdehnung von den Rüttelstreifen und haben ähnliche Effekte. Im Folgenden werden diese beiden Elemente nicht weiter getrennt betrachtet.



Bild 5: Rüttelstreifen (AAA New York, 2006)



Bild 6: Aufpflasterung (MERTON, 2006)



Bild 7: Warnschwellen (STEINAUER et al., 2004)

Bei der Bezeichnung „Rippleprint“ handelt es sich um die Weiterentwicklung von Rüttelstreifen/strecken durch die Firma Prismo⁵ in Zusammenarbeit mit dem TRL⁶ Wokingham. Im Vordergrund dieser Weiterentwicklung steht die Minimierung der Schallemissionen durch Rüttelstreifen. Das resultierende Entwurfskonzept wird in Kapitel 2.7.6 vertiefend vorgestellt.

Aufpflasterungen sind in Deutschland bekannt und weitverbreitet. Sie dienen der Verkehrsberuhigung im innerstädtischen Bereich. Ihr Einsatz auf Landstraßen ist auf Grund ihrer Bauhöhe von 2,5 bis 10 cm nicht gegeben (siehe Bild 6).

Warnschwellen sind mobile Elemente, welche beispielsweise in Deutschland oder den Niederlanden

⁴ Dieser Begriff lässt sich nicht ins deutsche übersetzen, da es sich hierbei um eine Produktentwicklung aus dem englischen Raum handelt, welche ganz individuelle Eigenschaft besitzt.

⁵ Prismo Ltd, Lancashire, UK

⁶ Transport Research Laboratory, Wokingham, UK

Land	Rüttelstreifen	Rüttelstrecken	„Rippleprint“	Aufpflasterungen	Warnschwellen
Deutschland	(X) ¹	(X) ¹		X	X
Niederlande	(X) ²		(X) ²	X	X
Schweiz				X	X
Österreich	(X) ¹	(X) ¹		X	
Spanien	X			X	
Frankreich	X	X		X	
Dänemark	X			X	
Irland	X	X		X	
Großbritannien	X	X	X	X	
USA	X			X	

Tab. 1: Einsatz ausgewählter "Rüttel Elemente" in den untersuchten Ländern

¹ vereinzelt anzutreffen, jedoch fast ohne existierende Normung oder Regelwerk

² keine Empfehlungen oder Erfahrungsberichte vorliegend

zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer eingesetzt werden. Sie sollen die Kraftfahrer über die Spurreduktionen vor Baustellen informieren, sie zum Spurwechsel bewegen und so einen möglichen Auffahrunfall verhindern.

Nach Literaturrecherche und schriftlichen bzw. telefonischen Kontakten werden die oben genannten Rüttel Elemente in den einzelnen Ländern unterschiedlich eingesetzt. Eine Übersicht über das Rechercheergebnis liefert Tab. 1.

Neben der Art der Rüttel Elemente variieren die einzelnen Länder auch deren Einsatzgebiet bzw. bauliche Ausführung. Im nächsten Kapitel wird versucht, Gemeinsamkeiten in der Handhabung bzw. den Erfahrungen der einzelnen Länder zu ermitteln.

2.2 Einsatzgebiete

Rüttel Elemente werden an unfallträchtigen Straßenabschnitten oder Punkten mit einem hohen Gefahrenpotential angeordnet. Dazu zählen insbesondere:

- Kurven,
- Knotenpunkte,
- Ortseinfahrten und
- Mautstellen auf Autobahnen.

Zum Einsatz von Rüttelstreifen liegen je nach Land unterschiedliche Kriterien vor. Insbesondere in den USA stellen Rüttelstreifen ein weit verbreitetes und weitestgehend standardisiertes Verfahren zur Erhöhung der Verkehrssicherheit dar. Je nach Land liegen bereits Merkblätter oder Richtlinien zum Einsatz und zur Ausführung von Rüttelstreifen vor. Teilweise müssen „harte“ Kriterien beispielsweise bzgl. der Unfallhäufigkeit erfüllt sein, um den Einsatz von Rüttelstreifen zu rechtfertigen, während in anderen Ländern die Entscheidung zum Einsatz im Ermessen und der Erfahrung der betroffenen Behörden liegt oder keinerlei normative Einschränkungen hinsichtlich des Einsatzes von Rüttelstreifen vorliegen.

2.3 Anordnung

Neben der Unterscheidung von Einsatzgebieten, wie in Kapitel 2.2 erläutert, gibt es mehrere Varianten zur Anordnung von Rüttel Elementen. Unterschieden wird dabei zwischen der Anordnung in Längs- und Querrichtung.

2.3.1 Anordnung in Längsrichtung

Im Wesentlichen unterscheidet man in Längsrichtung drei grundlegend unterschiedliche Anordnungen von Rüttel Elementen (siehe Bild 8) – die Anordnung mit

- gleichen Abständen,
- Gruppen gleichen Abstands und
- Einzelstreifen oder Gruppen mit geringer werdendem Abstand.

Die Unterschiede sind in der gewünschten Wirkung der Elemente begründet. Während bei den beiden oberen Varianten die Abstände gleich bleiben und somit bei konstanter Überfahrgeschwindigkeit auch ein konstanter Ton bzw. eine konstante Vibration auf die Fahrzeuginsassen einwirkt, folgt die untere Variante dem bekannten Prinzip der optischen Bremse (dieser Effekt wird im folgenden „Akustische Bremse“ genannt). Variante 1 zielt primär auf die Steigerung der Aufmerksamkeit ab. Eine Beeinflussung des Fahrers erfolgt weiterhin ausschließlich über Beschilderung.

Variante 2 geht über die reine Aufmerksamkeitssteigerung hinaus. Bei gleich bleibender Geschwindigkeit verringern sich die Zeitintervalle zwischen den einzelnen haptischen und akustischen Ereignissen. Die Dringlichkeit einer Fahrerreaktion wird unterstrichen. Gleichzeitig impliziert die Frequenzverkürzung eine direkte Verknüpfung mit der Geschwindigkeit, welche den Fahrer ohne weitere Signalisierung durch Verkehrszeichen zum Abbremsen veranlasst.

Bei geringer Geschwindigkeitsreduktion bleibt dieser Effekt erhalten. Erst wenn der Fahrer stark abbremsen wird der akustische und haptische Effekt verringert.

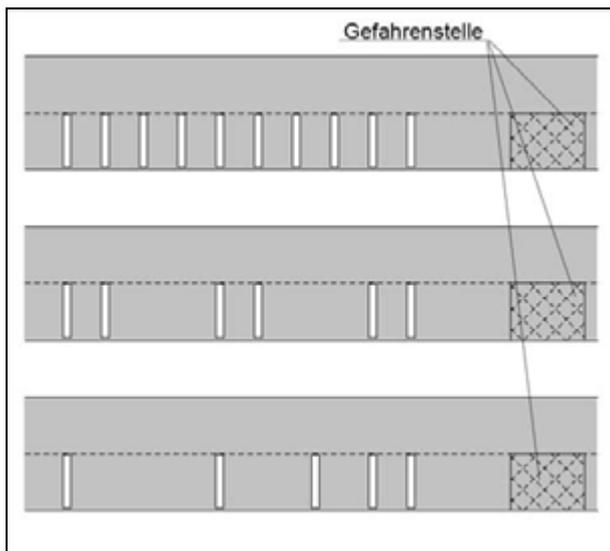


Bild 8: Anordnungsvarianten in Längsrichtung (eigene Darstellung)
 oben: gleich bleibende Abstände (Variante 1a)
 mittig: Anordnung in Gruppen (Variante 1b)
 unten: Verringerung der Abstände (Variante 2)

2.3.2 Anordnung in Querrichtung

In Querrichtung unterscheidet man drei unterschiedliche bauliche Anordnungen (siehe Bild 9):

- Anordnung in der Radspur,
- Anordnung über eine Fahrspur und
- Anordnung über die gesamte Fahrbahn.

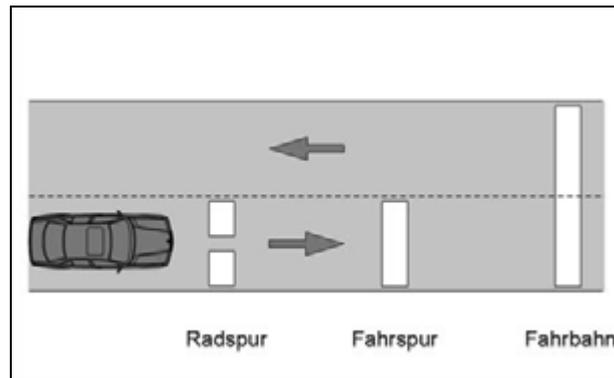


Bild 9: Anordnung in Querrichtung (eigene Darstellung)

In den einzelnen Ländern wird besonders die Anordnung in Querrichtung kontrovers diskutiert. Grund dafür sind Beobachtungen, dass einzelne Fahrzeuge die Rüttelstreifen umfahren, wenn sie nicht über die gesamte Fahrbahn reichen und so das Unfallrisiko steigern können. Als Folge ist beispielsweise in Spanien eine Anordnung nur über die gesamte Fahrbahn zulässig. Nachteilig bei dieser Lösung sind das erhöhte Lärmaufkommen und ein einsetzender Gewöhnungseffekt durch die Überfahring in Gegenrichtung. Andere Länder fordern eine bewusste Unterbrechung der Rüttelstreifen aus entwässerungstechnischen Gründen, bzw. aus Rücksicht auf Zweiradfahrer. Inwieweit diese Forderung präventiv oder wissenschaftlich fundiert ist, konnte nicht geklärt werden.

2.4 Bauliche Umsetzung

Bei der baulichen Umsetzung von Rüttelstreifen greifen die zuständigen Behörden und Forschungsgesellschaften vornehmlich auf bekannte und erprobte Materialien aus dem Straßenbau zurück. Auf gezielte Anfragen hin wurde dabei für Rüttelstreifen meist auf Materialien der Markierungsfirmen wie Thermo- bzw. Kaltplasten verwiesen. Für Rüttelstreifen werden dagegen meist in Epoxydharz gebundene grobe Gesteinskörnungen oder grob abgestreuter Gussasphalt verwendet. Zur Haltbarkeit, Witterungsbeständigkeit bzw. Anfälligkeit bzgl. mechanischer Abnutzungen der eingesetzten Materialien wurden keine Angaben gemacht.

2.5 Einfluss auf die Unfallhäufigkeit und das Geschwindigkeitsniveau

Wissenschaftliche Untersuchungen zur Unfallhäufigkeit wurden bis dato nur in England durchgeführt. Die Aussagen sind jedoch nur als Tendenz zu werten, da die Dauer der Untersuchungen und die Anzahl der Unfalldaten als nicht signifikant einzustufen sind. Tendenziell ist jedoch sowohl in Großbritannien und Irland, als auch in den USA ein Unfallrückgang zu verzeichnen. Langfristige Untersuchungen müssen diese Tendenz jedoch wissenschaftlich untermauern und ihre Ausprägung ermitteln.

Als weiterer maßgeblicher Indikator bei der Beurteilung der Verkehrssicherheitswirkung von Rüttelstreifen wird vornehmlich die Änderung des Geschwindigkeitsverhaltens angeführt. Die Geschwindigkeit des untersuchten Verkehrskollektivs nahm Untersuchungen in England und Irland zu Folge nach der Applikation von Rüttelstreifen um ca. 3-9 km/h ab (vergleiche Kapitel 2.7.6). Betrachtet wurden dabei vorrangig die v_{85} und die Durchschnittsgeschwindigkeit im Vorher-Nachher Vergleich. Der Geschwindigkeitsrückgang war kurz nach der Applikation stärker ausgeprägt als einige Wochen/Monate darauf. Aus der Literatur geht nicht klar hervor, ob es sich dabei um Gewöhnungseffekte oder Störeffekte handelt. Neben dieser Tendenz zur Geschwindigkeitsreduktion konnten teilweise auch unerwünschte Effekte verzeichnet werden. Zu diesen gehört neben dem in Kapitel 2.3.2 beschriebenen Ausweichen unter anderem der in internationalen Veröffentlichungen so genannte „cattle-grid-effect“. Der Fahrer erhöht seine Geschwindigkeit um die Intensität durch ein „überfliegen“ der einzelnen Rüttelstreifen zu reduzieren. Dieses Verhalten trat vermehrt an Stellen auf, wo eine große Anzahl von Rüttelstreifen in einer Gruppe aufgebracht wurde.

2.6 Nationale Anwendungsbeispiele und Forschungsergebnisse

Auf nationaler Ebene werden Rüttelstreifen oder verwandte bauliche Maßnahmen bis dato eher auf experimentellem Niveau eingesetzt. Die Wirkung solcher – insbesondere quer zur Fahrbahn verlaufender – Elemente wurde bisher nicht ausreichend untersucht. Insgesamt wurden in Deutschland vier Untersuchungen zur Wirkung von Rüttelstreifen/-streifen durchgeführt. Die früheste wissenschaftliche Auseinandersetzung mit diesem Thema wurde durch MAIER (1991) für den huk-Verband durchgeführt. 2001 untersuchte BRILON die Wirkung

akustischer Bremsen auf Verbindungsrampen und 2003 wurde die Wirkung von „Rüttelstreifen“ auf Motorradfahrer im Rahmen einer Pilotstudie durch die Landesbetriebe Straßenbau Nordrhein-Westfalen untersucht. Diese letzte Studie mündete in einer Empfehlung im Merkblatt zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Motorradstrecken MVMOT (2007). Die vierte Untersuchung aus dem Jahr 2004 erforschte die Wirkung von temporär zu installierenden Elementen (so genannten Warnschwellen) bei Spurreduktionen auf Autobahnen (STEINAUER, 2004).

2.6.1 Verbesserung der Verkehrssicherheit in Ortsdurchfahrten

Im Rahmen einer groß angelegten Studie zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in kurzen Ortsdurchfahrten in Nordrhein-Westfalen (MAIER, 1991), durchgeführt vom Verband der Autoversicherer, wurden in den Jahren 1982 bis 1990 verschiedene bauliche Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkung und Akzeptanz untersucht. Neben größeren baulichen Maßnahmen, wie beispielsweise dem Bau von Inseln oder Kreisverkehren in den Ortseinfahrten wurden auch optische und akustische Bremsen (siehe Bild 10 und Bild 11) in unterschiedlichen Orten in Nordrhein-Westfalen umgesetzt. Durch Vorher-Nachher-Untersuchungen wurde deren Wirkung auf das Geschwindigkeitsverhalten und das Unfallgeschehen untersucht.

In der Untersuchung wurde die zentrale Frage behandelt, ob der Fahrzeugführer durch unterschiedliche Maßnahmen dazu bewegt wird, die zulässige Höchstgeschwindigkeit einzuhalten und ob die Verkehrssicherheit durch die Maßnahmen signifikant erhöht werden kann.

Nachfolgend werden ausschließlich die Ergebnisse der „akustischen und optischen Bremsen“ wiedergegeben. „Optische und akustische Bremsen werden nur an Ortseinfahrten eingesetzt. Durch die abnehmenden Abstände bei Annäherung an die Ortstafel soll dem Kraftfahrer ein Eindruck zunehmender Geschwindigkeit bei unverändertem Fahrverhalten suggeriert werden.“ (MAIER, 1991)

Als „optische Bremse“ werden quer zur Fahrbahn aufgebrachte Markierungsstreifen bezeichnet, deren Abstand zueinander mit zunehmender Nähe zum Gefahrenpunkt hin abnimmt. Die Streifen haben eine sehr geringe Höhe, so dass davon auszugehen ist, dass es sich um rein optische Elemente handelt, die keine akustische oder haptische Wirkung auf die Fahrzeuginsassen haben (siehe Bild 10).



Bild 10: Optische Bremse in der Ortsdurchfahrt Geldern-Pont (B58) (MAIER, 1991)



Bild 11: Veränderung der Fahrbahnoberfläche an der Ortseinfahrt Wegberg-Rickelrath (L3) durch Pflasterungen (akustische Bremse) (MAIER, 1991)

Als „akustische Bremse“ werden ebenfalls quer zur Fahrbahn verlegte Streifen bezeichnet, die sich optisch weniger von der Straßenoberfläche abheben, sondern Ihre Wirkung vielmehr über akustische Signale entfalten. Im Rahmen der hier vorgestellten Studie zu kurzen Ortsdurchfahrten wurden diese Streifen aus Pflastermaterial hergestellt, welches niveaugleich mit der Deckschicht eingebaut wurde (siehe Bild 11).

Eine erste Wirkungsabschätzung wurde – analog zur Methodik in diesem FE-Projekt - über Geschwindigkeitsmessung vorgenommen. Zu diesem Zweck wurden Messungen der Geschwindigkeit im Vorher- sowie im Nachher-Fall vorgenommen. Die Ergebnisse sind in Bild 12 und Bild 13 dargestellt. MAIER (1991) schreibt: „Die Fahrgeschwindigkeiten gehen – bei Ausgangsgeschwindigkeiten v_{85} zwischen 50 und 60 km/h vorher – nicht zurück. Bei höheren Ausgangsgeschwindigkeiten um

70 km/h können Rückgänge auftreten.“ (MAIER, 1991)

„Es ist kein grundsätzlicher Unterschied in der Wirkungsweise von optischen bzw. akustischen Bremsen zu erkennen. [...] Zusammenfassend ist festzustellen, dass optische und akustische Bremsen sich kaum auf das Geschwindigkeitsverhalten auswirken. Jedenfalls folgen die geringen Auswirkungen keinesfalls aus den abnehmenden Abständen. Die Hoffnung durch abnehmende Abstände könne Kraftfahrern suggeriert werden, dass ihre Geschwindigkeit ansteigt – sie also zu schnell fahren und deswegen ihre Geschwindigkeit herabsetzen – hat sich nicht erfüllt.“ (MAIER, 1991)

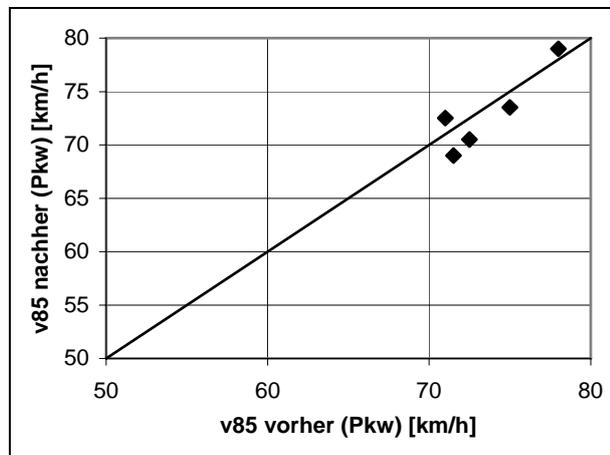


Bild 12: Ergebnisse von Geschwindigkeitsmessungen in Ortseinfahrten mit optischen Bremsen (nach MAIER, 1991)

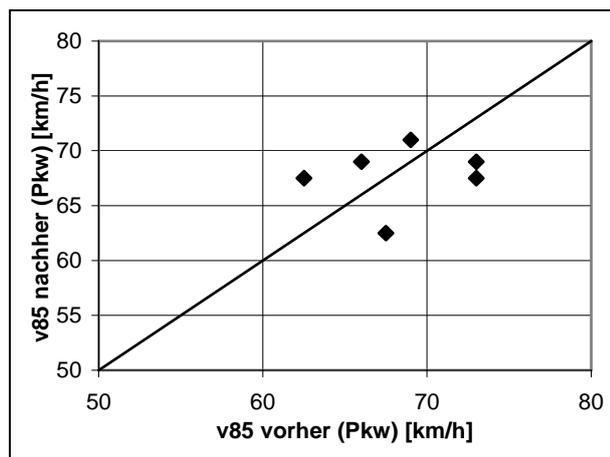


Bild 13: Ergebnisse von Geschwindigkeitsmessungen in Ortseinfahrten mit akustischen Bremsen (nach MAIER, 1991)

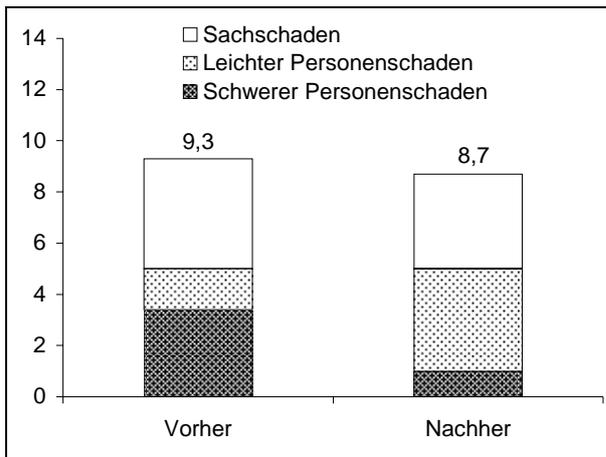


Bild 14: Unfallzahlen optische Bremse vorher/nachher mit Personenschaden und schwerem Sachschaden (nach MAIER, 1991)

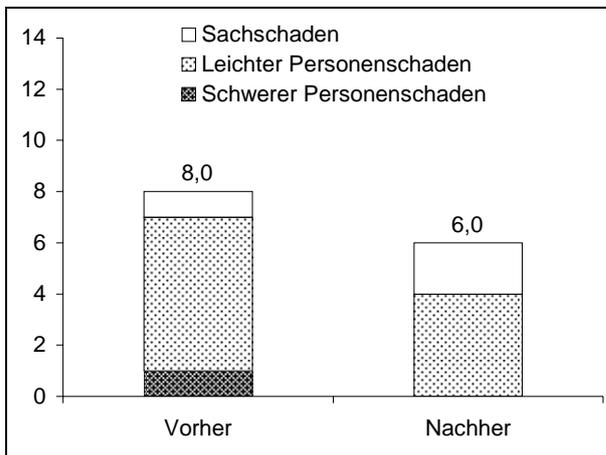


Bild 15: Unfallzahlen akustische Bremse vorher/nachher mit Personenschaden und schwerem Sachschaden (nach MAIER, 1991)

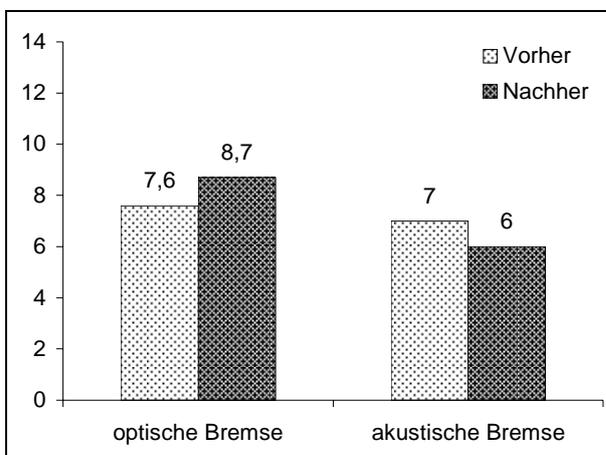


Bild 16: Unfallzahlen ausschließlich Kfz vorher/nachher in Abschnitten mit veränderter Fahrbahnoberfläche (MAIER, 1991)

In dieser Studie wurde die Geschwindigkeit bei der Messung auf volle 5 km/h gerundet. Hierzu bemerkt MAIER (1991): „Auch ohne Maßnahmewirkung sind also Unterschiede bis zu 5 km/h im Nachher- Zeitraum nicht auszuschließen.“ Insgesamt müssen „Veränderungen [der Geschwindigkeit] [...] schon deutlich sein, um mit hinreichender Sicherheit als Maßnahmenwirkung gelten zu können.“ (MAIER, 1991) Bild 12 und Bild 13 zeigen Geschwindigkeitsänderungen in ähnlichen Größenordnungen, wie die Messgenauigkeit.

Neben der Änderung der Geschwindigkeit wurden auch die Unfallzahlen in den entsprechenden Ortsdurchfahrten einer Vorher-Nachher-Analyse unterzogen. Teilweise ist keine genaue Abgrenzung der Maßnahmenwirkung möglich, da die Installation von optischen oder akustischen Bremsen im Annäherungsbereich der Ortseinfahrt mit Modifikationen der Ortsdurchfahrt (beispielsweise Fahrbahnverengungen) kombiniert wurde.

Sowohl bei Ortseinfahrten mit optischer als auch mit akustischer Bremse konnte eine Änderung des Unfallgeschehens verzeichnet werden. Inwiefern diese jedoch signifikant ist, kann auf Grund der stark zusammengefassten Ergebnisse nicht nachvollzogen werden. Gegenübergestellt wurde der Zeitraum vor Maßnahmenumsetzung (i. d. R. ein Jahr) sowie unterschiedliche Zeiträume welche frühestens drei Monate⁷ nach Maßnahmenumsetzung begannen. Zur statistischen Absicherung wurden diese relativ kurzen Zeiträume der unterschiedlichen Maßnahmen zusammengefasst. Die Ergebnisse sind in Bild 14 bis Bild 16 dargestellt.

Auch wenn insbesondere bei den schweren Personenschäden prozentual ein gewisser Rückgang zu verzeichnen ist, werden die Maßnahmen „optische Bremse“ und „akustische Bremse“ in dieser Forschungsarbeit als wenig bis nicht wirksam eingestuft. „[...] Vor allem in Hinblick auf die Veränderung in der Kontrollgruppe sind die Veränderungen bei optischen Bremsen nicht aussagefähig. [...] an Stellen mit optischen und akustischen Bremsen sind keine Verbesserungen der Verkehrssicherheit aufgetreten.“(MAIER, 1991)

Gemessen an der geschwindigkeitsdämpfenden Wirkung der Vergleichsmaßnahmen, wie beispielsweise Aufpflasterungen, Umbau der Ortseinfahrten mit stark versetzten Verkehrsinseln oder gar der Bau von Kreisverkehren in der Ortseinfahrt ist die Wirkung der akustischen/optischen Bremse

⁷ Eine dreimonatige Eingewöhnungszeit nach Änderungen der Infrastruktur wird im Allgemeinen als ausreichend erachtet, um Störungen des Fahrerverhaltens auf Grund der geänderten Verkehrsführung oder Betriebsmerkmale auszuschließen.

niedrig einzustufen. Diese Maßnahmen sind jedoch auf den Innerortsbereich beschränkt und finden auf Landstraßen keine Anwendung. Aufgrund deutlich höherer Fahrgeschwindigkeiten im Außerortsbereich ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse in den Ortsdurchfahrten auf die hier zu untersuchende Fragestellung nicht gegeben.

2.6.2 Mechanisch-akustische Bremsen in Verbindungsrampen von Autobahnknoten

Auf Grund einer deutlichen Zunahme von Unfällen in Verbindungsrampen von Autobahnknotenpunkten hat das Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr (MWMEV) des Landes Nordrhein-Westfalen ein Forschungsprojekt initiiert, in dessen Verlauf Versuche mit mechanisch-akustischen Bremsen („Rüttelstreifen“) durchgeführt wurden. Im Fokus der Untersuchung standen die geschwindigkeitsreduzierende Wirkung und die Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Rüttelstreifen. „Zum einen wird erwartet, dass die Verkehrsteilnehmer durch die Streifen wachgerüttelt werden und so die Ausfahrten und Rampen mit höherer Aufmerksamkeit befahren. Zum anderen sollen vor allem ortskundige Kraftfahrer, die bewusst Kurven mit hoher Geschwindigkeit anfahren, durch die Rüttelstreifen zur Temporeduzierung angehalten werden.“ (BRILON, 2001) Neben der Wirkungsanalyse wurde eine Optimierung der Bauform im Rahmen des Projekts angestrebt.

Auf Basis der Erkenntnisse aus dem Ausland – vor allem den Niederlanden – wurden unterschiedliche Bauformen für die Rüttelstreifen entworfen (siehe Bild 18). Unterschieden wurde zwischen erhabenen und eingefrästen Streifenformen (siehe beispielsweise Bild 19). Die Anordnung in Längsrichtung erfolgte ebenfalls nach niederländischem Vorbild. Lediglich kleinere Modifikationen wurden im Verlauf der Untersuchung vorgenommen.

Ähnlich der hier angestrebten Methodik wurde bei der Messwerterhebung zwischen physikalischen und verkehrlichen Größen differenziert. Nach der Installation der Rüttelstreifen auf ausgewählten Verbindungsrampen in NRW wurden diese mit einem Pkw überfahren. Dieser war mit Beschleunigungssensoren und einem Schallpegelmessgerät ausgerüstet. Das Resultat dieser Messung war die technische Überprüfung des Versuchdesigns. Die erwartete haptische und akustische Wirkung im Fahrzeuginnenraum konnte auf diese Weise messtechnisch verifiziert werden.



Bild 17: Rüttelstrecke in Verbindungsrampe (BRILON, 2001)

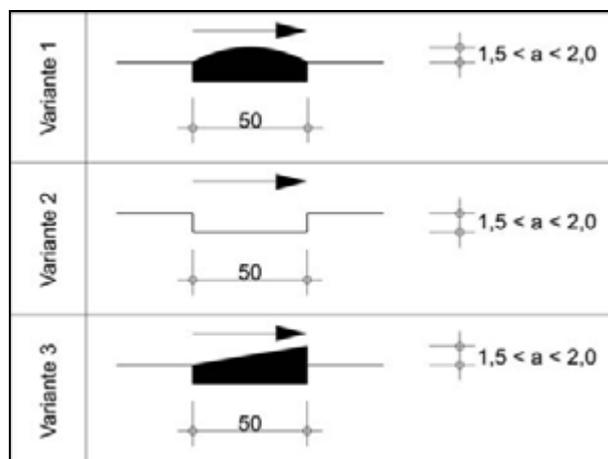


Bild 18: Varianten der Ausführung von Rüttelstreifen (nach BRILON, 2001) [alle Angaben in cm]



Bild 19: Ausführungsdetail Variante 2 – gefräster Rüttelstreifen (BRILON, 2001)

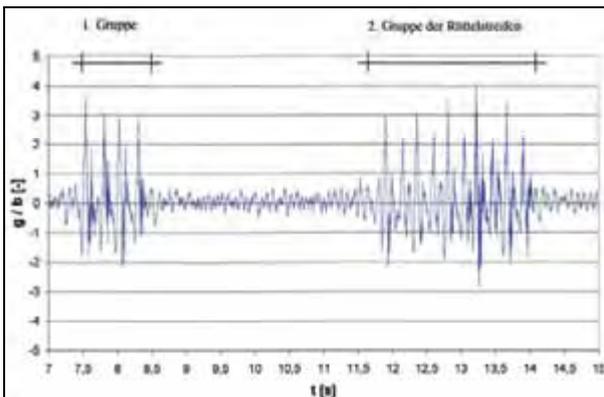


Bild 20: Vertikalbeschleunigung AS Mönchengladbach-West (Variante 2), 40 km/h-Übersicht (BRILON, 2001)

Die gemessenen Beschleunigungen liegen kurzzeitig im Bereich der zwei- bis fünffachen Erdbeschleunigung und treten gemäß Messauswertung in einem Frequenzbereich von 5 bis 15 Hz auf. Dies entspricht dem empfindlichen Wahrnehmungsbereich des Menschen. Eine Gesundheitsgefährdung wurde durch Mediziner des Lehrstuhls für Arbeitsmedizin der Universität Düsseldorf ausgeschlossen. Vergleichsmessungen auf der Hauptfahrbahn einer der betrachteten Anschlussstellen ergaben Beschleunigungen in der Größenordnung der ein- bis zweifachen Erdbeschleunigung.

Bei den akustischen Messungen wurde keine Frequenzanalyse vorgenommen. Mit der vorhandenen Messtechnik konnten lediglich Spitzenwerte ermittelt werden. Die Pegeländerungen lagen bei den Strecken mit einer Kombination aus haptischer und akustischer Anregung bei bis zu 10 dB(A)⁸. Bei einer Vergleichsstrecke mit reiner akustischer Anregung konnte lediglich ein Anstieg um die 3 dB(A)⁸ festgestellt werden. Allerdings können diese Messungen alleine nicht für Aussagen bzgl. der individuellen Wirkung auf den Fahrer herangezogen werden, da die Frequenzzusammensetzung und die Tonalität der einzelnen Bauformen keiner differenzierten Betrachtung unterzogen wurden.

BRILON schreibt hierzu dass „beim Überfahren der Rüttelstreifen ein eher polterndes Geräusch entsteht, [während] die akustische Bremse [...] ein singendes Reifengeräusch (ähnlich einer profilierten Markierung) [erzeugt]. Möglicherweise wirkt dieses Geräusch stärker, so dass trotz der nur relativ geringen Schallpegelerhöhung die Aufmerk-

samkeit der Verkehrsteilnehmer geweckt wird.“ (BRILON, 2001)

Zusammenfassend konnte die erwartete mechanische und akustische Wirkung im Fahrzeug auf allen Versuchsstrecken nachgewiesen werden. „Voraussetzung für die mechanische Wirkung ist jedoch ein ausreichend großer Höhenunterschied zwischen Rüttelstreifen und Fahrbahnoberkante. Dieser sollte etwa 1,5 bis 2,0 cm betragen. Die dadurch erzeugte Rüttelwirkung wird im Fahrzeug deutlich wahrgenommen.“ (BRILON, 2001)

In einem zweiten Untersuchungsschritt wurde die verkehrliche Wirkung der Rüttelstreifen untersucht. Zum einen wurde mit Videokameras das individuelle Fahrerverhalten beobachtet und zum anderen wurden Geschwindigkeitsmessungen vorgenommen.

Als Ergebnis der Videobeobachtung kann die Überfahrgang der Rüttelstreifen für alle Fahrzeugklassen (inklusive Zweiradfahrer) als weitestgehend problemlos eingestuft werden. Vereinzelt wurde ein stärkeres Abbremsen vor den Streifen beobachtet. Dies kann bei eng auffahrenden Folgefahrzeugen zu einer sicherheitskritischen Situation führen. Des Weiteren wurde an einzelnen Versuchsstrecken ein Umfahren der Rüttelstreifen insbesondere durch ortskundige Fahrer beobachtet. Dieses unerwünschte Fahrerverhalten kann jedoch weitestgehend durch eine Anpassung der Markierung oder ein Verlängern der Streifen über die gesamte Fahrbahnbreite beseitigt werden. Eine Quantifizierung dieses Fahrerverhaltens erfolgt im Rahmen der BRILONschen Studie nicht.

Bei der Bewertung des Geschwindigkeitsverhaltens wurden ausschließlich frei fahrende Fahrzeuge berücksichtigt. Die freie Fahrt wurde über die Zeitlücken definiert. Als frei Fahrend wurden die Fahrzeuge bezeichnet, welche eine Zeitlücke > 8 s zum vorausfahrenden Fahrzeug einhielten.

Die Messung erfolgte verdeckt – Störungen durch ein Erkennen der Messvorrichtung können also weitestgehend ausgeschlossen werden – bei trockener Fahrbahn zwischen 09:00 und 15:00 Uhr.

⁸ Ein Pegelanstieg von 10 dB(A) entspricht einer subjektiv empfundenen Lautstärkeverdopplung. Ein Pegelanstieg von 3 dB(A) entspricht einer Verdopplung der Schallquellen und ist deutlich wahrnehmbar. Ein Pegelanstieg von 1 dB(A) wird vom menschlichen Gehör gerade noch als Lautstärkeänderung wahrgenommen.

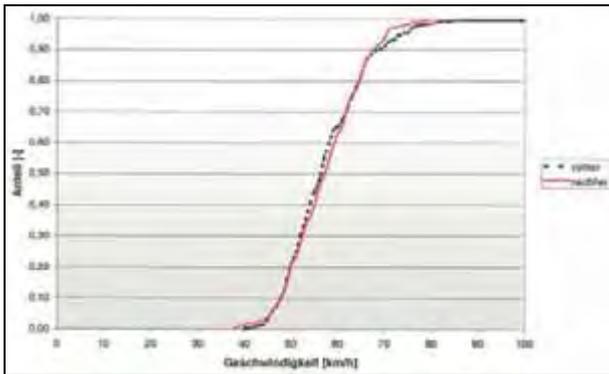


Bild 21: Summenlinie der Geschwindigkeitsverteilung AS Ochtrup (A 31) (BRILON, 2001)

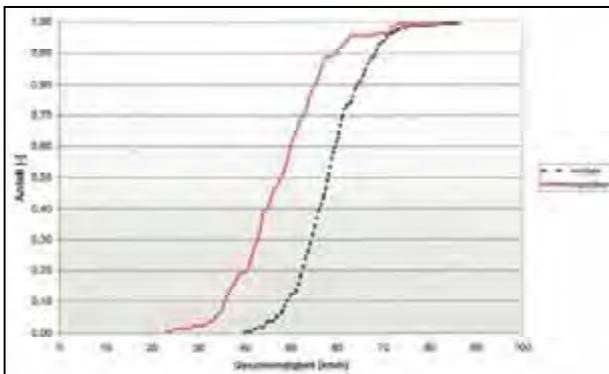


Bild 22: Summenlinie der Geschwindigkeitsverteilung AS Mönchengladbach- West (A 61) (BRILON, 2001)

Als Leitgröße bei der Bewertung des Geschwindigkeitsverhaltens wurden die v_{15} , die v_{85} und die v_{95} herangezogen. Mit diesen drei Geschwindigkeiten kann ermittelt werden, ob sich die Geschwindigkeitsänderung im Vorher-Nachher-Vergleich über das gesamte Spektrum der Geschwindigkeit, oder verstärkt im Bereich der hohen Geschwindigkeiten vollzieht. Wünschenswert wäre eine verstärkte Reduzierung hoher Geschwindigkeiten bei geringer Wirkung auf die Geschwindigkeit unterhalb der v_{zul} . Die Messungen lieferten je nach Ortslage sehr unterschiedliche Ergebnisse (siehe exemplarisch Bild 21 und Bild 22). An einigen Versuchsfeldern konnte ein leichter Geschwindigkeitszuwachs insbesondere verursacht durch einen Anstieg der Schnellfahrer verzeichnet werden, während an anderen Rüttelstrecken massive Geschwindigkeitsrückgänge zu verzeichnen waren. Die Messungen wurden einer statistischen Analyse unterzogen. Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind in Tab. 2 dargestellt.

Wie dieser Tabelle zu entnehmen ist, konnte an sechs bzw. (mit Modifikationen) acht der zehn Untersuchungsstrecken eine signifikante Verände-

rung der Geschwindigkeit nachgewiesen werden.⁹ Hiervon sank die mittlere Geschwindigkeit in fünf Fällen. In einem Fall stieg jedoch die mittlere Geschwindigkeit nach Aufbringung der Rüttelstreifen signifikant.

Die alleinige Betrachtung der mittleren Geschwindigkeit reicht nicht aus. Von zentraler Bedeutung für die zielgerichtete Wirkung von Rüttelstreifen ist der Rückgang der Geschwindigkeiten im oberen Geschwindigkeitsbereich. Die Bedeutung dieser differenzierten Betrachtung wird deutlich, wenn man die Größen v_{85} und v_{95} hinzuzieht. Bei fünf der sechs signifikanten Geschwindigkeitsrückgänge sinkt die v_{95} im gleichen Maße wie die Durchschnittsgeschwindigkeit. Auf der Strecke A 3, AS Königsforst, hingegen sinkt zwar die mittlere Geschwindigkeit um 4 km/h, dies ist jedoch weitestgehend durch den Rückgang der v_{15} und v_{85} bedingt. Die Gruppe der Schnellfahrer bleibt in Ihrem Geschwindigkeitsverhalten weitestgehend unbeeinflusst. Hier konnte keine positive Wirkung durch die Rüttelstreifen nachgewiesen werden.

Zusätzlich zur messtechnischen Erfassung der physikalischen Eingangsgrößen und der Verkehrsgröße „Geschwindigkeit“ wurde das Unfallgeschehen in den Verbindungsrampen differenziert betrachtet. Es lagen an allen zehn Strecken die Unfalldaten von mindestens drei Jahren vor. Auf Grund der Projektlaufzeit konnte nach Installation der Rüttelstreifen lediglich auf die Unfalldaten eines Jahres zurückgegriffen werden. Die Aussagen zur Veränderung der Verkehrssicherheit sind nur bedingt statistisch abgesichert.

Insgesamt konnte an allen Strecken (bis auf die AS Siebengebirge) lediglich eine geringfügige Änderung des Unfallgeschehens nachgewiesen werden. BRILON (2001) begründet den geringen Unfalldatenrückgang in seiner Arbeit mit der Überlagerung durch andere Maßnahmen, die teilweise geringe Wirkung auf das Geschwindigkeitsniveau sowie Einflüssen aus unterschiedlichen Witterungsverhältnissen. Im Rahmen der differenzierten Unfallanalyse konnten an einzelnen Stellen verstärkt nässebedingte Unfälle (bis zu 65%) registriert werden. „Offenbar reicht auf Grund der unzureichenden Griffbarkeit der nassen Fahrbahn an diesen Strecken bereits ein geringfügig zu hohes Tempo oder ein Fahrfehler aus, damit es zum Ausbrechen des Fahrzeugs kommt. In diesen Fällen sind Rüttelstrecken auch dann nicht ausreichend wirksam, wenn sie – bei trockener Fahrbahn - eine deutliche Geschwindigkeitsreduzierung hervorrufen.“

⁹ Inwieweit die Geschwindigkeitsänderung auf der Strecke A 3, AS Siebengebirge, auf die Wirkung der Rüttelstreifen zurückzuführen ist, konnte nicht ermittelt werden.

Messstellen	Ausführung	V _m [km/h]		Signifikanz	V ₁₅ [km/h]		V ₈₅ [km/h]		V ₉₅ [km/h]	
		Vor	Nach		Vor	Nach	Vor	Nach	Vor	Nach
A 3 AS Dinslaken Ohne Modifizierung Mit Modifizierung	Variante 2 0,7 bis 1,0 cm	55	58 55	ja nein	48	50 47	66	68 63	68	75 71
A 3, AS Königsforst	Variante 1 1,0 cm	63	59	ja	55	49	71	69	75	75
A 3, AS Siebengebirge Mit Tempolimit Ohne Tempolimit	Variante 2 1,0 cm	60	59 57	nein ja	50	50 49	70	69 67	76	74 73
A 46/A 57, AK Neuss-Süd	Variante 1 1,0 cm	66	67	nein	56	55	76	79	84	87
A 61, AS M'gladbach-West ⁽¹⁾	Variante 2 2,0 cm	59	48	ja	52	38	67	57	71	63
A 1, AS Kamen Zentrum	Variante 3 1,5 cm	65	57	ja	56	46	74	68	80	73
A 31, AS Ochtrup-Nord ⁽¹⁾	Variante 2 0,5 cm	57	58	nein	49	50	66	66	74	71
A 45/A 2, AK Dortmund-Nord/West	Variante 3 1,0 cm	47	42	ja	38	33	56	48	64	58
A 43/A 52, AK Marl-Nord	Variante 3 1,5 cm	56	49	ja	47	41	65	58	71	63
A 44/A 33, AK Wünnenberg-H.	Variante 2 1,5 cm	67	69	ja	57	56	80	83	89	92

Tab. 2: Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen im Vorher-Nachher-Vergleich (nach BRILON, 2001)

⁽¹⁾ Die Geschwindigkeitsprofile dieser Messstellen sind exemplarisch in Bild 21 und Bild 22 dargestellt

Auch Fragen der Zweiradsicherheit, des Betriebsdienstes und des Fahrkomforts bzw. der gesundheitlichen Beeinträchtigung wurden im Rahmen der Untersuchung von „Mechanisch Akustischen Bremsen in Verbindungsrampen von Autobahnknoten“ angesprochen. Diese Ergebnisse werden im Rahmen der betrieblichen Konzeption in Kapitel 4.3 dargestellt.

Zusammenfassend ist die Wirkung von Rüttelstreifen in Verbindungsrampen von Autobahnknoten sehr stark abhängig von den äußeren Gegebenheiten, der Trassierung sowie den Betriebsmerkmalen.

2.6.3 Arbeitsstellen kürzerer Dauer

Im Rahmen des FE-Projekts „Einsatz neuer Methoden zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer“ wurden unterschiedliche Modifikationen bzw. innovative Zusatzmaßnahmen zur Erhöhung

der Verkehrssicherheit in Arbeitsstellen untersucht. Für diese Arbeit ist insbesondere die Wirkung der untersuchten Warnschwellen von besonderem Interesse.

Als Warnschwellen (auch „Andreasstreifen“ genannt) werden Polyethylenstreifen bezeichnet, die bei Spurreduktionen in Arbeitsstellen kürzerer Dauer quer zur Fahrbahn ca. 150 Meter vor den fahrbaren Absperrtafeln auf die Fahrbahn gelegt werden (siehe Bild 23). Die Streifen werden hierzu nicht mit der Straßenoberfläche verklebt, sondern verbleiben vielmehr auf Grund ihres Eigengewichts von ca. 20 kg und der Reibung zwischen Warnschwelle und Straßenoberfläche an Ort und Stelle. Die Abmessungen der Warnschwellen liegen über denen der fest installierten Rüttel Elemente. Insbesondere die Höhe weicht mit 3 cm stark von anderen Lösungen ab.



Bild 23: Einsatz von Warnschwellen bei einer Arbeitsstelle kürzerer Dauer auf dem rechten Fahrstreifen (STEINAUER et al., 2004)

Die Idee, den Fahrzeugführer vor Baustellen auf Autobahnen zu warnen ist indes nicht neu. Basierend auf Anwendungserfahrungen aus den USA mit so genannten „Portable Rumble Strips“ und mit Wanschwellen in den Niederlanden wurde deren Einsatz auch für deutsche Autobahnen untersucht.

Schwerpunkt der Arbeit war die Untersuchung der verkehrlichen Wirkung auf Basis von Geschwin-

digkeitsmessungen und Videobeobachtungen des allgemeinen Fahrerverhaltens sowie eine Akzeptanzerhebung im Nachlauf der Maßnahmen.

Der Fokus bei der Analyse des allgemeinen Fahrerverhaltens lag auf dem Spurwechselverhalten und auf der Beobachtung auffälliger Fahrmanöver. Je nach Ausführung konnte beobachtet werden, dass nur ca. 6 % (bei Anordnung auf dem rechten Fahrstreifen) bis 10 % (bei Anordnung auf dem linken Fahrstreifen) der Fahrer die Wanschwellen überfahren. Ungewöhnliches Fahrerverhalten wie beispielsweise plötzliches starkes Abbremsen oder plötzliches Verreißen des Lenkrads konnten nicht beobachtet werden.

Die Auswertung des Geschwindigkeitsverhaltens ergab keine signifikante Änderung bei unterschiedlichen Maßnahmen (siehe Bild 24). Unter dem Hintergrund des geringen Anteils der Überfahrungen der Streifen ist dieser Sachverhalt jedoch folgerichtig. Entgegen der Zielsetzung bei Rüttelstreifen auf Landstraßen, bei denen das gesamte Fahrzeugkollektiv die Streifen überfährt, sollen die Wanschwellen die Fahrer warnen, die bis kurz vor der mobilen Absperrtafel noch keinen Spurwechsel vollzogen haben, bzw. mit stark überhöhter Geschwindigkeit auf dieselbige zufahren.

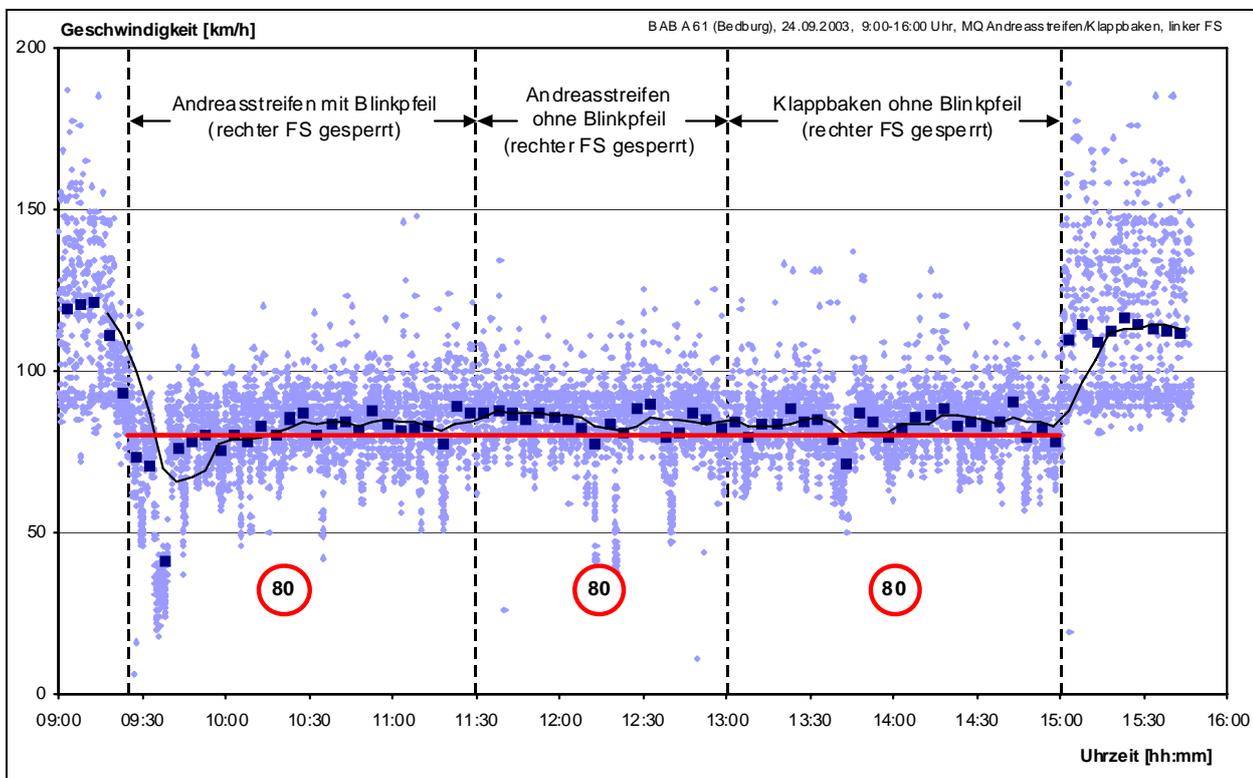


Bild 24: Lokale Geschwindigkeiten 150 m vor Absperrtafel (auf Höhe der Wanschwellen bzw. Leitbaken) bei unterschiedlichen Absicherungsvarianten der Arbeitsstelle kürzerer Dauer mit Sperrung des rechten Fahrstreifens auf der BAB A 61 bei Bedburg (24.9.2003) (STEINAUER et al., 2004)

Neben den messtechnischen Untersuchungen wurden Autofahrer auf Raststätten hinter den Untersuchungsfeldern zu ihrer Akzeptanz gegenüber den Streifen befragt.

Auf Grund der geringen Nutzung der Raststätte konnte in den entsprechenden Beobachtungszeiträumen lediglich eine kleine Menge von Personen befragt werden. „Der überwiegende Teil der befragten Kraftfahrer hält beide Maßnahmen grundsätzlich für sinnvoll. Vor allem der Einsatz von Andreasstreifen wird sehr positiv bewertet und von über drei Viertel der 78 hierzu Befragten als sinnvolle Maßnahme eingestuft.“ (STEINAUER et al., 2004)

Neben der Wirkungs- und Akzeptanzanalyse wurde auch die Verkehrssicherheit in Bezug auf die Überfahrer betrachtet. Insbesondere die Sicherheit von Zweiradfahrern stand im Fokus dieser erweiterten Analyse.

„[...] Zusätzlich zu den im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten Pilotversuchen wurden vom Institut für Straßenwesen Aachen, der Bundesanstalt für Straßenwesen und dem Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen unter Beteiligung des ADAC, weitere Untersuchungen zur Anordnung der Warnschwellen, insbesondere deren Abstand untereinander, durchgeführt. Hierbei wurden mit Einsatzfahrzeugen des Straßenbetriebsdienstes (Lkw, Lfz und Pkw) sowie einem Motorrad der ADAC-Pannenhilfe unterschiedliche Anordnungen der Warnschwellen mit verschiedenen Geschwindigkeiten überfahren und die mechanische Wirkung auf den Fahrer bewertet. Auf Grund dieser Versuche wurde der optimale Abstand der Warnschwellen untereinander auf der Fahrbahn auf 3 m (im Gegensatz zu den in den Niederlanden üblichen 5 m) und auf dem Seitenstreifen auf 5 m festgelegt [...]“ (BAIER et al., 2005)

2.6.4 Merkblatt zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Motorradstrecken

Auf Basis der Untersuchungen von BRILON (2001) wurde im Jahr 2003 von den Landesbetrieben Straßenbau Nordrhein-Westfalen auf einer unfallträchtigen Strecke in der Nähe von Minden ein Pilotversuch zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von Motorradstrecken durchgeführt.

Die B 51 zeichnete sich durch ein überdurchschnittlich hohes Unfallgeschehen aus und war in den Kreisen der Motorradfahrer als „Rennstrecke“ bekannt. Die lang gezogenen Kurven luden zu einer riskanten Fahrweise an der Grenze der Leistungsfähigkeit ein. Insbesondere eine Kurve wurde

gemäß den Aussagen der zuständigen Sachbearbeiter beim Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen zum „hot-spot“ der Motorradbegeisterten.

Da drastischere Umbaumaßnahmen nicht zu realisieren waren, versuchte man diese Kurve mit Hilfe von Rüttelstreifen zu entschärfen. Mit ähnlichen Bauformen, wie sie BRILON (2001) auf Verbindungsrampen untersuchte, wurde der Zulauf der Kurve ausgestattet. Zu diesem Zweck wurde die Straßendecke ca. 1,5 cm tief und 50 cm breit aufgefäst und Gussasphalt linsenförmig eingebaut (siehe Bild 26). Die maximale Höhe der Streifen über Fahrbahnniveau wurde mit ca. 1,5 cm ange-setzt. Die Kosten für diese Maßnahme betragen ca. 30.000 € für insgesamt 52 Querstreifen (dies entspricht einem Stückpreis von 600 € ohne Berücksichtigung der Baustelleneinrichtung).

Das Resultat dieser Maßnahme ist durchaus positiv zu bewerten. Die Zahl der Unfälle nahm seit Installation dieser Maßnahme deutlich ab, wie Tab. 3 zu entnehmen ist.¹⁰

Auf Grund der durchaus positiven Erfahrungen bei diesem Pilotversuch wurde die Anordnung von Rüttelstreifen in das neue „Merkblatt zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Motorradstrecken MVMOT (2007)“ eingearbeitet und in eine Regelzeichnung überführt (siehe Bild 26). Die entsprechenden Parameter und Anordnungsempfehlungen wurden o. g. Feldversuch nachempfunden.

„In Sonderfällen können Rüttelstreifen zur Durchsetzung der verkehrssicheren Geschwindigkeiten in Betracht gezogen werden. Diese Rüttelstreifen dürfen allerdings nur auf der Geraden vor Kurven eingesetzt werden. Zudem sollte noch ein ausreichender Sicherheitsabstand zum Bremsen vor der Kurve vorhanden sein. Um ein Umfahren zu verhindern, sind die Rüttelstreifen über die gesamte Fahrbahn auszubilden“ (MVMOT, 2007).

¹⁰ Auch wenn derzeit noch kein Zahlenmaterial vorliegt, konnte die positive Wirkung der Rüttelstreifen auf das Unfallgeschehen insbesondere in der Gruppe der Zweiradfahrer in Telefonaten mit dem Baulastträger bestätigt werden.



Bild 25: Verkehrssichere Geschwindigkeiten durch Rüttelstreifen (MVMOT, 2007)

	Vorher ¹	Nachher ²
Sachschaden (UK4-6)	12	7
Leicht Verletzte (UK3)	1	2
Schwer Verletzte (UK2)	4	-
Getötete (UK1)	-	-

Tab. 3: Unfallgeschehen B 514: Vorher- Nachher- Vergleich
¹Vorherzeitraum: 01.2002-11.2003 (22 Monate)
²Nachherzeitraum: 11.2003-12.2006 (38 Monate)

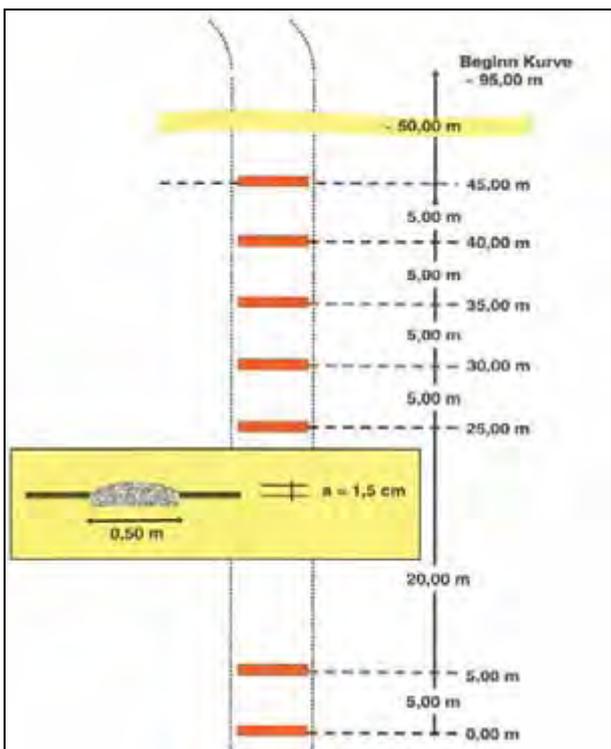


Bild 26: Systemskizze einer Rüttelstrecke (MVMOT, 2007)

2.6.5 Profilierte Fahrbahnmarkierung

Profilierte Fahrbahnmarkierungen stellen die am weitesten verbreitete Anwendung von Fahrerbeeinflussung durch haptische und akustische Signale dar. Sowohl in Deutschland, als auch dem europäischen und amerikanischen Ausland werden profilierte Randmarkierungen seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt.

Die Hauptanwendung der profilierten Randmarkierung besteht auf Autobahnen und monotonen Landstraßen in der gezielten Warnung von Fahrzeugführern beim unbewussten Verlassen der Fahrbahn. Beim Überfahren der Seitenmarkierung mit einem oder mehreren Reifen werden eine periodische haptische Anregung und ein surrendes Geräusch erzeugt, welches den unaufmerksamen Fahrer „wecken“ und wieder auf die Fahrspur leiten soll.

Neben dem Einsatz von Randmarkierungen werden profilierte Markierungen insbesondere in den USA häufig zur Unterstützung der trennenden Wirkung der Mittelmarkierung genutzt. Im Wesentlichen werden drei unterschiedliche Formen der profilierten Randmarkierung unterschieden. Bei Neubaumaßnahmen können durch ein „Stanzen“ periodische Eindrücke in die Seitenmarkierung eingebracht werden. Nach ähnlichem Prinzip, welches jedoch auch bei bestehenden Fahrbahnen anwendbar ist, werden ähnliche Unebenheiten durch gezieltes Fräsen in die Randmarkierung eingebracht. Während diese beiden Ausführungsvarianten vorrangig in den USA angewandt werden, kommt in Deutschland die erhabene, durch Aufbringung von Strukturmarkierung erzeugte, profilierte Seitenmarkierung zum Einsatz. (vergleiche Bild 28)

Im Rahmen der Arbeit „Stochastische und periodische Unebenheiten auf Fahrbahnen“ untersuchte STEINAUER (1991) die schwingungstechnischen Grundlagen und erarbeitete eine erste Form für profilierte Randmarkierungen, welche heute bereits auf vielen Autobahnen eingesetzt und ständig weiterentwickelt werden. Im Jahr 2002 untersuchte beispielsweise TIEFENTHALER die unterschiedliche Lärmemission von strukturierter und profilierter Fahrbahnmarkierung. Ziel der Arbeit war es zum einen die Emissionen für Anwohner zu minimieren und gleichzeitig die Wirkung im Fahrzeug zu maximieren. Aktuell beschäftigt sich die Bundesanstalt für Straßenwesen mit der „Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB 24“. Sowohl der Einsatz dieser Form von Rüttel-elementen als auch die aktuellen Untersuchungen zur Optimierung der Herstellung und des Einsatzes



Bild 27: Gefräste "Rüttelstreifen" am Fahrbahnrand eines US-Highways



Bild 28: Beispiele für unterschiedliche Profil- und Strukturmarkierung (BITULEIT, ROSTRA, 2008)



Bild 29: Profilierte Mittelmarkierung (MORSCHHÄUSER, 1999)

bestätigen die positive Wirkung dieser Maßnahmen. Nicht zuletzt die technische Umsetzung der zu Grunde liegenden Idee durch Automobilhersteller in Form von „Lane-departure-warning-Systemen“, welche die Fahrbahnmarkierung detektieren und bei unbewusstem Verlassen der Fahrspur ein haptisches wie auch ein akustisches Signal bereitstellen, bestätigt dieses Konzept.

Im Hinblick auf die vorliegende Fragestellung unterscheidet sich die profilierte Randmarkierung jedoch in einem wesentlichen Punkt von den untersuchten Rüttelstreifen. Während hier eine Überfahrun und damit eine haptisch/akustische Warnung nur bei einem Fehlverhalten der Fahrzeugführer auftritt, soll das in Rahmen dieser Arbeit zu erarbeitende Konzept das gesamte Fahrerkollektiv erreichen. Lediglich in der Signalausprägung führt ein Fehlverhalten zu einer stärkeren haptischen und akustischen Beeinflussung.

2.7 Internationale Anwendungsbeispiele

Im Rahmen dieses Berichts können nicht alle untersuchten Anwendungsfälle beschrieben werden. Beispielhaft wird jedoch im Folgenden eine Auswahl der Rechercheergebnisse dargestellt.

2.7.1 Einsatz von Rüttelstrecken in Österreich

In Österreich ist derzeit keine normative Regelung zum Einsatz von Rüttelstreifen bekannt. Recherchen haben ergeben, dass in der Vergangenheit – ähnlich wie in vielen anderen Ländern – mit dem Einsatz von Rüttelstreifen bzw. Rüttelstrecken experimentiert wurde. BERGER beschreibt 1997 in einem Vortrag den Einsatz von Rüttelstreifen am Ausbauende einer Schnellstraße (S 4 zwischen Niederösterreich und dem Burgenland). Die Schnellstraße geht nach ca. 20 km in eine Landstraße ohne Mitteltrennstreifen über, beschreibt eine scharfe Rechtskurve und endet in einer T-Kreuzung mit der B50. Die plötzliche Trassenänderung führte in der Vergangenheit zu auffälligem Unfallgeschehen. Ein Großteil der Unfälle (ca. 70%) bestand aus Fahrzeugen, die die T-Kreuzung gerade überfahren (vergleiche Bild 30). Es ist davon auszugehen, dass die Fahrer das Ende der Strecke nicht bzw. zu spät wahrnahmen. Insgesamt viel auf, dass die Fahrer die Kreuzung mit überhöhter Geschwindigkeit anfahren und insbesondere bei Nässe nicht rechtzeitig zum Stillstand kamen.

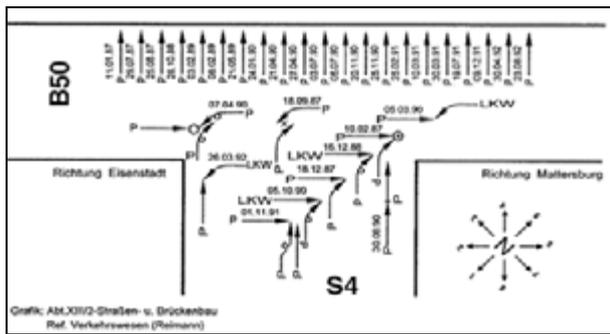


Bild 30: Unfallgeschehen B 50-S 4 in Österreich im Zeitraum von 01.1987 – 06.1992 (BERGER, 1997)



Bild 31: Querfräsungen auf der S 4 in Österreich (BERGER, 1997)

Als mögliche Gegenmaßnahme wurde eine Kombination aus verbesserter Anzeige und Rüttelstreifen gewählt. In einem Abstand von 350 Metern vor der Kreuzung wurde eine Überkopfsignalisierung installiert. Zusätzlich wurden mehrere Rüttelflächen von 50 Metern Länge und ca. 2 cm Tiefe mit einem Abstand von 100 Metern in die Straßenoberfläche gefräst, um unaufmerksame Fahrer durch den Rüttelkontakt zu warnen bzw. die Beschilderung durch auditive und haptische Signale zu unterstreichen (vergleiche Bild 31). Der Bereich der Kreuzung wurde in der gesamten Fläche aufgefäst. Dies hatte jedoch vorrangig die Verbesserung der Griffbarkeit bei Nässe zum Ziel.

Im Nachgang der Maßnahmenumsetzung wurde eine Unfallanalyse vorgenommen. Die Aussagen können auf Basis der langen Vergleichsräume (66 Monate vor der Maßnahme und 36 Monate nach der Maßnahme) als statistisch verlässlich angesehen werden. Es konnte ein deutlicher Rückgang der Unfälle von fast 90% verzeichnet werden. Darüber hinaus traten im Nachher-Zeitraum keine Unfälle mit Personenschäden auf. Die Kosten der baulichen Umsetzung haben sich nach den Berech-

nungen von BERGER (1997) innerhalb von weniger als 18 Monaten amortisiert. Aussagen des Autors zufolge wurde der Rüttelkontakt auf der Strecke gut spürbar in die Fahrzeuge übertragen. Eine Abnutzung der Fräskanten über die Zeit sollte jedoch durch ein „nachscharfen“ begegnet werden.

Bezogen auf die vorliegende Fragestellung zeigt diese Maßnahme das Potential von Rüttelstreifen zur Unfallreduktion. Eine genaue Wirkungsabgrenzung kann durch den parallelen Einsatz der Überkopfsignalisierung nicht vorgenommen werden.

2.7.2 Einsatz von Rüttelstreifen in Frankreich

In Frankreich werden Rüttelstreifen bereits seit Jahren erfolgreich angewendet. Auf Basis diverser Untersuchungen durch das S.E.T.R.A.¹¹ und das C.E.T.E. de Rouen¹² wurde vom Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports bereits im Juli 1986 ein Merkblatt (C03-18) zum Einsatz und zur Umsetzung von Rüttelstreifen veröffentlicht. Grundsätzlich wird die Anwendung von Rüttelstreifen positiv angesehen, wenn bestimmte Randbedingungen berücksichtigt werden. Die wesentlichen Inhalte des Merkblatts werden im Folgenden vorgestellt.

Rüttelstreifen werden gemäß Merkblatt C03-18 als statische Maßnahme zur Erhöhung der Aufmerksamkeit der Autofahrer vor bekannten Gefahrenstellen definiert. Die Alarmwirkung soll durch zwei Effekte erzeugt werden. Zum einen die visuelle und zum anderen die haptisch/akkustische Wirkung der Streifen. Ein direkter Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl wird nicht angestrebt – vielmehr soll die Aufmerksamkeit auf die bestehende Beschilderung erhöht und die Gefahr der Situation unterstrichen werden.

Als mögliche Anwendungsgebiete werden

- Annäherungsbereiche von Kurven,
- Annäherungsbereiche von Kreuzungen,
- unklare Vorfahrtsregelungen,
- verminderte Sichtverhältnisse vor Kreuzungen,
- Betonung von Geschwindigkeitsbegrenzungen und
- Annäherungsbereiche von Mautstationen

genannt.

¹¹ S.E.T.R.A.: Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements

¹² C.E.T.E. de Rouen: Centre d'Études Techniques de l'Équipement de Normandie Centre

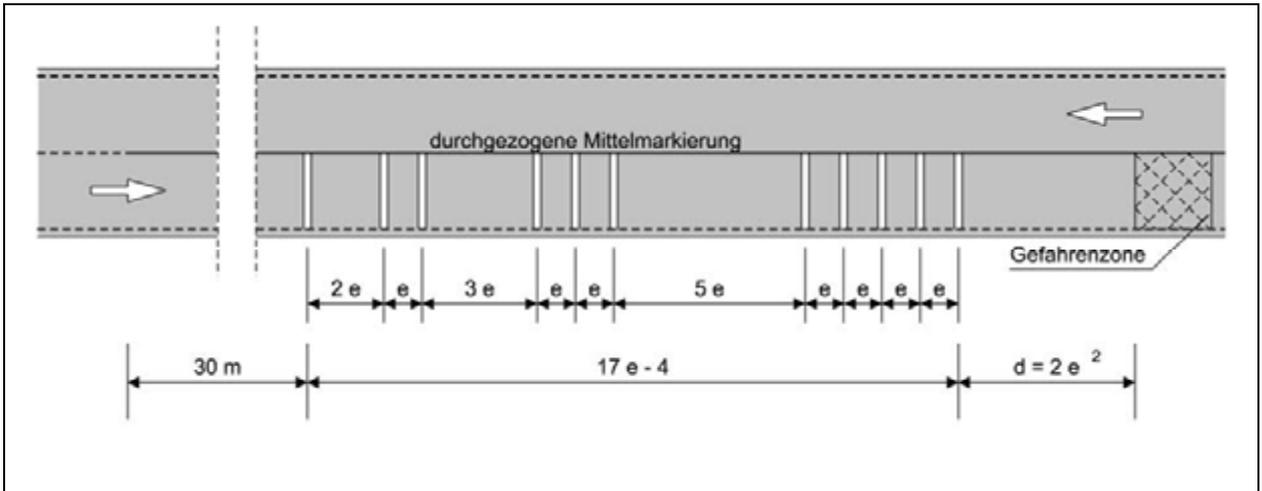


Bild 32: Regelzeichnung zur Anordnung von Rüttelstreifen in Frankreich (nach C03-18) (entsprechende Maße nach Tab. 4)

v_{15}	e [m]	D [m]	d [m]
$v_{15} < 80$	5	81	50
$80 < v_{15} < 100$	6	98	72
$v_{15} > 100$	7	115	98

Tab. 4: Regelmaße zur Anordnung von Rüttelstreifen in Frankreich (nach C03-18)

Die Rüttelstreifen können nach vorheriger Prüfung von u. a. dem Unfallgeschehen, des Geschwindigkeitsverhaltens und des allgemeinen Fahrerverhaltens nach den Empfehlungen des Merkblatts C03-18 installiert werden. Dabei soll der Einsatz der Rüttelstreifen jedoch gezielt und dosiert erfolgen, um eine übermäßige Verbreitung und damit einhergehenden Verlust der „Glaubwürdigkeit“ zu vermeiden. Bei der Planung und baulichen Umsetzung der Streifen ist der erhöhten Schallemission Rechnung zu tragen. Der Abstand zur nächsten wohnlichen Nutzung muss demnach mindestens 100 Meter betragen. Zusätzlich wird auf die Gewährleistung des Oberflächenabflusses hingewiesen.

Im Merkblatt C03-18 wird eine Vielzahl möglicher bautechnischer Ausführungsmöglichkeiten aufgeführt. Im Wesentlichen handelt es sich um Verfahren, die grobe Gesteinskörnungen (6/10-12/18) mit unterschiedlichen Bindemitteln (Bitumen, Epoxydharz, Thermoplaste etc.) in Streifenform auf die Fahrbahnoberfläche applizieren.

Die Rüttelstrecken bestehen im Allgemeinen aus 11 einzelnen Streifen, die mit definiertem Abstand

zueinander vor der entsprechenden Gefahrenstelle aufgebracht werden sollen. Die Breite eines einzelnen Streifens beträgt 50 cm und die Höhe ca. 1,5-2,5 cm. Die laterale Anordnung ist in Bild 32 dargestellt. Die Abstände zwischen den einzelnen Streifen sind abhängig von der v_{15} ¹³ und können Tab. 4 entnommen werden. Die Streifen werden grundsätzlich nicht über die gesamte Fahrbahnbreite verlegt, sondern lediglich in der betroffenen Fahrspur, um Gewöhnungseffekten entgegenzuwirken.

Zur Vermeidung möglicher unerwünschter Fahrmanöver wie beispielsweise plötzlichem Bremsen können zusätzliche Beschilderungen „Achtung Rüttelstreifen“ im Annäherungsbereich der Rüttelstrecke angebracht werden. Zusätzlich sollte die Mittelmarkierung bis ca. 30 Meter vor dem ersten Streifen durchgezogen werden, um möglichem Umfahren der Streifen entgegenzuwirken.

2.7.3 Einsatz von Rüttelstreifen in Spanien

In Spanien werden Rüttelstreifen vorrangig zur Steigerung der Aufmerksamkeit angewandt. Im Folgenden werden die Anforderungen und Ausführungskommentare aus Valencia (COMUNIDAD VALENCIA, 2006) beispielhaft vorgestellt. Im Rahmen dieses Merkblatts werden bzgl. der Entscheidungskriterien für oder gegen den Einsatz von Rüttelstreifen – wie beispielsweise Unfallgeschehen – keinerlei Einschränkungen oder Empfehlungen abgegeben. Demnach scheint der Einsatz von Rüttelstreifen ausschließlich auf den Erfahrungen und subjektiven Einschätzungen der Baulastträger zu liegen.

¹³ Als v_{15} wird hier die Geschwindigkeit bezeichnet, die von 15% der Fahrer überschritten wird. Diese ist gleichbedeutend mit der in Deutschland gebräuchlichen v_{85} .

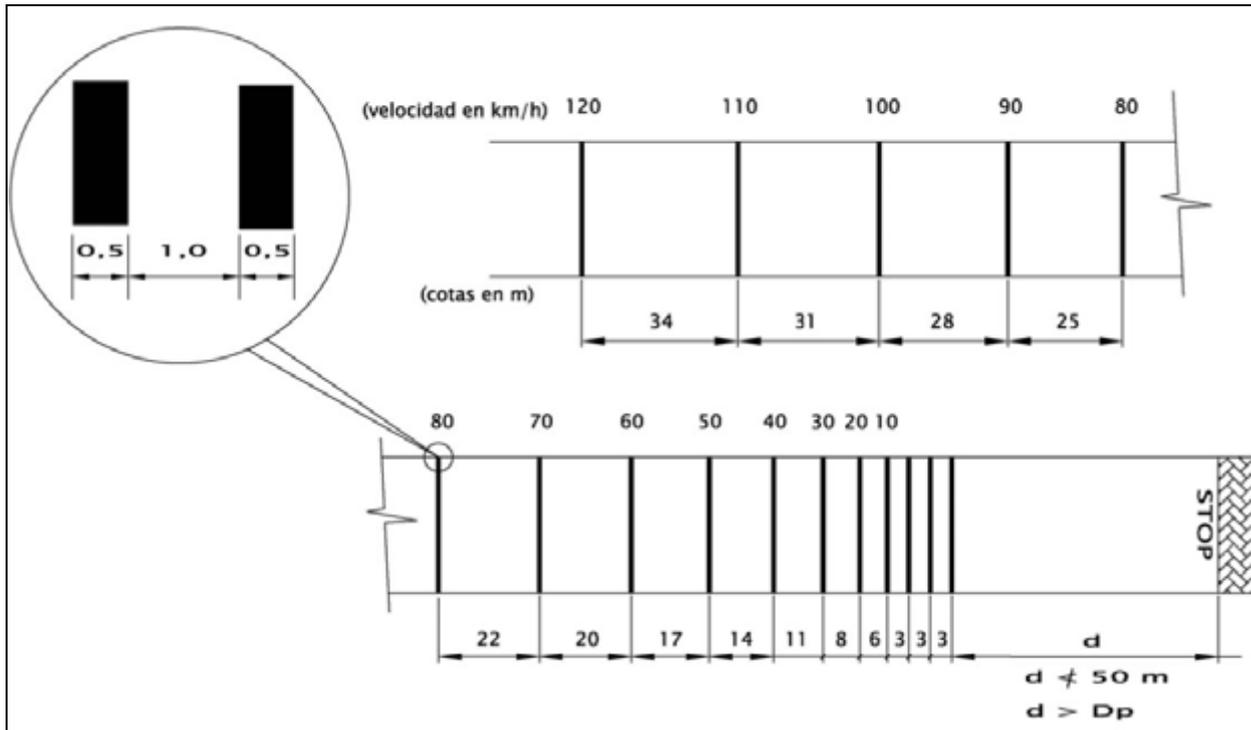


Bild 33: Abstände von Rüttelstreifen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit (COMUNIDAD VALENCIA, 2006)

Bei der Anordnung ist jedoch darauf zu achten, dass die Rüttelstreifen nicht in der Nähe von Wohngebieten anzuordnen sind. Des Weiteren soll der Einsatz in Kurven mit Radien kleiner 600 Meter vermieden werden und der letzte Streifen mindestens 50 Meter vor der Gefahrenstelle aufgebracht werden.

Nach den o. g. Empfehlungen werden bis zu 15 Gruppen von jeweils zwei Streifen mit einem Abstand von einem Meter im Vorfeld von Gefahrenstellen aufgebracht. Der Abstand zwischen den einzelnen Gruppen verringert sich mit kleiner werdender Entfernung von der Gefahrenstelle und ist abhängig von der Annäherungsgeschwindigkeit und der erwünschten Zielgeschwindigkeit (siehe Bild 33).

Die laterale Ausdehnung der Rüttelstreifen beträgt – ähnlich wie in den meisten anderen untersuchten Ländern 50 cm. Die Höhe wird auf 1,5 cm begrenzt, zum Fahrbahnrand hin wird eine Abflachung auf 0,5 cm als sinnvoll erachtet. In Querrichtung sollen die Rüttelstreifen – entgegen den Empfehlungen in Frankreich oder auch Dänemark – über die gesamte Fahrbahnbreite ausgeführt werden. Am Seitenrand ist für Radfahrer ein 75 bis 100 cm breiter Randstreifen frei zu lassen.

Die Rüttelstreifen können aus unterschiedlichen Materialien hergestellt werden. So kommen neben in Harz gebundenen groben Gesteinskörnungen

und Streifen aus polymeren Materialien auch Ausführungen in Asphalt zur Herstellung in Frage.

Hinsichtlich der verkehrlichen Kennzeichnung gilt, dass die Rüttelstreifen in weißer Farbe zu halten sind und auf Straßen ohne Randstreifen eine Beschilderung ca. 25 Meter vor dem ersten Streifen zu erfolgen hat. Auf Land- oder Schnellstraßen mit Seitenstreifen kann die Ankündigung durch Verkehrszeichen entfallen.

2.7.4 Einsatz von Rüttelstreifen in Dänemark

In Dänemark werden Rüttelstreifen auf Landstraßen bereits seit Jahren erfolgreich eingesetzt. Auch wenn es kein Forschungsvorhaben zur Überprüfung der Wirksamkeit gab, sind Ausführungsregeln in den nationalen Richtlinien aufgeführt.

In Dänemark werden zwei unterschiedliche Einsatzgebiete der Rüttelstreifen unterschieden:

- Steigerung der Aufmerksamkeit und
- Reduzierung der Geschwindigkeit.

Zur Steigerung der Aufmerksamkeit sollen zwei bis drei Rüttelstreifenpakete – jedes bestehend aus ca. fünf bis sechs einzelnen Streifen mit einem Einzelabstand von fünf Metern – im Abstand von 50 bis 100 Metern vor der Gefahrenstelle aufgebracht werden.

Zur Reduktion der Geschwindigkeit wird eine angepasste Ausführungsform – ähnlich der optischen Bremse – empfohlen. Sowohl der Abstand zwischen zwei Streifen, als auch die laterale Ausdehnung der Rüttelstreifenpakete ist gemäß Gleichung Gl. 1 und Gl. 2 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit zu wählen. Die Breite der einzelnen Streifen kann als fester prozentualer Anteil der Abstände zwischen den Streifen angenommen werden und liegt zwischen 10 und 100 cm. Bei Breiten größer 50 cm ist eine Unterbrechung des Streifens aus Entwässerungsgründen vorgeschrieben.

Abstand zwischen Rüttelstreifen:

$$L = 0,5 \cdot (V_i + (V_i - a \cdot t)) \cdot t \quad \text{Gl. 1}$$

mit	L	Abstand zwischen zwei Rüttelstreifen [m]
	V_i	Geschwindigkeit am ersten Streifen [m/s]
	a	Verzögerung [m/s ²] (i. d. R. 2 m/s ²)
	t	Fahrzeit zwischen zwei Streifen [s] (i. d. R. 0,5 bis 2,0 Sekunden)

Laterale Ausdehnung der Rüttelstrecke:

$$S = \sum L = 0,5 \cdot (V_i + V_u) \cdot \frac{V_i - V_u}{a} \quad \text{Gl. 2}$$

mit	S	Laterale Ausdehnung der Rüttelstrecke [m]
	L	Abstand zwischen zwei Rüttelstreifen [m]
	V_i	Geschwindigkeit am ersten Streifen [m/s]
	V_u	Zielgeschwindigkeit am letzten Streifen [m/s]
	a	Verzögerung [m/s ²] (i.d.R. 2 m/s ²)

Die Höhe der einzelnen Streifen liegt zwischen 1,5 und 3,0 cm. Die Streifen sollen aus Fahrbahnmarkierungsmaterial oder ähnlichen Produkten hergestellt werden. Die Farbe der Streifen darf weder weiß, blau noch gelb beinhalten, da diese Farben in Dänemark der Fahrbahnmarkierung vorbehalten sind.

Bis auf die Empfehlung, einen ausreichenden Abstand zu möglichen Anwohnern einzuhalten, um mögliche Lärmbelastigungen auszuschließen ergaben die Recherchen keine weiteren Angaben zur Anwendung von Rüttelstreifen. Angaben zur Beständigkeit bei unterschiedlicher Witterung bzw. hinsichtlich der mechanischen Beeinträchtigung durch Räumschilde des Winterdienstes werden nicht gemacht.

2.7.5 Einsatz von Rüttelstreifen in Großbritannien (praktische Grundsätze)

Rüttelstreifen stellen in Großbritannien eine standardisierte Maßnahme zur Entschärfung von Gefah-

renstellen und Reduktion von Geschwindigkeitsüberschreitungen dar. Die Ausführungsempfehlungen in England basierend weitgehend auf umfangreichen Studien (siehe 2.7.6).

Rüttelstreifen und Rüttelstrecken werden vorrangig in ländlichen Gegenden vor Gefahrenstellen wie beispielsweise Kurven und Einmündungen eingesetzt. Die Rüttelstreifen werden dabei nicht in Kurven mit Radien unter 1.000 Metern aufgebracht und zur Gefahrenstelle ist ein Mindestabstand von 50 Metern einzuhalten. In Querrichtung können die 1,6 cm hohen Streifen entweder über die ganze Fahrbahn, oder fahrfstreifenweise eingesetzt werden, wobei am Straßenrand ein 75 bis 100 cm breiter Streifen für Zweiradfahrer frei bleiben sollte. Es werden meist mehrere Gruppen in kleiner werdendem Abstand angeordnet. Mehrere Streifen mit einem Abstand zwischen 30 und 50 cm bilden dabei eine Gruppe. Auf diese Weise werden zwei bis vier Gruppen, in der Summe bis zu 50 einzelne Streifen aufgebracht. Die so ausgeführten Rüttelstreifen werden in der Regel aus thermoplastischen Kunststoffen hergestellt. Alternativ können Rüttelflächen (i. d. R. vier bis sechs) unterschiedlicher lateraler Ausdehnung hergestellt werden. Die Rüttelstrecken werden aus groben Gesteinskörnungen mit einem Größtkorn von 14 mm in Epoxydharz hergestellt.

2.7.6 Einsatz von Rüttelstreifen in Großbritannien (wissenschaftliche Untersuchung)

In Großbritannien wurden Rüttelstreifen seit dem „Federal Highway Act“ 1980 auf Außerortsstraßen experimentell angewendet, bis im Jahr 1993 das Transport Research Laboratory (TRL) eine erste Studie zum Einsatz und zur Wirkung von Rüttelstreifen veröffentlichte. Im Rahmen dieser ersten breit angelegten Studie (untersucht wurden 36 Ortslagen) wurde die Wirkung von Rüttelstreifen bzw. Rüttelstrecken auf Basis bestehender Ausführungen untersucht. Ziel war es, auf Basis dieser Daten die wirksamste Form von Rüttelstreifen zu identifizieren.

Nahezu 70 % der Untersuchungsstrecken befanden sich im Annäherungsbereich von Ortschaften. An diesen Stellen wurde i.d.R. die Geschwindigkeit von 96 km/h (60 mph) auf 48 bzw. 64 km/h (30 bzw. 40 mph) reduziert. Die Rüttelstreifen bzw. Rüttelstrecken bestanden aus unterschiedlichen Materialien. Neben in Epoxydharz gebundenen groben Gesteinskörnungen, Pflasterbelag und Thermoplasten waren zehn Untersuchungsstrecken mit Asphaltdeckschichten größerer Körnung (Größtkorn 14 mm) hergestellt. Die Höhe der ein-

zelen Einbauten bzw. Applikationen variierte zwischen 0,5 cm und 2,0 cm.

Während die Abstände bei den meisten Ausführungen zur Gefahrenstelle hin abnahmen, variierten die Abstände zwischen einzelnen Streifen und zwischen einzelnen Rüttelstreifenpaketen stark.

Die Abstände zwischen einzelnen Streifen betragen zwischen 20 cm und 5 m. Zwischen einzelnen Streifengruppen konnten Abstände zwischen 12 Metern und 70 Metern festgestellt werden. Die laterale Ausdehnung der einzelnen Streifen war mit 6,0 cm bis 10,0 cm eher kurz gewählt. Bild 34 und Bild 35 stellen beispielhaft zwei unterschiedliche untersuchte Bauformen dar.

Die Wirkung der einzelnen Installationen wurde mittels Geschwindigkeitsmessungen vor und nach Maßnahmenumsetzung ermittelt. Bei nahezu allen Untersuchungsfeldern konnten Rückgänge der v_{85} verzeichnet werden. Die Geschwindigkeitsdifferenz lag zwischen 1,5 km/h Zunahme und bis zu 20 km/h Abnahme der Geschwindigkeit. Im Mittel konnte eine Geschwindigkeitsreduktion von 5 km/h beobachtet werden. Insbesondere die hohen Geschwindigkeitsabnahmen traten jedoch bei Maßnahmen auf, die nur kurze Zeit (weniger als drei Monate) installiert waren und dann zurückgebaut werden mussten. Es ist davon auszugehen, dass diese hohen Geschwindigkeitsreduktionen auf Messungen innerhalb der Eingewöhnungsphase zurückzuführen sind. Auf lange Sicht wird die Wirkung der Rüttelstreifen schwächer (Gewöhnungseffekt). Eine Geschwindigkeitsreduktion konnte jedoch auch langfristig nachgewiesen werden. Die mittlere Geschwindigkeitsreduktion bei den Untersuchungsstrecken, die über längere Zeit betrieben wurden (24 Stück), lag bei 3,7 km/h. Der Gewöhnungseffekt konnte durch umfangreiche Geschwindigkeitsmessungen an ausgewählten Strecken bestätigt und quantifiziert werden (vergleiche Tab. 5 und Tab. 6).

Neben dem Geschwindigkeitsverhalten wurde an ausgewählten Strecken sowohl das Unfallgeschehen, als auch sonstiges Fahrerverhalten analysiert.

Zur Unfallanalyse wurden elf der 36 Strecken herangezogen. Bei nahezu allen elf Strecken wurde ein Vorher-Zeitraum von drei Jahren mit einem Nachher-Zeitraum von acht Monaten bis zu vier Jahren verglichen. Sieben Strecken verzeichneten einen Rückgang der Personenschäden, während jeweils zwei Strecken im Unfallgeschehen stagnierten bzw. leicht zunahmen. Insgesamt konnte ein durchschnittlicher Rückgang der Personenschäden um 27 % ermittelt werden. In dem vorliegenden Bericht von WEBSTER (1993) wird zusätz-

lich auf den ebenfalls am TRL durchgeführte Untersuchung von SUMNER/SHIPPEY (1977) verwiesen, in der sogar von einer Reduktion der Unfälle von bis zu 39 % ausgegangen wurde.

Bei den untersuchten Strecken wurden die Streifen entweder über die gesamte Fahrbahn oder über einen Fahrstreifen aufgebracht. Bei den Streifen, die lediglich über einen Fahrstreifen aufgebracht wurden, konnten unerwünschte Fahrmanöver beobachtet werden. Die Streifen wurden teilweise umfahren. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde dieses Phänomen weder quantifiziert, noch wurde differenziert, ob dieses Fahrerverhalten auch bei Gegenverkehr auftrat.

Darüber hinaus wurde mit dem „cattle-grid-effect“ ein weiteres Fahrmanöver beobachtet, welches gegenläufig zu der Intention von Rüttelstreifen steht. Zur Minimierung der Vibrationen beschleunigten vereinzelt Fahrer und führen so mit einer wesentlich höheren Geschwindigkeit über die Streifen als vorher. Plötzliches starkes Abbremsen konnte dagegen nicht beobachtet werden.



Bild 34: Rüttelstreifen aus thermoplastischem Material bei Hawley Village (WEBSTER, 1993)

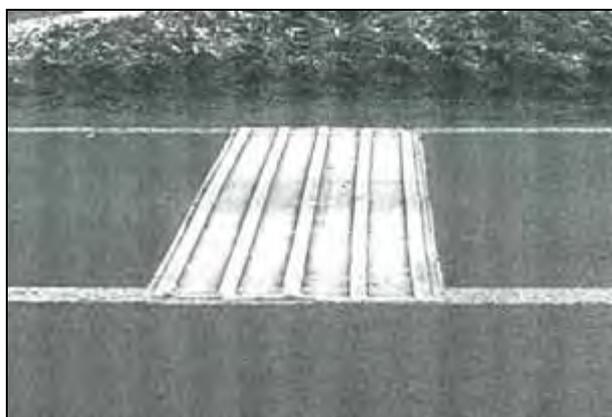


Bild 35: Rüttelrinne aus thermoplastischem Material bei Bour-ton-on-the-Hill (WEBSTER, 1993)

Tage nach Installation	Geschwindigkeitsreduktion	
	V_{85}	Mittlere Geschwindigkeit
4	12,9	18,2
19	12,9	16,9
53	9,7	11,4
84	9,7	10,8
115	6,4	10,6
143	7,2	9,5
178	5,6	8,9
281	8,9	8,9

Tab. 5: Geschwindigkeitsreduktion über die Zeit, Rüttelstrecke bei Dorket Head (nach WEBSTER, 1993)

Tage nach Installation	Geschwindigkeitsreduktion	
	V_{85}	Mittlere Geschwindigkeit
7	6,4	7,6
30 (1 Monat)	4,0	5,8
90 (3 Monate)	5,3	5,6
270 (9 Monate)	3,9	6,3
365 (1 Jahr)	4,0	4,8
730 (2 Jahre)	5,8	6,0
1095 (3 Jahre)	4,5	5,6

Tab. 6: Geschwindigkeitsreduktion über die Zeit, Rüttelstrecke bei Hawley (nach WEBSTER, 1993)

Die langjährigen Erfahrungen in Großbritannien mit Rüttelstreifen zeigen, dass Probleme mit der Geräuschemission auftreten können. Während der Untersuchung des TRL mussten sieben der 35 Untersuchungsstrecken (entspricht 20 %) auf Grund von starken Anwohnerbeschwerden über die erhöhte Lärmemission zurückgebaut werden.

An einzelnen Strecken wurden Schallpegelmessungen vorgenommen und ergaben eine Erhöhung des L_{10} (18 Stunden) um 1,2 dB(A) bis zu 6,0 dB(A). Informationen über den Messaufbau, und die Lage des Immissionsorts sind dem Bericht

nicht zu entnehmen. Eine Interpretation dieses Sachverhalts ist auf Basis der vorliegenden Daten nicht möglich. Als Ergebnis der Lärmmessungen wird empfohlen, die Rüttelstreifen nicht zu nah an Wohngebieten aufzubringen. WEBSTER (1993) schränkt diese Aussage jedoch selber ein. „Der Abstand der Rüttelstreifen zur Wohnbebauung ist wichtig, um zu ermitteln, ob es zu Beschwerden kommt. Die Geographie der Umgebung ist ebenfalls von entscheidender Bedeutung. Einige Baulastträger empfehlen den Einsatz der Rüttelstreifen auf Grund der Lärmemission nicht unter 250 Meter Entfernung von einzelnen Häusern. [...] Allerdings kann der Lärm von Rüttelstreifen auch bei größeren Abständen eine Beeinträchtigung darstellen. Es wurde davon berichtet, dass Rüttelstreifen auf Grund von Lärmbelästigung entfernt werden mussten, obwohl die nächste Bebauung 800 bis 1.500 Meter entfernt lag.“

Abschließend kommt die Studie von WEBSTER (1993) zu dem Schluss, dass Rüttelstreifen ein probates und vor allem kostengünstiges Mittel darstellen, um die Verkehrssicherheit lokal zu verbessern. Im Wesentlichen wird die Hauptwirkung der Streifen von WEBSTER (1993) allerdings nicht der geschwindigkeitsdämpfenden Wirkung, sondern vielmehr der Steigerung der Aufmerksamkeit zugeschrieben. Die beobachtete Problematik der Lärmemission führt zu der Forderung von Weiterentwicklung und dezidiertem Untersuchung dieses Phänomens.

Im Jahr 2002 veröffentlichte das TRL eine Studie von WATTS/STAIT/GODFREY, die diesen Forderungen nachgeht: „Development of novel traffic calming surface ‚Rippleprint‘“. Ziel der Studie von WATTS/STAIT/GODFREY (2002) war die Entwicklung einer neuartigen Fahrbahnoberfläche als Ersatz für die herkömmlichen Rüttelstreifen, die sowohl größere Wirkung hinsichtlich der Geschwindigkeitsreduktion, als auch geringere externe Schallpegel erzeugt.

Grundlage des Entwurfsdesigns von WATTS/STAIT/GODFREY (2002) war die Annahme, dass lediglich die hochfrequenten Anregungen zu einer merklichen Steigerung der externen Schallimmission führen. Diese sollten demnach vermieden werden. Die Hauptanregung im Innenraum soll gemäß WATTS/STAIT/GODFREY (2002) durch horizontale Anregungen erzeugt werden. Diese wird derzeit kaum durch die Fahrzeugindustrie gedämpft und setzt im Fahrzeuginnenraum eine merkliche Vibration und Schallpegelerhöhung frei. Als zielführende Anregungsform wurde ein Sinusverlauf der Oberfläche angenommen (vergleiche Bild 36). In messtechnischen Vorver-

suchen wurden in Zusammenarbeit mit Industriepartnern Oberflächen mit unterschiedlichen Wellenlängen zwischen 5 cm und 4,4 Metern hergestellt und mit einem ausgewählten Fahrzeugkollektiv überfahren. Diese Fahrten wurden mit Schwingungs- und Akustikmessungen im Fahrzeuginnen und mit externen Schallpegelmessungen im Abstand von 7,5 und 30 Metern durchgeführt.

Zusätzlich wurden Untersuchungen zum Handling, zum Fahrerverhalten und psychologische Tests zum Schwingungs- und Schallempfinden durchgeführt (siehe Bild 37). Die Länge der einzelnen Testbeläge betrug 20 Meter und die Breite einen Meter, so dass eine Spur des Fahrzeugs angeregt wurde. Das endgültige Design wurde abschließend auf voller Breite von 3,00 Metern getestet. Die maximale Höhe des Rippleprints betrug bei allen Versuchen zwischen 0,4 cm und 0,84 cm.

Als Bewertungshintergrund der messtechnischen Untersuchung wurden die maximalen Werte des A-bewerteten Innenraumpegels (über 0,5 Sekunden gemittelt), der RMS-Wert der Innenraumvibrationen und die maximalen Werte des A-bewerteten Außenpegels im Abstand von 7,5 und 30 Metern (über 0,5 Sekunden gemittelt) herangezogen (vergleiche Bild 38 und Bild 39). Im Rahmen der messtechnischen Vorversuche stellte sich eine Wellenlänge von 35 cm als optimal dar.

Zusätzlich zu der messtechnischen Untersuchung wurden Probandenbefragungen durchgeführt. Die Fahrer sollten auf einer Skala von 0 (nicht bemerkbar) bis 6 (stark bemerkbar) die Wirkung des Rippleprints im Fahrzeug bewerten. Einzelne Ergebnisse dieser Befragung sind in Bild 40 dargestellt. Neben der Probandenbewertung von Fahrzeuginnengeräuschen wurden analoge Bewertungen (auf einer Skala von 0 (nicht lästig) bis 9 (sehr lästig) der Außengeräusche vorgenommen (siehe beispielhafte Darstellung in Bild 41).

Herkömmliche Rüttelstreifen (3F) werden sowohl bei den Innenraumwirkungen, als auch bei der Wirkung nach Außen am stärksten bewertet (siehe Bild 41 und Bild 42). Die neu entwickelten Oberflächen werden in ihrer Wirkung tendenziell niedriger bewertet. Inwieweit diese Unterschiede statistisch signifikant sind, wurde aus dem vorliegenden Bericht nicht ersichtlich.

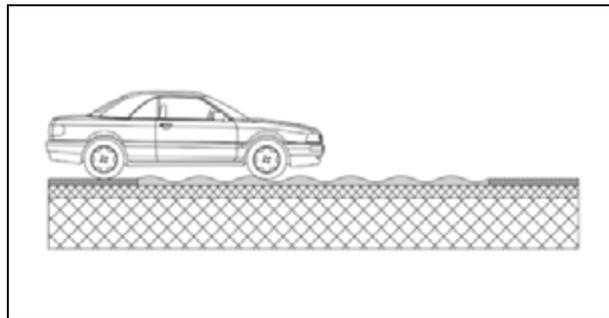


Bild 36: Funktionsskizze Rippleprint



Bild 37: Rippleprint Vorversuche Zweiradhandling (BENDTSEN, 2008)

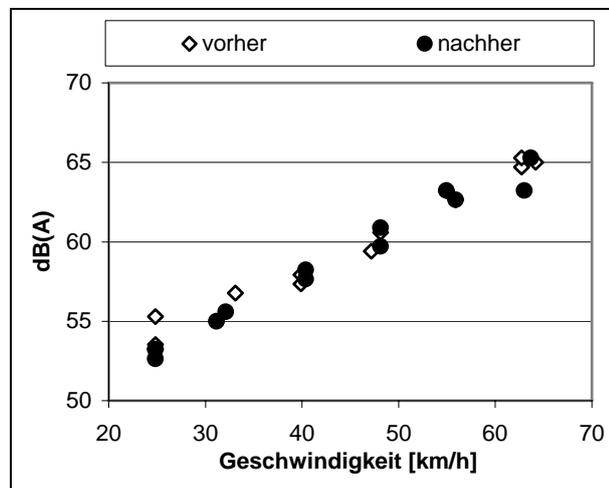


Bild 38: Externer Geräuschpegel im Abstand von 30 Metern, Variante 3D (Sinusprofil mit Wellenlänge = 35 cm und Amplitude = 0,41 cm (nach WATTS/STAIT/GODFREY, 2002)

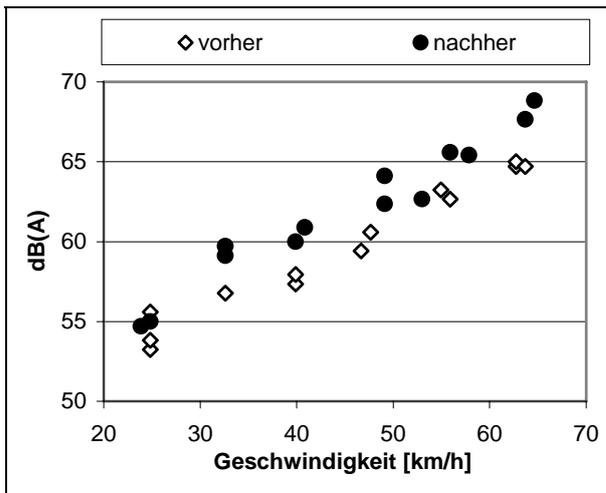


Bild 39: Externer Geräuschpegel im Abstand von 30 Metern, Variante 3F (herkömmliche Rüttelstreifen) (nach WATTS/STAIT/GODFREY, 2002)

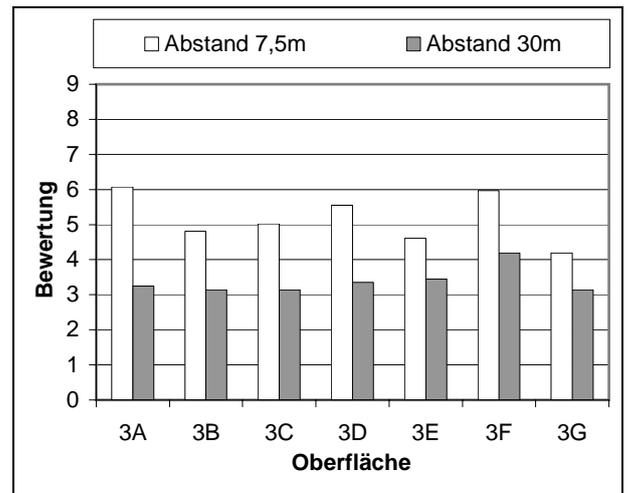


Bild 41: Mittlere Bewertung der Belästigung/Störung durch die unterschiedlichen Oberflächen „Innen“, Fahrzeug: Ford Mondeo (nach WATTS/STAIT/GODFREY, 2002)

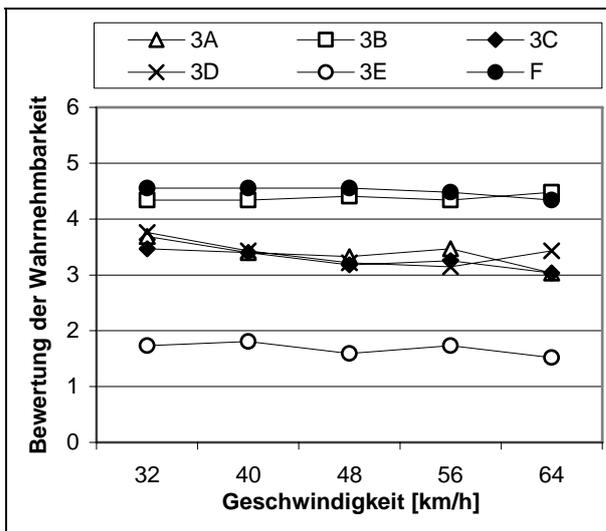


Bild 40: Probandenbewertung der Bemerkbarkeit unterschiedlicher Fahrbahnbeläge im Fahrzeuginnenraum von Mittel- und Oberklassefahrzeugen (nach WATTS/STAIT/GODFREY, 2002) Varianten 3A bis 3E: Sinusprofile unterschiedlicher Wellenlänge Variante 3F: herkömmliche Rüttelstreifen (nicht näher präzisiert)

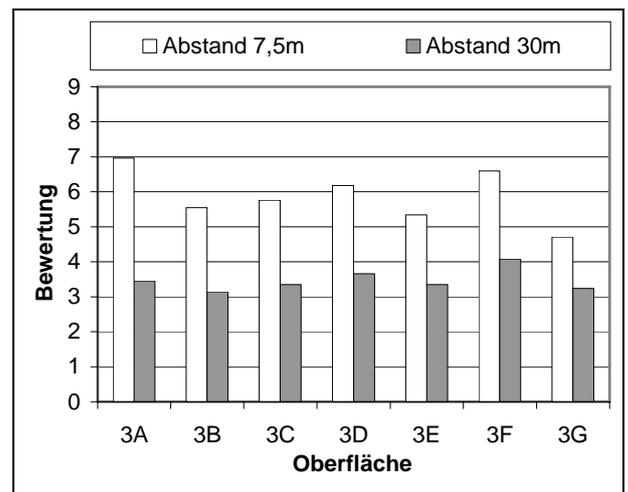


Bild 42: Mittlere Bewertung der Belästigung/Störung durch die unterschiedlichen Oberflächen „Außen“, Fahrzeug: Ford Mondeo (nach WATTS/STAIT/GODFREY, 2002)

Auf Basis der durchgeführten messtechnischen Analysen und den Probandenbewertungen wurde eine optimierte Bauform des „Rippleprints“ auf zwei Straßen im öffentlichen Verkehrsraum aufgebracht (siehe Bild 43). Die zugehörige vom TRL erstellte Ausführungsempfehlung zeigt Bild 44. Auf beiden Straßen wurde die zulässige Höchstgeschwindigkeit von ca. 64 km/h (40 mph) auf ca. 48 km/h (30 mph) reduziert¹⁴. Die bauliche Ausführung wurde im Gegensatz zu den Vorversuchen durch jeweils ein Meter lange Rampen am Anfang

¹⁴ Der Anwendungsbereich des „Rippleprints“ liegt damit unter dem im vorliegenden Forschungsprojekt untersuchten Geschwindigkeitsbereich.



Bild 43: Rippleprint Feldversuche (BENDTSEN, 2008)

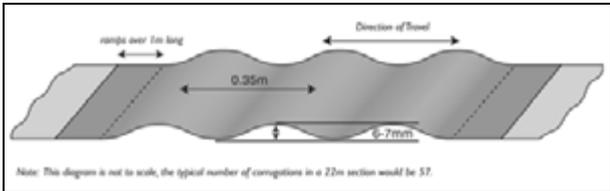


Bild 44: Empfehlung zur Ausführung von "Rippleprint" (TRL, 2005)

und am Ende des 20 Meter langen „Rippleprint“ ergänzt. Die Versuchsfläche wurde rot eingefärbt, um eine zusätzliche visuelle Unterstützung der Wirkung hervorzurufen.

In Anlehnung an die messtechnischen Vorversuche wurden externe Schallpegelmessungen durchgeführt. In einem Vergleich zwischen „Vorher“ und „Nachher“ wurden Änderungen zwischen +7,8 dB(A) und -5,3 dB(A) an den nächst gelegenen Hausfassaden (Entfernung zur Teststrecke 13 bzw. 22 Meter) gemessen. Eine exakte Zuordnung der Geräuschemissionen zu den Versuchsfeldern konnte gemäß WATTS/STAIT/GODFREY (2002) nicht erfolgen. Die starken Schwankungen der Ergebnisse werden auf meteorologische Effekte zurückgeführt. Eine belastbare Aussage zur Änderung der Emissionsbelastung durch den neu entwickelten „Rippleprint“ ist nicht möglich.

Zusätzlich zur Immissionsmessung wurde die verkehrliche Wirkung mittels Geschwindigkeitsmessungen überprüft. Im Vergleich zum Zeitraum vor Maßnahmenumsetzung konnte an beiden Versuchsfeldern ein Rückgang sowohl der mittleren Geschwindigkeit, als auch der v_{85} beobachtet werden. Die Reduktion lag zwischen 0,3 km/h und 2,6 km/h. Der Anteil der Geschwindigkeitsübertreter sank ebenfalls leicht von 60 % auf 56 % bzw. von 55 % auf 52 %. Erweiterte Untersuchungen

der Polizei, bei denen lediglich die frei fahrenden Verkehrsteilnehmer mit Radarpistolen gemessen wurden, kamen auf eine Reduktion der Geschwindigkeitsübertreter von 61 % auf 33 % bzw. einen mittleren Geschwindigkeitsrückgang von ca. 5,3 bzw. 6,1 km/h. Aufgrund einer fehlenden Beschreibung beider Messmethoden sowie möglicher Verfälschungen durch eine selektive Auswahl bei der Messung durch die Polizei können die Unterschiede in den Ergebnissen nicht weiter interpretiert werden. Aufgrund der deutlich größeren Stichprobe der wissenschaftlichen Untersuchung (11.000 bzw. 40.000 Messwerte gegenüber 151 bzw. 185) ist eher von einer geringeren verkehrlichen Wirkung auszugehen.¹⁵

Neben den messtechnischen Untersuchungen des Verkehrskollektivs und der Schallemissionen wurde eine Befragung der Anwohner, der Passanten und ausgewählter Verkehrsteilnehmer durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Befragungen scheinen inkonsistent und spiegeln das unterschiedliche subjektive Empfinden einzelner Personen wieder. Beispielsweise wurde die Geräuschemission von einzelnen Anwohnern als stark angestiegen und von anderen als leicht rückgängig bezeichnet. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs wird auf die Ergebnisse der Umfrage nicht weiter eingegangen.

Für die der vorliegenden Studie zugrunde liegende Fragestellung können die Ergebnisse der TRL Untersuchung nur bedingt herangezogen werden. Zum einen widerspricht die aufwändige Konstruktion der Forderung nach einer kostengünstigen und schnell realisierbaren Maßnahme und zum anderen betreffen die Ausführungsempfehlungen einen Geschwindigkeitsbereich deutlich unterhalb den erwarteten Geschwindigkeiten im Außerortsbereich.

¹⁵ Insgesamt muss festgehalten werden, dass die wissenschaftlichen Geschwindigkeitsmessungen mit Schlauchmesssystemen durchgeführt wurden. Bei beiden Messverfahren wurden keine Angaben zur Messgenauigkeit bzw. zur Genauigkeit bei der weiteren Verarbeitung der Daten gemacht. Die Geschwindigkeitsverteilungen in der Veröffentlichung von WATTS/STAIT/GODFREY (2002) sind in Klassenbreiten von 5 mph also 8 km/h angegeben.

2.7.7 Einsatz von Rüttelstreifen in den USA am Beispiel Texas

In den USA ist der Einsatz von Rüttelstreifen ähnlich verbreitet wie in Großbritannien. Beispielhaft für die Vielzahl an Ausführungsempfehlungen der einzelnen Bundesstaaten wird hier der Einsatz von Rüttelstreifen in Texas vorgestellt.

Vorrangig dienen Rüttelstreifen in Texas der Erhöhung der Aufmerksamkeit vor Unstetigkeitsstellen und Gefahrenpunkten auf Highways. Im Rahmen einer Untersuchung des „Department of Transportation Texas“ wurden vorläufigen Vorschläge zur Anordnung von Rüttelstreifen gemäß Bild 46 und Bild 47 erstellt.

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Ausführungsvarianten kommen in Texas (und allgemein in den USA) vorgefertigte Rüttelstreifen aus thermoplastischen Kunststoffen zum Einsatz, die auf die Fahrbahn aufgeklebt werden (siehe Bild 45). Diese Streifen mit einer Länge von 1,20 Metern verlaufen dabei weder über die gesamte Fahrbahn noch über einen Fahrstreifen, sondern werden lediglich in der Radspur aufgebracht.



Bild 45: Aufbringung vorgefertigter Rüttelstreifen in den USA

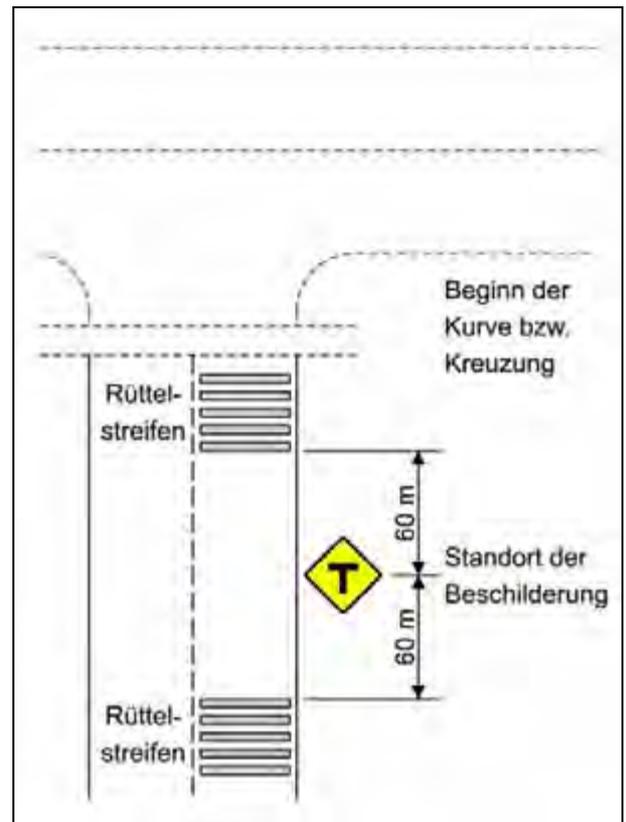


Bild 46: Vorläufige Anordnungsempfehlung Texas (USA): örtliche Lage der Rüttelstreifenpakete

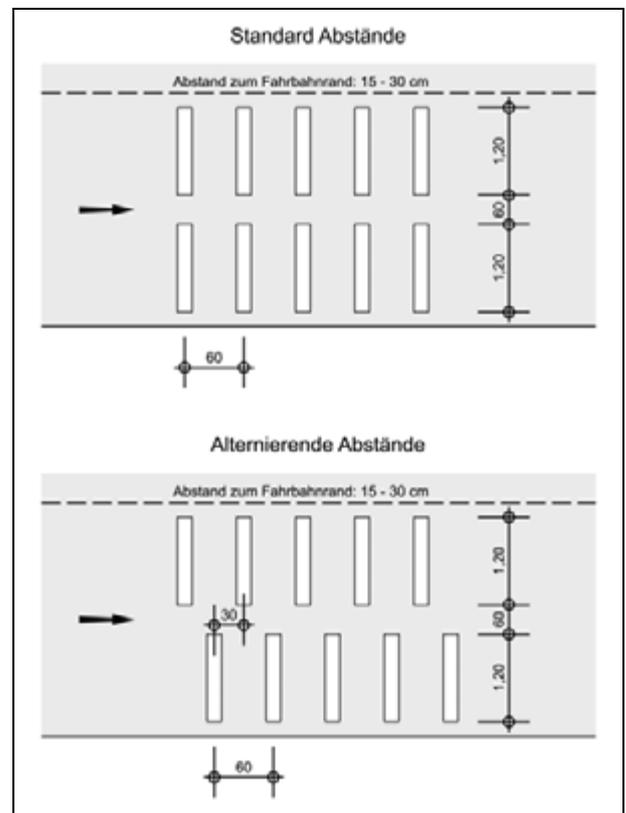


Bild 47: Vorläufige Anordnungsempfehlung Texas (USA): Ausführungsdetails der Rüttelstreifenpakete

2.8 Zusammenfassung vorgestellter Ausführungsvarianten und wissenschaftlicher Erkenntnisse

Die Recherchen zu Rüttelstreifen haben gezeigt, dass sowohl die Ausführungsformen als auch die Wirkung von Rüttelstreifen variieren.

Das Einsatzgebiet von Rüttelstreifen umfasst meist

- gefährliche Kurven,
- gefährliche Kreuzungen und
- Unfallschwerpunkte.

In den meisten Ländern wird ein Mindestabstand zwischen den letzten Rüttelstreifen und der eigentlichen Gefahrenstelle gefordert. Dieser liegt meist bei 50, vereinzelt bei bis zu 150 Metern.

In lateraler Richtung (d. h. in Fahrtrichtung) sind zwei Anordnungsformen besonders verbreitet. Zum einen die Anordnung in Gruppen gleichen Abstands und zum anderen die Anordnung in Gruppen mit steigender Anzahl und Verringerung des Abstands untereinander mit abnehmendem Abstand zur Gefahrenstelle. Die Abstände zwischen einzelnen Streifen betragen je nach Variante zwischen 20 cm und 7 m.

Die Breite der einzelnen Streifen variiert stark. Je nach Einsatzort und Land sind Breiten zwischen wenigen Zentimetern und mehreren Metern gängig. Am häufigsten sind Streifenbreiten von ca. 50 cm vertreten.

Als Grundmaterialien werden zumeist

- thermoplastische Materialien oder
- in Epoxydharz gebundene Gesteinskörnungen verwendet.

Hinsichtlich der Wirkung von Rüttelstreifen auf das Fahrerverhalten liegen sowohl

- die reine Steigerung der Aufmerksamkeit, als auch
- die aktive Beeinflussung der Geschwindigkeit

im Fokus der Anwender. Wissenschaftliche Studien und Untersuchungen der Straßenbehörden haben nachgewiesen, dass Geschwindigkeitsreduktionen zwischen 1 und 7 km/h möglich sind. Die meisten Untersuchungen dieser Art sind jedoch nicht statistisch abgesichert bzw. für eine weitere wissenschaftliche Bewertung nicht hinreichend dokumentiert. Hinsichtlich der direkten Wirkung auf das Unfallgeschehen sind ebenfalls einzelne Untersuchungen durchgeführt worden. Aufgrund mangelnder Aktualität der Untersuchungen

sowie kurzen Analysezeiträumen wurde auf die vertiefende Darstellung im Rahmen dieses Berichts verzichtet. Tendenziell wurde jedoch in allen Untersuchungen eine Reduktion der Unfälle ermittelt. Diese lag in der Größenordnung von 5 % bis zu 30 %.

Neben den Vorzügen von Rüttelstreifen wurde in einzelnen Ländern auch von negativen Erfahrungen berichtet, bzw. konnten bestimmte Probleme nicht abschließend geklärt werden. Dies betrifft insbesondere unerwünschtes Fahrerverhalten, wie

- plötzliches Abbremsen,
- Erhöhung der Geschwindigkeit zur Minimierung der Schwingungsbelastung sowie
- Umfahren der Rüttelstreifen.

Ein sehr unterschiedlich beschriebenes Problem stellt die externe Lärmemission durch die Rüttelstreifen dar. Während in den USA kaum Einschränkungen bzgl. des Einsatzes der Elemente gemacht werden, mussten in stärker zersiedelten Gebieten, wie beispielsweise England, einige der Rüttelstreifen auf Grund von Anwohnerbeschwerden zurückgebaut werden. Messtechnische Überprüfungen zeigten jedoch keine oder nur geringe Änderungen des Schallpegels. Anwohnerreaktionen zeigten deutliche Unterschiede in der subjektiven Bewertung. Einige Anwohner empfanden eine erhebliche subjektive Lärmzunahme, andere eine Belästigung durch die Frequenz der auftretenden Geräusche während wieder andere die Beeinträchtigung als gering erachteten.

3 Theoretische Grundlagen

Ziel des Forschungsprojekts ist die Entwicklung von Fahrbahnbelägen zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl von Fahrzeugführern. Insbesondere die Fahrzeuge, deren Zielgeschwindigkeit deutlich über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit liegt sollen vorrangig beeinflusst und so eine Reduzierung der gewählten Fahrgeschwindigkeit dieses Kollektivs erreicht werden. Die Maßnahme soll dabei vor allem schnell umsetzbar, kostengünstig, dauerhaft haltbar und wartungsarm sein. Insbesondere die gezielte Beeinflussung des Teilkollektivs der „Schnellfahrer“ erfordert eine dezidierte Kenntnis und weitere Untersuchung der theoretischen Grundlagen wie beispielsweise Sinneswahrnehmung der Fahrer sowie Schwingungsverhalten und Innenraumakustik von Fahrzeugen. Gemäß der vorgestellten Methodik wird die Wirkung von Rüttelstreifen auf das Geschwindigkeitsverhalten nicht ausschließlich experimentell analysiert. Im Rahmen der Vorkonzeption der Streifen-

form und -anordnung fließen neben den Erkenntnissen aus der zuvor beschriebenen Analyse des technischen Stands theoretische Grundlagen aus dem Bereich der Akustik und Haptik in das Design ein. Im Vordergrund steht hierbei die Wirkung auf den Menschen. Die theoretischen Grundlagen werden im Folgenden – zu Gunsten der Allgemeinverständlichkeit teilweise stark vereinfacht – dargestellt.

3.1 Sinneswahrnehmung des Fahrers

Die Sinneswahrnehmung des Fahrers ist der Schlüssel zu dessen Beeinflussung. Der Mensch nimmt seine Umwelt permanent über alle seine Sinne wahr. In der Psychologie und Physiologie bezeichnet die (Sinnes-)Wahrnehmung die Summe der Schritte:

- Aufnahme,
- Interpretation und
- Auswahl und Organisation

von sensorischen Informationen (Und zwar nur jener Informationen, die zum Zweck der Adaption (Anpassung) des Wahrnehmenden an die Umwelt oder deren Modifikation aufgenommen werden).

Unterschieden werden u. a. die Wahrnehmungsarten

- visuelle Wahrnehmung,
- auditive Wahrnehmung,
- haptische Wahrnehmung,
- kinästhetische Wahrnehmung und
- taktile Wahrnehmung.

Für die aktive Fahrerbeeinflussung spielen insbesondere die ersten drei Wahrnehmungsarten eine Rolle, wobei die Verkehrsteilnehmer bisher vorrangig über visuelle Reize beeinflusst wurden. Die auditive Beeinflussung beschränkt sich derzeit auf Verkehrsfunk und akustische Warnsignale (beispielsweise „Hupen“). Die haptische Wahrnehmung wurde zur Beeinflussung gar nicht oder nur in Ausnahmefällen (Verkehrsbeeinflussung im Innerortsbereich, speziell in „Zone 30“ – Bereichen) berücksichtigt.

Neuere Ansätze ziehen die haptische Wahrnehmung ebenfalls zur Fahrerbeeinflussung heran. Strukturierte Seitenmarkierungen oder in die Fahrzeuge implementierte Fahrerassistenzsysteme wirken über haptische Reize und unterstreichen so die Dringlichkeit von visuellen Aussagen.

Im Folgenden werden grundlegende Wirkungsweisen und Zusammenhänge der auditiven und haptischen Wahrnehmung erläutert.

3.2 Akustik

Das menschliche Gehör deckt einen Schalldruckbereich von ca. 130 dB und den Frequenzbereich zwischen 16 Hz und 20 kHz ab. Schalldruckdifferenzen können dabei ab 1 dB wahrgenommen werden. Eine Änderung von 10 dB entspricht ca. einer Verdopplung bzw. Halbierung der subjektiv empfundenen Lautstärke.

3.2.1 Grundbegriffe der Akustik

„Physikalisch gesehen kann man die Akustik als die Lehre von den mechanischen Schwingungen in festen, flüssigen und gasförmigen Medien definieren.“ (VEIT, 2005) Die wichtigsten physikalischen Größen der Akustik sind Tab. 7 zu entnehmen.

Größe	Formelzeichen	Einheit
Schalldruck	p	N/m^2
Schallschnelle	v	m/s
Schallfluss	q	m^3/s
Schallintensität	J	W/m^2
Schalleistung	P_a	W
Schallstrahlungsdruck	II	N/m^2

Tab. 7: Physikalische Größen der Akustik (nach VEIT, 2005)

„In der Akustik werden die linearen Schallfeldgrößen (Schalldruck und Schallschnelle) und die Schalleistung üblicherweise nicht unmittelbar gemessen und angegeben. Die dabei auftretenden Zahlenwerte würden größenordnungsmäßig zu weit auseinander liegen, so dass ihre praktische Handhabung sehr umständlich wäre. [...] Man hat daher auch in der technischen Akustik absolute Pegel eingeführt, insbesondere den Schalldruckpegel und den Schalleistungspegel.“ (VEIT, 2005)

Schalldruckpegel und Schalleistungspegel haben die Einheit Dezibel (dB) und sind die am weitesten

verbreiteten Größen in der angewandten Akustik. Sie sind wie folgt definiert:

Schalldruckpegel L:

$$L = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} \quad \text{Gl. 3}$$

- Mit L Schalldruckpegel [dB]
- p Schalldruck [N/m²]
- p₀ 2·10⁻⁵ N/m² Bezugsschalldruck (Schalldruck an der Hörschwelle des Menschen bei 1.000 Hz) [N/m²]

Schalleistungspegel:

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{P_a}{P_{a0}} \quad \text{Gl. 4}$$

- mit L_p Schalleistungspegel [dB]
- P_a die von einer Schallquelle abgestrahlte Schallleistung [W]
- P_{a0} 10⁻¹² W Bezugsschallleistung [W]

Schalldruckpegel L und Schalleistungspegel L_p sind somit Verhältnissgrößen. Das Verhältnis zwischen Schalldruckpegel und Schalldruck kann auch über das Monogramm nach Bild 48 direkt abgelesen werden. Da sich der Schalldruckbereich, den das menschliche Gehör wahrnehmen kann, über einen weiten Bereich erstreckt (beispielsweise bei 1000 Hz von 2 · 10⁻⁵ N/m² bis 20 N/m²), wird hierfür der logarithmische Maßstab verwendet.

Neben den Größen aus Tab. 7 hat die Frequenz der Schwingung einen entscheidenden Einfluss auf die Akustik. Mechanische Wellen unterschiedlicher Frequenzen lassen sich in drei Hauptkategorien einteilen:

- Erschütterung oder Beben (extrem niederfrequente Schwingungen) (Infraschall)
- Schall (mittelfrequente Schwingungen)
- Ultraschall (hochfrequente Schwingungen)

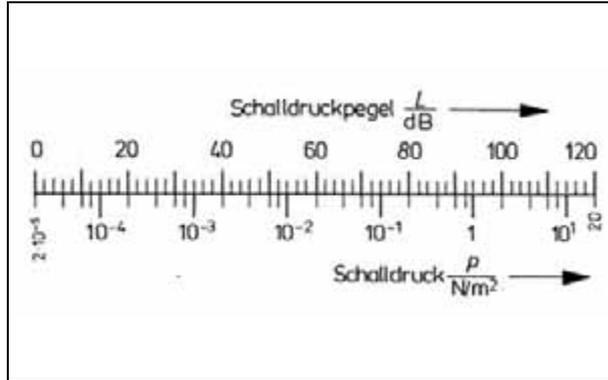


Bild 48: Schalldruck-Schalldruckpegel-Umrechnung (VEIT, 2005)

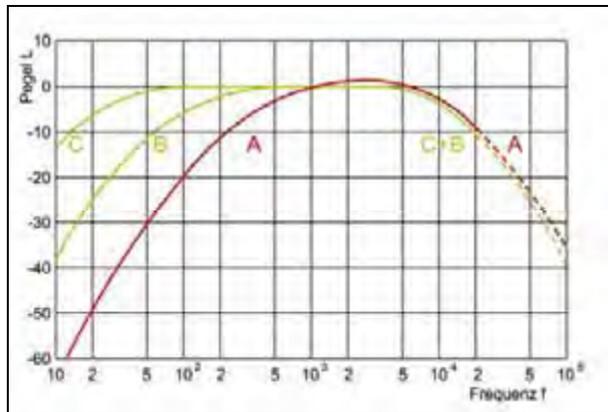


Bild 49: International festgelegte Bewertungskurven für Schallpegelmessung mit den Bewertungsfiltren A, B und C gemäß IEC (nach VEIT, 2005)

Das menschliche Gehör ist nicht in jedem dieser Frequenzbereiche gleich empfindlich. Diesen Sachverhalt berücksichtigen heute Mess- und Auswertesysteme durch einen Bewertungsfiler (A, B oder C). Die international festgelegten Bewertungskurven sind in Bild 49 dargestellt. Die größte Empfindlichkeit des menschlichen Ohrs liegt im Frequenzbereich zwischen etwa 700 und 6000 Hz (siehe VEIT, 2005). Versuche haben ergeben, dass in der Regel zwischen ca. 1000 – 4000 Hz das Maximum der Gehörempfindlichkeit liegt. Weitere Berücksichtigung finden die Frequenzverteilungen des Schalls vor allem in der Psychoakustik.

3.2.2 Psychoakustik

Die im Kapitel 3.2.1 erläuterten akustischen Grundlagen sind im speziellen für Laien schwer zu verstehen bzw. zu interpretieren. Da akustische Parameter in der Regel bezüglich ihrer Auswirkung auf den menschlichen Organismus betrachtet werden, wurden die wichtigsten Parameter in so genannten „Psychoakustischen Messgrößen“ (Sound Quality) zusammengefasst. Der Begriff Messgrö-

ßen ist dabei irritierend, da es sich um abgeleitete Kenngrößen und nicht um native Messwerte handelt. Basierend auf Messungen u. a. des Schalldrucks und der Frequenzzusammensetzung werden nach ZWICKER (1981) folgende psychoakustischen Größen abgeleitet:

- Lautheit [sone] (wahrgenommene Lautstärke),
- Schärfe [acum] (Anteil der hohen Frequenzen),
- Schwankungsstärke [vacil] und
- Rauigkeit [asper] (hörbare Modulationen im Geräusch wie beispielsweise Rattern oder Surren).

Des Weiteren werden häufig die Parameter Tonhaltigkeit und Impulshaftigkeit zu den psychoakustischen Parametern gezählt.

Den größten Einfluss bei der Ermittlung des „auditiven Komforts“ haben die beiden Parameter Lautheit und Schärfe. Diese werden wie folgt beschrieben:

Lautheit

- „Die Empfindungsgröße der zur Schallstärke gehörenden Intensitätsempfindung ist die Lautheit. Sie wird bestimmt durch Beantwortung der Frage, wievielmals lauter oder leiser ein zu messender Schall im Vergleich zu einem Standardschall ist. Dabei wird von der Versuchsperson entweder ein Verhältnis gesucht oder über ein Verhältnis von Empfindungsgrößen eine Aussage getroffen. Die so gefundene Empfindungsgröße wird daher genauer als Verhältnislautheit bezeichnet.“ (VEIT, 2001)

Schärfe

- Schärfe ist eine Größe, die bei schmalbandigen Geräuschen auftritt. Hierbei handelt es sich um eine Verhältnissgröße zwischen hohen und tiefen Spektralanteilen. „Die Schärfe ändert sich in Abhängigkeit vom Pegel wesentlich weniger als in Abhängigkeit von der spektralen Zusammensetzung.“ (VEIT, 2005) Der Wert der Schärfe ist dabei umso höher je mehr hochfrequente Anteile im Signal enthalten sind. Die Signalschärfe kann allgemein formuliert auch als eine Art „Schwerpunkt“ des Lautheits-Spektrums interpretiert werden. (vergleiche VORLÄNDER, 2007)

3.3 Fahrzeugakustik

Neben den allgemeinen akustischen Grundlagen muss zur Klärung der hier vorliegenden Aufgabenstellung die Thematik der Fahrzeugakustik ange-

sprochen werden. Die Geräuschemission von Fahrzeugen setzt sich vorrangig aus den drei Komponenten „aerodynamische Geräusche“, „Antriebsgeräusche“ sowie „Rollgeräusche“ zusammen, wobei die Rollgeräusche den Hauptanteil am gesamten Geräuschpegel ausmachen (vergleiche hierzu Bild 50).

Die Fahrzeugakustik und insbesondere die Fahrzeuginnenraumakustik stellt ein hochkomplexes Themengebiet dar, welches durch ständige Weiterentwicklungen im Fahrzeugbau geprägt ist. Insbesondere durch steigende Kundenansprüche und markenprägende Faktoren haben sich die Bemühungen der Fahrzeugindustrie hinsichtlich Entwicklung und Design der Fahrzeugakustik in den letzten Jahrzehnten erheblich gesteigert (siehe Bild 51).

Für diese Arbeit steht insbesondere das Fahrzeuginnenraumgeräusch im Zentrum der Betrachtung. Dieses steht am Ende einer Wirkungskette von Entstehung, Übertragung bis hin zum messbaren und wahrnehmbaren Fahrzeuginnenraumgeräusch (vergleiche Bild 52). Sowohl bei der Entstehung der Geräusche als auch bei der Übertragung derselben aus beispielsweise der Interaktion zwischen Reifen und Fahrbahn in die Fahrgastzelle wirken mehrere Komponenten wechselseitig zusammen.

Das Rollgeräusch entsteht durch das Zusammenspiel aus Reifen und Fahrbahnoberfläche. Der Entstehung des Rollgeräuschs liegt hierbei eine Kombination der Mechanismen

- Anregung mechanischer Schwingungen des Reifens sowie
- Auslösung aerodynamischer Vorgänge in der Kontaktfläche

zu Grunde. Dabei werden die Anregungsmechanismen der mechanischen Schwingungen nochmals unterteilt in

- radiale Schwingungen des Reifenprofils,
- Tangentiale Schwingungen des Reifenprofils,
- Adhäsionseffekte durch den „stick-snap“-Effekt,
- Seitenwand- und Gürtelschwingungen (auch Mantelschwingungen genannt, vergleiche Bild 53) sowie den
- „Stick-slip“-Effekt.

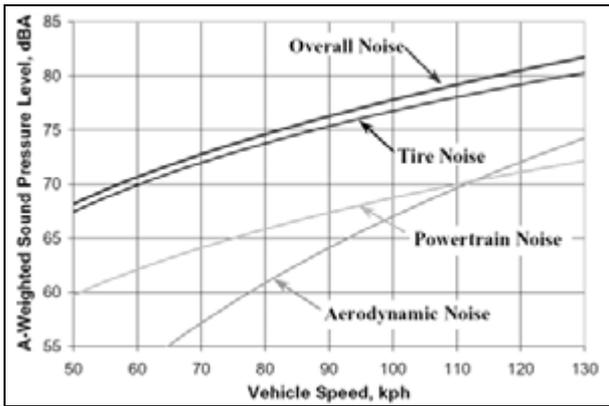


Bild 50: Verteilung der unterschiedlichen Quellen der Lärmemission des Straßenverkehrs (DONAVAN)

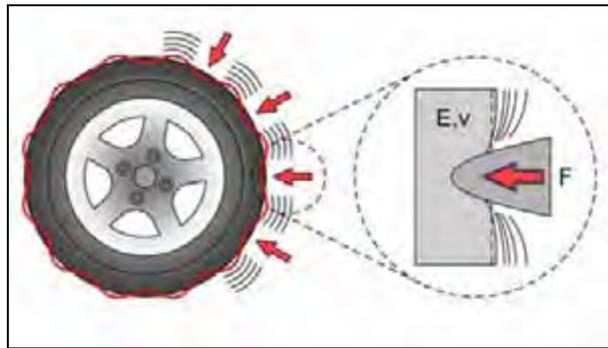


Bild 53: Modell der akustischen Anregung durch Mantelschwingung (eigene Darstellung)

Insbesondere die mechanische Anregung durch radiale Schwingungen des Reifenprofils und die Gürtelschwingung bzw. Mantelschwingung, die durch die Verformungen des Reifens beim Rollvorgang entsteht (siehe Bild 53), wird bei der gezielten akustischen Beeinflussung durch Rüttelstreifen genutzt.

Die aerodynamischen Entstehungsmechanismen unterteilen sich in

- „Airpumping“,
- Hohlraumresonanzen im Radreifen,
- den Horneffekt,
- Helmholtzresonanzen und
- Röhrenresonanzen im Reifenprofil.

Auf Grund der Vielzahl und Komplexität der einzelnen Effekte wird hier auf eine weitere Ausführung aller Mechanismen verzichtet (Überblick siehe Anhang A).¹⁶ Im Rahmen der Konzeption der Rüttelstreifen gilt es, den Airpumping- und Horneffekt möglichst gering zu halten, um die unerwünschte Lärmemission in die Umgebung nach Möglichkeit zu minimieren. Die Mantelschwingungen sorgen hingegen vorrangig für den erwünschten Anstieg der Lautstärke im Fahrzeuginnenraum bei geringer Lärmaustragung in die Umgebung.

Die so erzeugten akustischen Schwingungen werden über den Reifen, die Radaufhängung und schließlich die Karosserie in den Fahrzeuginnenraum geleitet, wo wiederum ein Wechselspiel aus Adsorption, Schallspiegelung und Schallverteilung den Schall bis zum menschlichen Ohr überträgt. Auf diesem Weg wird der Schall durch Dämpfung, Dämpfung und Adsorption verändert und durch die

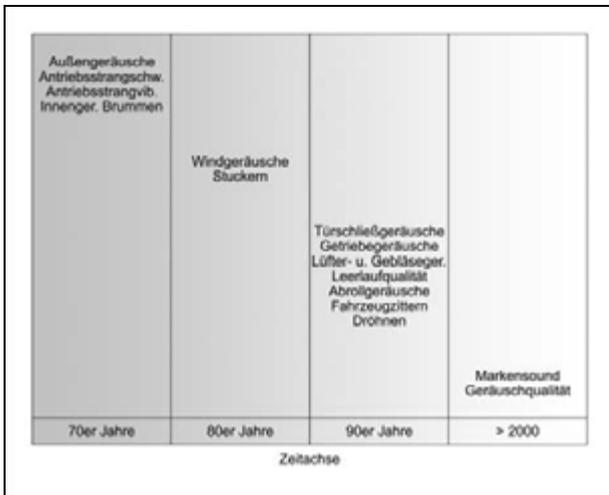


Bild 51: Steigerung der Anforderungen an die Akustik-Entwicklungsarbeit im Fahrzeugbau (nach VOGEL, 2007)

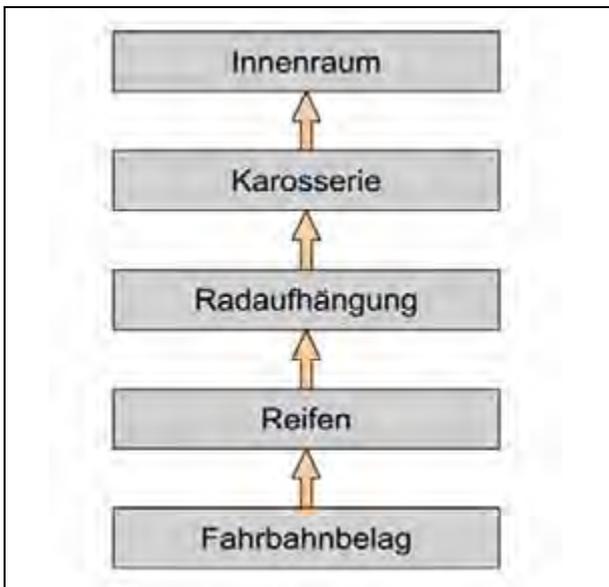


Bild 52: Wirkungskette zwischen Rollgeräuschen und Fahrzeuginnenraumakustik (nach VOGEL, 2007)

¹⁶ Für tiefgreifendere und vollständige Definitionen und Erläuterungen der einzelnen Effekte siehe beispielsweise LFU (2004), BECKENBAUER (2003), SANDBERG (2002) oder CROCKER (2007).

Entwicklungen der Fahrzeugindustrie gezielt beeinflusst.

Rollgeräusche im Innenraum müssen also als Eigenschaft des gesamten Fahrzeugs gesehen werden. Die Ausprägung der Geräusche ist von Fahrzeugtyp zu Fahrzeugtyp unterschiedlich und wird in seiner Ausprägung durch Reifen, Radaufhängung, Karosseriestruktur und Innenraumausstattung beeinflusst. Umso schwerer ist es, die Innenraumgeräusche der Fahrgastzellen durch Oberflächenmodifikationen auf der Straße zu beeinflussen. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass Fahrzeughersteller jährlich Millionenbeträge in das Sounddesign ihrer Fahrzeuge investieren, wird eine gezielte akustische Einwirkung auf den Fahrer erschwert.

3.4 Haptik

Neben der akustischen stellt die haptische Wahrnehmung eine Möglichkeit für die Einflussnahme auf den Kraftfahrzeugführer dar. Die haptische Wahrnehmung (griechisch: haptikos = greifbar, umgangssprachlich auch „Tastsinn“ genannt) bezeichnet den Teil der Sinneswahrnehmung, mit dem mechanische Reize vom Menschen erkannt werden. Im Allgemeinen wird unterschieden zwischen

- taktiler Wahrnehmung (Oberflächensensibilität) und
- kinästhetischer Wahrnehmung (Tiefensensibilität).

Für dieses Projekt steht die kinästhetische Wahrnehmung im Vordergrund. Sie bezeichnet die Komponenten der haptischen Wahrnehmung, durch die eine Bewegungsempfindung und das Er-

kennen der Bewegungsrichtung ermöglicht werden. Die kinästhetische Wahrnehmung ist entscheidend für das Komfortempfinden des Menschen. Die Schwingungseinwirkung auf den Menschen wird detailliert in der VDI-Richtlinie 2057 behandelt. Obwohl die VDI primär auf die schädigende Wirkung von Schwingungen eingeht, kann das dort definierte Bewertungsverfahren für dieses Projekt als vergleichender Parameter herangezogen werden.

„Mechanische Schwingungen, die vorwiegend über das Gesäß und den Rücken des sitzenden Menschen [...] übertragen werden, werden Ganzkörper – Schwingungen (GKS) oder auch Ganzkörper – Vibrationen genannt. Diese GKS sind oft stochastisch oder beinhalten verschiedene Frequenzen. Sie sind möglicherweise durch Stoßhaltigkeit gekennzeichnet, kommen in zahlreichen Richtungen vor und variieren zeitabhängig.“ (VDI 2002-1)

„[Neben den GKS ist der Fahrzeugführer] [...] der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf das Hand-Arm-System ausgesetzt.“ (VDI 2002-2) Diese Schwingungen werden ähnlich den GKS bewertet. Das Berechnungsverfahren ist in Teil 2 der VDI-Richtlinie 2057 geregelt.

Die Wirkung der Schwingungen auf den Menschen richtet sich vorrangig nach der Frequenz der Anregung. Der menschliche Organismus reagiert unterschiedlich empfindlich auf verschiedene Schwingungsfrequenzen. Dieser Zusammenhang wird im nächsten Kapitel näher erläutert.

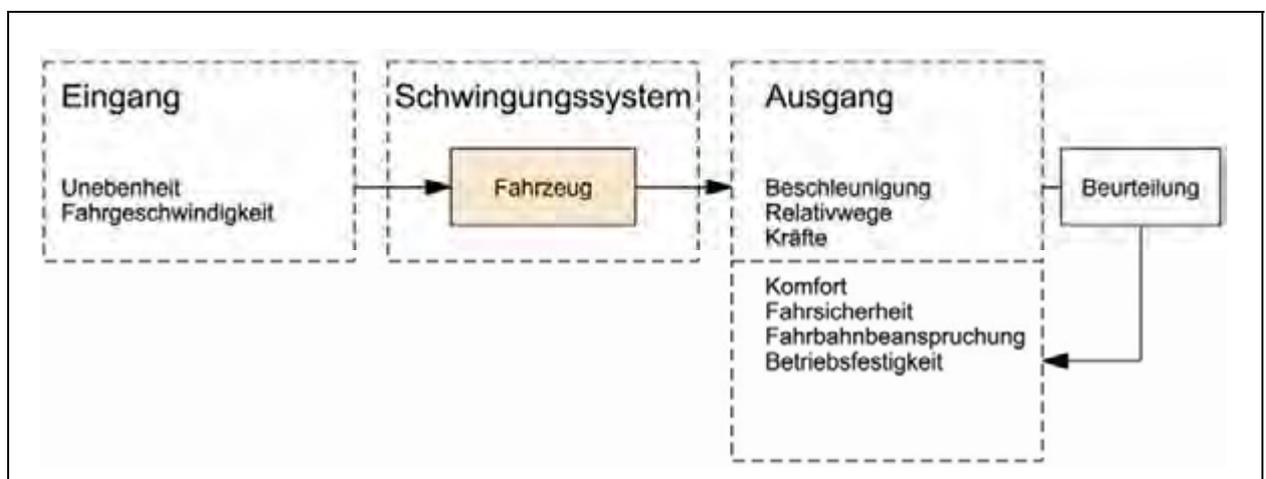


Bild 54: Blockschaubild des Schwingungssystems Fahrzeug (nach MITSCHKE, 1984)

3.5 Fahrzeugschwingungen

Ähnlich wie die Fahrzeugakustik stellt sich die Fahrzeugschwingung und -vibration als sehr komplexes Feld dar. Die Schwingungsvorgänge eines Fahrzeugs im realen Fahrbetrieb sind hochgradig stochastisch. Zudem treten große individuelle Schwankungen zwischen unterschiedlichen Fahrzeugmodellen und Baujahren auf. Eine weitere Modulation der Fahrzeugschwingungen entsteht durch unterschiedliche Beladungszustände, Geschwindigkeiten sowie sonstige äußere Einflüsse (selbst wechselnde Windverhältnisse haben einen – wenn auch geringen – Einfluss auf das Schwingungsverhalten). Ähnlich wie bei der Fahrzeuginnenraumakustik bemüht sich die Fahrzeugindustrie mit immensem Mitteleinsatz möglichst schwingungsarme komfortable Fahrzeuge zu entwickeln. Auf Grund der Komplexität soll hier nur eine kurze Einführung in diese Thematik gegeben werden.

Ein Fahrzeug besteht im weitesten Sinne aus Einzelmassen, Federn und Dämpfern. Durch Anregung der Kontaktpunkte (i. d. R. die Reifenaufstellfläche) wird das Fahrzeug in Schwingung versetzt. Dieser Vorgang ist sowohl messbar, als auch mittels numerischer Simulation nachzubilden. Da für die grundlegende Konzeption der Rüttelstreifen nicht der maximal mögliche Detaillierungsgrad nötig ist, bietet sich die Simulation in der ersten Projektphase an, um die Vielzahl möglicher Varianten sinnvoll einzugrenzen.

Da ein Fahrzeug aus sehr vielen Komponenten besteht, die alle das Schwingungsverhalten beeinflussen, muss es zunächst vereinfacht werden. Aus dem sehr komplexen System „Fahrzeug“ kann in einem ersten Schritt mittels sinnvoller Vereinfachungen ein überschaubares, jedoch nach wie vor komplexes Massen-Federn-Dämpfer-System erstellt werden (siehe Bild 55). Dieses Vorgehen erfolgt analog für unterschiedliche Fahrzeugtypen. Die Modelle bilden die entsprechenden Fahrzeuge sehr realistisch ab und erlauben die Simulation aller wesentlicher Fahrzeugbewegungen. Somit lassen sich auf Basis solcher Modelle Untersuchungen zu Fahrkomfort und Fahrsicherheit mittels Simulation durchführen. Will man detailliertere Fragen, wie beispielsweise den Einfluss bestimmter Einzelkomponenten auf den Schwingungsablauf untersuchen, werden die Modelle wesentlich komplexer. Hier kommen aufwendige Mehrkörper- oder Finite-Elemente-Modelle zum Einsatz. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde auf Simulationsergebnisse der Arbeiten von STEINAUER (1991) zurückgegriffen. Trotz der Weiterentwicklungen im Fahrzeugbereich werden die Ergebnisse

für die vorliegende Aufgabenstellung als gültig angesehen.

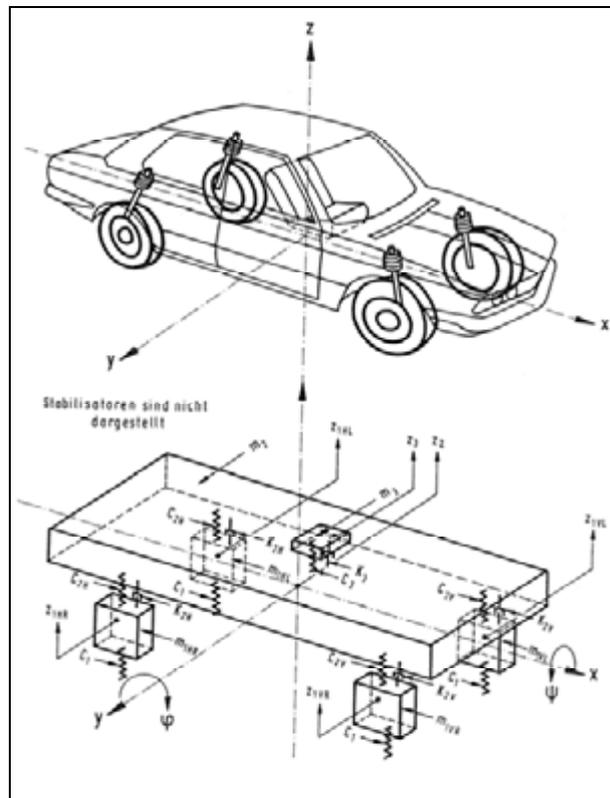


Bild 55: Repräsentativer Pkw mit Einzelradaufhängung und Schwingungsersatzsystem (STEINAUER, 1991)

3.5.1 Wirkung von Schwingungen auf den Menschen

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts steht nicht die physikalische Betrachtung der Fahrzeugschwingung im Vordergrund, sondern die Analyse deren Wirkung auf den Menschen. Das heißt von besonderer Bedeutung sind nicht die einzelnen detaillierten Schwingungszusammenhänge im Fahrzeug, sondern lediglich die wahrnehmbaren Schwingungen im Sitz, im Fußraum und am Lenkrad, d. h. an allen Kontaktpunkten des Fahrers mit dem Fahrzeug. Die Wirkung dieser Schwingung auf den Fahrer ist abhängig von der

- absoluten Größe der Beschleunigung und der
- Frequenzzusammensetzung.

Dieser Zusammenhang wird durch den Begriff des Schwingungskomforts beschrieben. Will man die Frage beantworten, bei welcher Anregungsfrequenz sich der Fahrkomfort am deutlichsten gegenüber der Fahrbahn ohne Rüttel Elemente ändert, muss man die Vergrößerungsfunktionen von Fahrzeug und Mensch betrachten. Für die repräsentativen Fahrzeuge nach STEINAUER (1991)

sind die Vergrößerungsfunktionen bekannt. Die Vergrößerungsfunktionen zeigen, in welchem Maße Vertikalbeschleunigungen bestimmter Frequenzbereiche bei bestimmten Fahrgeschwindigkeiten vom Anregungsort (Kontaktpunkt Reifen-Fahrbahn) bis zum Empfangsort (menschlicher Körper) übertragen und durch das Feder-Dämpfer-System ggf. verstärkt oder gedämpft werden.

Neben der rein physikalischen Übertragung der Schwingungen vom Einleitungsort bis zum Empfangsort hat die Empfindlichkeit des Menschen bzgl. bestimmter Frequenzen von Schwingungen eine wesentliche Bedeutung. Ähnlich wie bei der Bewertung von Schallereignissen können Schwingungen unterschiedlicher Frequenzen hinsichtlich ihrer Wahrnehmbarkeit durch den Menschen bewertet werden.

Das heißt die Wirkung bestimmter haptischer Anregungen auf den Menschen hängt in entscheidendem Maße von

- der physikalischen Übertragung und der
- Wahrnehmung durch den Menschen

ab. Fasst man diese beiden Kriterien nach STEINAUER (1991) zu einer übergreifenden Bewertungsgröße zusammen, erhält man die frequenzabhängige Komfortempfindlichkeit. Die Komfortempfindlichkeit berücksichtigt also sowohl den Übertragungsweg, als auch das Empfinden der Schwingung durch den Menschen und ermöglicht eine gute Einschätzung der Wirkung bestimmter Anregungsfrequenzen auf das Komfortempfinden des Fahrers.

Vergleicht man die in Bild 57 und Bild 58 dargestellten Komfortempfindlichkeitskurven, erkennt man sowohl die leicht verschobenen Bereiche als auch den unterschiedlichen absoluten Betrag der größten Übertragung/Empfindung von Schwingungen bei Pkw- und Lkw-Fahrern. Will man also bei einem Lkw-Fahrer den gleichen Diskomfort erzeugen, wie bei einem Pkw-Fahrer, benötigt man eine größere Anregungsleistung und eine andere Anregungsfrequenz.

Die Übertragung von Schwingungen wird dabei wesentlich nach den Schwingungsformen

- Vertikalschwingung,
- Horizontalschwingung sowie
- Nicken und Wanken

differenziert. In Bild 57 und Bild 58 ist der Unterschied zwischen der Wirkung einer reinen Vertikalschwingung und einer Kombination aus Vertikalschwingung und Wanken sehr gut zu erkennen.

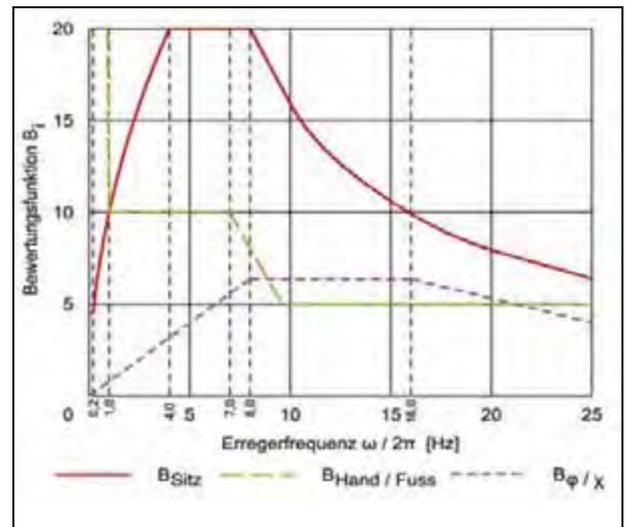


Bild 56: Bewertungsfunktionen zur Beurteilung der Einwirkung von Kraftfahrzeugschwingungen auf den Menschen (nach MITSCHKE, 1984)

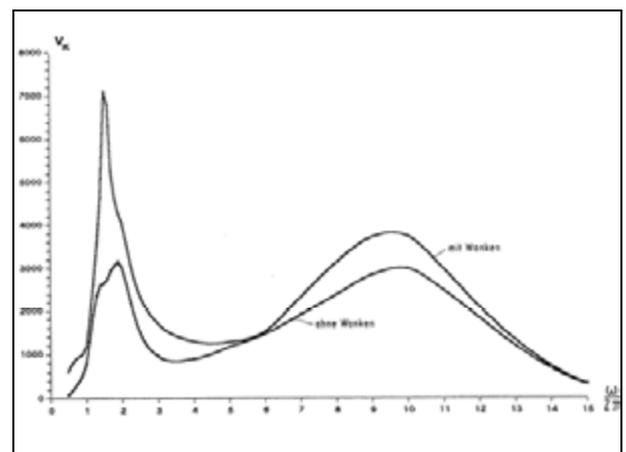


Bild 57: Komfortempfindlichkeit V_k für einen repräsentativen Pkw (STEINAUER, 1991)

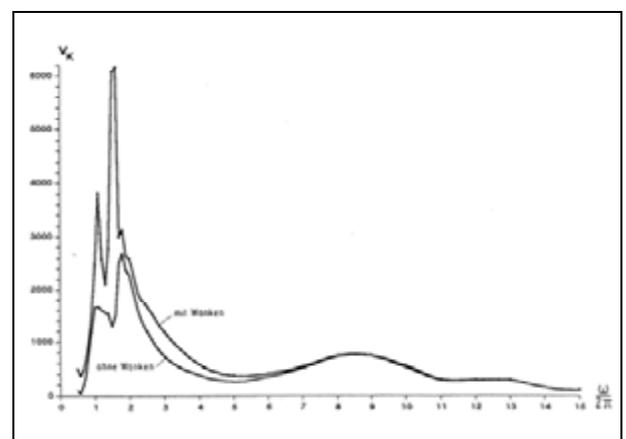


Bild 58: Komfortempfindlichkeit V_k für einen repräsentativen Lkw (STEINAUER, 1991)

Da es sich bei der Anregung durch transversale Rüttelstreifen jedoch um symmetrische Anregungen des Fahrzeugs durch vorrangig vertikale Schwingungen handelt, werden die Schwingungsanteile Horizontalschwingung und Wanken im weiteren Verlauf vernachlässigt. Da auch der Einfluss von Nickbewegungen des Fahrzeugs durch die Rüttelstreifen als tendenziell gering eingeschätzt wird, beschränken sich die weiteren Ausführungen auf reine vertikale Schwingungen.

Neben der Differenzierung nach der Frequenz unterscheiden die Bewertungsfunktionen nach dem Körperteil, welches die Schwingungen vorrangig erfährt. Der Torso eines Menschen reagiert anders auf Schwingungen als die Extremitäten. In Bild 56 ist dieser Zusammenhang sehr anschaulich dargestellt. Diese Bewertungsfunktionen nach MITSCHKE (1984) wurden im Laufe der Zeit weiterentwickelt und angepasst. Die Berechnungen in dieser Arbeit basieren auf den neusten Bewertungsfunktionen nach VDI-Richtlinien 2002-1/2 (siehe Anhang B).

3.5.2 Interpretation der Komfortempfindlichkeit für repräsentative Fahrzeuge

Sowohl für den Lkw als auch den Pkw sind in Bild 57 und Bild 58 eindeutig empfindliche Bereiche zu erkennen. Der stärkste Anstieg der Komfortempfindlichkeit V_K liegt bei beiden Fahrzeugtypen zwischen im Frequenzbereich zwischen 1 und 2 Hz. Dieser Bereich ist jedoch sehr schmal und damit sehr schwer zu „treffen“. Zusätzlich sind für dieses erste Maximum die größten Dämpfungsbemühungen der Automobilindustrie zu erwarten. Ein weiteres Maximum liegt beim Pkw zwischen 9 und 11 Hz und beim Lkw zwischen 7,5 und 9,5 Hz. Diese Frequenzbereiche sind wesentlich breiter, so dass man davon ausgehen kann, dass ein wesentlich breiterer Geschwindigkeitsbereich mit diesen Anregungsfrequenzen beeinflusst wird. Dieser Sachverhalt wird als Grundlage für die Konzeption der Abstände zwischen einzelnen Rüttelstreifen genutzt (vergleiche Kapitel 4).

4 Konzeption

Die theoretischen Grundlagen aus Kapitel 3 führen zwangsläufig zu einer Einschränkung der zu untersuchenden Bauformen von Rüttelstreifen. Diese werden bereits bei der Konzeption der ersten Versuchsreihe berücksichtigt, um so die Anzahl an möglichen und nötigen Versuchsvarianten einzuschränken.

4.1 Akustisch wirksame Parameter

Die Streifenform und -höhe ist nicht entscheidend an der akustischen Signalausprägung beteiligt. Diese Parameter beeinflussen vornehmlich die Schwingungsentwicklung im Fahrzeug und werden in Kapitel 4.2 behandelt. Für die Akustik sind vielmehr die Oberflächenbeschaffenheit der einzelnen Rüttel Elemente und der Abstand zwischen den einzelnen Elementen von vorrangiger Bedeutung für die Entwicklung geeigneter Signale.

Wie bereits in Kapitel 3.3 erläutert werden die Geräuschemissionen von Fahrzeugen weitgehend durch Reifen-Fahrbahn-Geräusche geprägt. Motorengeräusche sowie aerodynamische Geräusche tragen erst bei starker Beschleunigung oder hohen Geschwindigkeiten in stärkerem Maße zu den Gesamtemissionen bei. Die Reifen-Fahrbahn-Geräusche setzen sich dabei im Wesentlichen aus zwei Komponenten zusammen, dem Airpumping und den Reifenschwingungen.

- Das Airpumping bezeichnet den Begriff der Kompression bzw. Dekompression der Luft zwischen Reifen und Fahrbahn. Je rauer die Straße ist, desto geringer ist der Effekt des Airpumpings. Im Wesentlichen bestimmten die Geschwindigkeit und die Oberflächenbeschaffenheit die Lautstärke. Die Form des Reifenprofils bestimmt die Klangfarbe und Tonhöhe des Geräuschs.
- Reifenschwingungen entstehen durch Unebenheiten der Fahrbahnoberfläche bzw. des Reifenprofils. Durch diese wird der Reifen in Schwingungen versetzt, wodurch wiederum Luft- und Körperschall erzeugt wird.

Die Beschaffenheit der Straßenoberfläche hat bei beiden Effekten neben der Reifenbeschaffenheit den größten Einfluss auf die Geräuschintensität und -zusammensetzung. Bei unterschiedlichen Fahrbahnbelägen sind bereits ohne den Einsatz von speziellen lärmindernden Belägen Schwankungen von 3 bis 7 dB(A) und unter Berücksichtigung von beispielsweise offenporigen Belägen sogar über 10 dB(A) möglich (vergleiche beispielsweise SANDBERG, 2001 oder BECKENBAUER et al., 2002).

Das durch Rüttelstreifen erzeugte Geräusch sollte für den Fahrer möglichst prägnant sein und sich vom Fahrgeräusch auf einer ebenen Straße abheben. Die in Kapitel 3.2 angerissenen Grundlagen führen zu einem ersten Ansatz für eine geeignete Oberflächenmodulation. Nach einer vereinfachten Annahme setzt man die Frequenz der Anregungsfunktion gleich der Frequenz des Fahrzeuginnen-

raumgeräusches¹⁷. Die Abstände der Oberflächenmodulation sind damit ausschließlich von der Geschwindigkeit und der Frequenz abhängig und können nach Gl. 5 berechnet werden.

$$d(v) = \frac{v}{f} \quad \text{Gl. 5}$$

Mit: d Abstand der Einzelunebenheiten auf der Oberfläche der Rüttelstreifen [m]
v Geschwindigkeit [m/s]
f Zielfrequenz der Anregung [Hz] [1/s]

Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Bild 59 für einen ausgewählten Geschwindigkeitsbereich dargestellt. Für die Berechnung wurden die in Kapitel 3.2 erläuterten Empfindlichkeitsbereiche des menschlichen Gehörs zwischen 700 und 6000 Hz ausgewählt. Demnach muss die Periode der Anregungsfunktion hier bei ca. 1,50 cm liegen, um über dem gesamten Geschwindigkeitsbereich von 50 – 130 km/h die optimale akustische Wirkung im Fahrzeug zu erzielen.

Dieser Ansatz ist jedoch sehr vereinfacht. Die Akustik von Fahrzeugen ist ein sehr komplexes Feld, welches von hochgradig spezialisierten Fachfirmen bedient wird. Die Automobilindustrie investiert jährlich viele Millionen Euro, um ihre Fahrzeuge so zu gestalten, dass störende Geräusche nach Möglichkeit nicht auftreten (vergleiche Kapitel 3.3). Die größte Wirkung wird dabei durch die Dämpfung der hier dargestellten Frequenzen erzielt. Es ist also anzunehmen, dass die gewollte akustische Beeinflussung des Fahrzeugführers nicht über Frequenzen in diesem Bereich erfolgen kann, sondern in Frequenzbereichen, die neben dem Empfindlichkeitsmaximum liegen. Nimmt man nach Bild 49 eine Frequenz von 200 bis 400 Hz als benachbarten wirksamen Frequenzbereich an, so ergeben sich im Gegensatz zu Bild 59 die Abstände nach Bild 60 für die optimalen akustischen Strukturen der Rüttelstreifen. Die Richtigkeit dieser Annahmen und Vereinfachungen muss in praktischen Versuchen überprüft werden (siehe hierzu Kapitel 6 und 7).

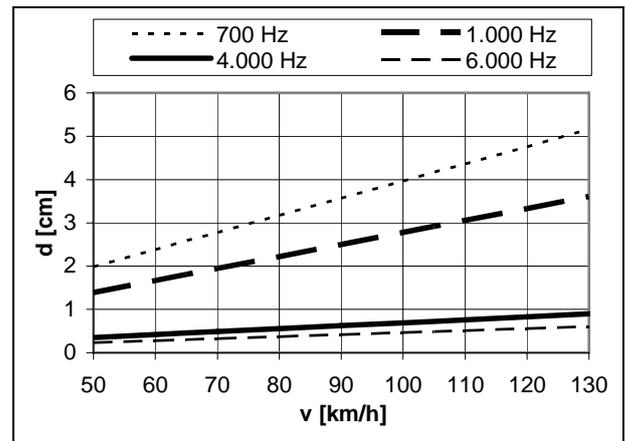


Bild 59: Abschätzung sinnvoller Abstände einzelner „Rüttelstreifen“ untereinander (Hochfrequente Anteile)

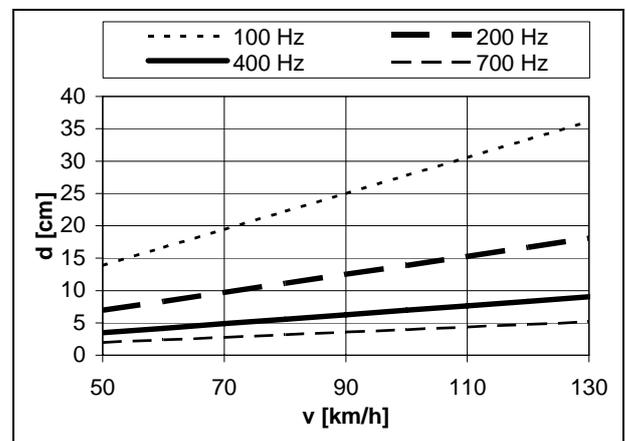


Bild 60: Abschätzung sinnvoller Abstände einzelner „Rüttelstreifen“ untereinander (Niederfrequente Anteile)

Nach STEINAUER (1991) müssen zwei Voraussetzungen erfüllt werden, um einen möglichst großen Warneffekt zu erzielen. Die Anregungsfrequenz soll dabei

- im Bereich niedriger Grundgeräuschpegel N' liegen
- möglichst niedrig sein, damit der Einfluss der Schallabsorption möglichst niedrig bleibt.

Versuche bei Tempo 120 mit einem Audi 100 haben gezeigt, dass diese Voraussetzungen bei der Überfahung von profilierter Fahrbahnmarkierung am ehesten mit einem Abstand von 120 mm erreicht werden (siehe Bild 61).

Inwieweit diese Erkenntnisse aus dem Jahr 1991 auf Fahrzeuge der neusten Generation übertragbar sind, ist unklar und muss in praktischen Versuchen präzisiert werden.

Die Abstände der akustisch wirksamen Profilierungen sollen in diesem Projekt in praktischen Versu-

¹⁷ Dieser stark vereinfachte Ansatz lässt die Übertragungsfunktionen und eventuelle Frequenzverschiebungen durch Dämpfung, Reflexion etc. außer Acht. Eine exaktere Bestimmung erfordert eine Berücksichtigung von vielen Faktoren und wäre für jedes Fahrzeugmodell individuell vorzunehmen.

chen weiter untersucht werden. Basierend auf diesen theoretischen Überlegungen werden Versuchskörper mit unterschiedlichen Profilierungsabständen zwischen 20 und 100 mm untersucht (siehe hierzu Anhang C). Die Abstände der Profile liegen unterhalb von 120 mm (nach STEINAUER 1991), da dieses Forschungsprojekt den Einsatz von Rüttelstreifen auf Landstraßen – und damit in niedrigeren Geschwindigkeitsbereichen als auf Autobahnen – behandelt.

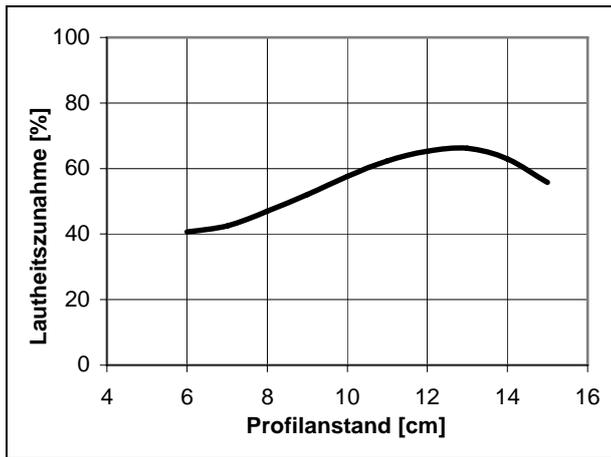


Bild 61: Lautheitszunahme in Prozent beim Überfahren verschiedener profilierter Markierungen mit einem Pkw mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h (nach STEINAUER, 1991)

4.2 Haptisch wirksame Parameter

Neben den akustischen Überlegungen aus Kapitel 4.1 müssen auch für die haptische Wirkung der Rüttelstreifen Vorüberlegungen angestellt werden. Für eine erste Eingrenzung geeigneter Varianten ist es sinnvoll, die Schwingungen in einem mathematischen Modell zu betrachten.

In der Arbeit „Statistische und periodische Unebenheiten auf Fahrbahnen“ (STEINAUER, 1991) wurden mittels des Simulationsprogramm ADINA die Schwingungsauswirkungen einiger repräsentativer Fahrzeuge berechnet. Im Folgenden werden die Voraussetzungen dieser Simulationen und eine Zusammenfassung der Ergebnisse dargestellt.

4.2.1 Schwingungssystem

„Es ist nicht möglich, für alle Fahrzeugtypen und Beladungszustände gleich optimale Anregungsabstände zu finden. Die [...] [Rüttelstreifen] soll[en] aber für möglichst viele Fahrzeuge eine gute mechanische Leitlinie sein. Es empfiehlt sich daher, den Mittelwert der Achseigenfrequenzen ungefähr bei 9,5 Hz als Ausgangswert zu wählen. Die maximalen Schwingbeanspruchungen periodischer

Anregungen > 5 Hz der repräsentativen Fahrzeuge liegen, nach den berechneten Frequenzgängen aus Bild 57 und Bild 58 im Mittel 0,5 Hz unter den Vorderachseigenfrequenzen [...]. Als Bezugsfrequenz zur Ermittlung der Profil[...]abstände [...] werden deshalb 9,0 Hz vorgeschlagen.“ (STEINAUER, 1991) Mit dieser Vorgabe ist der Abstand der Rüttel Elemente lediglich abhängig von der gefahrenen Geschwindigkeit (siehe Bild 62) und liegt für den hier relevanten Geschwindigkeitsbereich zwischen 2,00 und 4,00 Meter. Eine weitere Eingrenzung der Abstände erfolgt in den praktischen Vorversuchen.

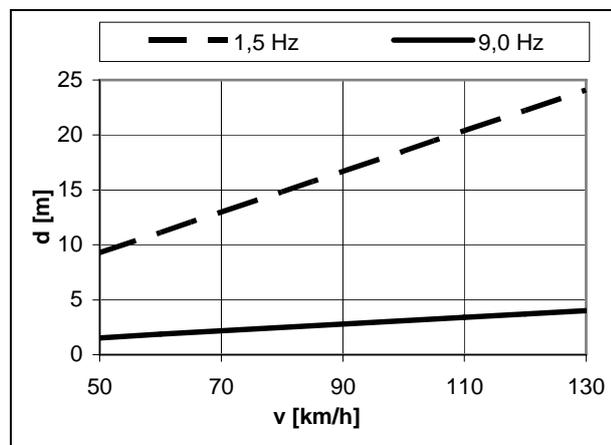


Bild 62: Abschätzung sinnvoller Abstände einzelner Rüttel-elemente untereinander (Haptik)

4.3 Bauliche, betriebliche und wirtschaftliche Aspekte

Neben den theoretischen Grundlagen aus den Kapiteln 4.1 und 4.2, welche sich vorrangig mit der physikalischen Wirkungsweise von Rüttelstreifen auseinandersetzen, sind Fragen bezüglich der baulichen Umsetzung und der betrieblichen Unterhaltung existentiell für deren praktische Anwendung.

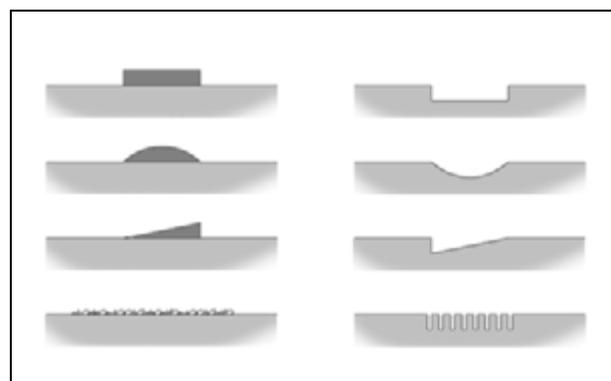


Bild 63: Möglich Bauformen von „Rüttelstreifen“

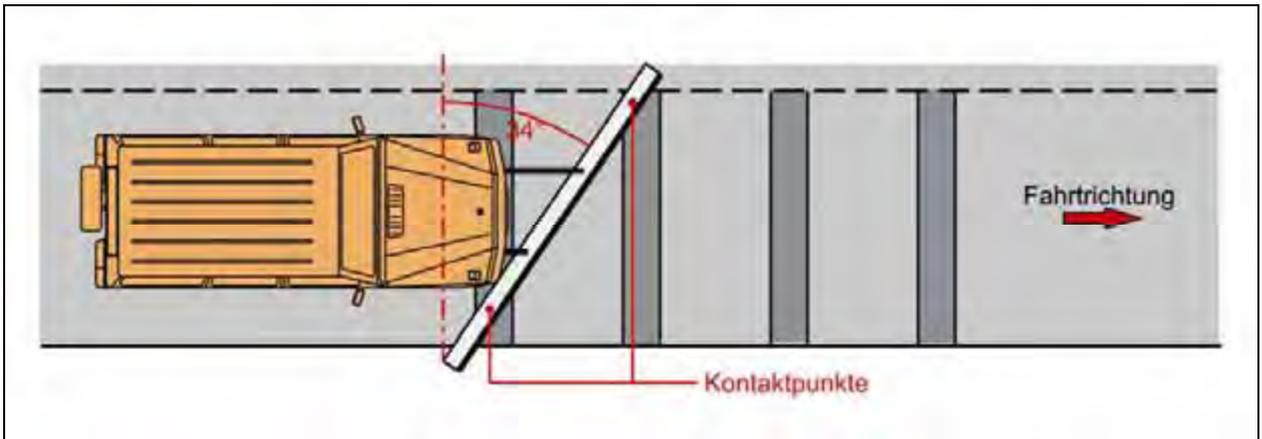


Bild 64: Prinzipskizze Rüttelstreifen mit Schneeflugstellung (Draufsicht)

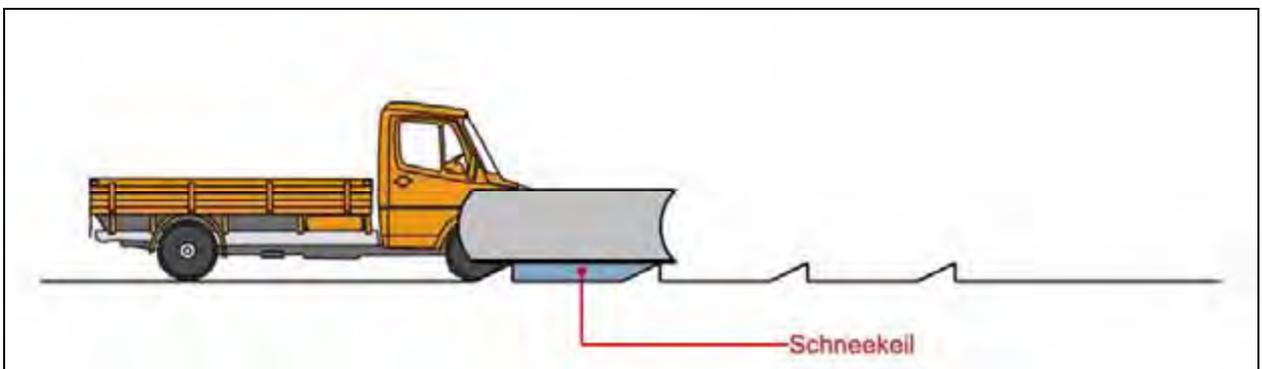


Bild 65: Gefahr der Schneeeilbildung bei Rüttelstreifen

Aus Effektivitätsgründen ist es sinnvoll, diese Aspekte sehr früh in die Forschungsarbeit zu integrieren. So wird sichergestellt, dass beispielsweise baulich nicht umsetzbare oder betrieblich unwirtschaftliche Bauformen von vornherein aus den Messreihen ausgeschlossen werden.

Eine der wichtigsten Forderungen betrieblicher Art ist die nach einem schnellen Einbau der Rüttelstreifen. Die Strecke muss innerhalb kurzer Zeit für den Verkehr wieder freigegeben werden. Eine Bauweise, welche die mehrere stunden- bzw. tagelange Sperrung einer Landstrasse zur Folge hat wird sich in der Praxis kaum durchsetzen.

Neben Erfüllung dieser zentralen Forderungen ist darauf zu achten, dass eine beständige, kostengünstige und vor allem wartungsfreie Lösung entwickelt wird. In unseren Breiten ist dabei vor allem auf die Beständigkeit im Winterdienst zu achten.

Betrachtet man die möglichen Formen von Rüttelstreifen (siehe Bild 63), so ist ersichtlich, dass alle Formen, die in Fahrtrichtung eine Aufkantung aufweisen gesondert bezüglich der Winterdiensttauglichkeit betrachtet werden müssen. Erfahrungen mit profilierten Seitenmarkierungen haben erge-

ben, dass die so genannte Sägezahnform oder auch die Tropfenform besonders geeignet sind, da sie dem Stahlräumschild nur eine minimale Angriffsfläche bieten. Dieser positive Effekt kann durch eine sinnvolle Anordnung in laterale Richtung unterstützt werden. Räumschilder sind gegen die Fahrbahnachse um ca. 30° geneigt. Will man die negative Wirkung des Räumfahrzeugs minimieren, ist darauf zu achten, dass das Räumschild auf den Rüttelstreifen „aufschwimmt“ und so nicht jeden Streifen mit maximaler Wirkung trifft (siehe Bild 64). Dieses Verhalten des Schneefluges ist jedoch nicht unproblematisch, da sich durch das „Aufschwimmen“ Schneeeile zwischen den Rüttelstreifen bilden könnten (siehe Bild 65). Eine gesonderte Betrachtung dieser Bereiche ist für einen effektiven Winterdienst unumgänglich. Bei Verwendung von weichen Räumkanten entfällt diese Problematik weitestgehend.

Neben der Beanspruchung der Rüttelstreifen durch den Räumdienst führen alle gefrästen Varianten zu einer möglichen Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit und der Bausubstanz. In den gefrästen Bereichen kann sich Wasser ansammeln, wodurch bei Frost glatte Eisflächen entstehen. Zusätzlich

wird die vormals geschlossene Deckschicht durch das Fräsen oder Einschneiden geöffnet. Ein Eindringen von Wasser und Tausalzen und damit verbundene dauerhafte Schädigung der Bausubstanz können die Folge sein. Im Rahmen dieses Projektes wird aus diesen Gründen auf die Untersuchung von gefrästen Varianten verzichtet.

Im Rahmen des Projekts wurden keine expliziten Untersuchungen über die Wirkungen der Rüttelstreifen auf den Fahrkomfort und die Sicherheit von Motorradfahrern durchgeführt. Durch die Orientierung an bestehenden Untersuchungen und am „Merkblatt zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Motorradstrecken“ (MVMOT 2007) können die Rüttelstreifen in der konzipierten Ausführung und Anordnung für Zweiräder als sicher eingestuft werden. Nachfolgend werden die vorhandenen Untersuchungen zu den Belangen von Motorradfahrern kurz zusammengefasst.

Im Forschungsprojekt zu Warnschwellen (siehe Kapitel 2.6.3) wurde die Zweiradsicherheit untersucht. Die wesentlich höheren Andreasstreifen wurden für Motorradfahrer als unbedenklich eingestuft: „Untersucht wurde darüber hinaus das Verhalten der Verkehrsteilnehmer. Die Ergebnisse zeigen, dass der Anteil der Kraftfahrer, die durch die Andreasstreifen zu plötzlichen Lenkbewegungen verleitet werden, äußerst gering ist.“ (VAN VEENENDAAL/MESKEN/KLEM, 1999) „Aber auch beim Überfahren der Andreasstreifen entstehen für Lkw- wie Pkw-Fahrer keine negativen Beeinträchtigungen. Ebenfalls wurde festgestellt, dass auch für Motorradfahrer keine erhöhte Gefährdung besteht; diese können die Andreasstreifen selbst bei einer Geschwindigkeit von etwa 80 km/h problemlos überfahren.“ (STEINAUER et al., 2004)

BRILON kam 2001 bei seinen Untersuchungen zu gleichen Ergebnissen. Im Rahmen von Feldversuchen, aber auch auf Basis von Expertenmeinungen wurde die Wirkung von Rüttelstreifen auf Zweiradfahrer untersucht. Unter Berücksichtigung bestimmter Randbedingungen, welche im Rahmen der Konzeption dieses Forschungsprojekts ebenfalls berücksichtigt wurden, „äußerte das IfZ¹⁸ die Meinung, dass eine Gefährdung von Zweiradfahrern weitestgehend ausgeschlossen werden [kann][...]“ (BRILON, 2001)

Die untersuchten Konzepte für Rüttelstreifen entsprechen in ihrer Höhe, Form und Anordnung weitestgehend den in der MVMOT 2007 empfohlenen Abmessungen. Anhand der Tatsache, dass speziell für Motorradstrecken Rüttelstreifenhöhen von 15 mm empfohlen werden, ist ersichtlich, dass

Streifen dieser Höhe zwar als unangenehm, jedoch nicht als sicherheitskritisch für Motorradfahrer anzusehen sind.

Auf mögliche Bedenken der Straßennutzer hinsichtlich der Beschädigung oder übermäßigen Abnutzung ihrer Fahrzeuge konnte bereits BRILON (2001) nach Rücksprache mit Reifen- und Automobilherstellern entgegenen: „Die im Rahmen des Versuchs realisierten Höhenunterschiede zwischen Rüttelstreifen und Fahrbahn stellen keine außergewöhnlichen Hindernisse dar, sondern sind mit gängigen Straßenschäden zu vergleichen. Für derartige Belastungen sind Reifen [und Fahrwerk] jedoch ausgelegt. Schäden sind daher nicht zu befürchten.“ Eigene Recherchen bestätigten diese Einschätzung.

Neben der Sorgfalt hinsichtlich Material und Fahrersicherheit müssen bereits in der Konzeptionsphase mögliche Beeinträchtigung der Gesundheit ausgeschlossen werden. Durch die Rüttelstreifen ist der Körper erhöhten haptischen und akustischen Reizen ausgesetzt. Eine gesundheitliche Gefährdung des Fahrers durch diese Reizerhöhung darf nicht erfolgen. Diese Frage wurde ebenfalls von BRILON (2001) diskutiert. Auf Basis von Expertenmeinungen konnte eine gesundheitliche Schädigung auch Vorerkrankter ausgeschlossen werden. Zusätzlich wurde diese Fragestellung im Rahmen der Literaturrecherche behandelt. Nach CROCKER (2007), HENDERSON/HAMERNIK in CROCKER (2007), GRIFFIN in CROCKER (2007), EC 2002, PFANDER (1980) und BRAMMER (2003) ist der Reiz, welcher durch Rüttelstreifen sowohl im akustischen, als auch haptischen Bereich erzeugt wird, zu niedrig und vor allem deren Einwirkdauer zu kurz, um gesundheitliche Schäden hervorzurufen.

Neben diesen zentralen Fragen bezüglich Verkehrssicherheit, Gesundheit und Betrieb untersuchte BRILON (2001) auch die Frage, inwieweit Straßen, welche durch militärische (insbesondere Kettenfahrzeuge) genutzt werden für den Einsatz von Rüttelstreifen geeignet sind. Auch wenn die Fahrzeuge in diesem Falle analog zu dem normalen Verkehr zu sehen sind und eine negative Wirkung der Rüttelstreifen auf die Fahrzeugtechnik und die Insassen ausgeschlossen werden kann, ist die umgekehrte Wirkung der Fahrzeuge auf die bauliche Substanz der Rüttelstreifen nicht unerheblich.

„Insbesondere bei der Materialwahl sind Belastungen durch schweres militärisches Gerät, vorrangig natürlich durch Kettenfahrzeuge, zu berücksichtigen. Gegebenenfalls ist bei überdurchschnittlichen Belastungen vom Einsatz von Rüttelstreifen abzu- sehen.“ (BRILON, 2001)

¹⁸ IfZ: Institut für Zweiradsicherheit e.V.

5 Messtechnische Untersuchung ohne Verkehr

Neben den theoretischen Vorüberlegungen sind praktische Untersuchungen zur Wirkung der Rüttelstreifen unumgänglich. Die Feldversuche umfassen vier Stufen:

- 1) Einzelne Formen werden auf einer Versuchsstrecke messtechnisch miteinander verglichen, um die wirkungsvollste Einzelform zu ermitteln.
- 2) Mehrere Formen gleicher Bauart werden auf einer Versuchsstrecke mit jeweils unterschiedlichen Abständen eingebaut und deren Wirkung miteinander messtechnisch verglichen, um den wirkungsvollsten Abstand der einzelnen Rüttelstreifen untereinander zu ermitteln.
- 3) Für Formen von Rüttelstreifen, welche sich nach 1) und 2) als wirkungsvoll erwiesen haben, werden geeignete Fertigungsmethoden erarbeitet.
- 4) Die in 1) bis 3) ermittelten bestmöglichen Formen bzw. Abstände werden unter Verkehr bzgl. ihrer Wirksamkeit untersucht. Dabei stehen, anders als unter 1) und 2), nicht die messtechnisch erfassten physikalischen Größen im Vordergrund, sondern die Reaktion der Verkehrsteilnehmer auf die Rüttelstreifen.

5.1 Messkonzept

In den Punkten 1) und 2) des beschriebenen Konzepts werden physikalische Größen ermittelt, wel-

che eine Prognose bzgl. der Wirkung der einzelnen Elemente auf den Fahrzeugführer ermöglichen. Als Leitgrößen dienen dabei Schwingungen und Geräuschentwicklung im Fahrzeuginneren. Auf einer abgesperrten Messstrecke wurden in einem ersten Schritt Referenzmessungen ohne Applikationen vorgenommen. Diese bilden die Basis (Nullfall) für die Messungen mit unterschiedlichen Rüttelstreifen. Im Folgenden wurden einzelne Rüttelstreifen messtechnisch untersucht und die Ergebnisse zeitnah ausgewertet. Auf Basis dieser ersten „überschläglichen“ Analysen wurden weitere Formen entwickelt, welche die gemessenen Größen verbessern sollten.

5.2 Messstrecke

Als Messstrecke wurde eine ehemalige Landstraße ausgewählt, die auf Grund von Tagebauarbeiten umgewidmet wurde (siehe Bild 66). Die Straße befand sich während der gesamten Vorversuche in sehr gutem baulichem Zustand. Die Trassierung und Länge ließ Fahrten in allen relevanten Geschwindigkeitsbereichen von 50 bis 130 km/h (Pkw) bzw. 50 bis 80 km/h (Lkw) zu.

Hinsichtlich der schwingungstechnischen Untersuchungen kann die Strecke als durchschnittlich eben bezeichnet werden. Sowohl die Oberfläche als auch das Fehlen von lärmemittierenden Bebauungen bzw. Nutzungen im Umfeld führten zu einem durchgängig gleichmäßigen niedrigen Hintergrundgeräuschpegel bzw. Schallentwicklungen in der Fahrbahn-Reifen-Kontaktfläche.



Bild 66: Messstrecke L 257 zwischen Inden und Pier (Quelle: www.maps.google.com)

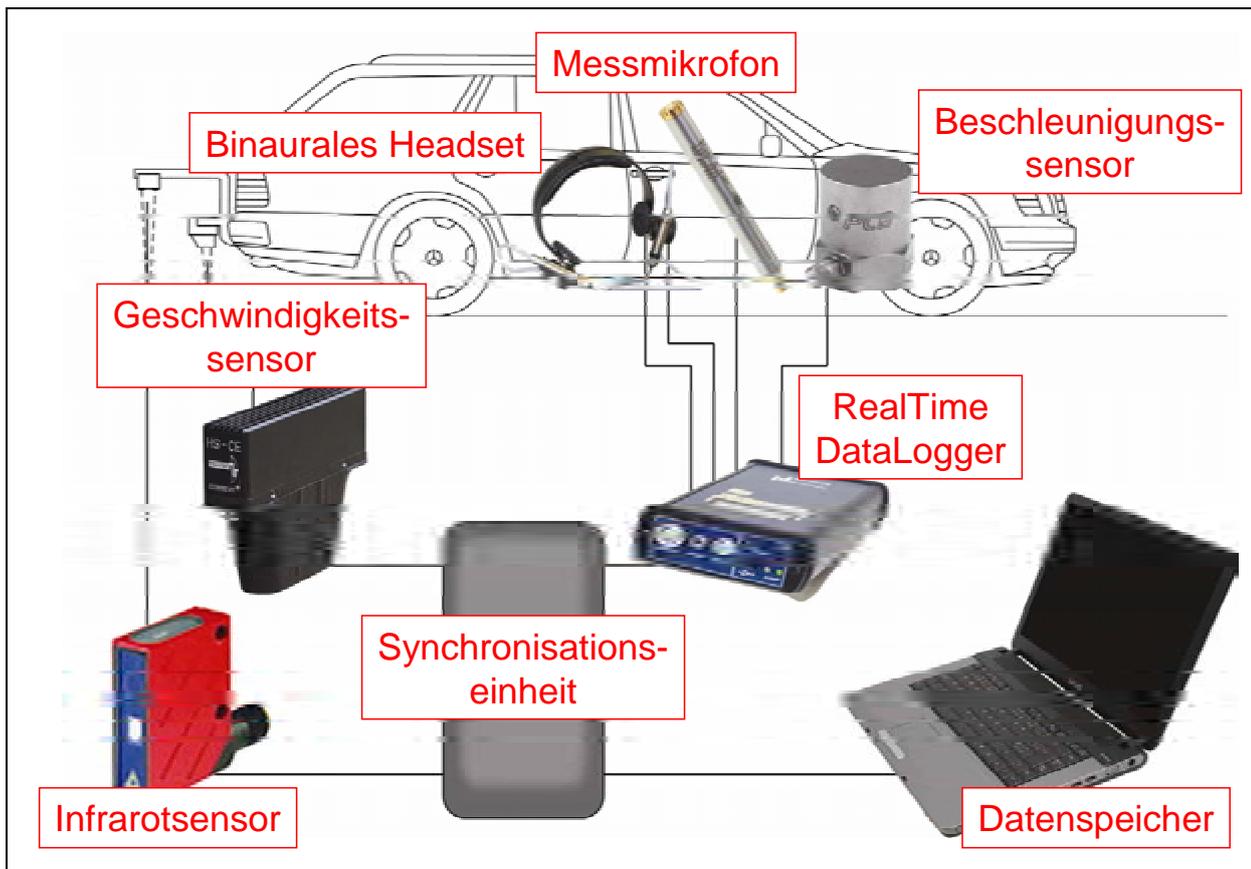


Bild 67: Prinzipskizze zum Aufbau der Messtechnik

5.3 Messtechnik

Die Messtechnik wurde in enger Zusammenarbeit mit der Firma Head-Acoustics zusammengestellt und durch selbst entwickelte Komponenten ergänzt. Das Messkonzept konnte mit vorhandener Messtechnik durch kleinere Modifikationen umgesetzt werden. Die einzelnen Bestandteile sind in einer Prinzipskizze in Bild 67 dargestellt und werden im Folgenden detailliert beschrieben.

Bei der messtechnischen Erfassung muss klar zwischen Primär- und Sekundärgrößen unterschieden werden. Die Primärgrößen sind

- Vertikalschwingungen der Sitzschiene,
- Vertikalschwingungen der Sitzfläche,
- Vertikalschwingungen des Lenkrads,
- akustische Parameter und
- psychoakustische Parameter.

Die Sekundärgrößen sind Hilfsgrößen, die notwendig sind, um die Fahrt des Pkw/Lkw zu beschreiben und die Fahreigenschaften zu überwachen. Im Wesentlichen stellen sie Ortsgrößen dar:

- Geschwindigkeit und
- Ortslage.

Die primären Kenngrößen wurden wie folgt erfasst:

Zwei PCB-Beschleunigungssensoren der Firma Piezotronics mit integrierter ICP® Mikroelektronik bilden die Sensorik zur Erfassung der Vertikalschwingungen an der Sitzschiene und dem Lenkrad (siehe Bild 68).

Ein kalibrierbares Messmikrofon der Firma Grass, welches auf Höhe der Beifahrerkopfstütze angebracht wird, liefert die akustischen Parameter. Zusätzlich wird ein binaurales Headset der Firma Head-Acoustics zur Erfassung der psychoakustischen Parameter eingesetzt (siehe Bild 69).

Die sekundären Kenngrößen wurden mittels folgender Sensorik gemessen:

Ein optischer Geschwindigkeitssensor der Firma Corsys-Datron zur Erfassung der exakten Geschwindigkeit des Fahrzeugs (ohne Einfluss von Schlupf, Tachungenauigkeit etc.) wurde mit einem Retro-Reflex-Sensor der Firma Leuze gekoppelt (siehe Bild 70). Dieser reagiert auf Reflexionsstreifen, welche ortsfest am Anfang und am Ende der Auswertestrecke auf der Straße aufgebracht



Bild 68: Beschleunigungssensoren am Lenkrad des Pkw



Bild 69: Messmikrofon und Fahrer mit binauralem Headset



Bild 70: Retro-Reflex-Sensor (oben) und Geschwindigkeitssensor (unten) in Messposition am Pkw



Bild 71: Realtime Data-Logger (Squadriga) (vorne) verbunden mit Synchronisationseinheit (links) und Notebook

werden. Mittels dieser beiden Sensoren kann sowohl die Geschwindigkeit als auch die Ortslage auf der Messstrecke zentimetergenau festgehalten werden.

Die Messdaten der Primärsensorik werden zeit-synchron über eine Synchronisationseinheit mit den Sekundärdaten gekoppelt und mit einem Real-time-Data-Logger (Squadriga) der Firma Head-Acoustics aufgezeichnet. Die Massenspeicherung der Messdaten wird zeitnah über ein Notebook abgewickelt. Der Data-Logger kann zusätzlich via Notebook angesteuert werden. Dies ermöglicht sowohl das gezielte Triggern der Datenaufzeichnung als auch eine direkte visuelle Kontrolle vor Ort durch die Software ARTEMIS der Firma Head-Acoustics (siehe Bild 71).

5.4 Versuchsaufbau

Auf der in Kapitel 5.2 beschriebenen Messstrecke wurden in einem ersten Schritt Versuche zur Wirkung von einzelnen Rüttelelementen durchgeführt. Diese sollen primär Aussagen zur akustischen Wirkung der Rüttelelemente ermöglichen. Die haptische Optimierung erfolgt in erster Linie durch Variation der Abstände zwischen den einzelnen Elementen und wird in Kapitel 5.4.4 näher erläutert.

5.4.1 Herstellung der Versuchskörper

Eine Hauptschwierigkeit bei der Versuchsplanung war die Materialwahl zur Herstellung der Versuchskörper. Die Versuchskörper sollten schnell und ohne unverhältnismäßigen technischen und finanziellen Aufwand hergestellt werden und dabei ein ähnliches Materialverhalten aufweisen wie der Straßenkörper.

In Orientierung an bestehende Produkte („Rumbler“ der Firma Swarco, USA) wurden Versuchskörper aus Thermoplasten bezüglich ihrer Eignung untersucht. Hohe Flexibilität durch die „werkstattseitige“ Vorfertigung und geringe Abweichungen der Form machen dieses Material ideal für Modellversuche. Diesen Vorteilen stehen jedoch die Kosten entgegen, welche durch die große Variantenzahl entstehen würden. Da sich die einzelnen Formen voneinander unterscheiden und so für eine geringe Stückzahl von 2-3 Streifen jeweils eine neue Form erstellt werden müsste, konnte diese Lösung nicht umgesetzt werden.

Am geeignetsten erwies sich die Entwicklung mittels straßenbauverwandten Materialien. Vorversuche mit Gussasphalt geringster Körnung erwiesen sich als ungeeignet, da sich das Material nicht genügend genau in den angestrebten Dicken von 5 bis 15 mm herstellen ließ. Epoxidharz gemischt mit

kleinen Gesteinskörnungen erwies sich im Labor als durchaus haltbar, wies jedoch ähnliche Probleme wie Gussasphalt auf. Nach zahlreichen Vorversuchen fiel die Entscheidung letztendlich auf Fahrbahnmarkierungsmaterialien. Diese erfüllen die Anforderung des Projektes am besten: Das Material ist ausreichend im Straßenbau getestet und bildet eine Standardlösung in heutigen Bauverfahren. Es ist haltbar und weist eine ausreichende Härte auf, ohne dabei zu spröde zu sein. Die Bildung von Eigenfrequenzen ist durch den engen Verbund mit dem Untergrund und den asphaltähnlichen Materialeigenschaften ausgeschlossen.

Die Formen der Rüttelstreifen lassen sich mittels eines geeigneten Markierungsschuhs ausreichend variieren und in hohem Genauigkeitsgrad herstellen.

Die Formen der Rüttelstreifen wurden in CAD konstruiert und mittels Laserschneidverfahren aus Stahlblechen hergestellt (siehe Bild 72). Durch die Konstruktion eines flexiblen Markierungsschuhs lassen sich Formen von 10 bis 50 cm Breite und 5 bis 25 mm Höhe herstellen (siehe Bild 73).

Nach Voruntersuchungen erwies sich eine Kaltplaste¹⁹ als geeignet, die Rüttelstreifen sowohl zeit- als auch kostensparend herzustellen. Die Straßenoberfläche wird zuerst mit einem Trennmittel behandelt. Dieses ermöglicht nach Abschluss der Versuche eine oberflächenschonende Entfernung des Versuchskörpers. Auf die so präparierte Fahrbahnoberfläche wird die Kaltplaste mittels Markierungsschuh an einer definierten Stelle quer zur Fahrbahn aufgebracht (siehe Bild 74).

5.4.2 Versuchsträger

Für die Versuchsdurchführung wurden zwei Fahrzeugtypen ausgewählt. Ein Pkw der Mittelklasse und ein kleiner Lkw (7,5 t). Um die Vergleichbarkeit über alle Versuchsreihen zu gewährleisten, wurde ausschließlich auf Kfz des eigenen Fuhrparks zugegriffen. Aus der Pkw-Klasse wurde ein Ford Mondeo eingesetzt. Aus der Klasse der Lastkraftwagen kam ein ATEGO der Firma Daimler-Chrysler zum Einsatz. Im Folgenden werden die Versuchsfahrzeuge im Detail beschrieben.



Bild 72: Schablonen aus Stahlblech



Bild 73: Markierungsschuh



Bild 74: Herstellung Versuchskörper



Bild 75: Versuchskörper (vollständig ausgehärtet)

¹⁹ Limboplast D480 Profil der Firma „Limburger Lackfabrik“

Personenkraftwagen:

Der Wagen ist serienmäßig ausgestattet und bereift. Die Versuchsfahrten bis 70 km/h wurden im 4. Gang und ab 80 km/h im 5. Gang ausgeführt.

- Type: Ford Mondeo
- Erstzulassung: 06/2002
- Kraftstoff: Diesel
- Hubraum: 1.998 cm³
- Leistung: 66 kW/90 PS
- Bereifung: CONTINENTAL 205/55 R16
- Leergewicht: 1545 kg
- Zulässiges Gesamtgewicht: 2.140 kg
- Gewicht bei Versuchsfahrten: ca. 2.300 kg

Lastkraftwagen:

Der Lkw ist serienmäßig ausgestattet und bereift. Die Versuchsfahrten wurden bei allen Geschwindigkeiten im 5. Gang durchgeführt.

- Type: Daimler Chrysler Lkw ATEGO
- Erstzulassung: 11/2004
- Hubraum: 4.249 cm³
- Leistung: 90 kW bei 2.200 U/min
- Bereifung: CONTINENTAL 215/75 R17,5
- Leergewicht: 4.900 kg
- Zulässiges Gesamtgewicht: 7.490 kg
- Gewicht bei Versuchsfahrten: ca. 6.400 kg

5.4.3 Versuche zu Einzelementen

Die Messtrecke wurde in drei Abschnitte unterteilt:

- Beschleunigungsstrecke (ca. 800 Meter)
- Versuchsfeld (125 Meter)
- Bremsstrecke (ca. 400 Meter)

Zu Beginn und Ende des Versuchsfelds wurden Reflexionsstreifen auf der Fahrbahn aufgebracht. Mit Hilfe des Reflexionssensors wurde hier die Messung bei jeder Fahrt definiert gestartet und gestoppt (siehe Bild 77). Innerhalb des Versuchsfeldes wurden die ersten 25 Meter der hier sehr ebenen Strecke zur Beruhigung der Fahrzeuge frei gelassen. Nach 25 Metern wurde ein einzelner Streifen quer zur Fahrbahn aufgebracht. Da Vorversuche gezeigt haben, dass die Wirkung eines einzelnen Streifens nach 20 Metern auf jeden Fall abgeklungen war, wurde nach 75 Metern ein weiterer Streifen aufgebracht. Weitere 25 Meter später en-

dete die Messtrecke. Die Messung wurde hier mittels Reflexionsstreifen automatisch gestoppt. Im Folgenden wurde der Streifen mit beiden Fahrzeugen mehrfach überfahren. Dabei wurden die Geschwindigkeiten variiert. Die genaue Versuchsabfolge ist Tab. 8 zu entnehmen. Um Schwankungen durch Störgeräusche zu minimieren, wurden innerhalb einer Geschwindigkeitsklasse mehrere Messungen (mindestens 5 Stück) vorgenommen.

Während der Versuchsfahrt wurden sowohl die Sensoren als auch die Geschwindigkeit zeitnah überprüft. Wurden abnorme Abweichungen bzw. Sensorübersteuerungen festgestellt, wurde die entsprechende Fahrt verworfen und wiederholt.

5.4.4 Versuche zu einer Abfolge von mehreren Elementen

Die Versuche zu einer Abfolge von mehreren Streifen mit unterschiedlichem Abstand fanden auf derselben Strecke wie die Versuche zu Einzelementen und unter analogen Versuchsbedingungen statt. Nach der Identifikation der optimalen Bauform der einzelnen Streifen war das Ziel dieser Versuchsreihe die Ermittlung des optimalen Abstands zwischen den Streifen. Dafür wurde der Abstand in Schritten von einem Meter zwischen zwei und fünf Metern variiert (Vergleiche hierzu die theoretischen Grundlagen in Kapitel 4.2). Pro Abstand wurden jeweils fünf Streifen auf die Fahrbahn aufgebracht (siehe Bild 78 und Bild 76). Hier wurden ebenfalls mindestens fünf Messwertreihen pro Geschwindigkeitsbereich erfasst (siehe Tab. 9).



Bild 76: Messtechnische Voruntersuchungen zur Abfolge mehrere Rüttelstreifen – Messtrecke mit fünf Versuchskörpern

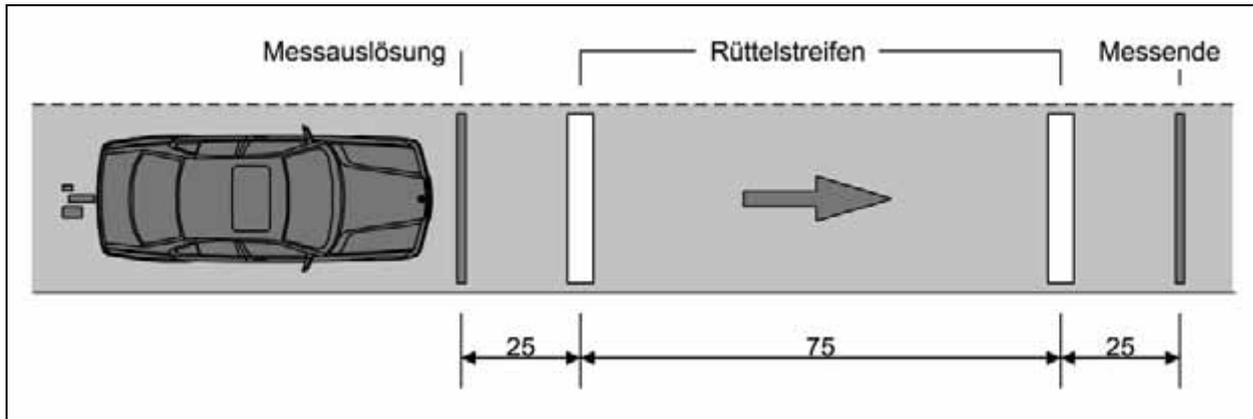


Bild 77: Versuchsanordnung zu einzelnen Streifen (Prinzipskizze in der Draufsicht)

Fahrzeugtyp	Geschwindigkeit [km/h]							
	50	60	70	80	90	100	110	120
Pkw	-	5	5	6	5	5	6	7
Lkw	5	5	6	7	-	-	-	-

Tab. 8: Anzahl der Versuchsfahrten nach Geschwindigkeitsklassen (Einzelelemente)

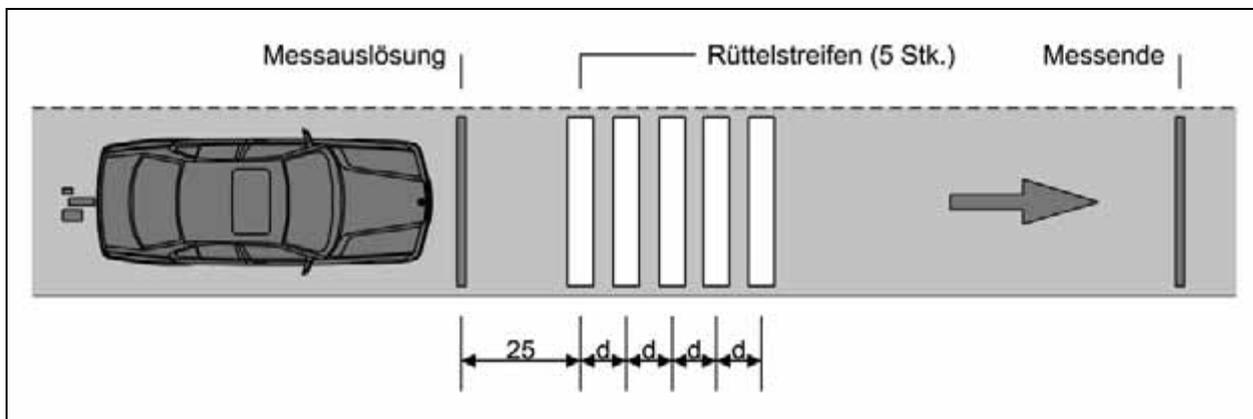


Bild 78: Versuchsanordnung zu mehreren Streifen (Prinzipskizze in der Draufsicht)

Fahrzeugtyp	Geschwindigkeit [km/h]							
	50	60	70	80	90	100	110	120
Pkw	-	8	5	5	5	6	7	5
Lkw	6	5	7	6	-	-	-	-

Tab. 9: Anzahl der Versuchsfahrten nach Geschwindigkeitsklassen (Mehrfachelemente)

5.5 Messergebnisse

Aus den Versuchen, die in den vorangehenden Kapiteln beschrieben wurden, resultieren große Datenmengen. Pro Überfahrt wurden die Daten von fünf Sensoren aufgezeichnet. Diese Messdaten wurden in einer späteren Nachbereitung archiviert und analysiert. Aus der Anzahl der Varianten, der Sensoren, der Analysen je Sensor kanal und der Versuchsfahrten resultierten ca. 2.500 einzelne Messreihen wie sie in Anhang D beispielhaft dargestellt werden. Auf Grund dieser Datenmengen mussten sinnvolle Zusammenfassungen getroffen werden.

5.5.1 Systematik der Messreihenauswertung

Die Auswertung der Messreihen erfolgte mit einer Kombination aus MatLab²⁰ und Artemis²¹. Die zeitabhängigen Rohdaten wurden in einem ersten Schritt mittels Artemis unterschiedlichen Analysen unterzogen. Bei den akustischen Signalen erfolgten Bewertungen mit der A-Filter-Kurve, sowie psychoakustische Auswertungen der „Schärfe“, „Lautheit“ und „Rauheit“. Die haptischen Eingangssignale wurden unter Berücksichtigung der frequenzabhängigen Bewertungsfunktionen nach VDI 2057 in bewertete Schwingungen überführt. Die Ergebnisse dieser Analysen sind einzelne Messreihen physikalischer Größen unter Berücksichtigung der Wirkung auf den Menschen. Im Einzelnen ergeben sich die akustischen und psychoakustischen Messreihen der

- A-bewertete Lautstärke,
- Lautheit,
- Schärfe,
- Rauheit

und die schwingungstechnischen Messreihen der bewerteten Vertikalschwingungen der

- Sitzschiene,
- Sitzfläche und des
- Lenkrads.

Die weitere Verarbeitung und Akkumulierung der Messreihen erfolgte für die akustischen Parameter als Pegelmessreihen im Gegensatz zu den hapti-

²⁰ MATLAB ist ein eingetragenes Warenzeichen von The Math Works Inc., Natick, Ma, USA

²¹ ARTEMIS (Advanced Research Technology for Measurement and Investigation of Sound and Vibration) ist ein eingetragenes Warenzeichen von HEAD acoustics GmbH, Aachen, Deutschland

schen Parametern als um Null oszillierendes Signal.

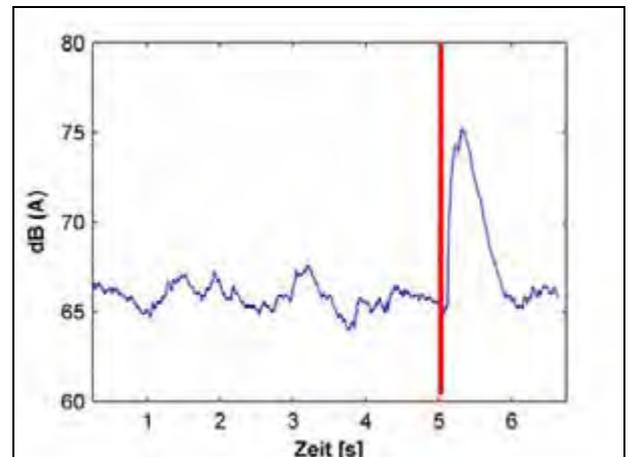


Bild 79: beispielhafte Darstellung der A- bewerteten Lautstärke im Fahrzeuginnenraum in dB(A) mit Kennzeichnung des Rüttelstreifens

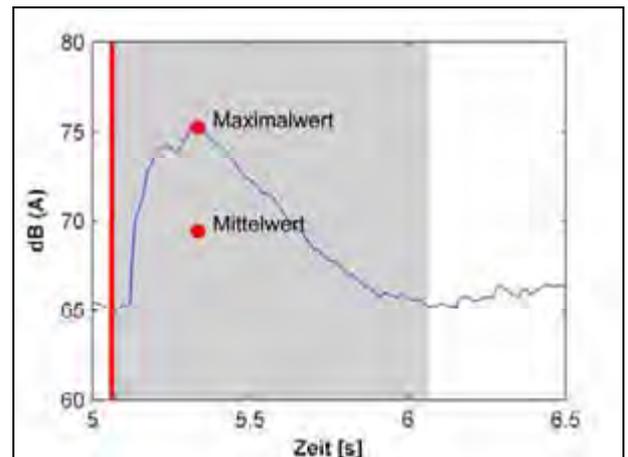


Bild 80: Auswertungsrelevanter Bereich am Beispiel der A- bewerteten Lautstärke mit Maximalwert und Mittelwert

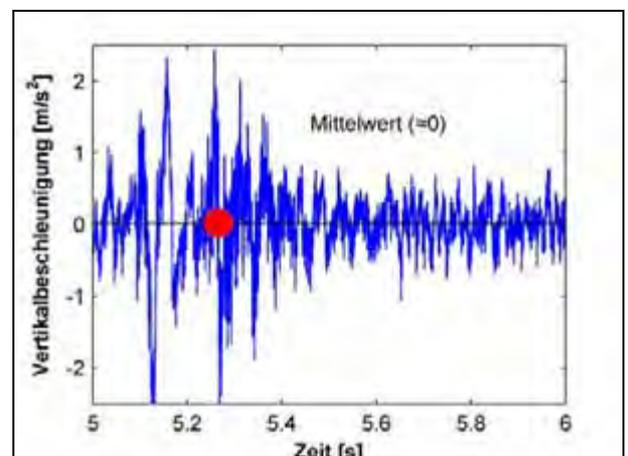


Bild 81: Beispielhafte Darstellung der Vertikalbeschleunigung im Fahrzeuginnenraum (Mittelwert ungefähr Null)

Bei den akustischen Parametern dB(A), Lautheit, Rauheit und Schärfe wurden sowohl der Mittelwert als auch der Maximalwert der Messabschnitte jeder einzelnen Messreihe extrahiert (siehe Bild 80).

Bei den haptischen Parametern handelt es sich um Schwingungen um den Nulldurchgang. Eine Mittelwertbildung macht hier wenig Sinn, da sich die positiven und negativen Schwingungsanteile tendenziell gegenseitig aufheben. Der Mittelwert läge unabhängig von der Schwingungsamplitude bei Null (vergleiche Bild 81). Für Bewertungen von Schwingungen findet daher in Deutschland der „Effektivwert“ Anwendung. Liegt ein reelwertiges Signal s mit der bekannten Periodendauer T vor, berechnet sich der Effektivwert nach Gl. 6.

$$s_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{t_0+T} s^2(t) dt} \quad \text{Gl. 6}$$

Mit: s_{eff} Effektivwert [I]
 t_0 Startzeitpunkt [s]
 T Einwirkungsdauer [s]
 s Signal [I]

$$s_{eff} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^n x_i^2} \quad \text{Gl. 7}$$

Mit: s_{eff} Effektivwert [I]
 n Anzahl der Einzelwerte [-]
 x_i Einzelwert [I]

$$VDV = \sqrt[4]{\int_0^T a_w^4 dt} \quad \text{Gl. 8}$$

Mit: VDV Vibration Dose Value nach Griffin [m/s^{1,75}]
 a_w bewertete Schwingungssignal [m/s²]
 T Einwirkdauer [s]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i \quad \text{Gl. 9}$$

Mit: x Mittelwert [I]
 x_i Einzelwerte [I]
 n Anzahl der Einzelwerte [-]

$$\sigma_x = \frac{1}{n} \sqrt{\text{VAR}(X)} \quad \text{Gl. 10}$$

Mit: σ_x Standardabweichung [I]
 n Anzahl der Einzelwerte [-]
 VAR Varianz [I]

$$\bar{x} - 3 \cdot \sigma_x < x_i < \bar{x} + 3 \cdot \sigma_x \quad \text{Gl. 11}$$

Mit: x Mittelwert [I]
 σ_x Standardabweichung [I]
 x_i Einzelwert [I]

Liegt eine stochastische Wertereihe vor, wie im Fall der stochastischen Fahrbahnunebenheit, kann der Effektivwert mit dem Näherungsverfahren nach Gl. 7 berechnet werden. Vereinfachend wird der Effektivwert oft mit „Wurzel aus dem Mittelwert der Quadrate“²² bezeichnet.

Neben dem hier beschriebenen Effektivwert wird in der Industrie zum Vergleich von Schwingungsbelastungen bei instationären Ereignissen häufig der von GRIFFIN (1990) vorgeschlagene „Vibration Dose Value“ verwendet. Dieser berechnet sich aus der frequenzbewerteten Beschleunigung²³ nach dem 4. Potenz-Gesetz (siehe Gl. 8).

Da es sich bei der Schwingungsanregung durch Einzelereignisse (Rüttelstreifen) um einen instationären Vorgang handelt, welcher im hohen Maße durch seine Impulshaftigkeit geprägt ist, bietet sich diese Methode auch zur Bewertung der Wirkung von Rüttelstreifen an. Bei der Verwendung des VDV nach Griffin werden durch den Einsatz der „4. Potenz“ einzelne impulshafte Ausschläge im Vergleich zum „Hintergrundrauschen“ stärker gewichtet als bei der Verwendung des Effektivwerts. Nachteil des VDV gegenüber dem RMS stellt die Zeitabhängigkeit dar. Während bei gleich starken Schwingungssignalen unterschiedlicher Zeitdauer der RMS gleich bleibt, steigt der VDV mit zunehmender Zeit weiter an. Diesem Sachverhalt kann begegnet werden, indem das analysierte Zeitfenster die gleichen Längen aufweist.

Als drittes Bewertungskriterium für die Wirkung der haptischen Signale wurde der maximale Ausschlag herangezogen. Entgegen den beiden vorab beschriebenen Bewertungsgrößen hat die zeitliche Dauer des Maximalausschlags hierbei keinerlei Wirkung. Mit der Ergänzung um den Maximalwert wird der Tatsache Rechnung getragen, dass noch nicht abschließend geklärt ist, in wie weit die Einwirkungsdauer bei extrem kurzen, impulshaften Schwingungsereignissen Auswirkungen auf die Bewertung durch den Menschen hat.

²² Teilweise hat sich auch der englische Begriff „root mean square“ in Deutschland etabliert.

²³ s. o.: Die Schwingungssignale wurden in einem ersten Schritt bereits mit den VDI-Bewertungsfunktionen (siehe Anhang H) in frequenzbewertete Beschleunigungen überführt.

Bei Vergleichen der Ergebnisse von VDV und RMS/Maximalwert der Schwingung wurde entgegen der ersten Erwartungen kein Mehrwert des VDV ersichtlich.

Der VDV wird in der Praxis vorrangig zur Bewertung der Gesundheitsschädigung durch Schwingungen verwendet. Solche Schädigungen entstehen erst bei längerer Exposition. Ein Vergleich der hier ermittelten Werte über eine Zeitdauer von ca. 2 Sekunden mit Werten aus der Literatur, die im Minuten- bzw. Stundebereich liegen, kann nicht erfolgen.

Auf Grund des bereits oben angesprochenen instationären Charakters der akustischen und haptischen Signale, und da es sich beim Schwingungssystem Fahrzeug um ein hochkomplexes Modell handelt, kommt es bei den so erzeugten Einzelwerten zu Streuungen. Die Einzelwerte wurden in einem letzten Schritt in Mittelwerte überführt.

Die Standardabweichung wurde als Maß für die Messreihenqualität herangezogen. Mit Hilfe der Standardabweichung wurde ebenfalls ein einfacher „Ausreißertest“ durchgeführt. Als Vertrauensbereich wurde nach Gl. 11 der Bereich zwischen Mittelwert minus zweifacher und Mittelwert plus zweifacher Standardabweichung festgelegt. Mit 95,4 % Sicherheit müssten die Messwerte in diesem Bereich liegen, wenn sie nicht mit zufälligen Fehlern behaftet sind. Die Messreihen, die gegen die Beziehung nach Gl. 11 verstießen, wurden als „Ausreißer“ verworfen. Da die Messreihen schon während der Datenerfassung in Echtzeit voranalysiert wurden, konnte dieser Fall im Vorfeld weitestgehend ausgeschlossen werden. Insgesamt wurden 4 Messreihen auf Grund dieses Ausreißerkriteriums verworfen.

Die Ergebnisse dieser sukzessiven Datenreduktion sind überschaubare Grafiken. Die Ergebnisse sind beispielhaft im Kapitel 5.5.2 und vollständig in Anhang E und F dargestellt.

5.5.2 Ergebnisse der Messungen von Einzelelementen

Ziel der messtechnischen Untersuchungen zu Einzelelementen war die Identifikation der haptisch und akustisch wirksamsten Profilform eines Einzelelements. Die Konzeption dieser Untersuchung basierte auf der Annahme, dass sich die haptische und akustische Anregung weitestgehend entkoppeln lässt. Diese Annahme konnte im Rahmen dieser Untersuchung jedoch nicht vollständig bestätigt werden. Insbesondere die akustischen Eingangssignale werden durch die haptisch wirksamen Profilformen stark beeinflusst.

Die Rüttelstreifen wurden, wie bereits in Kapitel 4 dargestellt, aus einer haptischen Form und einer akustischen Oberflächenmodulation zusammengesetzt. In der ersten Messreihe wurden rein haptische Formen, wie beispielsweise Sägezahn oder Kreissegment mit glatter Oberfläche, analysiert. Auf diesen Messungen aufbauend konnte die Keilform neben der Sinusform als haptisch wirksamste Form identifiziert werden (vergleiche Bild 87). Die Sinusform schied für die weiteren Versuchsreihen aus. Zum einen war es bei einer Höhenbegrenzung von 15 mm unmöglich, eine zusätzliche Oberflächenmodulation zur akustischen Optimierung auf die Sinuswelle aufzubringen. Zum anderen liegt der Fokus der Untersuchung auf kostengünstigen und schnell umsetzbaren Varianten. Für eine erfolgreiche Anregung des Fahrzeugs mittels Sinusprofilen ist eine größere laterale Ausdehnung der Rüttelstreifen nötig. Eine Ausführung mit Fahrbahnmarkierungsmaterial wie beispielsweise bei dem z.B. in England eingesetzten System „Rippleprint“ führt sowohl zu deutlich höheren Baukosten als auch Bauzeiten. Zudem können auf Dauer negative Auswirkungen auf die Griffigkeit nicht ausgeschlossen werden. Aus diesen Gründen wurde die Profilform „Sägezahn“ als Basis für die weiteren Untersuchungen gewählt.

Auf die glatte Oberfläche des „Sägezahns“ wurden im zweiten Messblock unterschiedlich strukturierte Oberflächenmodulationen aufgebracht. Im Wesentlichen basierte deren Variation auf der Annahme, dass der Hauptanteil der akustischen Signale durch Reifenschwingungen in ähnlicher Frequenzzusammensetzung wie die der Oberfläche erzeugt wird.

Die Analysen haben gezeigt, dass die haptischen Signale weniger von der Bauform der Einzelelemente abhängen, als vielmehr von deren Höhe und der „Plötzlichkeit“ der vertikalen Auslenkung. Die haptische Wirkung der Sägezahnform steigt proportional mit der maximalen Auslenkung in vertikaler Richtung. Die haptischen Effekte, die durch die Rüttelstreifen erzeugt werden, lagen in Ihrer Größe jedoch unterhalb der erwarteten Werte. Eine starke Differenzierung durch unterschiedliche Bauformen konnte nicht erfolgen. Lediglich die Variation der Höhe könnte größere Differenzen zwischen den einzelnen Streifen bewirken. Aus betrieblichen und verkehrssicherheitstechnischen Gründen ist es jedoch nicht vertretbar die Profile beliebig hoch zu gestalten. In Anlehnung an die Konzepte nach BRILON (2001) (vergleiche Kapitel 2.6.2), den Empfehlungen der MVMOT 2007 (ver-

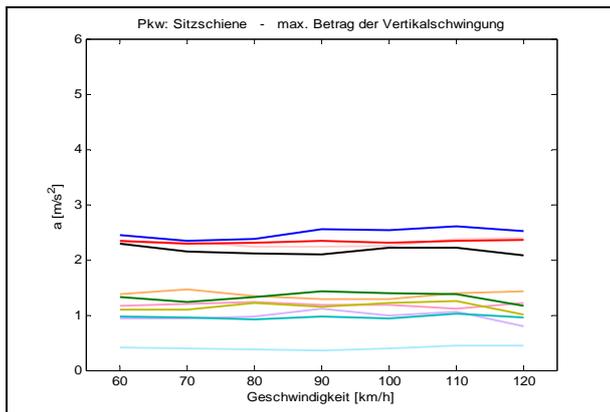


Bild 82: Ergebnisse der Messung von Einzelementen: maximale Vertikalschwingungen in der Sitzschiene

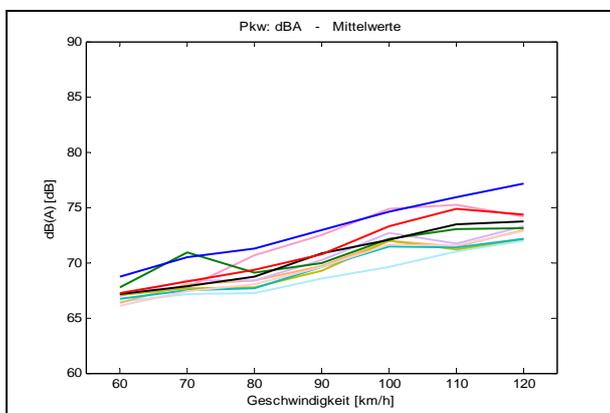


Bild 83: Ergebnisse der Messungen von Einzelementen: Mittelwerte der A bewerteten Lautstärke im Pkw-Innenraum

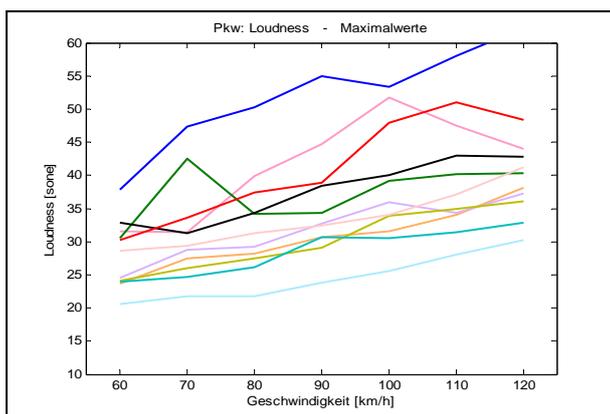


Bild 84: Ergebnisse der Messungen von Einzelementen: Maximalwerte der Lautheit im Pkw-Innenraum

gleiche Kapitel 2.6.4) und der bereits markterprobten Produkte der Firma Swarco²⁴ wurde die maximale Höhe des gesamten Profils auf 15 mm begrenzt. Bei den akustischen Auswertungen stellt

sich das Resultat ähnlich dar. Der Hauptanteil der akustischen Signale wird durch das plötzliche „herabfallen“ des Reifens am Ende des Streifens erzeugt. Die Oberflächenmodulation hat indes nur geringeren Anteil an der Lautstärke und Tonhaltigkeit (Rauheit, Schärfe) des akustischen Signals. Wie Bild 84 zu entnehmen ist, sind die Differenzen zwischen den unterschiedlichen Profilformen im Mittel weniger stark ausgeprägt als anfangs angenommen. Der maximale Unterschied zwischen „Nullmessung“ (siehe auch Bild 82 bis Bild 84; die hellblaue Linie entspricht der Nullmessung) ohne Rüttelstreifen und der lautesten Profilform liegt zwischen 5 dB(A) bei den Mittelwerten und 12 dB(A) bei den Maximalwerten. Die Differenz zwischen unterschiedlichen Profilformen liegt hingegen mit 3,5 dB(A) bzw. 8,5 dB(A) niedriger. Die akustische Einwirkung auf den Fahrer kann demnach als eine kurzzeitige Verdoppelung der Lautstärke interpretiert werden. Die anfangs konzipierte gezielte Modellierung eines Tons durch die Oberflächenmodulation konnte mit den Rüttelstreifen jedoch nicht erreicht werden. Inwiefern diese kurzzeitige Steigerung um 5 bis maximal 12 dB(A) eine ausreichend warnende Wirkung auf den Fahrer hat, muss im Rahmen der verkehrlichen Wirkungsanalyse untersucht werden. Subjektiv kann das durch die Rüttelstreifen erzeugte Geräusch als „polternd“ bezeichnet werden, welches sich in allen untersuchten Geschwindigkeitsbereichen ähnlich darstellt. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Erkenntnissen von BRILON (2001): „Durch Rüttelstrecken wird demnach eine deutlich größere Schallpegelerhöhung als durch rein akustische Bremsen bewirkt. [...] Während beim Überfahren der Rüttelstreifen ein eher polterndes Geräusch entsteht, erzeugt die akustische Bremse [...] ein singendes Reifengeräusch (ähnlich einer profilierten Markierung).“

Für die Tatsache, dass die Modulation eines Tons bzw. einer bestimmten Frequenz des erzeugten Tons nur bedingt gelingt und das erwartete „pfeifende“ Geräusch ausbleibt, gibt es mehrere mögliche Erklärungen. Beispielhaft werden im Folgenden zwei Ursachen dargestellt. Die wahrscheinlichste Ursache für das fehlende Tonverhalten liegt in der geringen Anregungsdauer des Reifens. Der Signalton soll vorrangig über Reifenschwingungen erzeugt werden. Für den Reifen gilt analog zum haptischen Gesamtsystem, dass das System in eine Schwingung versetzt werden muss (vergleiche Bild 53). Bei den untersuchten Profilen (siehe Anhang C bzw. Bild 87), erkennt man eine laterale Ausdehnung der akustisch wirksamen Oberfläche von 32,5 cm mit Abständen zwischen den einzelnen akustischen Teilprofilen von 2,5 – 7,5 cm. Bei

²⁴ SWARCO HOLDING AG, Wattens, Österreich

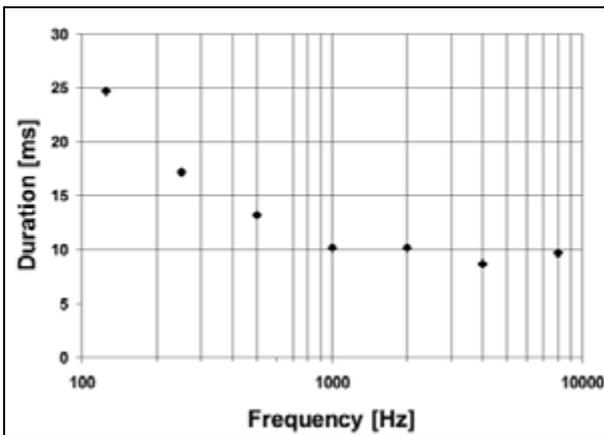


Bild 85: Mindestlängen von Sinustönen die notwendig sind, damit der jeweilige Reiz von Probanden als tonal erkannt wird, in Abhängigkeit von der Frequenz des akustischen Reizes (nach TRUAX, 1999)

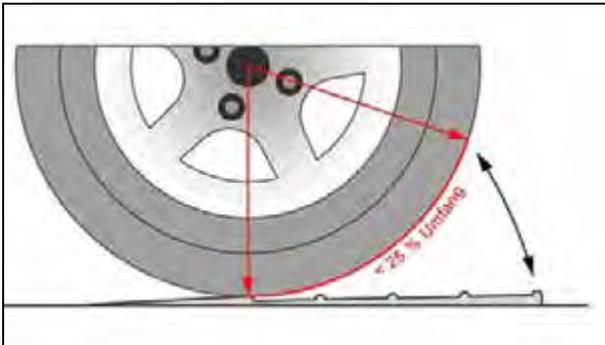


Bild 86: Abwicklung des Reifens beim Überrollen eines Rüttelstreifens (eigene Darstellung)

einem mittleren Reifendurchmesser von 40 bis 50 cm ergibt sich ein Reifenumfang von $U = 125$ bis 160 cm. Das bedeutet, dass ein Reifen beim Überrollen des Rüttelstreifens auf maximal 25 % seiner Abwicklung eine akustische Anregung erfährt (siehe Bild 86) und diese auf Grund der geringen Anregungshöhe von 5 mm eine geringe Wirkung auf die Mantelschwingung des Reifens hat. Eine Überlagerung einzelner Schwingungen

erfolgt kaum, so dass das System nicht in Eigenschwingung versetzt wird. Der Reifen fungiert demnach bei dieser kurzen Anregung nicht als Resonanzkörper.

Ein weiterer Grund liegt weniger in der Systemeigenschaft des Reifens, als vielmehr in der Wahrnehmungspsychologie bzw. –physiognomie des Menschen. Die tonale Wahrnehmung eines Tons setzt eine gewisse Dauer des Schallereignisses voraus. TRUAX untersuchte 1999 diesen Sachverhalt am Beispiel von reinen Sinustönen. Die Ergebnisse sind in Bild 85 dargestellt.

Hier ist erkennbar, dass im wahrnehmbaren Frequenzbereich eine Mindestdauer von 10 Millisekunden als Voraussetzung für die tonale Erkennbarkeit anzusehen ist. Bei einer Überrollung eines Rüttelstreifens dauert die Tonanregung bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h und einer lateralen Ausdehnung der akustisch wirksamen Oberfläche von 32,5 cm lediglich 12 Millisekunden. Somit liegt die Anregungsdauer nur knapp über der absolut unteren Grenze der tonalen Erkennbarkeit. Dieser Sachverhalt kann ebenfalls als mögliche Ursache für die geringen Unterschiede im Bereich der psychoakustischen Parameter angesehen werden (siehe Bild 85). Im Rahmen des Projekts konnte kein eindeutiger Grund für die zum Teil geringen Auswirkungen der Oberflächenstruktur auf die Modulation der psychoakustischen Größen Schärfe und Rauheit identifiziert werden.

Als Fazit der Untersuchungen von Einzelformen können sowohl für die haptische, als auch für die akustische Anregung grundlegende Ergebnisse formuliert werden, die eine optimierte Beeinflussung des Fahrers erwarten lassen.

Als haptisch und betrieblich optimierte Grundform eines Streifens stellt sich als Ergebnis der Analysen der „Sägezahn“ dar. Auf diese Grundform wird eine modellierte Oberfläche zur gezielten Erhöhung der Lautstärke im Fahrzeuginnenraum aufgebracht.

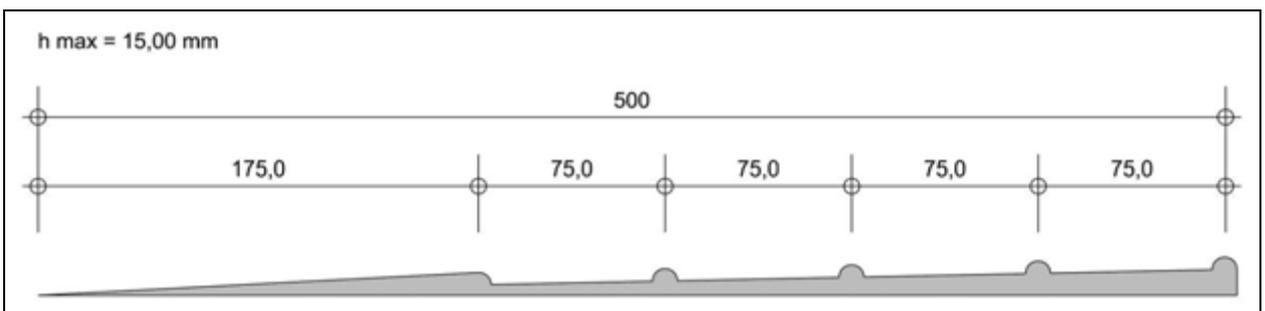


Bild 87: optimierte Form eines einzelnen Rüttelstreifens im Schnitt [alle Angaben in mm]

Die Oberflächenmodulation besteht aus halbkreisförmigen Unebenheiten mit einem Abstand von 75 mm. Dieser Abstand hat sich insbesondere im Bereich höherer Geschwindigkeiten als geeignet erwiesen ein Geräusch zu erzeugen, welches sich ausreichend vom Grundpegel im Fahrzeuginnenraum abhebt (siehe auch Bild 82 bis Bild 84; rosa Linie).

Aus der Kombination von Sägezahnform und Oberflächenstruktur ergibt sich die optimierte Bauform für einzelne Rüttelstreifen nach Bild 87. Die maximale Höhe wird aus betrieblichen Gründen auf 15 mm begrenzt. Inwieweit diese Höhe im Straßenverkehr realisierbar ist, wird im Rahmen der Feldversuche unter Verkehr diskutiert (vergleiche Kapitel 6).

5.5.3 Ergebnisse der Messungen einer Elementfolge

Neben der zuvor untersuchten haptischen, akustischen und psychoakustischen Wirkung von Einzelelementen und dem daraus abgeleiteten Design eines einzelnen Rüttelstreifens stellt insbesondere für die Ausprägung der haptischen Anregung der Abstand zwischen einzelnen Elementen eine wesentliche Einflussgröße dar. Der wirksamste Abstand zwischen Einzelelementen wurde ebenfalls messtechnisch ohne Verkehr ermittelt. Die Methodik dieser messtechnischen Untersuchung erfolgte analog zu den bereits dargestellten Messungen und Analysen von Einzelelementen. Hierbei wurden die einzelnen Rüttelstreifen gemäß Bild 87 ausgeführt.

Das Hauptaugenmerk dieser messtechnischen Untersuchung lag auf den haptischen Parametern, da sich die haptische Wirkung durch positive Überlagerung verstärken bzw. durch negative Überlagerung stark verringern kann. Dieser Zusammenhang ist in Bild 88 deutlich zu erkennen.

Während die Abstände bei dem ersten Rüttelstreifenpaket bewirken, dass sich die Schwingungen positiv überlagern und somit die Vertikalbeschleunigung maximiert wird, sind die Abstände bei dem zweiten überfahrenen Rüttelstreifenpaket schlecht gewählt. Die Schwingung kann sich nicht aufbauen, sondern wird auf niedrigerem Level gehalten. Am detailliertesten ist die Wirkung der Vertikalbeschleunigungen auf den Menschen bei einer Fourier Analyse²⁵ der Messfahrt zu erkennen (siehe Bild

89). Wie bereits in Kapitel 3.4 beschrieben und im Anhang B durch die Bewertungskurven nach VDI 2057 dargestellt, ist der Mensch besonders empfindlich gegenüber Schwingungen mit niedrigen Frequenzen von 4 bis 9 Herz. Diese Frequenzbereiche sind gemäß FFT²⁶-Analyse in dem ausgewählten Beispiel bei dem ersten Rüttelstreifenpaket deutlich als helle Stellen zu erkennen. Während der hochfrequente Schwingungsanteil bei beiden Anordnungsformen annähernd gleich ist bzw. bei dem rechten Rüttelstreifenpaket tendenziell stärker ausgeprägt ist, ist hier der relevante Frequenzbereich nicht so stark vertreten. Die linke Anordnung kann demnach als wirkungsvollere Anordnung identifiziert werden. Da der Grad und die Qualität der Überlagerungswirkung neben Radstand und Abstand primär von der Geschwindigkeit abhängen, ist eine Einzelbetrachtung von Messfahrten auf diese Weise jedoch nicht zielführend.

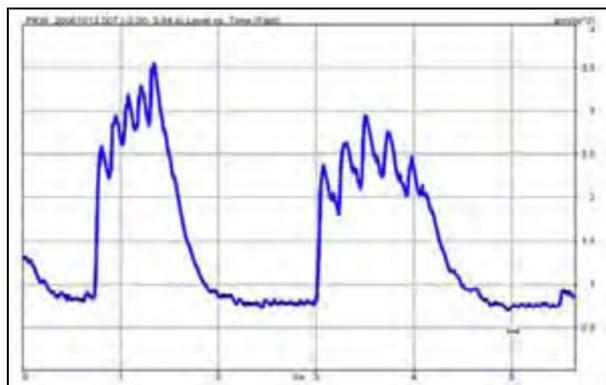


Bild 88: beispielhafte Darstellung der Schwingung in der Sitzschiene eines Pkw (Dargestellt als Pegel)

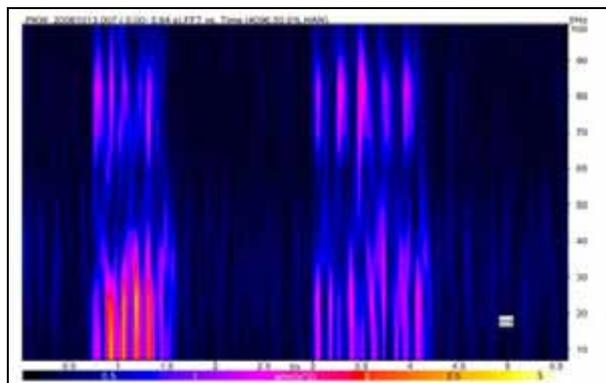


Bild 89: beispielhafte Darstellung einer Fast Fourier Analyse der Schwingungen in der Sitzschiene eines Pkw (FFT vs. time)

²⁵ Die Fourier Analyse beschreibt das Zerlegen eines beliebigen periodischen Signals in eine Summe von Sinus- und Kosinusfunktionen (eine sogenannte Fourier Reihe). Sie zerlegt ein Signal damit in seine Frequenzanteile. Das Frequenzspektrum des gesamten Signals ist somit unterschiedlichen Analysen zu-

gänglich. Hauptsächlich vorkommende Frequenzanteile können identifiziert werden.

²⁶ FFT: aus dem englischen für Fast Fourier Transformation. Eine häufig angewandte Form der Fourier Analyse insbesondere bei Echtzeitanwendung und sehr großen Datenmengen.

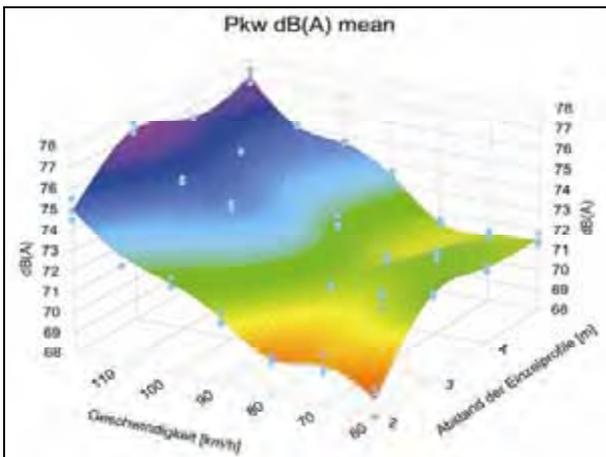


Bild 90: Akkumulierte Messergebnisse Pkw: A-bewertete Lautstärke in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und des Abstands der Einzellemente

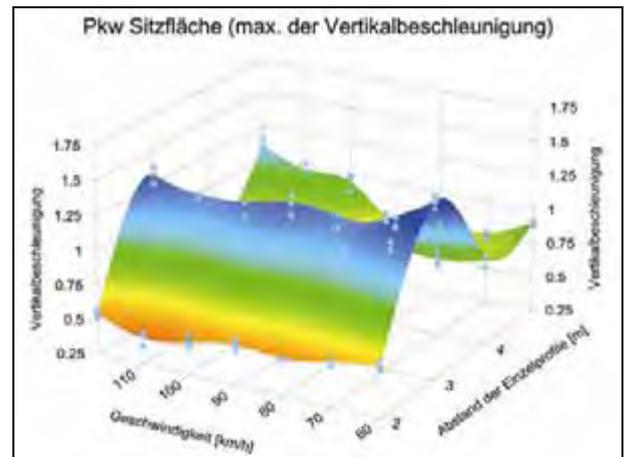


Bild 93: Akkumulierte Messergebnisse Pkw: Maximalwerte der Vertikalbeschleunigungen im Sitz in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und des Abstands der Einzellemente (3-D Darstellung)

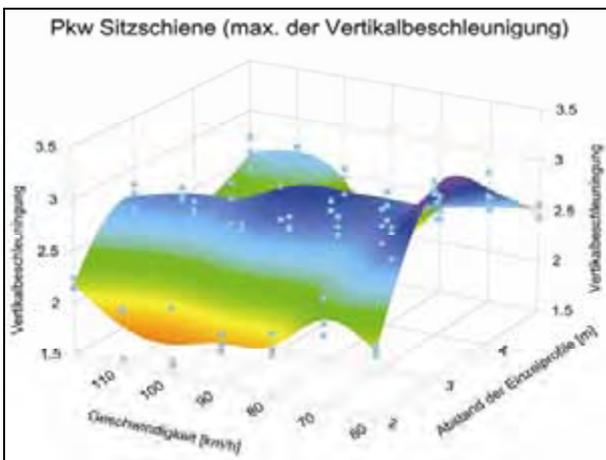


Bild 91: Akkumulierte Messergebnisse Pkw: Maximalwerte der Beschleunigung in der Sitzschiene in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und des Abstands der Einzellemente

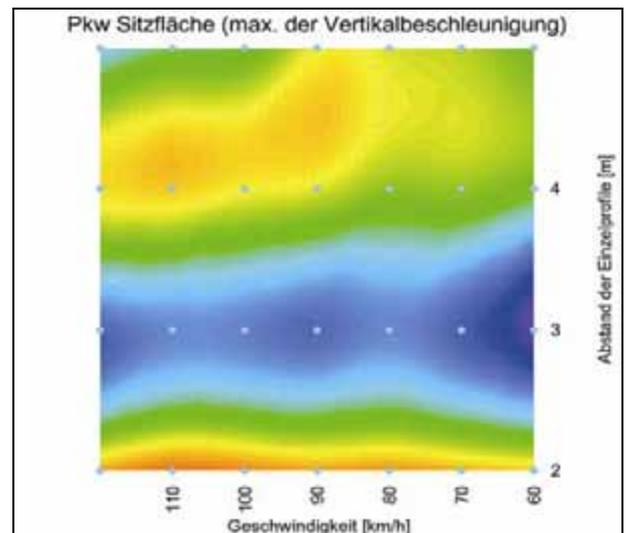


Bild 94: Akkumulierte Messergebnisse Pkw: Maximalwerte der Vertikalbeschleunigungen im Sitz in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und des Abstands der Einzellemente (Flächendarstellung)

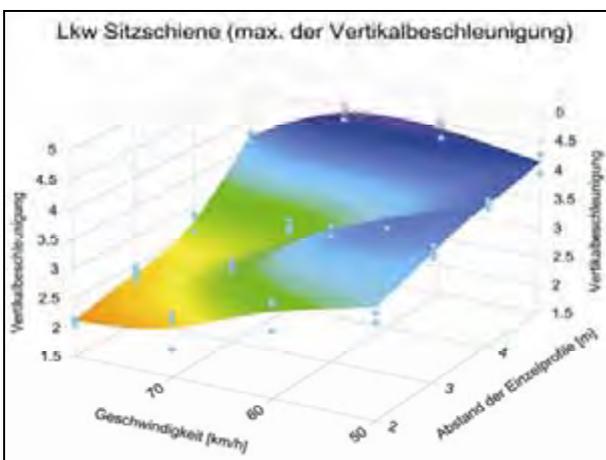


Bild 92: Akkumulierte Messergebnisse Lkw: Maximalwerte der Beschleunigung in der Sitzschiene in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und des Abstands der Einzellemente

Gemäß den Ausführungen in Kapitel 5.5.1 wurde die frequenzabhängige Wirkung der Rüttelstreifen durch Massendatenverarbeitung in Einzelwerte überführt, auf Ausreißer überprüft und in Diagrammen zusammengefasst. Insgesamt wurden 260 Messfahrten zu einer Abfolge von mehreren Rüttelstreifen durchgeführt. Da bei jeder Messfahrt 4 Messkanäle aufgezeichnet wurden, bzw. durch die Einbeziehung der psychoakustischen Größen und die Betrachtung unterschiedlicher Bewertungsgrößen (beispielsweise RMS, VDV, Maximalwert etc.) die Zahl der Messreihen auf über 4.000 stieg, musste zur bessern Veranschaulichung auch hier eine Zusammenfassung der Messdaten mittels Bildung von Mittelwerten und

Standardabweichungen erfolgen. Die Diagramme sind im Anhang E dargestellt. Da die große Anzahl von Ergebnisdiagrammen unübersichtlich und schwer zu interpretieren ist und für eine Anwendung sowohl die Eingangsparameter Geschwindigkeit, als auch Streifenabstand zu berücksichtigen sind, wurden die einzelnen Messwerte zusätzlich einer mehrdimensionalen Regressionsanalyse unterzogen. Das Resultat sind dreidimensionale Diagramme bzw. Flächendiagramme zu jeder Bewertungsgröße (siehe beispielhaft Bild 90 bis Bild 94 und Anhang F).

Der Vorteil der dreidimensionalen Diagramme liegt in der Möglichkeit, die Schwingungsauswirkung direkt visuell in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Abstand zugleich abzuschätzen. Für eine genauere Einordnung wurden die gleichen Daten zusätzlich als Flächendiagramme aufbereitet, da die dreidimensionale Darstellung teilweise stark verzerrt bzw. durch extreme Maxima im Vordergrund des Diagramms Verdeckungen auftreten können. In Bild 93 und Bild 94 sind beide Darstellungsarten exemplarisch dargestellt. Analoge Diagramme für alle Analysewerte finden sich im Anhang F.²⁷

Die akustischen Parameter (beispielhaft wird in Bild 90 die A bewertete Lautstärke dargestellt) sind weitestgehend unabhängig vom Abstand der einzelnen Streifen untereinander. Hier steigt die Lautstärke im Bereich der Rüttelstrecken in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit stark an, während die Änderung der Lautstärke in Abhängigkeit der Abstände eher gering ausfällt. Es ist klar zu erkennen, dass die Rollgeräusche, Motorgeräusche und die aerodynamischen Geräuschpegel mit steigender Geschwindigkeit in den Vordergrund rücken, während die Pegelanstiege durch Änderung der Impulsabstände als unbedeutend einzustufen sind. Wie bereits bei der Konzeption der Rüttelstreifen-ausbildung und -anordnung vermutet, und in Kapitel 4 beschrieben, wird die akustische Emission vorrangig durch die Form und in geringerem Maße auch von der Oberflächenstrukturierung einzelner Streifen bestimmt.

Hinsichtlich der Schwingungswirkung stellt sich das Bild anders dar. Wie in Bild 91 und Bild 92 zu erkennen ist, reagieren unterschiedliche Fahrzeugtypen sehr variabel auf unterschiedliche Rüttelstreifenabstände. Wie bereits in Kapitel 3.5.1 dargestellt, sind die Übertragungsfunktionen für Pkw und Lkw zwar in ihrer Form ähnlich, die Frequenzbereiche, in denen die Schwingungen maximal

verstärkt werden, sind jedoch grundsätzlich unterschiedlich.

Dieser Sachverhalt wird bei der Betrachtung aller Schwingungen, jedoch insbesondere bei den Schwingungen in der Sitzschiene deutlich (siehe Bild 91 und Bild 92). Während der betrachtete Pkw vorrangig im Bereich von Abständen um die drei Meter die maximale Schwingungsausprägung erfährt, liegt bei dem parallel untersuchten Lkw der empfindliche Schwingungsbereich lediglich bei 50 km/h ebenfalls im Bereich ähnlicher Rüttelstreifenabstände. Insgesamt reagiert der Lkw für den gesamten untersuchten Geschwindigkeitsbereich im Bereich hoher Abstände (größer 4,5 Meter) am empfindlichsten für Schwingungen.

Das Grundziel des Projekts besteht in der Beeinflussung von Fahrern, die die zulässige Geschwindigkeit auf Landstraßen überschreiten. Wird von einer vorrangigen Beeinflussung von Pkw-Fahrern ausgegangen, liegt die Wunschgeschwindigkeit also je nach v_{zul} zwischen 70 km/h und 120 km/h. Für diesen relevanten Geschwindigkeitsbereich kann der für Pkw optimal wirksame Abstand zwischen einzelnen Streifen von 3 Metern identifiziert werden. Eine starke Variation der Wirkung bei gleichem Abstand und unterschiedlicher Geschwindigkeit konnte entgegen den Erwartungen und theoretischen Vorüberlegungen nicht beobachtet werden. Es ist also nicht möglich, die Rüttelstreifen so zu konzipieren, dass die Wirkung nur die Fahrzeuge trifft, die die zulässige Geschwindigkeit überschreiten. Grundsätzlich werden die Fahrzeuge alle mit ähnlicher physikalischer Wirkung beeinflusst. Inwieweit diese haptische Anregung durch eine individuelle und vor allem subjektive Bewertung unterschiedlich stark wahrgenommen bzw. als störend empfunden wird, konnte auf Basis dieser rein messtechnischen Vorversuche nicht geklärt werden.

Die Festlegung des optimalen Abstands von 3 Metern auf Basis der theoretischen Vorüberlegungen wird somit durch die messtechnischen Versuche bestätigt. Eine geschwindigkeitsabhängige Verschiebung des optimalen Abstands nach Gl. 5 konnte hingegen nicht bestätigt werden.

$$d(v) = \frac{v}{f} \quad \text{Gl. 5}$$

Mit: d	Abstand [m]
v	Geschwindigkeit [m/s]
f	Frequenz [1/s]

²⁷ Da eine Zuordnung exakter Werte bei dieser Darstellungsform jedoch teilweise schwierig zu realisieren ist, wurden zusätzlich alle zweidimensionalen Diagramme im Anhang aufgeführt.

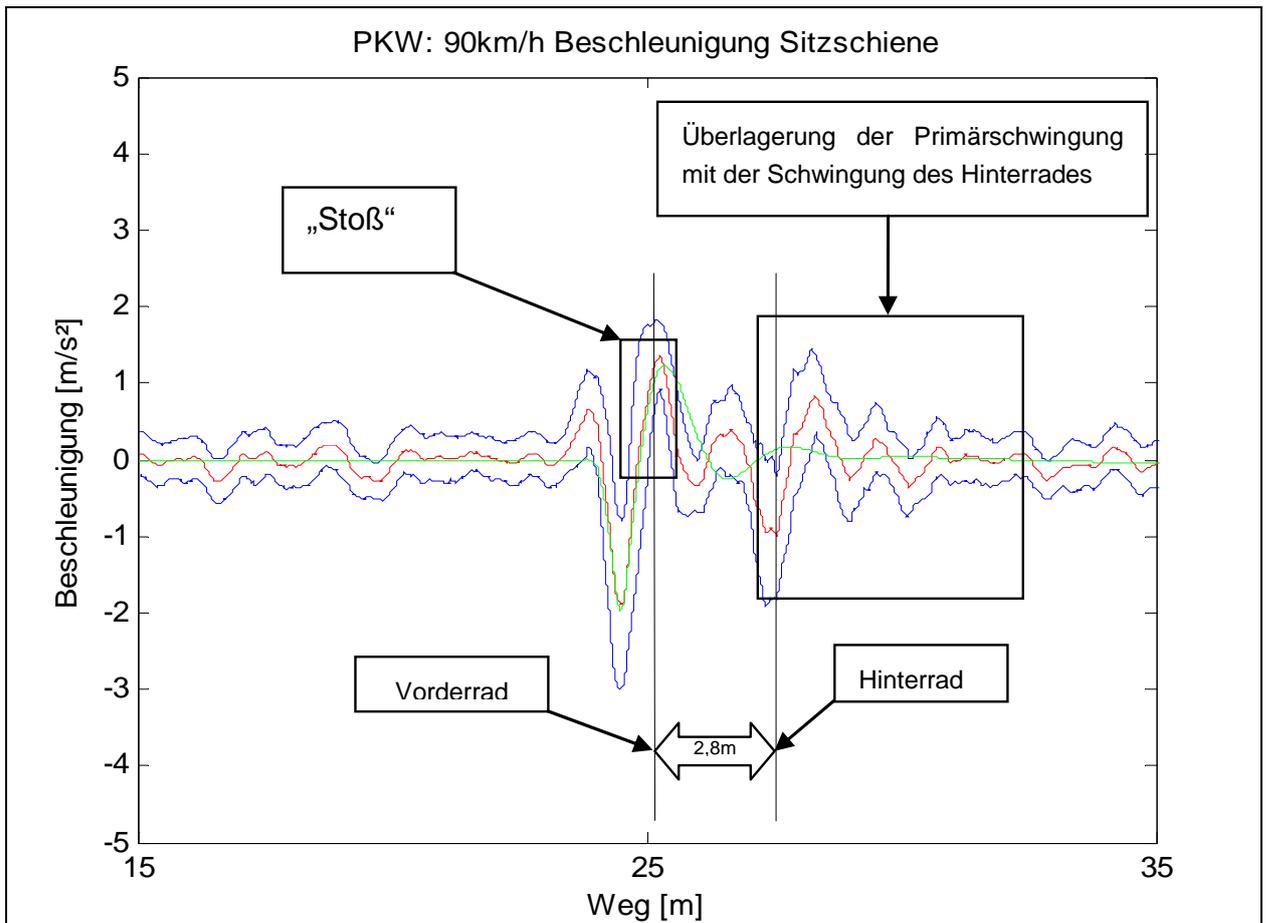


Bild 95: Überlagerungseffekt bei impulshaften Anregungen (VELINOV, 2007)

Die Ursachen hierfür können in der Überlagerung der Vorderachs- mit den Hinterachsschwingungen liegen. Die theoretischen Grundlagen aus Kapitel 4.2 basierten vorrangig auf der Annahme harmonischer und stochastischer Schwingungen längerer Dauer. Die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchung deuten darauf hin, dass diese theoretischen Ansätze zwar ausreichen um grundlegende Wertebereiche für optimale Rüttelstreifenabstände zu definieren, die exakten Effekte werden jedoch durch die Impulshaftigkeit der Anregung so beeinflusst, dass sie ohne aufwendige Simulationen nicht zu quantifizieren sind.

Eine mögliche Erklärung lässt sich aus Bild 95 ableiten. Der Abstand der Rüttelstreifen liegt in ähnlichen Größenordnungen wie der Achsabstand eines Pkws. Die primäre Schwingung, die das Fahrzeug bei der Überfahung eines einzelnen Streifens erfährt, folgt im Großen und Ganzen den theoretischen Überlegungen aus Kapitel 4.2. Durch das Überfahren des „Hindernisses“ erfährt jedoch die Hinterachse des Fahrzeugs ebenfalls eine impulsartige Anregung. Diese Sekundärschwingung erzeugt Überlagerungseffekte, die die Primär-

schwingung abschwächen oder ggf. verstärken kann. In Bild 95 ist eine mit MatLab simulierte Schwingung einer einzelnen Achse in Abhängigkeit des Wegs dargestellt (grüne Linie). Diese Achse wird impulsförmig durch ein einzelnes Hindernis angeregt. Zum Vergleich wurde diese modellierte Schwingungsantwort mit realen Messwertreihen aus den Versuchen überlagert. Deutlich zu erkennen ist, dass die Schwingungsantworten im ersten Bereich hinter dem Rüttelstreifen einen vergleichbaren Verlauf aufweisen. Ungefähr drei Meter hinter der impulsförmigen Anregung weichen die realen von den modellierten Schwingungen jedoch stark voneinander ab. Eine plausible Erklärung für diesen Sachverhalt ist die Anregung der Hinterachse bei den realen Schwingungen, welche in der Simulation vernachlässigt wurde. Wenn man die Erkenntnisse auf eine Abfolge mehrere Impulsanregungen in Folge überträgt – wobei der Abstand der Anregungen in ähnlichen Wertebereichen liegt wie der Achsabstand – erscheinen die Ergebnisse der Realdaten plausibel.

Die messtechnischen Ergebnisse für Lkw zeigen, dass hier ein optimaler lateraler Abstand von 4 bis

5 Metern zwischen den einzelnen Streifen festzusetzen wäre. Dieser Abstand liegt zwar ebenfalls im Bereich der Erwartungswerte, unterscheidet sich jedoch von den Ergebnissen der Pkw-Messungen. Auch dieser Unterschied entspricht den Erwartungen aus Kapitel 4.2.

5.5.4 Zusammenfassung der messtechnischen Vorversuche zur Ableitung wirk-samer Bauformen

Ziel der messtechnischen Vorversuche war die Identifikation von Bauformen von Rüttelstreifen, die auf Basis von theoretischen Vorüberlegungen und messtechnischen Analysen die größte Wirkung auf Fahrer mit deutlichen Geschwindigkeitsüberschreitungen erwarten lassen. Untersucht wurde dabei einerseits die haptische, akustische und psychoakustische Wirkung von Einzelelementen als auch von einer Abfolge von mehreren Elementen. Ziel der akustischen und haptischen Beeinflussung ist es ein Signal zu erzeugen, welches sich stark von den Grundgeräuschen im Fahrzeug abhebt. Bei der Untersuchung von einzelnen Rüttelstreifen sollte – unter Beachtung betrieblicher Aspekte – die wirksamste geometrische Form ermittelt werden. Diese beeinflusst zum einen die haptische Grundanregung und zum anderen die Ausprägung der Fahrzeuginnraumakustik. Die Untersuchung einer Elementfolge diente der Ermittlung des Abstands zwischen den Streifen, welcher die größte haptische Anregung durch Schwingungsüberlagerung ermöglicht.

Den Grafiken im Anhang E und den Ausführungen des Kapitels 5.5.2 kann entnommen werden, dass besonders zwei Profile als geeignet einzustufen sind. Profil 04 und Profil 05 mit einer Unebenheitsfrequenz von 75 bzw. 100 mm erzeugen im Vergleich zu den anderen Profilen das lauteste Geräusch. Der gemessene Fahrzeuginnenraumpegel im Pkw liegt bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h um ca. 12 dB(A) über dem Grundpegel ohne Rüttelstreifen. Sowohl von der Schärfe als auch der Rauheit des Geräusches heben sie sich im Vergleich zu den anderen untersuchten Streifenformen am stärksten vom Grundpegel ab. Es ist also anzunehmen, dass diese Profilformen die akustischen Reize der Kraftfahrzeugführer am stärksten ansprechen. Der maximale kurzfristige Pegel der Schwingung in der Sitzschiene und im Lenkrad liegt im gesamten untersuchten Geschwindigkeitsband ungefähr 1 m/s^2 über dem Grundpegel. Die Variation der Profilform ergab für die Schwingungsauswirkung keine eindeutige Vorzugsvariante. Die Wahl der Sägezahnform als Grundform erfolgte somit zwar unter Berücksichtigung der haptischen Wirkung, jedoch vorrangig auf

Grund betrieblicher Aspekte. Die Widerstandsfähigkeit des Streifens gegenüber Abnutzungen durch die Räumschilde des Winterdienstes wird durch diese Bauform erhöht, da die Angriffsfläche für die Räumkante minimiert wird. Der größte Einfluss auf die haptische Anregung wird auf Grund der theoretischen Vorüberlegungen von der Wahl eines geeigneten Abstands zwischen den einzelnen Streifen erwartet, welcher in der zweiten Versuchsreihe analysiert wurde.

Der Abstand der Rüttelstreifen untereinander kann nicht gleichermaßen sowohl für Pkw als auch Lkw optimal gewählt werden. Da sowohl der Pkw-Verkehr als auch die Anzahl der Pkw-Unfälle auf Grund überhöhter Geschwindigkeit auf Landstraßen mit Abstand den größten Anteil ausmachen, und hier das größte Potential hinsichtlich einer Erhöhung der Verkehrssicherheit gesehen wird, werden bei der Konzeption der Rüttelstrecken die Pkw-relevanten Eingangsparameter stärker berücksichtigt. Auch wenn dadurch eine haptische und akustische Beeinflussung des Schwerlastverkehrs nicht ausgeschlossen wird, liegt diese nicht im optimalen Bereich.

Als Ergebnis wird neben dem in Bild 87 dargestellten optimalen Querschnitt eines einzelnen Rüttelstreifens der optimale Abstand der Rüttelstreifen untereinander auf 3 Meter festgelegt. Die maximale Anzahl wird aus fahrsicherheitstechnischen Gründen auf maximal 5 Stück beschränkt. Dies soll zum einen ein Aufschaukeln des Karosserie und damit einhergehender möglicher Kontrollverlust des Fahrers über sein Fahrzeug vermeiden und zum anderen die laterale Ausdehnung so begrenzen, dass bei einer Reaktion auf die haptischen und akustischen Signale in Form von Bremsen der Kontakt zur herkömmlichen Straßenoberfläche gewährleistet ist, d.h. ein Bremsen auf den Rüttelstreifen vorerst weitestgehend vermieden wird.

Die akustische und haptische Wirkung der resultierenden Ausführungsvariante mit der optimierten Profilform nach Bild 87 und einem Abstand von 3 Metern zwischen den einzelnen Streifen hebt sich merklich von dem Grundpegel bei glatter Fahrbahnoberfläche ohne Rüttelstreifen ab. Für die Pkw-Messungen sind die Ergebnisse in Auszügen in Bild 96 bis Bild 97 dargestellt. Die akustischen Parameter steigen in der Fahrgastzelle um bis zu 12 dB(A) (vgl. Bild 96) bzw. bis zu 32 sone (vgl. Bild 97) gegenüber dem Grundpegel an. In der Sitzschiene des Fahrersitzes wurden um bis zu 3 m/s^2 höhere Vertikalbeschleunigungen gemessen, als vor der Applikation der Rüttelstreifen (vgl. Bild 98).

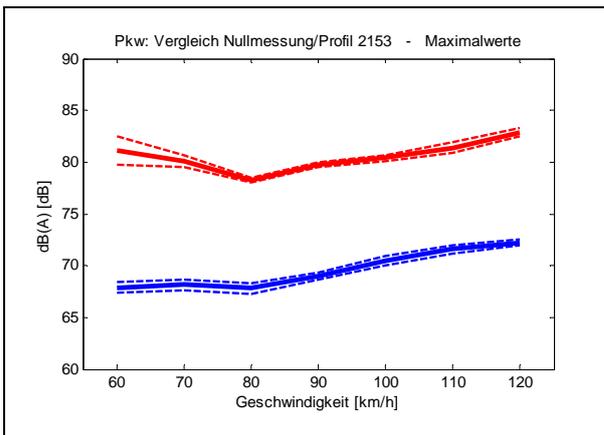


Bild 96: Vergleich maximale A-bewertete Lautstärke mit und ohne Rüttelstreifen (Profil 21, D=3,00 Meter) im Pkw (blau: ohne; rot: mit; Mittelwert durchgezogene Linien; Standardabweichung gestrichelt Linien)

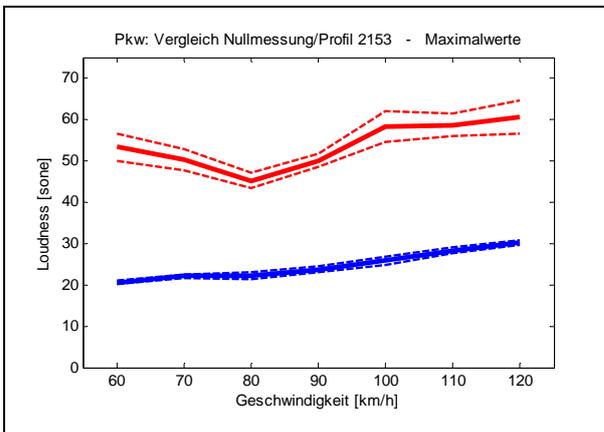


Bild 97: Vergleich maximale Lautheit mit und ohne Rüttelstreifen (Profil 21, D=3,00 Meter) im Pkw (blau: ohne; rot: mit; Mittelwert durchgezogene Linien; Standardabweichung gestrichelt Linien)

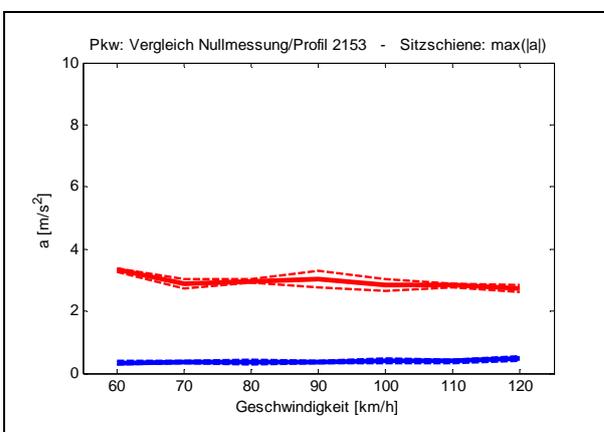


Bild 98: Vergleich maximale Vertikalschwingung in der Sitzschiene mit und ohne Rüttelstreifen (Profil 21, D=3,00 Meter) im Pkw (blau: ohne; rot: mit; Mittelwert durchgezogene Linien; Standardabweichung gestrichelt Linien)

Im Rahmen eines anderen Forschungsvorhabens wurden vom Institut für Straßenwesen Aachen (RWTH Aachen), der Bundesanstalt für Straßenwesen und dem Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen, und unter Beteiligung des ADAC, Untersuchungen zur Anordnung der Warnschwellen, insbesondere deren Abstand untereinander, durchgeführt. „Hierbei wurden mit Einsatzfahrzeugen des Straßenbetriebsdienstes (Lkw, Lfz und Pkw) sowie einem Motorrad der ADAC Pannenhilfe unterschiedliche Anordnungen der Warnschwellen mit verschiedenen Geschwindigkeiten überfahren und die mechanische Wirkung auf den Fahrer bewertet. Auf Grund dieser Versuche wurde der optimale Abstand der Warnschwellen untereinander auf der Fahrbahn auf drei Meter (im Gegensatz zu den in den Niederlanden üblichen fünf Meter) und auf dem Seitenstreifen auf fünf Meter festgelegt“ (BAIER et al., 2005). Bei der subjektiven Bewertung wurden die Überfahrten mit dem Motorrad bei größeren Abständen als besonders unangenehm empfunden. Der untersuchte Abstand von drei Metern wurde im Gegensatz dazu zwar als deutlich spürbar, aber weniger störend bewertet.

6 Untersuchung unter Verkehr

Im Anschluss an die Ermittlung der theoretisch und messtechnisch wirksamsten Form und Anordnung für Rüttelstreifen gilt es, die tatsächliche Wirkung der Rüttelstreifen auf die Verkehrsteilnehmer zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden die theoretisch besten Bauformen ausgewählt und auf vier Strecken im Kreis Düren (NRW) durch eine Fachfirma – begleitet durch das Institut für Straßenwesen Aachen und die Landesbetriebe Straßenbau Nordrhein-Westfalen umgesetzt

6.1 Streckenauswahl

In Zusammenarbeit mit den Landesbetrieben Straßenbau Nordrhein-Westfalen, der Kreispolizeibehörde Düren und dem Straßenverkehrsamt Düren wurden mehrere Landes- und Bundesstraßen (B 477 zwischen Eggersheim und Lühheim östlich von Düren an der Grenze der Gemeinden Nörvenich und Vettweiß, B 399 zwischen Großhau und Gey im Südwesten des Kreises sowie auf der L 257 zwischen Buir und Morschenich nordöstlich der Stadt Düren) im Kreis Düren ausgewählt (siehe Bild 99). Die ausgewählten Strecken repräsentieren unterschiedliche Landstraßencharaktere, weisen eine geringe Verkehrsbelastung und eine überproportionale Anzahl von Unfällen durch Geschwindigkeitsübertretungen auf.



Bild 99: Übersichtslageplan Strecken der In-Situ-Untersuchung (Quelle: www.maps.google.de)

Die geringe Verkehrsbelastung mit einem DTV von ca. 3.500 ist insbesondere für die Messung und Bewertung des Verkehrsgeschehens wichtig, da sich hieraus eine ausreichend hohe Anzahl an unbeeinflussten Fahrten ableiten lässt.

Zwölf Personen starben im Straßenverkehr. Von diesen verunglückten Personen wurde innerhalb der Kategorien 1 bis 4, 6 und 7 „Geschwindigkeit“ als Hauptunfallursache bei 271 Verkehrsunfällen ausgemacht.

6.1.1 Unfallgeschehen im Kreis Düren

Insgesamt war die Entwicklung der verunfallten Personen zwischen 1997 und 2006 im Kreis Düren leicht rückläufig und folgte dem bundesweiten Trend. Im Jahr 2006 verunglückten insgesamt 1396 Personen.

6.2 B 477 zwischen Eggersheim und LUXHEIM

Die Bundesstraße 477 ist 95,5 km lang und beginnt in Neuss an der Anschlussstelle Neuss-Reuschenberg der BAB 57. Sie führt im weiteren Verlauf über Dormagen, Rommerskirchen, Bergheim, Elsdorf, Vettweiß-LUXHEIM, ZÜLPICH und Mersch nach Nettersheim. Die B 477 gilt unter vielen Motorradfahrern aus dem Raum Düsseldorf-Niederrhein-Ruhrgebiet an Wochenenden als beliebte Route zum Nürburgring.

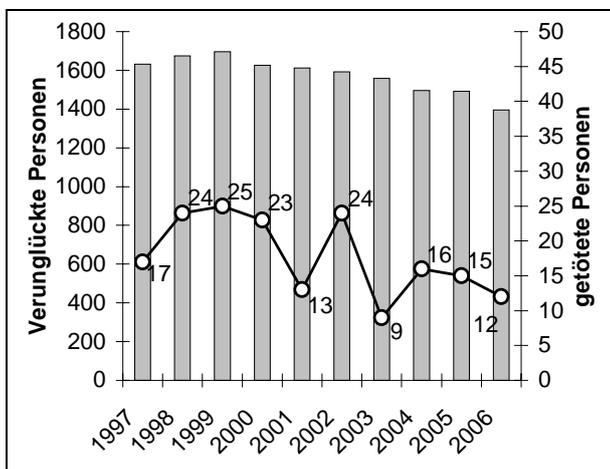


Bild 100: Entwicklung der „verunglückten Personen“ im Kreis Düren 1997-2006 (nach KREISPOLIZEIBEHÖRDE, 2006)

6.2.1 Ortslage und Trassierung

Das Untersuchungsgebiet liegt zwischen den Ortschaften Eggersheim, ein Ortsteil der Gemeinde Nörvenich, und LUXHEIM, in der Gemeinde Vettweiß gelegen. Die nächstgelegene Bebauung befindet sich in einem Abstand von mindestens 700 Metern. Hier im Abschnitt 25 ab Kilometer 3,6 liegt in einer Rechts-Links-Kurve ein Unfallschwerpunkt. Die B 477 ist als Hauptzufahrtsweg zu einem benachbarten Militärstützpunkt mit einem überbreiten Querschnitt ausgebaut. Kurz vor der Rechtskurve wird der Seitenstreifen eingezogen



Bild 101: Kurvenannäherungsbereich B 477, Fahrtrichtung Lülxheim



Bild 102: Kurve B 477, Fahrtrichtung Lülxheim

und der Querschnitt auf eine Regelbreite von 10,5 Metern verjüngt. Die Fahrbahnverengung wird durch ein VZ 120 („Verengte Fahrbahn“) bei Kilometer 3,6 angekündigt. Im Anschluss an eine leichte Rechtskurve führt die B 477 in eine relativ enge Linkskurve ($R=70$ Meter). Die Geschwindigkeit wird hier auf 70 km/h herabgesetzt (VZ 274-70 (zulässige Höchstgeschwindigkeit 70 km/h)) und gleichzeitig wird auf die gefährliche Linkskurve hingewiesen (VZ 103-10 (gefährliche Linkskurve)). Die Sichtweiten liegen anfangs bei über 650 Metern und reduzieren sich in der Kurve durch das Gelände und die Randbepflanzung auf knapp 100 Meter. Die Kurvigkeit – aus Luftbildern überschläglich ermittelt – liegt bei ca. 40 gon/km.

6.2.2 Verkehrsdaten

Der DTV für diesen Abschnitt liegt laut Straßendatenbank (NWSIB) bei 3.600 Kfz/d. Die richtungsbezogene Verkehrsstärke lag bei den vorgenommenen Verkehrsmessungen tagsüber fast konstant um die 120 Fz/h und steigt am Nachmittag zwischen 15:00 und 17:00 Uhr auf bis zu 260 Fz/h an (siehe Bild 103). Die Summenlinie der

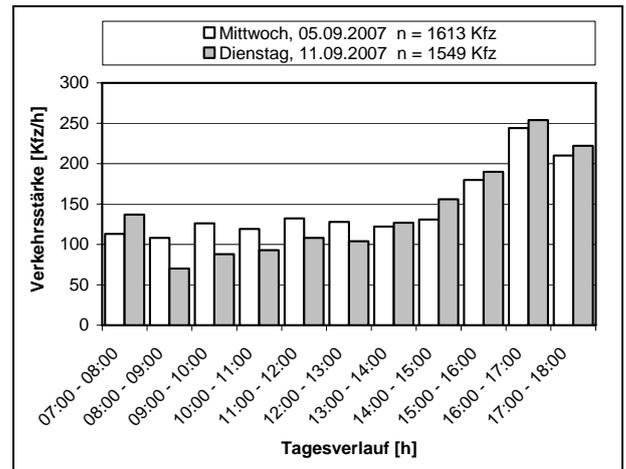


Bild 103: Ausschnitt aus der Tagesganglinie der B 477, Fahrtrichtung Lülxheim

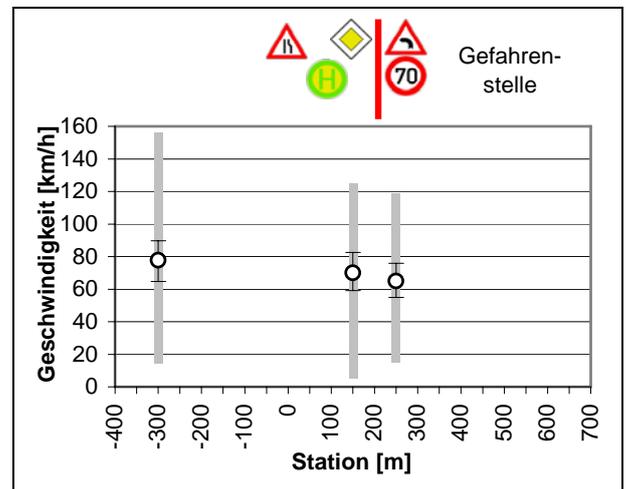


Bild 104: Betriebsmerkmale und Geschwindigkeiten (Spanne, V_{15} , V_{50} , V_{85}) auf der B 477, Fahrtrichtung Lülxheim

Geschwindigkeiten zeigt, dass die Verkehrsteilnehmer Geschwindigkeiten zwischen 70 und 90 km/h im Annäherungsbereich der Kurve wählen. Kurz vor und in der Kurve verringern die Verkehrsteilnehmer ihre Geschwindigkeit auf 60 bis 70 km/h. Die Betriebsmerkmale, Standorte der Radargeräte sowie die mittlere Geschwindigkeit \pm Standardabweichung sind in Bild 104 dargestellt.

6.2.3 Unfallgeschehen

In den Jahren 2004 bis 2006 kam es im Bereich von Betriebskilometer 3,0 bis 3,4 zu neun Unfällen mit insgesamt drei Schwerverletzten und neun Leichtverletzten. Die Unfälle fanden überwiegend bei Tageslicht und trockener Fahrbahn statt. Acht der neun Unfälle ereigneten sich ohne Beteiligung anderer Verkehrsteilnehmer

6.3 B 399 zwischen Großhau und Gey

Die Bundesstraße 399 ist 45,0 km lang und beginnt in Düren an der Anschlussstelle Düren der BAB 4. Sie führt im weiteren Verlauf in südlicher Richtung über Rölsdorf, Birgel, Hürtgenwald, Simmerath und Monschau bis zum Grenzübergang Kalterherberg nach Belgien.

6.3.1 Ortslage und Trassierung

Das Untersuchungsgebiet liegt zwischen den Ortschaften Großhau und Gey, beides Ortsteile der Gemeinde Hürtgenwald. Die nächstgelegene Bebauung befindet sich in einem Abstand von lediglich 150 Metern, jedoch abgeschirmt durch die Lage der Straße in einem Einschnitt.

Hier im Abschnitt 20 ab Kilometer 2,2 liegt in einer ohnehin schon kurvigen Straße eine langgezogene enge Rechtskurve die sich als Unfallschwerpunkt herausgestellt hat. Die Sichtweiten liegen auf dieser Strecke konstant in einem niedrigen Bereich zwischen 100 und 150 Metern. Dies ist neben den starken Zwängen durch das Gelände vor allem durch den dichten Waldbestand entlang der Strecke begründet. Die Kurvigkeit – aus Luftbildern überschläglich ermittelt – liegt bei ca. 290 gon/km.



Bild 105: Kurvenannäherungsbereich B 399, Fahrtrichtung Gey



Bild 106: Kurve B 399, Fahrtrichtung Gey

6.3.2 Verkehrsdaten

Der DTV für diesen Abschnitt liegt laut Straßendatenbank (NWSIB) bei 6.300 Kfz/d. Die richtungsbezogene Verkehrsstärke lag bei den vorgenommenen Verkehrsmessungen tagsüber fast konstant um die 200 Fz/h und steigt in den Morgenstunden zwischen 7:00 und 8:00 Uhr und am späten Nachmittag auf bis zu 300 Fz/h an (siehe Bild 107).

Die Summenlinie der Geschwindigkeiten zeigt, dass die Verkehrsteilnehmer Geschwindigkeiten zwischen 50 und 90 km/h im Annäherungsbereich der Kurve wählen. Kurz vor und in der Kurve verringern die Verkehrsteilnehmer ihre Geschwindigkeit auf 50 bis 70 km/h. Die Betriebsmerkmale, Standorte der Radargeräte sowie die mittlere Geschwindigkeit \pm Standardabweichung sind in Bild 108 dargestellt.

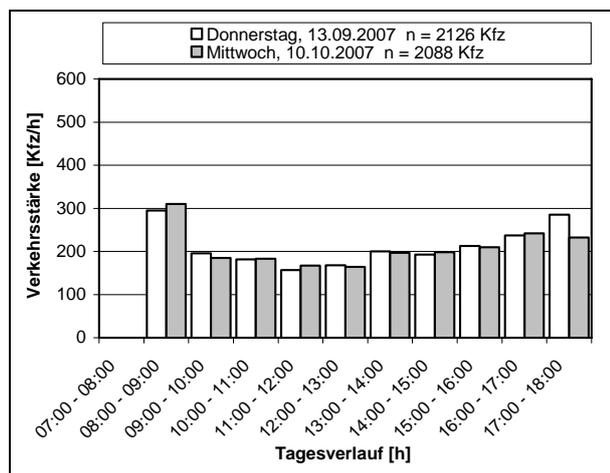


Bild 107: Ausschnitt aus der Tagesganglinie der B 399, Fahrtrichtung Gey

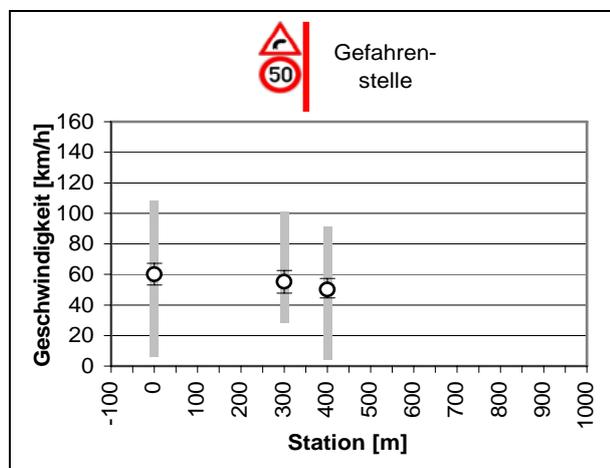


Bild 108: Betriebsmerkmale Geschwindigkeiten (Spanne, v_{50} , v_{85}) auf der der B 399, Fahrtrichtung Gey

6.3.3 Unfallgeschehen

In den Jahren 2006 bis 2007 kam es im Bereich von Betriebskilometer 2,3 bis 2,8 zu sieben Unfällen mit insgesamt einem Schwerverletzten und drei Leichtverletzten. Die Unfälle fanden überwiegend bei Tageslicht und nasser Fahrbahn statt. Alle sieben Unfälle ereigneten sich ohne Beteiligung anderer Verkehrsteilnehmer.

6.4 L 257 zwischen Morschenich und Buir

Die Landesstraße 257 ist 15,9 Kilometer lang und beginnt in Pier. Sie führt in südöstlicher Richtung über Merken nach Hoven, wo sie in östliche Richtung abbiegt. Im weiteren Verlauf führt sie über Birkesdorf und Arnoldsweiler und mündet zunächst in die L 264 um sie 1,2 Kilometer nördlich wieder in östlicher Richtung zu verlassen. Hier führt die L 257 über Morschenich und mündet schließlich nördlich von Buir in die L 276.

6.4.1 Ortslage und Trassierung

Das Untersuchungsgebiet liegt östlich der Ortschaft Morschenich, in der Gemeinde Merzenich, und endet bei der Einmündung der L 257 in die L 276 nördlich von Buir, einem Stadtteil von Kerpen. Die nächstgelegene Bebauung befindet sich in einem Abstand von mindestens 600 Metern. Hier im Abschnitt 10 ab Kilometer 4,0 liegt auf sehr übersichtlicher und nahezu gerader Strecke eine enge Rechtskurve ($R \approx 100$ Meter), die sich als Unfallschwerpunkt herausgestellt hat.

Die Straße ist mit einer Breite von ca. 13 m ausgebaut und führt in östliche Richtung. Im Gegensatz zu den beiden bereits vorgestellten Strecken werden hier beide Fahrrichtungen betrachtet.

Die Sichtweiten liegen durch die fehlende Randbegrünung, das sehr flache Gelände und die leichte Dammlage der Straße bei über 600 Metern. Im Herbst kann es durch hochstehende Feldfrüchte zu Einschränkungen der Sichtweiten kommen. Die Kurvigkeit – aus Luftbildern überschlägig ermittelt – liegt bei ca. 90 gon/km.



Bild 109: Kurvenannäherungsbereich L 257, Fahrtrichtung Buir (1/2)



Bild 110: Kurvenannäherungsbereich L 257, Fahrtrichtung Buir (2/2)



Bild 111: Kurvenbereich (Unfallschwerpunkt) L 257, Fahrtrichtung Buir

6.4.2 Verkehrsdaten

Der DTV für diesen Abschnitt liegt laut Straßendatenbank (NWSIB) bei 3.500 Kfz/d. Die Tagesganglinie weist ausgeprägte Morgen- und Abendspitzen auf. Die richtungsbezogene Verkehrsstärke liegt morgens vor acht Uhr bei knapp über 200 Fz/h, fällt bis elf Uhr auf ca. 100 Fz/h und steigt dann bis abends um 17 Uhr wieder auf über 150 Fz/h mit einer ausgeprägten Mittagsspitzenstunde von ca. 200 FZ/h zwischen 14:00 und 15:00 Uhr.

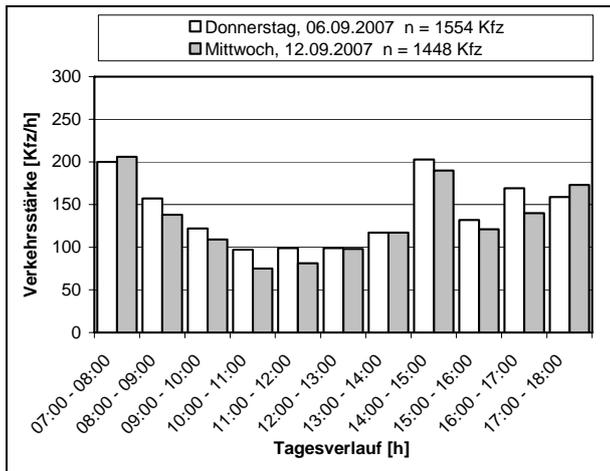


Bild 112: Ausschnitt aus der Tagesganglinie der L 257, Fahrtrichtung Buir

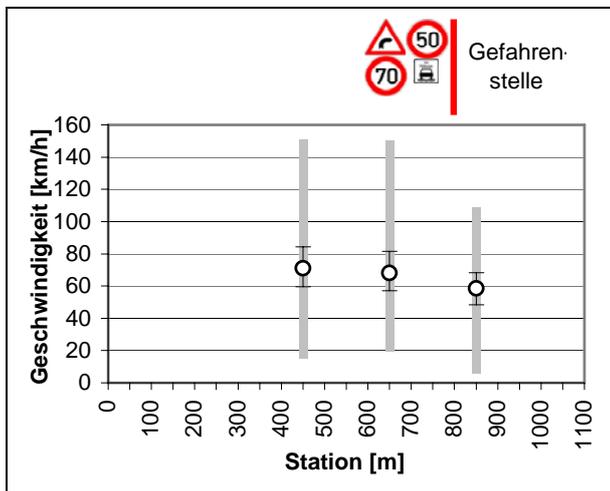


Bild 113: Betriebsmerkmale Geschwindigkeiten (Spanne, v_{15} , v_{50} , v_{85}) auf der der L 257, Fahrtrichtung Buir

Die Summenlinie der Geschwindigkeiten zeigt, dass die Verkehrsteilnehmer Geschwindigkeiten zwischen 60 und 90 km/h im Annäherungsbereich der Kurve wählen. Kurz vor und in der Kurve verringern die Verkehrsteilnehmer ihre Geschwindigkeit auf 50 bis 70 km/h. Die Betriebsmerkmale, Standorte der Radargeräte sowie die mittlere Geschwindigkeit \pm Standardabweichung sind in Bild 113 dargestellt.

6.4.3 Unfallgeschehen

In den Jahren 2005 bis 2006 kam es im Bereich um Betriebskilometer 4,2 zu sieben Unfällen mit insgesamt einem Getöteten, fünf Schwerverletzten und einem Leichtverletzten. Die Unfälle fanden überwiegend in bei Dunkelheit und bei nasser oder winterglatter Fahrbahn statt.

6.5 L 257 zwischen Buir und Morschenich

Die bereits in Kapitel 6.4 beschriebene Kurve zwischen Buir und Morschenich stellt aufgrund ihrer außergewöhnlichen Geometrie eine Gefahrenstelle in beide Richtungen dar. Aus diesem Grund wird diese Kurve in beide Fahrtrichtungen mit Rüttelstreifen im Annäherungsbereich ausgestattet und verkehrlich untersucht.

6.5.1 Ortslage und Trassierung

Die geometrischen Randbedingungen sind vergleichbar zur Fahrtrichtung Morschenich – Buir. Nach einem ca. 2 km langen Abschnitt, in dem die Straße nahezu gerade, mit kleineren Krümmungen durch flaches landwirtschaftliches Gebiet führt, erreicht man die – aus dieser Fahrtrichtung linksgekrümmte – Kurve, die auf Grund des plötzlich auftretenden kleinen Radius eine deutliche Unstetigkeitsstelle in der Trassenführung darstellt (siehe Bild 114).



Bild 114: Kurvenbereich (Unfallsschwerpunkt) L 257, Fahrtrichtung Morschenich

6.5.2 Verkehrsdaten

Die Fahrtrichtung Buir nach Morschenich wurde analog zur Gegenrichtung verkehrstechnisch analysiert. Auf Grund von schlechten Witterungsverhältnissen am 11.10.2007 und einer Umleitungsempfehlung am 21.11.2007 konnten repräsentative Verkehrsdaten lediglich für die Stunden zwischen 09:00 und 17:00 Uhr (bzw. 18:00 Uhr) erhoben werden. Die richtungsbezogene Verkehrsstärke ist im Vergleich zur Gegenrichtung in den Morgenstunden verhältnismäßig niedrig. Im Verhältnis zur Fahrtrichtung Morschenich nach Buir ist die Abendspitze mit über 200 Fz/h zwischen 16:00 und 18:00 Uhr stärker ausgeprägt. Dieser Sachverhalt deutet auf einen hohen Anteil an Pendlerverkehr – morgens Richtung Köln und abends Richtung Morschenich bzw. Düren hin. Die Sum-

menlinie der Geschwindigkeiten zeigt, dass die Verkehrsteilnehmer im Annäherungsbereich der Kurve Geschwindigkeiten zwischen 20 und 110 km/h wählen. Kurz vor der Kurve und in der Kurve verringert die Mehrzahl der Verkehrsteilnehmer ihre Geschwindigkeit, die maximale Geschwindigkeit bleibt bis kurz vor der Kurve konstant und steigt mit Durchfahren der Kurve bis auf 120 km/h an. (vergleiche Bild 116).

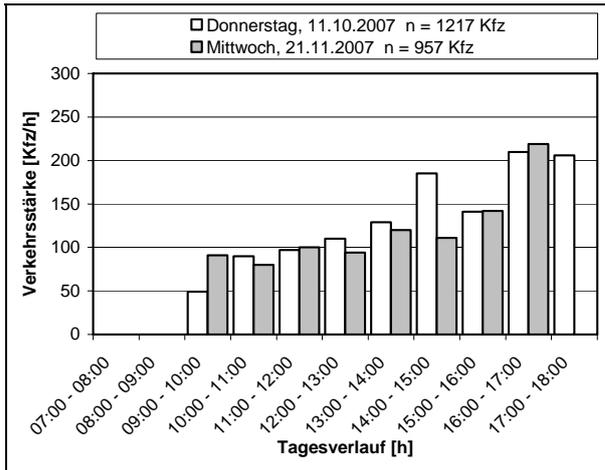


Bild 115: Ausschnitt aus der Tagesganglinie der L 257, Fahrtrichtung Morschenich (Die Ganglinie ist auf Grund extremer Witterungseinflüsse und einer Umleitungsempfehlung in den Morgenstunden teilweise eingeschränkt)

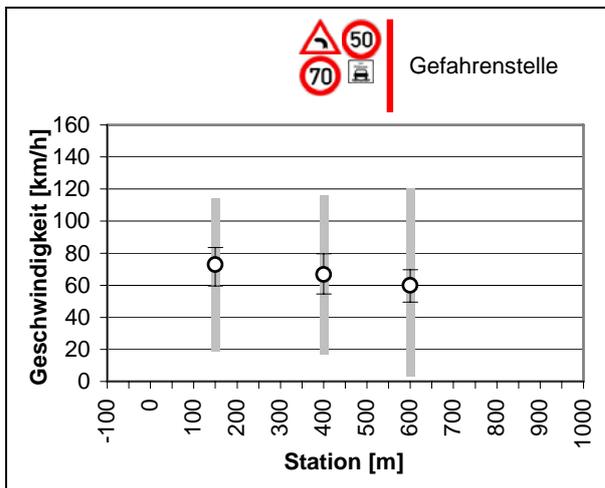


Bild 116: Betriebsmerkmale Geschwindigkeiten (Spanne, v_{15} , v_{50} , v_{85}) auf der der L 257, Fahrtrichtung Buir

6.5.3 Unfallgeschehen

Das Unfallgeschehen wurde bereits in Kapitel 6.4.3 ausführlich dargestellt. Eine richtungsgetrennte Betrachtung erfolgt nicht.

6.6 Ausführung der Versuchsfelder

Im Wesentlichen sollten die Streifen vor den relevanten Verkehrszeichen/Gefahrenzeichen aufgebracht werden. Im Ausland wurde bei ähnlichen Geschwindigkeiten ein Abstand von ca. 50 m zur Beschilderung festgelegt. Soweit es die Örtlichkeit zulässt wurden bei den oben beschriebenen Versuchen ähnliche Abstände angestrebt. Des Weiteren sollte vor der eigentlichen Gefahrenstelle ein ausreichender Abstand zum Verzögern freigehalten werden. Bei einer maximal anzunehmenden Geschwindigkeitsreduktion von 100 km/h auf 70 km/h und einer mittleren Verzögerung von 2,0 m/s sowie einer Reaktionszeit von 1,5 s ergibt sich ein Bereich von 50 Metern vor der Gefahrenstelle, welche von Rüttelstreifen weitestgehend freigehalten werden sollte. Bei geringeren Eingangsgeschwindigkeiten kann dieser Abstand reduziert werden.

Die Anordnung in Querrichtung sollte über den gesamten Fahrstreifen erfolgen. Von einer Anordnung über die gesamte Fahrbahnbreite ist vorerst abzusehen, da Gewöhnungseffekte bzw. Abstumpfungen hinsichtlich der warnenden Wirkung von Rüttelstreifen weitestgehend zu vermeiden sind. Die Wirkung auf Zweiradfahrer wurde zwar im Rahmen dieses FE- Projektes nicht gesondert untersucht, bei entsprechenden Versuchen mit Warnschwellen, welche eine wesentlich größere Höhe aufweisen, konnten diese als „für Motorradfahrer unbedenklich“ eingestuft werden. Eine „Durchfahrtgasse“ in der Mitte der Streifen muss demnach nicht verwendet werden. Im Hinblick auf unerwünschte Fahrmanöver, wie ein mögliches Umfahren der Streifen muss sogar darauf verzichtet werden, da eine Mittelgasse ein halbseitiges Umfahren begünstigen würde. Zusätzliche Maßnahmen zur Unterbindung von Umfahrungen der Rüttelstreifen wurden nicht vorgenommen.

In den Feldversuchen wurden zwei unterschiedliche Anordnungen von Rüttelstreifen untersucht. Zum einen die gruppenweise Anordnung mit gleicher Anzahl und gleichen Abständen von Rüttelstreifen untereinander und zum anderen die Anordnung mit kleiner werdenden Abständen und ansteigender Anzahl von Streifen zur Gefahrenstelle hin. Die Unterschiede sind als Übersicht in Tab. 10 dargestellt. Für jede Strecke wurden individuelle Ausführungspläne erstellt, die dem Anhang G zu entnehmen sind. Eine Übersicht über die Herstellungsdaten liefert Tab. 11.

Strecke	Rüttelstreifen	
	Anzahl [-]	Abstand [m]
B 399	3 - 4 - 5	3
L 257 FR Morschenich	2 - 3 - 4 - 5	6 - 5 - 4 - 3
L 257 FR Buir	5 - 5 - 5 - 5	3
B 477	5 - 5 - 5 - 5	3

Tab. 10: Ausführungsvarianten der Feldversuche

Strecke	Herstellungsdatum
B 399	25.04.08
L 257 FR Morschenich	04.11.07
L 257 FR Buir	04.11.07
B 477	18.04.08

Tab. 11: Herstellungsdatum der Rüttelstreifen

7 Verkehrserhebung

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln ausgeführt, basiert das Wirkprinzip von Rüttelstreifen auf zwei unterschiedlichen Wirkungsprinzipien, zum einen

- der Steigerung der Aufmerksamkeit und zum anderen
- der aktiven Einwirkung auf das Geschwindigkeitsverhalten.

Beide Wirkungen sollen zu einer dauerhaften Reduktion der Unfälle und somit zu einer aktiven Steigerung der Verkehrssicherheit beitragen. Während die Steigerung der Aufmerksamkeit nur über ausgewählte Probanden messbar ist, kann die Wirkung auf das Geschwindigkeitsverhalten des gesamten Verkehrskollektivs gemessen werden.

Die verkehrliche Wirkung der Rüttelstreifen wird hier vorrangig durch die Änderung des Geschwindigkeitsverhaltens bewertet. Zu diesem Zweck werden die Geschwindigkeitsverteilungen an den einzelnen Stationen vor und nach der Maßnahme auf signifikante Änderungen hin untersucht. Zusätzlich müssen aber auch die bereits angesprochenen Probleme von Rüttelstreifen untersucht werden. Heftiges Abbremsen vor den Streifen, Beschleunigung zur Reduktion der Wirkung und gezieltes Ausweichen über die Gegenspur stellen si-

cherheitskritisches Fahrerverhalten dar, welches nach Möglichkeit unterbunden werden muss.

Die Verkehrserhebung basiert auf einer Vorher-Nachher-Untersuchung des Fahrerverhaltens. Vor Aufbringung der Rüttelstreifen wurden auf allen vier Strecken Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt. An zwei aufeinanderfolgenden Tagen zwischen Dienstag und Donnerstag wurden in einem Zeitraum von mindestens 8 Stunden an drei Stellen im Kurvenannäherungsbereich Verkehrsdaten mittels Seitenradargeräten aufgenommen. Analog wurden nach der baulichen Umsetzung der Versuchsfelder Geschwindigkeitsmessungen vorgenommen. Ebenfalls an mindestens zwei Tagen wurden an den gleichen Stationierungen Radarmessungen durchgeführt. Zusätzlich wurde der Untersuchungsraum durch Messpersonal und durch unterschiedliche Kamerapositionen visuell erfasst. Die Beobachtung des Untersuchungsraums diente vorrangig der Quantifizierung möglicher unerwünschter Fahrmanöver.

7.1 Messmethodik

Im Vorfeld der baulichen Umsetzung wurden auf Basis von Nachfolgefahrten und den Planunterlagen zur Anordnung der Rüttelstreifen für jede Strecke drei charakteristische Querschnitte festgelegt, an denen Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt wurden. Die Standorte sind in den Übersichtslageplänen im Anhang G aufgeführt. Zusätzlich wurde im Vorlauf der Versuchsstrecken in einem Abstand von ca. zwei bis fünf Kilometer ein weiterer Messquerschnitt eingerichtet, der als Kontrollgruppe fungiert. Auf diese Weise ist es möglich, auftretende Geschwindigkeitsänderungen eindeutig der lokalen Maßnahme zuzuordnen und von globalen Einflüssen, wie beispielsweise Änderungen des Fahrerkollektivs, Witterungseinflüsse oder Wirkungen aus verkehrspolitischen Maßnahmen abzugrenzen. Als wesentliche Standorte zur Erhebung des Geschwindigkeitsverhaltens wurden

- die freie Strecke,
- der Ort der Geschwindigkeitsreduktion und
- die Gefahrenstelle

identifiziert. Die Geschwindigkeitsmessung erfolgte mittels Seitenradargeräten der Reihe SDR der Firma DataCollect. Der Sensor des Geräts nutzt im Frequenzbereich von 24,125 GHz den Dopplereffekt um von jedem vorbeifahrenden Fahrzeug die Geschwindigkeit und die Länge zu ermitteln. Die Messung der Geschwindigkeit erfolgt mit einer Auflösung von 1 km/h, die Erhebung der Länge mit einer Auflösung von 0,1 Metern.

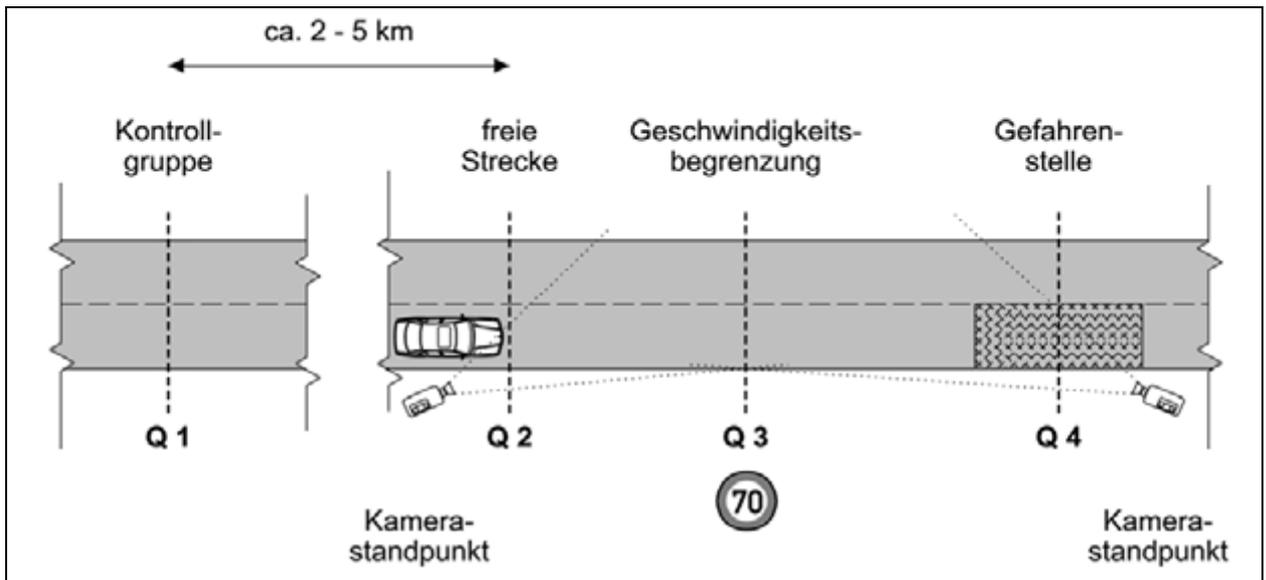


Bild 117: Prinzipskizze Messaufbau

Die Messdaten werden als Einzelfahrzeugdaten sekundengenau gespeichert. Zusätzlich wurde der Untersuchungsraum durch Videostandorte überwacht, um Informationen über das Fahrerverhalten, wie beispielsweise Auffälligkeiten im Spurhalteverhalten, plötzliche Bremsmanöver oder Ausweichmanöver zu erheben.

Neben der sinnhaften Anordnung der Messgeräte wurde großer Wert auf eine mögliche Tarnung der Geräte gelegt, um eine „verdeckte“ Messung zu gewährleisten und so ein möglichst unbeeinflusstes Fahrerverhalten zu erheben. Der gesamte Messaufbau ist in Form einer Prinzipskizze in Bild 117 dargestellt.

Die Messungen wurden gemäß EVE 91 durchgeführt. „Für Zählungen und Erfassungen des Tagesverkehrs haben sich die Monate April, Mai, Juni, September und Oktober bewährt (die Schulferien sind jeweils zu berücksichtigen). Es sollten nur Wochen ohne Feiertage ausgewählt werden. Als Zähltag sind die Tage Dienstag bis Donnerstag (so genannte Normalwerktag) geeignet, wobei die örtlichen Gegebenheiten zu beachten sind. [...] Für die Erfassung der täglichen Verkehrsabläufe werden Zählungen während der folgenden Zeiten empfohlen: Tagesverkehr 6.00 – 22.00 Uhr [...]“ (EVE 91). Die Messzeiträume sind Tab. 12 und Tab. 13 zu entnehmen.

Strecke	Datum	Tag	von	bis
L 257 FR Buir	06.09.07	Do	07:30	18.30
L 257 FR Buir	12.09.07	Mi	07:00	18.30
L 257 FR Morschenich	11.10.07	Do	10:45	18.30
B 477 FR LUXHEIM	05.09.07	Mi	07:00	18:30
B 477 FR LUXHEIM	11.09.07	Di	07:00	18.30
B 399 FR Gey	13.09.07	Do	08:00	18.30
B 399 FR Gey	10.10.07	Mi	07:45	18.30

Tab. 12: Übersicht der Verkehrserhebungen vor Applikation der Rüttelstreifen

Strecke	Datum	Tag	von	bis
L 257 FR Buir	22.11.07	Do	09:15	17:00
L 257 FR Buir	27.08.08	Mi	08:45	18:00
L 257 FR Morschenich	21.11.07	Mi	09:30	17:00
L 257 FR Morschenich	28.08.08	Do	08:45	17:45
B 477 FR LUXHEIM	17.06.08	Di	08:15	18:15
B 477 FR LUXHEIM	07.10.08	Di	08:15	18:00
B 399 FR Gey	04.06.08	Mi	08:15	17:45
B 399 FR Gey	10.06.08	Di	08:45	18:15

Tab. 13: Übersicht der Verkehrserhebungen nach Applikation der Rüttelstreifen

7.2 Bewertungsmaßstäbe

Die Geschwindigkeit wird als primäre Bewertungsgröße für die Wirksamkeit der Maßnahme herangezogen. Untersucht wird das Geschwindigkeitsverhalten des gesamten Verkehrskollektivs. Während die Wirkung von Rüttelstreifen in wissenschaftlichen Untersuchungen in der Vergangenheit im In- und Ausland vorrangig auf Basis der bekannten Größen v_{mittel} , v_{15} und v_{85} vorgenommen wurde, wird hier zusätzlich der Anteil und die Geschwindigkeiten der Personengruppe betrachtet, die extrem hohe Geschwindigkeiten fahren. Ziel der Rüttelstreifen ist nicht der Einfluss auf das gesamte Verkehrskollektiv, sondern eine positive Einwirkung auf unaufmerksame Fahrer und auf Fahrer, die eine nicht angepasste Geschwindigkeit wählen. Im Einzelnen werden

- die v_{15} , v_{50} , v_{85} und v_{95} ,
- der Anteil und die Durchschnittsgeschwindigkeit der Geschwindigkeitsübertreter und
- der Anteil und die Durchschnittsgeschwindigkeit der $v_{\text{zul}} + 10$ km/h Überschreiter

zur Bewertung herangezogen. Neben der Größe des beobachteten Effekts und damit der verkehrstechnischen Relevanz wurden die Ergebnisse statistisch auf Signifikanz hin überprüft. Als Testverfahren wurde der zweiseitige Kolmogorow-Smirnow Test (KS-Test) zum Vergleich der Geschwindigkeitsverteilungen mit einem Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$ herangezogen. Die Ergebnisse der statistischen Analyse sind dem Anhang H zu entnehmen.

Das sonstige Fahrerverhalten wurde wie bereits beschrieben im Rahmen von Videobeobachtungen analysiert. Unerwünschte Fahrmanöver wie plötzliches übermäßiges Abbremsen wurden qualitativ beobachtet. Zur Quantifizierung möglicher Umfahrungen der Rüttelstreifen wurde auf jeder Strecke ein Zeitraum von vier Stunden ausgewertet und das Umfahungsverhalten unter Berücksichtigung des Gegenverkehrs quantifiziert und der Gesamtverkehrsmenge gegenübergestellt.

7.3 Wirkungsanalyse

Im Folgenden wird die verkehrliche Wirkung getrennt nach Strecken detailliert dargestellt und abschließend eine zusammenfassende Bewertung vorgenommen.

7.3.1 Geschwindigkeitsverhalten

Die verkehrliche Wirkung der Rüttelstreifen wird vorrangig durch die Änderung des Geschwindig-

keitsverhaltens bewertet. Zu diesem Zweck werden die Geschwindigkeitsverteilungen an den einzelnen Stationen vor und nach der Maßnahme auf signifikante Änderungen hin untersucht. Analysiert wurde das Geschwindigkeitsverhalten des gesamten Fahrzeugkollektivs. Der Schwerlastverkehr liegt mit 10 % in einer typischen Größenordnung und „wenn bei einer bestimmten Ausgangsgeschwindigkeit ein Rückgang [der Geschwindigkeit] erwartet werden kann, so trifft dies sowohl für Pkw als auch für den Schwerverkehr in gleichem Maße zu.“ (MAIER, 1991) Eine differenzierte Analyse der frei fahrenden Verkehrsteilnehmer erfolgte stichprobenartig. Als frei Fahrende wurden auf Basis der Arbeit von VOLKENHOFF, 2008 die Fahrzeuge definiert, welche eine Zeitlücke zum Vorausfahrenden von mehr als 8 Sekunden und zum nachfolgenden Fahrzeug von mehr als 4 Sekunden aufwiesen. Die Stichprobenvergleiche ergaben, dass die Geschwindigkeitsänderungen der frei Fahrenden in ähnlichen Größenordnungen wie auch beim Gesamtkollektiv liegen (siehe Anhang H). Die Messungen an den unterschiedlichen Standorten der Kontrollgruppen ergaben an allen Tagen ein für Landstraßen stabiles Geschwindigkeitsverhalten für das untersuchte Kollektiv. Die Quantilswerte der Geschwindigkeitsverteilung v_{15} , v_{50} und v_{85} weisen einen Schwankungsbereich von 0,50 bis maximal 2,30 km/h auf (siehe Tab. 14 bis Tab. 17). Die mittleren Unterschiede ($\Delta \emptyset$) in den einzelnen Stützstellen für den Kreuzvergleich aller Messungen untereinander liegen in noch engeren Schwankungsbereichen. Die mittleren Schwankungen liegen bis auf den v_{50} – Wert auf der Strecke L 257 Fahrtrichtung Buir unter 1 km/h. Die Geschwindigkeitsverteilungen der Kontrollgruppen wurden sowohl für das Gesamtkollektiv als auch für die frei fahrenden statistisch analysiert. Als Ergebnis muss ungefähr die Hälfte der Kontrollgruppenvergleiche des Gesamtkollektivs (7 von 12 Messvergleichen) als signifikant unterschiedlich bezeichnet werden. Bei den frei Fahrenden unterscheidet sich lediglich eine Kontrollgruppenmessung signifikant von den übrigen Messungen. Der hohe Anteil an signifikant unterschiedlichen Messergebnissen ist vorrangig auf den großen Stichprobenumfang von jeweils 1.000 bis 2.000 Individualfahrzeugdaten zurückzuführen. Die Signifikanz auf einem Niveau von $\alpha=0,05$ wird bei großen Stichprobenumfängen bereits bei kleinsten Abweichungen der Verteilungen angenommen. Alle Messungen, die sich als statistisch signifikant unterschiedlich erwiesen wiesen Schwankungen der mittleren Geschwindigkeit von 0,5 km/h bis 1,8 km/h auf. Die Unterschiede werden als zwar statistisch signifikant unterschiedlich, jedoch als nicht relevant in ihrer Ausprägung angesehen.

Datum	Anzahl Fzg.	V ₁₅	V ₅₀	V ₈₅
11.10.2007	1.535	62,38	74,66	87,34
21.11.2007	1.498	62,07	74,30	88,12
28.08.2008*	1.075	61,57	73,45	85,84

Δ max	-	0,81	1,21	2,28
$\Delta \emptyset$	-	0,54	0,81	1,52

Tab. 14 : Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung innerhalb der Kontrollgruppe L 257 Fahrtrichtung Morschenich (* nur im Zeitraum von 12:00 – 19:00 Uhr)

Datum	Anzahl Fzg.	V ₁₅	V ₅₀	V ₈₅
13.09.2007*	1.197	69,34	78,44	91,53
10.10.2007	2.065	70,56	79,98	92,46
04.06.2008	2.108	69,98	79,93	92,35

max Δ	-	1,22	1,54	0,93
$\Delta \emptyset$	-	0,93	1,52	0,87

Tab. 16 : Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung innerhalb der Kontrollgruppe B 399 Fahrtrichtung Gey (* Im Zeitraum 11:45 – 16:30 keine Daten vor)

Datum	Anzahl Fzg.	V ₁₅	V ₅₀	V ₈₅
12.09.2007	1.493	66,03	77,97	92,37
22.11.2007	1.521	67,05	80,18	92,88
27.08.2008	1.625	66,48	78,09	91,56

max Δ	-	1,02	2,21	1,32
$\Delta \emptyset$	-	0,68	1,47	0,88

Tab. 15 : Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung innerhalb der Kontrollgruppe L 257 Fahrtrichtung Buir

Datum	Anzahl Fzg.	V ₁₅	V ₅₀	V ₈₅
05.09.2007	1.581	68,31	80,40	92,92
11.09.2007	1.603	68,86	79,52	92,83
07.10.2008	1.557	67,74	79,01	92,43

max Δ	-	1,12	1,39	0,49
$\Delta \emptyset$	-	0,74	0,93	0,33

Tab. 17 : Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung innerhalb der Kontrollgruppe B 477 Fahrtrichtung L xheim

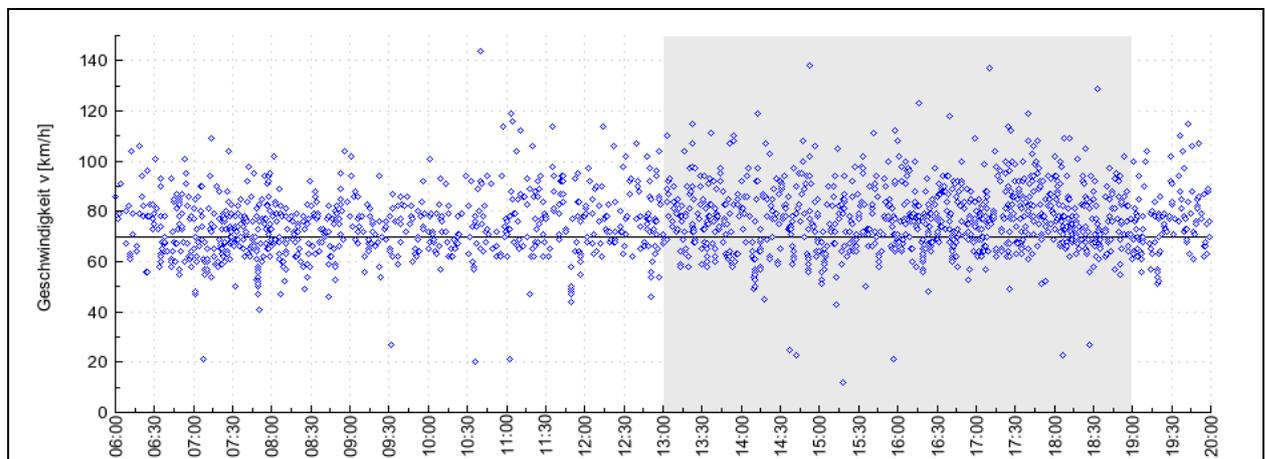


Bild 118: Einzelfahrzeugdaten 11.10.2007 auf der Strecke L 257 Fahrtrichtung Morschenich (Kontrollgruppe)

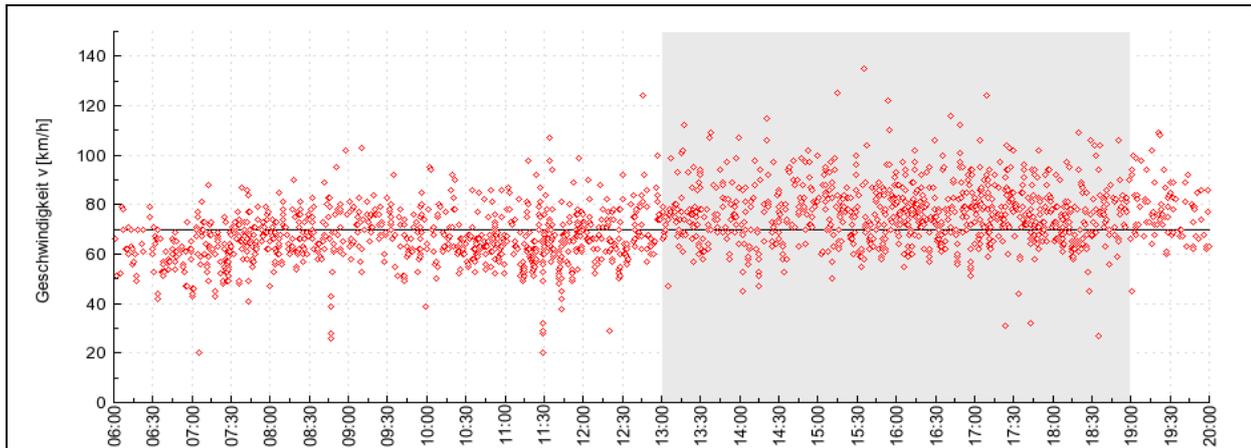


Bild 119: Einzelfahrzeugdaten 28.08.2008 auf der Strecke L 257 Fahrtrichtung Morschenich (Kontrollgruppe) (Störeinflüsse durch Nieselregen am Vormittag)

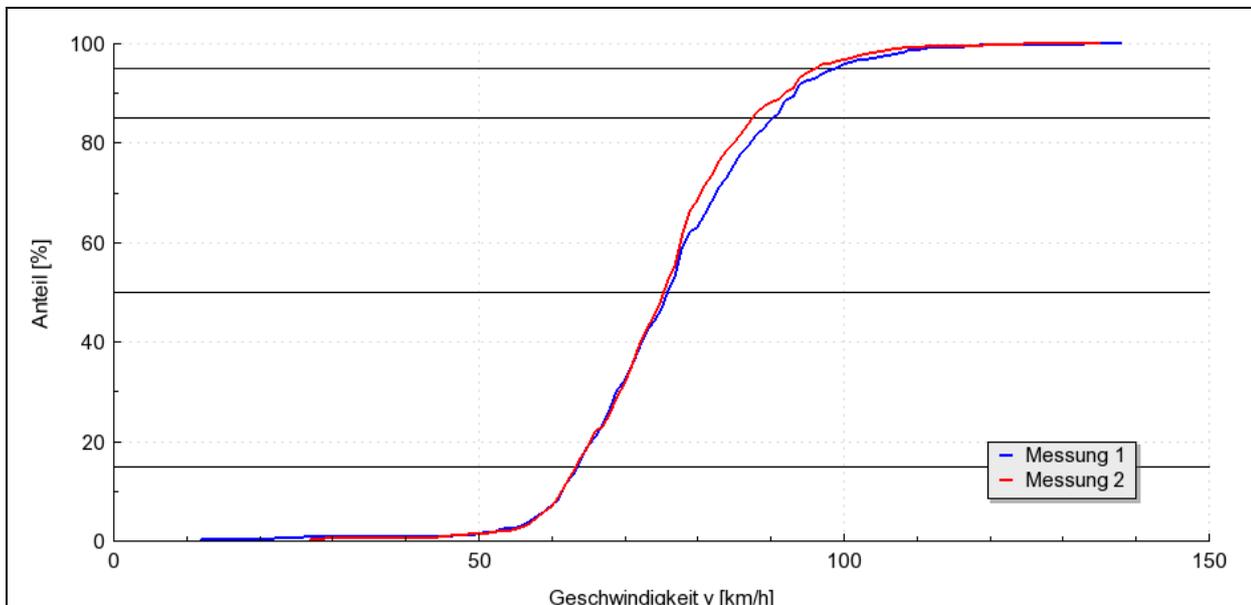


Bild 120: Vergleich der Summenlinien der Geschwindigkeiten auf der Strecke L 257 Fahrtrichtung Morschenich vom 11.10.2007 und 28.08.2008 zwischen 13:00 Uhr und 19:00 Uhr (Kontrollgruppe)

Insbesondere die Messungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten können einen Grund für die auftretenden leichten Schwankungen darstellen. Hinzu kommt, dass bereits in vielen Untersuchungen zum Geschwindigkeitsverhalten auf Landstraßen eine große Schwankungsbreite der Geschwindigkeit an unterschiedlichen Tagen zu verzeichnen war. Insbesondere auf kurvigen Strecken beschreibt bereits KLEBELSBERG (1982) das Auftreten abweichenden Geschwindigkeitsverhaltens an unterschiedlichen Tagen.

Zur differenzierten Analyse des Geschwindigkeitsverhaltens wurden die Daten der Kontrollgruppen für die Tage der größten Geschwindigkeitsunterschiede in Form von Einzelfahrzeugdaten (siehe beispielhaft Bild 118 und Bild 119) und Summenli-

nien (siehe beispielhaft Bild 120) gegenübergestellt. Auf diese Weise wurde überprüft, ob das Geschwindigkeitsverhalten innerhalb der betrachteten Tage durch außergewöhnliche Ereignisse beeinflusst wurde bzw. ob die Verteilungen der Geschwindigkeiten ungewöhnliche Verläufe aufweisen.

Im Rahmen der detaillierten Analyse der Einzelfahrzeugdaten bestätigten sich die Aussagen bzgl. der Homogenität des Geschwindigkeitsverhaltens. Tageszeitliche Einflüsse konnten bei nahezu allen Messungen ausgeschlossen werden.

Auf Grund von Wittereinflüssen und damit verbundenen gravierenden Änderungen im Fahrerverhalten (Geschwindigkeitsreduktion auf Grund

von Nässe) musste der Messzeitraum auf der Strecke L 257 Fahrtrichtung Morschenich am 14.02.2008 auf 13:00 Uhr bis 19:00 Uhr beschränkt werden. Analog musste für die Strecke B 399 ein Messtag entfallen, da innerhalb der Kontrollgruppe starke Schwankungen auftraten, die eine Vergleichbarkeit der Messung mit dem Vorherfall in Frage stellte. Dieser Sachverhalt wurden in den Tabellen bereits berücksichtigt und die entfallenen Messzeiträume nicht mit aufgeführt.

Zusammenfassend kann das Geschwindigkeitsverhalten innerhalb der verbleibenden Zeiträume als homogen bezeichnet werden. Störeinflüsse aus Wetterschwankungen oder Änderungen in der Zusammensetzung des Verkehrskollektivs bzw. Auswirkungen aus globalen Verkehrssicherheitsmaßnahmen können ausgeschlossen werden. Die Geschwindigkeitsänderungen auf den Untersuchungsstrecken sind ausschließlich auf die lokalen Maßnahmen zurückzuführen.

Im weiteren Verlauf wird das Geschwindigkeitsverhalten auf den Untersuchungsstrecken im Annäherungsbereich sowie in der Gefahrenstelle analog zum Vorgehen bei den Kontrollgruppen analysiert. Zu jeder Strecke liegen mindestens drei, auf der L 257 je Fahrtrichtung vier Querschnittsmessungen vor. Für diese Messungen sind die Kenndaten V_{15} , V_{50} und V_{85} in Tabellen zusammengestellt.

Datum	Anzahl Fzg.	V_{15}	V_{50}	V_{85}
06.09.2007	964	58,63	70,12	84,90
12.09.2007	868	58,52	70,00	83,40
22.11.2007	886	56,15	65,43	76,65
27.08.2008	903	55,41	65,62	78,28

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-	-3,22	-4,69	-8,25
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-	-2,80	-4,54	-6,69

Tab. 18: Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung Vorher-Nachher, L 257 Fahrtrichtung Buir (Station +455 – Annäherungsbereich)

Datum	Anzahl Fzg.	V_{15}	V_{50}	V_{85}
06.09.2007	969	57,42	68,41	81,48
12.09.2007	878	54,13	64,24	76,68
22.11.2007	877	46,75	57,62	67,72
27.08.2008	901	51,79	62,23	74,55

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-	-10,67	-10,79	-13,76
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-	-6,51	-6,40	-7,95

Tab. 19: Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung Vorher-Nachher, L 257 Fahrtrichtung Buir (Station +655 – auf Höhe der Geschwindigkeitsbegrenzung auf 70 km/h)

Datum	Anzahl Fzg.	V_{15}	V_{50}	V_{85}
06.09.2007	971	55,04	66,51	79,27
12.09.2007	881	55,48	65,79	77,86
22.11.2007	894	45,81	56,39	68,33
27.08.2008	860	52,69	64,08	75,62

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-	-9,67	-10,12	-10,94
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-	-6,01	-5,92	-6,59

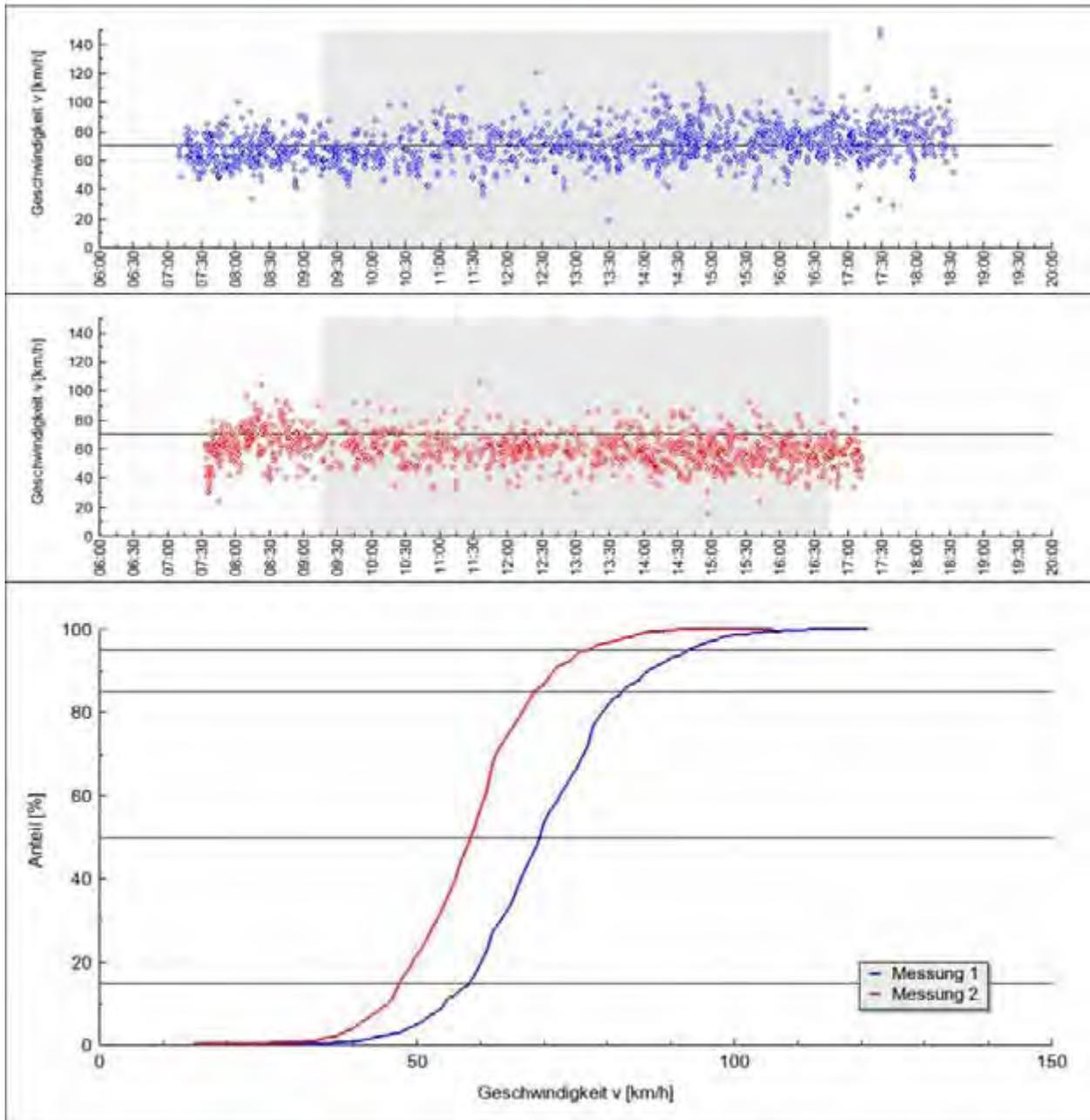
Tab. 20: Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung Vorher-Nachher, L 257 Fahrtrichtung Buir (Station +740 – auf Höhe der Geschwindigkeitsbegrenzung auf 50 km/h bei Nässe)

Datum	Anzahl Fzg.	V_{15}	V_{50}	V_{85}
06.09.2007	982	48,23	58,87	68,09
12.09.2007	888	46,05	55,81	63,85
22.11.2007	891	44,17	51,58	59,56
27.08.2008	906	45,24	52,80	60,84

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-	-4,06	-7,29	-8,53
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-	-2,44	-5,15	-5,77

Tab. 21: Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung Vorher-Nachher, L 257 Fahrtrichtung Buir (Station +850 – innerhalb der Kurve)

Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 655.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 969 Kfz)	57,42	68,41	81,48	91,82
Messung 2 (Q = 877 Kfz)	46,40	57,62	67,72	76,22
Änderung (M1 - M2)	-11,02	-10,79	-13,76	-15,60

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	46,75	81,18	18,68	89,56
Messung 2	13,23	77,06	3,42	85,53
Änderung (M1 - M2)	-33,52	-4,12	-15,26	-4,03

Bild 121: Vergleich Vorher-Nachher L 257 Fahrriichtung Morschenich (Auswertzeitraum grau gekennzeichnet)

Datum	Anzahl Fzg.	V ₁₅	V ₅₀	V ₈₅
11.10.2007 (Vorher)	649	59,34	73,23	83,09
21.11.2007 (Nachher)	593	55,38	65,84	75,53
28.08.2008 (Nachher)	607	59,13	70,96	81,80

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-	-3,96	-7,39	-7,56
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-	-2,09	-4,83	-4,43

Tab. 22: Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung Vorher-Nachher, L 257 Fahrtrichtung Morschenich (Station 150 – Annäherungsbereich)

Datum	Anzahl Fzg.	V ₁₅	V ₅₀	V ₈₅
11.10.2007 (Vorher)	666	49,89	60,37	70,27
21.11.2007 (Nachher)	584	46,24	54,06	61,74
28.08.2008 (Nachher)	602	49,77	59,53	69,34

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-	-3,65	-6,31	-8,53
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-	-1,89	-3,58	-4,73

Tab. 25: Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung Vorher-Nachher, L 257 Fahrtrichtung Morschenich (Station 589 – innerhalb der Kurve)

Datum	Anzahl Fzg.	V ₁₅	V ₅₀	V ₈₅
11.10.2007 (Vorher)	670	55,21	69,68	80,59
21.11.2007 (Nachher)	576	51,24	62,18	75,15
28.08.2008 (Nachher)	533	53,25	65,38	78,44

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-	-3,97	-7,50	-5,44
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-	-2,97	-5,90	-3,80

Tab. 23: Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung Vorher-Nachher, L 257 Fahrtrichtung Morschenich (Station 377 – auf Höhe der Geschwindigkeitsbegrenzung auf 70 km/h)

Datum	Anzahl Fzg.	V ₁₅	V ₅₀	V ₈₅
11.10.2007 (Vorher)	679	51,36	61,94	73,59
21.11.2007 (Nachher)	597	45,63	57,24	69,31
28.08.2008 (Nachher)	604	47,78	59,90	71,34

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-	-5,73	-4,70	-4,28
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-	-4,66	-3,37	-3,27

Tab. 24: Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung Vorher-Nachher, L 257 Fahrtrichtung Morschenich (Station 456 – auf Höhe der Geschwindigkeitsbegrenzung auf 50 km/h bei Nässe)

Für jeden Quervergleich wurden Auswertungen gemäß Bild 121 durchgeführt. Die einzelnen Ergebnisse sind im Anhang H dargestellt. In Tab. 18 bis Tab. 21 sind die Kenndaten der Geschwindigkeitsverteilung der Strecke L 257 Fahrtrichtung Buir aufgeführt. In allen Querschnitten ist ein deutlicher Geschwindigkeitsrückgang zu verzeichnen. Im Annäherungsbereich und in der Kurve sind die Rückgänge mit maximal 4,5 bis 8,5 km/h bzw. im Mittel über alle Messungen zwischen 3,0 und 6,5 km/h niedriger als im Bereich der Rüttelstreifen. Hier konnten Rückgänge bis über 12 km/h verzeichnet werden. Innerhalb der Vorher-Messungen liegen die Schwankungen der Geschwindigkeit bei maximal 2,0 km/h. Bis auf eine Messung an der Station 740 (auf Höhe der Geschwindigkeitsbegrenzung auf 50 km/h bei Nässe) wurden alle Messungen auf Basis des KS-Tests als signifikant unterschiedlich identifiziert. Die Veränderungen des Geschwindigkeitsverhaltens im Vorher-Nachher-Vergleich können demnach als sowohl statistisch signifikant, als auch als hinsichtlich ihrer Auswirkung relevant angesehen werden.

In allen Querschnitten ist jedoch ein klarer Unterschied zwischen der Messung vom 22.11.2007 und 27.08.2008 zu erkennen. Während die Geschwindigkeitsrückgänge drei Wochen nach der Applikation der Rüttelstreifen mit 5 bis 12 km/h sehr hoch sind, tritt mit der Zeit ein deutlicher Gewöhnungseffekt ein. Die Geschwindigkeitsreduktion zehn Monate nach der Maßnahmenumsetzung fällt mit 2 bis 7 km/h deutlich geringer aus. Belegt wird dies ebenfalls durch die Tatsache, dass eine der drei Querschnittsmessungen am 27.08.2008 als nicht signifikant eingestuft wurde.

In Fahrtrichtung Morschenich (Tab. 22 bis Tab. 25) stellt sich das Bild grundsätzlich anders dar. Die Reduktion der Geschwindigkeit ist im Gegensatz zur Fahrtrichtung Buir nicht so stark ausgeprägt

Datum	Anzahl Fzg.	V ₁₅	V ₅₀	V ₈₅
13.09.2007 (Vorher)	1.817	53,26	60,06	67,20
10.10.2007 (Vorher)	1.784	50,44	57,49	63,91
04.06.2008 (Nachher)	1.625	47,67	55,64	62,45
10.06.2008 (Nachher)	1.716	45,08	52,58	60,32

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-	-8,18	-7,48	-6,88
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-	-5,48	-4,67	-4,17

Tab. 26: Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung Vorher-Nachher, B 399 Fahrtrichtung Gey (Station 000 – Annäherungsbereich)

Datum	Anzahl Fzg.	V ₁₅	V ₅₀	V ₈₅
13.09.2007 (Vorher)	1.848	48,13	55,31	63,01
10.10.2007 (Vorher)	1.804	47,12	55,53	63,66
04.06.2008 (Nachher)	1.619	41,20	48,91	58,44
10.06.2008 (Nachher)	1.739	40,70	47,91	57,45

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-	-7,43	-7,62	-6,21
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-	-6,68	-7,01	-5,39

Tab. 27: Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung Vorher-Nachher, B 399 Fahrtrichtung Gey (Station 304 – auf Höhe der Rüttelstreifen)

Datum	Anzahl Fzg.	V ₁₅	V ₅₀	V ₈₅
13.09.2007 (Vorher)	1.854	44,44	50,02	57,60
10.10.2007 (Vorher)	1.827	43,70	49,44	57,29
04.06.2008 (Nachher)	1.636	41,04	47,05	54,03
10.06.2008 (Nachher)	1.713	42,65	48,60	56,11

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-	-3,40	-2,97	-3,57
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-	-2,23	-1,91	-2,38

Tab. 28: Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung Vorher-Nachher, B 399 Fahrtrichtung Gey (Station 402 – innerhalb der Kurve)

und liegt zwischen 4,5 km/h und 9,0 km/h. Dabei treten anders als in der Gegenrichtung die größten Reduktionen im Annäherungsbereich und in der Kurve auf. Während in Fahrtrichtung Buir die größten Geschwindigkeitsänderungen im Bereich der Rüttelstreifen zu verzeichnen waren, liegen die Differenzen hier um ca. 3,0 bis 4,0 km/h niedriger als in der Kurve.

Analog zur Fahrtrichtung Buir ist eine deutliche Gewöhnung an die Rüttelstreifen zu verzeichnen. Bei der Messung nach zehn Monaten liegt der Effekt der Rüttelstreifen ca. 3 bis 4 km/h unter dem Effekt nach drei Wochen. Die statistischen Analysen ergaben für alle Messungen einen signifikanten Unterschied zwischen Vorher- und Nachher-Fall. Lediglich im Bereich der Kurve ergab die Messung am 28.08.2008 keinen signifikanten Unterschied.

Auf Grund der ausgeprägten Angleichung der Geschwindigkeiten insbesondere im Annäherungsbereich an den Vorher-Fall kann davon ausgegangen werden, dass die ortskundigen Fahrer langfristige Adaptionen an die geänderten Komfortwerte der Strecke vollziehen und ihr Verhalten so optimieren, dass auch nach der Umsetzung der Rüttelstreifen maximale Geschwindigkeiten ohne Komforteinbußen zu realisieren sind.

In Tab. 26 bis Tab. 28 sind die Geschwindigkeitskenndaten der Strecke B 399 Fahrtrichtung Gey dargestellt. Die Geschwindigkeitsänderung liegt hier in ähnlichen Bereichen wie auf der L 257 Fahrtrichtung Morschenich. Während die v_{15} bis v_{85} im Annäherungsbereich und im Bereich der Rüttelstreifen im Vergleich zum Vorher-Fall um maximal 8,0 km/h und im Mittel bis zu 6,3 km/h absank ist die Geschwindigkeitsänderung in der Kurve mit ca. 3,0 km/h maximal und ca. 1,5 bis 2,0 km/h im Mittel niedriger. Alle Geschwindigkeitsverteilungen nach der Maßnahme stellen sich auf Basis des KS-Tests als signifikant unterschiedlich zu den Verteilungen vor der Applikation der Rüttelstreifen dar. Insgesamt liegt die Geschwindigkeit im gesamten Bereich der Maßnahme auf der B 399 niedriger als auf den weiteren untersuchten Strecken.

Für die Strecke B 477 Fahrtrichtung LUXHEIM sind die Geschwindigkeitsdaten analog in Tab. 29 bis Tab. 31 aufgeführt. Ähnlich wie die Änderungen der Geschwindigkeit auf der Strecke L 257 Fahrtrichtung Buir liegen die Differenzen zwischen Vorher- und Nachher-Fall auf dieser Strecke mit 6,0 bis über 12,0 km/h sehr hoch. Auch auf dieser Strecke ergab die statistische Analyse ausschließlich signifikante Ergebnisse. Im Bereich der Annäherung an die Rüttelstreifen sind Geschwindig-

keitsreduktionen zwischen 2,5 und 7,0 km/h, im Mittel zwischen 1,5 und 4,0 km/h zu verzeichnen. Im Bereich der Rüttelstreifen und in der unmittelbar danach anschließenden Kurve werden sehr große Geschwindigkeitsreduktionen von durchschnittlich 4,0 bis 11,0 km/h erreicht.

Einen Einfluss durch Adaptionen der Verkehrsteilnehmer wie auf der L 257 ist auf dieser Strecke nicht in der Ausprägung zu erkennen. Die geschwindigkeitsdämpfende Wirkung lässt zwar zwischen der Messung am 17.06.2008 und am 07.10.2008 nach, es sind jedoch nach wie vor starke Effekte zu erkennen. Eine Angleichung wie auf der Strecke L 257 bis nahe an das Ausgangsniveau erfolgt nicht. Dies liegt zum einen an dem kürzeren Betrachtungszeitraum und zum anderen an der besonderen Streckencharakteristik und der damit verbundenen Möglichkeit, die Streifen über den Seitenstreifen zu umfahren (vergleiche hierzu Kapitel 7.3.2).

Zusammenfassend stellt sich die Änderung der Geschwindigkeit auf den einzelnen Strecken sehr unterschiedlich dar. Auch wenn auf allen Strecken eine dämpfende Wirkung durch die Rüttelstreifen eintritt, ist diese in Ihrer Ausprägung abhängig von

- der Streckengeometrie,
- der Verkehrsbelastung und Verkehrszusammensetzung,
- der Höhe der gefahrenen Geschwindigkeiten und
- der Anordnung und Anzahl der Rüttelstreifen.

Die Strecken L 257 und B 477 sind durch hohe Sichtweiten und geringe Verkehrsbelastungen geprägt. Die hier erzielte Wirkung der Rüttelstreifen liegt höher als auf der B 399, welche mit niedrigen Sichtweiten und engen Radien die Geschwindigkeitswahl der Verkehrsteilnehmer a priori stärker einschränkt. Die in Kapitel 6 dargestellten Geschwindigkeitskennwerte auf den unterschiedlichen Strecken zeigen deutlich, dass sich diese Zwänge in wenig streuenden Geschwindigkeiten niederschlagen. Die Wirkung, die die Rüttelstreifen hier entfalten können, ist demnach im Vergleich zu den Zwängen aus der Trassierung niedriger. Zusätzlich ist der Verkehrsteilnehmer durch die fast doppelt so hohe Verkehrsbelastung einer stärkeren Interaktion mit dem Umgebungsverkehr ausgesetzt. Eine freie Geschwindigkeitswahl und damit potentielle Geschwindigkeitsübertretungen sind somit ebenfalls seltener. In Hinsicht auf die absoluten Geschwindigkeiten liegt auf der Strecke B 399 die v_{85} um ca. 10 bis 20 km/h unter den anderen untersuchten Strecken. Die v_{zul} auf dieser Strecke

Datum	Anzahl Fzg.	v_{15}	v_{50}	v_{85}
05.09.2007 (Vorher)	1.475	65,18	77,73	89,74
11.09.2007 (Vorher)	1.399	64,34	76,97	90,10
17.06.2008 (Nachher)	1.503	63,91	75,58	88,14
07.10.2008 (Nachher)	763	62,64	71,60	83,75

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-	-2,54	-6,13	-6,35
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-	-1,49	-3,76	-3,97

Tab. 29: Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung Vorher-Nachher, B 477 Fahrtrichtung LUXHEIM (Station -300 – Annäherungsbereich)

Datum	Anzahl Fzg.	v_{15}	v_{50}	v_{85}
05.09.2007 (Vorher)	1.480	59,77	69,95	82,40
11.09.2007 (Vorher)	1.425	58,60	70,31	82,61
17.06.2008 (Nachher)	1.509	50,91	60,33	71,25
07.10.2008 (Nachher)	1.212	51,83	60,83	71,25

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-	-8,86	-9,98	-11,36
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-	-7,82	-9,55	-11,26

Tab. 30: Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung Vorher-Nachher, B 477 Fahrtrichtung LUXHEIM (Station 150 – Auf Höhe der Rüttelstreifen)

Datum	Anzahl Fzg.	v_{15}	v_{50}	v_{85}
05.09.2007 (Vorher)	1.501	55,73	65,20	76,06
11.09.2007 (Vorher)	1.438	56,23	67,06	79,59
17.06.2008 (Nachher)	1.557	52,60	61,39	71,40
07.10.2008 (Nachher)	1.236	50,49	58,52	66,93

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-	-5,74	-8,54	-12,66
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-	-4,44	-6,18	-8,66

Tab. 31: Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung Vorher-Nachher, B 477 Fahrtrichtung LUXHEIM (Station 270 – in der Kurve)

liegt allerdings mit 50 km/h ebenfalls um 20 km/h unter der v_{zul} der L 257 und der B 477, auf denen die Geschwindigkeit vor der Kurve standardmäßig auf 70 km/h und lediglich bei Nässe auf 50 km/h reduziert wird.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt liegt in der Wirkung der unterschiedlichen Anordnung der Rüttelstreifen. Betrachtet man die Strecke L 257 fällt auch hier bei gleichen Trassierungs- und Be-

triebsmerkmalen eine unterschiedliche Wirkung der Rüttelstreifen auf. In die Fahrtrichtung Buir wurden im Gegensatz zu der Fahrtrichtung Morschenich mehr Rüttelstreifen aufgebracht (vergleiche Tab. 10). Auf der B 399, auf der im Vergleich niedrigere Geschwindigkeitsrückgänge beobachtet wurden, sind ebenfalls weniger Rüttelstreifen im Annäherungsbereich der Kurve aufgebracht worden.

Strecke	Datum	Vorher Nachher (Anzahl Fzg.)	v_{95} [km/h]	Anteil Überschreiter v_{zul} [%]	v_m Überschrei- ter v_{zul} [km/h]	Anteil Überschreiter $v_{zul} + 10$ [%]	v_m Überschrei- ter $v_{zul} + 10$ [km/h]
L 257 FR Buir	06.09.2007	Vorher (n = 982)	74,43	12,12	76,15	1,63	84,63
	12.09.2007	Vorher (n = 888)	71,51	6,64	78,29	1,58	90,57
	22.11.2007	Nachher (n = 891)	63,35	1,23	72,27	-	-
	27.08.2008	Nachher (n = 906)	67,09	3,75	75,26	0,55	82,20

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-11,08	-10,89	-6,02	-1,63	-8,37
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-7,75	-6,89	-3,45	-1,33	-5,40

Tab. 32: Übersicht Änderung der oberen Geschwindigkeitskollektive bzw. der Überschreiter der v_{zul} (L 257 FR Buir – innerhalb der Gefahrenstelle bzw. Kurve)

Strecke	Datum	Vorher Nachher (Anzahl Fzg.)	v_{95} [km/h]	Anteil Überschreiter v_{zul} [%]	v_m Überschrei- ter v_{zul} [km/h]	Anteil Überschreiter $v_{zul} + 10$ [%]	v_m Überschrei- ter $v_{zul} + 10$ [km/h]
L 257 FR Morschenich	11.10.2007	Vorher (n = 666)	75,96	17,57	76,11	1,65	89,18
	21.11.2007	Nachher (n = 584)	66,54	3,25	72,89	0,17	81,00
	28.08.2008	Nachher (n = 602)	76,58	15,45	77,12	2,99	87,28

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-9,42	-14,32	-3,22	-1,48	-8,18
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-4,40	-8,22	-1,11	-0,07	-5,04

Tab. 33: Übersicht Änderung der oberen Geschwindigkeitskollektive bzw. der Überschreiter der v_{zul} (L 257 FR Morschenich – innerhalb der Gefahrenstelle bzw. Kurve)

Strecke	Datum	Vorher Nachher (Anzahl Fzg.)	v_{95} [km/h]	Anteil Überschreiter v_{zul} [%]	v_m Überschrei- ter v_{zul} [km/h]	Anteil Überschreiter $v_{zul} + 10$ [%]	v_m Überschrei- ter $v_{zul} + 10$ [km/h]
B 399	13.09.2007	Vorher (n = 1.854)	61,32	55,83	56,73	10,30	64,53
	10.10.2007	Vorher (n = 1.827)	60,98	52,76	56,53	10,34	63,99
	04.06.2008	Nachher (n = 1.636)	58,19	37,96	55,29	3,67	63,83
	10.06.2008	Nachher (n = 1.713)	61,24	47,64	56,43	8,87	64,61

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-3,13	-17,87	-1,44	-6,67	-0,70
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-1,44	-11,50	-0,77	-4,05	-0,04

Tab. 34: Übersicht Änderung der oberen Geschwindigkeitskollektive bzw. der Überschreiter der v_{zul} (B 399 – innerhalb der Gefahrenstelle bzw. Kurve)

Strecke	Datum	Vorher Nachher (Anzahl Fzg.)	v_{95} [km/h]	Anteil Überschreiter v_{zul} [%]	v_m Überschrei- ter v_{zul} [km/h]	Anteil Überschreiter $v_{zul} + 10$ [%]	v_m Überschrei- ter $v_{zul} + 10$ [km/h]
B 477	05.09.2007	Vorher (n = 1.501)	82,50	0,33	110,20	0,20	114,67
	11.09.2007	Vorher (n = 1.438)	87,79	0,76	106,82	0,14	113,00
	17.06.2008	Nachher (n = 1.557)	78,24	0,39	111,67	0,19	115,33
	07.10.2008	Nachher (n = 1.236)	74,75	0,08	102,00	-	-

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-13,04	-0,68	-8,20	-0,20	0,66
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-8,65	-0,31	-1,68	-0,08	1,50

Tab. 35: Übersicht Änderung der oberen Geschwindigkeitskollektive bzw. der Überschreiter der v_{zul} (B 477 – innerhalb der Gefahrenstelle bzw. Kurve)

Strecke	Datum	Vorher Nachher (Anzahl Fzg.)	v_{95} [km/h]	Anteil Überschreiter v_{zul} [%]	v_m Überschrei- ter v_{zul} [km/h]	Anteil Überschreiter $v_{zul} + 10$ [%]	v_m Überschrei- ter $v_{zul} + 10$ [km/h]
L 257 FR Buir	06.09.2007	Vorher (n = 969)	91,82	46,75	81,18	18,68	89,56
	12.09.2007	Vorher (n = 878)	87,26	34,40	80,00	11,73	89,60
	22.11.2007	Nachher (n = 877)	76,22	13,23	77,06	3,42	85,53
	27.08.2008	Nachher (n = 901)	84,56	28,08	79,43	8,21	90,80

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-15,60	-33,52	-4,12	-15,26	-4,07
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-9,15	-19,92	-2,35	-9,39	-1,42

Tab. 36: Übersicht Änderung der oberen Geschwindigkeitskollektive bzw. der Überschreiter der v_{zul} (L 257 FR Buir – im Bereich der Rüttelstreifen)

Strecke	Datum	Vorher Nachher (Anzahl Fzg.)	v_{95} [km/h]	Anteil Überschreiter v_{zul} [%]	v_m Überschrei- ter v_{zul} [km/h]	Anteil Überschreiter $v_{zul} + 10$ [%]	v_m Überschrei- ter $v_{zul} + 10$ [km/h]
L 257 FR Morschenich	11.10.2007	Vorher (n = 670)	89,50	52,24	79,75	17,91	88,02
	21.11.2007	Nachher (n = 576)	81,30	28,47	78,27	7,64	86,18
	28.08.2008	Nachher (n = 533)	88,05	38,65	79,95	14,26	88,43

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-8,20	-23,77	-1,48	-10,27	-1,84
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-4,83	-18,68	-0,64	-6,96	-0,72

Tab. 37: Übersicht Änderung der oberen Geschwindigkeitskollektive bzw. der Überschreiter der v_{zul} (L 257 FR Morschenich – im Bereich der Rüttelstreifen)

Strecke	Datum	Vorher Nachher (Anzahl Fzg.)	v_{95} [km/h]	Anteil Überschreiter v_{zul} [%]	v_m Überschrei- ter v_{zul} [km/h]	Anteil Überschreiter $v_{zul} + 10$ [%]	v_m Überschrei- ter $v_{zul} + 10$ [km/h]
B 399	13.09.2007	Vorher (n = 1.848)	68,74	81,93	59,53	32,14	65,70
	10.10.2007	Vorher (n = 1.804)	69,04	78,55	60,10	34,81	65,79
	04.06.2008	Nachher (n = 1.619)	62,75	49,60	57,69	13,90	64,61
	10.06.2008	Nachher (n = 1.739)	62,79	45,72	57,43	11,10	65,41

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-6,29	-36,21	-2,67	-23,71	-1,18
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-6,12	-32,58	-2,26	-20,98	-0,74

Tab. 38: Übersicht Änderung der oberen Geschwindigkeitskollektive bzw. der Überschreiter der v_{zul} (B 399 – im Bereich der Rüttelstreifen)

Strecke	Datum	Vorher Nachher (Anzahl Fzg.)	v_{95} [km/h]	Anteil Überschreiter v_{zul} [%]	v_m Überschrei- ter v_{zul} [km/h]	Anteil Überschreiter $v_{zul} + 10$ [%]	v_m Überschrei- ter $v_{zul} + 10$ [km/h]
B 477	05.09.2007	Vorher (n = 1.480)	91,75	1,28	107,05	0,27	118,50
	11.09.2007	Vorher (n = 1.425)	92,17	1,26	104,89	0,07	114,00
	17.06.2008	Nachher (n = 1.509)	76,94	0,20	108,00	0,07	122,00
	07.10.2008	Nachher (n = 1.212)	79,35	0,08	104,00	-	-

$\Delta \max_{\text{vor-nach}}$	-15,23	-1,20	-3,05	-0,27	3,50
$\Delta \emptyset_{\text{vor-nach}}$	-13,82	-1,13	0,03	-0,14	5,75

Tab. 39: Übersicht Änderung der oberen Geschwindigkeitskollektive bzw. der Überschreiter der v_{zul} (B 477 – im Bereich der Rüttelstreifen)

Bisher wurden vorrangig die in der allgemeinen Verkehrsbeschreibung üblichen Größen v_{15} , v_{50} sowie v_{85} zur Bewertung herangezogen. Ziel der Rüttelstreifen ist jedoch nicht die Beeinflussung des gesamten Fahrerkollektivs, sondern vorrangig des Teils, welcher eine nicht angepasste Geschwindigkeit wählt. Diese Fahrer gehen damit ein Risiko ein, welches verstärkt zu Unfällen bzw. Beinaheunfällen führen kann.

Als weitere Bewertungsgrößen zur detaillierten Analyse der Wirkung von Rüttelstreifen insbesondere auf diese Gruppe der Fahrer wird

- die v_{95} ,
- der Anteil und die Durchschnittsgeschwindigkeit (v_m) der Überschreiter der Geschwindigkeitsbeschränkung sowie
- der Anteil und die Durchschnittsgeschwindigkeit der exzessiven Geschwindigkeitsüberschreiter ($v_m + 10 \text{ km/h}$)

herangezogen. Eine Betrachtung der Fahrer, die die zulässige Geschwindigkeit um mehr als 20 km/h überschreiten und damit bewusst ein hohes Risiko eingehen, wurde zwar durchgeführt, musste jedoch auf Grund des geringen Stichprobenumfangs und der tageszeitlich stark schwankenden Anteile und Geschwindigkeiten verworfen werden, da keine statistische Aussagen getroffen werden konnten.

In den hohen Geschwindigkeitsbereichen fällt eine stärkere „Resistenz“ gegenüber der Maßnahme auf. Auf der L 257 Fahrtrichtung Buir sind in allen Bereichen hoher Geschwindigkeit deutliche Reduktionen sowohl im Mittel, als auch im prozentualen Anteil zu verzeichnen. Auf den anderen Strecken stellt sich dieser Trend nicht so deutlich dar. Auf der B 399 sind aus oben beschriebenen Gründen kaum Effekte in diesem Geschwindigkeitsbereich zu erkennen. Auf der B 477 kommt es bei der Gruppe der höchsten Geschwindigkeiten sogar zu einem geringeren Anstieg der Durchschnittsgeschwindigkeit. Auf der L 257 Fahrtrichtung Morschenich wurde zunächst eine Reduktion des Anteils und der Geschwindigkeit beobachtet, die sich nach einigen Monaten abbaute. Die Ausgangswerte vor der Maßnahme werden wieder nahezu erreicht.

An den Messquerschnitten im Bereich der Annäherung und auf Höhe der Rüttelstreifen stellt sich die Wirkung auf die Gruppe der „Raser“ positiver dar. Hier liegen die Reduktionen der mittleren Geschwindigkeit im Bereich von 3,0 bis zu 15,0 km/h. Der Anteil der Geschwindigkeitsüberschreiter sinkt

in diesem Bereich um 5,5 bis über 30 % (siehe beispielsweise Tab. 36).

Das Kollektiv der Fahrer, die auf Landstraßen die höchsten Geschwindigkeiten fahren, lassen sich demnach durch die Rüttelstreifen beeinflussen. Lediglich der Bereich, in dem die Wirkung anhält, ist bei diesen Fahrern kleiner als beim Kollektiv der Fahrer mit Geschwindigkeiten unterhalb der v_{85} . Im Annäherungsbereich wird die Geschwindigkeit gedrosselt, die Rüttelstreifen werden mit einer geringeren Geschwindigkeit passiert und im Bereich der Kurve wird die Geschwindigkeit wieder leicht angehoben. Mit diesem so genannten „herausbeschleunigen aus der Kurve“ wird versucht, möglichst schnell das ursprüngliche für die Strecke vom Fahrer als optimale Geschwindigkeit empfundene Niveau zu erreichen. Ein Geschwindigkeitsverlauf, der dieses Fahrerverhalten beschreibt ist hypothetisch in Bild 122 dargestellt.

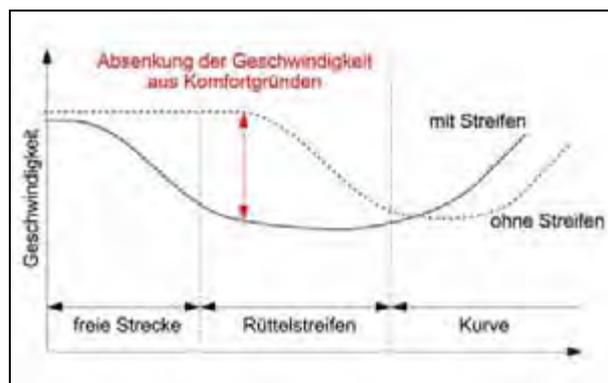


Bild 122: Hypothetischer Verlauf der Geschwindigkeit über den Untersuchungsraum Vorher-Nachher

7.3.2 Allgemeines Fahrerverhalten

Neben einem geänderten Geschwindigkeitsverhalten sind durch die Rüttelstreifen auch Auswirkungen auf das allgemeine Fahrverhalten zu erwarten. Hierzu wurden neben den Verkehrsmessungen auch Beobachtungen des Fahrverhaltens durchgeführt. Diese zeigten hinsichtlich unerwünschter Fahrmanöver wie

- plötzlichem Abbremsen oder
- abrupten Lenkbewegungen

keine Auffälligkeiten. Auf zwei der vier Strecken konnten in den ersten Tagen sehr vereinzelt stärkere Bremsmanöver vor dem ersten oder zweiten Streifenpaket beobachtet werden. Bei späteren Beobachtungen bestätigten sich diese Fahrmanöver jedoch nicht. Gleich bleibend über den gesamten Zeitraum fiel auf, dass „getunte“ d. h. tiefer gelegte Fahrzeuge die Rüttelstreifen nur mit sehr ge-

ringer Geschwindigkeit überfahren oder diesen – wenn möglich – ausweichen.

Das Umfahren der Rüttelstreifen wurde einer detaillierten Analyse unterzogen und konnte auch quantifiziert werden. In Bild 123 ist eine Typisierung der unterschiedlichen Arten des Umfahrens aufgeführt. Während Typ 1 und Typ 2 die Rüttelstreifen ganz bzw. halb über den Seitenstreifen umfahren, nutzen Typ 4 und Typ 5 die halbe bzw. den gesamten Fahrstreifen des Gegenverkehrs. Diese beiden letzten Typen beinhalten das größte Sicherheitsrisiko bzgl. Konflikten mit anderen Verkehrsteilnehmern. Bei diesen beiden Typen wurde zusätzlich zum Fahrerverhalten des Einzelfahrzeugs das Vorhandensein von Gegenverkehr ausgewertet.

Als potentiell gefährlich werden Umfahrungsmanöver von Pkw gewertet, bei denen zwischen Manöverende und Eintreffen von Gegenverkehr weniger als 5 Sekunden vergangen sind. Alle weiteren Manöver – auch unter Einbeziehung der Gegenfahrbahn – werden wie ein normales Überholmanöver gewertet. Der Einfluss auf die Verkehrssicherheit kann dann als neutral angesehen werden. Die Zeitlücke von 5 Sekunden bedeutet bei einer v_{85} von 70 km/h einen Sicherheitsabstand zum Gegenverkehr von nahezu 100 Metern.

Die in Tab. 40 dargestellten Quoten der einzelnen Umfahrertypen zeigen, dass bei drei Strecken ca. 10 % der beobachteten Fahrer mindestens eines der Rüttelstreifenelemente umfahren. Lediglich auf der B 399 zwischen Großhau und Gey liegt die Umfahrerquote bei 5 % und damit um die Hälfte niedriger, als auf den anderen Strecken. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zum einen die Sichtweiten auf der B 399 wesentlich niedriger sind und zum anderen die Verkehrsbelastung um ca. 120 % über den Belastungen der anderen Strecken liegt. Des Weiteren fällt auf, dass auf der B 477 zwischen Eggersheim und LUXHEIM zwar die Umfahrerquote ebenfalls bei ca. 10 % liegt, im Gegensatz zu den anderen Strecken der Anteil des Umfahrertyps 5 – Umfahren der Streifen über die Gegenfahrbahn – mit ca. 5 % sehr niedrig ausfällt. Auf Grund der besonderen Streckencharakteristik – überbreiter Querschnitt und Seitenstreifen in beide Richtungen – versuchen die Verkehrsteilnehmer eher über den Seitenstreifen auszuweichen, als über den Gegenverkehr.

Eine weitere Auffälligkeit ergibt sich auf der Strecke L 257. Bei ähnlichen Verkehrsbelastungen und großen Sichtweiten in beide Fahrtrichtungen ist der Umfahreranteil in Fahrtrichtung Buir wesentlich höher, als in Fahrtrichtung Morschenich.

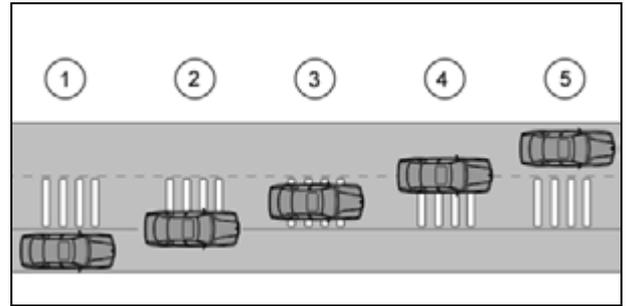


Bild 123: Typisierung der Be- bzw. Umfahrungen von Rüttelstreifen

- Typ 1: Umfahren über den Seitenstreifen
- Typ 2: halbes Umfahren über den Seitenstreifen
- Typ 3: Optimales Spurhalteverhalten (kein Umfahren)
- Typ 4: halbes Umfahren über die Gegenfahrbahn
- Typ 5: Umfahren über die Gegenfahrbahn

Strecke	Q [Kfz/h]	Umfahrertyp [%]				
		1	2	3	4	5
L 257 FR Morsch.	90	-	-	89,6	1,3	9,2
L 257 FR Buir	127	-	-	87,4	0,3	12,3
B 399	257	-	-	95,0	2,4	2,6
B 477	132	4,3	1,5	89,2	0,1	4,9

Tab. 40: Anteil der unterschiedlichen Be- bzw. Umfahrertypen (Beobachtungszeitraum: 4 Stunden) (Typisierung gemäß Bild 123)

Ein Grund für dieses Ungleichgewicht könnte in Unterschieden der Anordnung bzw. der Anzahl der Streifen liegen. Während in Fahrtrichtung Buir eine höhere Anzahl an Streifen aufgebracht wurde und somit ein größerer Diskomfort für die Fahrer entsteht, ist die Gesamtzahl der Rüttelstreifen in Fahrtrichtung Morschenich um 30 % niedriger. Der verstärkte Drang, diesem Diskomfort durch Ausweichen zu entgehen, wird in Fahrtrichtung Buir durch größere Abstände zwischen den Streifenpaketen und der Kurve, bzw. durch die Lage auf einem relativ geraden Stück begünstigt. Inwiefern die Kurvengeometrie – je nach Fahrtrichtung als Rechts- bzw. Linkskurve ausgebildet – das Umfahren begünstigt, konnte nicht geklärt werden.

Insgesamt ist aus diesem Verhalten zwar eine deutliche Bereitschaft abzulesen, die Streifen und damit den haptischen und akustischen Diskomfort zu umgehen, dieser Wunsch wird jedoch nur auf Basis einer Risikoabwägung vorgenommen. Aufkommender Gegenverkehr und geringe Sichtweiten führen zu einer deutlichen Verringerung der Umfahrerquote.

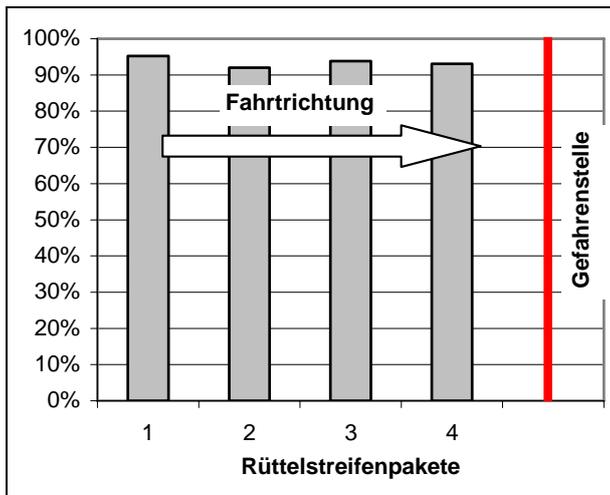


Bild 124: Anteil der regelkonform befahrenen Rüttelstreifen als Durchschnittswerte für alle Strecken (Einzeldaten siehe Anhang I)

Im Rahmen weiterer Analysen wurde neben den unterschiedlichen Umfahrertypen untersucht, welche Rüttelstreifenpakete am häufigsten umfahren wurden. In Bild 124 wird das Ergebnis dieser Untersuchung als Zusammenfassung für alle Strecken dargestellt. Während die erste Gruppe von Streifen am wenigsten umfahren wird, liegt die Umfahrerquote bei der zweiten Gruppe am höchsten. Mit weiterer Annäherung an die Kurve sinkt diese konstant ab. Je nach Trassierung und Sichtverhältnis ist der Anteil der Umfahrungen bei allen Streifenpaketen nahezu gleich oder weist das Maximum an anderer Stelle auf (Siehe Anhang I).

Die Beobachtung zeigte bei allen Strecken eine geringe Anzahl von gefährlichen Umfahrungen. Während der jeweils 4-stündigen Beobachtung fuhren je nach Strecke zwischen drei und sieben Fahrern unter 5 Sekunden Zeitlücke zum Gegenverkehr in den Fahrraum des Gegenverkehrs ein. Das entspricht einem Anteil am gesamten Verkehrsaufkommen von unter einem Prozent. Die niedrigste beobachtete Zeitlücke zum Gegenverkehr auf allen Strecken betrug 2 Sekunden bei einem Motorrad und ca. 3 Sekunden bei einem Pkw.

Zusammenfassend kann das allgemeine Fahrerverhalten als weitgehend unkritisch bezeichnet werden. In Abhängigkeit von den untersuchten Strecken stellt sich das Umfahrerverhalten unterschiedlich dar. Während auf den Strecken B 399 und B 477 lediglich ein geringer Teil des Gesamtverkehrs zu linksseitigen Umfahrungen neigt (2,6 %-4,6 %) konnte auf der Strecke L 257 ein verstärkter Drang zum Umfahren der Streifen beobachtet werden (9,2 %-12,3 %). Bezogen auf alle Strecken wurde ein teilweises Ausweichen mit der Hälfte des Fahrzeugs über die Gegenfahrbahn in

1 % und ein vollständiges Umfahren der Streifen in 7 % beobachtet. Die Ausweichmanöver fanden im Beobachtungszeitraum mit ausreichender Zeitlücke zum Gegenverkehr statt. Plötzliche Bremsmanöver oder abrupte Lenkbewegungen konnten nicht beobachtet werden. Mögliche Maßnahmen zur Reduzierung von unerwünschten Fahrmanövern werden in Kapitel 8 diskutiert.

7.3.3 Akzeptanzuntersuchung

Neben den zuvor beschriebenen Erhebungen der Geschwindigkeiten im Vorher-Nachher-Vergleich und Beobachtungen zum allgemeinen Fahrerverhalten wurden zusätzliche Akzeptanzuntersuchungen durchgeführt.

Die Befragung gliederte sich in drei Abschnitte. Zur Einordnung der gesamten Aussagen wurden in einem ersten Teil grundsätzliche Angaben zu Geschlecht, Alter und jährlicher Fahrleistung abgefragt. In einem zweiten Teil wurde nach der persönlichen Einschätzung der Strecke hinsichtlich ihrer Gefahr für ortskundige sowie für ortsfremde Fahrer gefragt. Abschließend wurde gezielt die Akzeptanz hinsichtlich der Maßnahme abgefragt.

Der Fragebogen wurde im Rahmen eines Pre-Tests auf Verständlichkeit und Konsistenz überprüft. Neben der Verständlichkeit wurden dabei die Eindeutigkeit, ausreichende Differenzierung sowie Beantwortungsaufwand untersucht.

Nach einer Eingewöhnungsphase von mindestens 4 Wochen wurden die Verkehrsteilnehmer in einem ausgewählten Zeitraum von 2 Stunden im Nachlauf der Rüttelstrecken von der Polizei angehalten und von Erhebungsteams zur Maßnahme befragt.



Bild 125: Verkehrsbefragung (WALDBRONN, 2008)

Strecke	Anzahl Befragte	Anzahl Gesamtverkehr
L 257 FR Buir	94	36 %
L 257 FR Morschenich	63	44 %
B 399	118	33 %
B 477	92	42 %

Tab. 41: Absolutzahlen der Akzeptanzuntersuchung

Auf den einzelnen Strecken wurden im gegebenen Zeitraum auf Grund der variierenden Verkehrsbelastungen und der zur Verfügung stehenden Aufstellflächen eine unterschiedliche Anzahl von Verkehrsteilnehmern befragt. Insgesamt standen 378 Bewertungen zur Interpretation zur Verfügung. Die Verteilung auf die einzelnen Untersuchungsstrecken sind Tab. 41 zu entnehmen.

Die weitere Analyse wird für die Summe aller Befragungen durchgeführt. Ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen den Bewertungen auf unterschiedlichen Strecken, wird darauf gesondert eingegangen. Zusätzlich zu der Akzeptanz aus den Befragungen der Verkehrsteilnehmer werden in Kapitel 7.3.5 weitere Akzeptanzaspekte diskutiert.

7.3.4 Analyse der Akzeptanzerhebung

In Bild 126 wird die Altersstruktur innerhalb der Gruppe aller Befragter mit der demographischen Struktur eines äquivalenten Kollektivs der gesamtdeutschen Bevölkerung im Jahre 2006 verglichen. In weiten Teilen ist die Verteilung ähnlich, lediglich die Gruppe der 40-55jährigen ist leicht überproportional stark vertreten. Hingegen sind die Anteile der unter 40-jährigen leicht unterrepräsentiert. In der Summe ist das Kollektiv der Probanden hinsichtlich seiner Altersstruktur als hinreichend repräsentativ anzusehen. Im Gegensatz dazu ist die geschlechtsspezifische Verteilung innerhalb der Probandengruppe weniger repräsentativ (siehe Tab. 42). Es ist eine eindeutige Schiefe hin zur männlichen Personengruppe zu erkennen. Im Mittel waren zwei Drittel der Befragten männlich und ein Drittel weiblich. Des Weiteren wurde das Kollektiv hinsichtlich seiner Fahrleistung befragt. Hierbei wurde differenziert zwischen

- Fahrleistung / Jahr gesamt (incl. Motorrad, Pkw, Lkw, unabhängig davon, ob es sich um

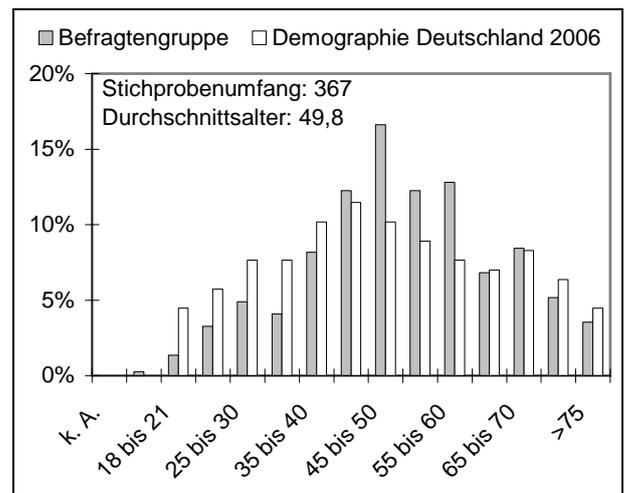


Bild 126: Altersverteilung der Befragten in Relation zur demographischen Struktur Deutschlands im Jahre 2006 (nach DESTATIS, 2007)

Strecke	männlich	weiblich
L 257 FR Buir	79 %	21 %
L 257 FR Morschenich	84 %	16 %
B 477 FR LUXHEIM	76 %	24 %
B 399 FR GEY	63 %	37 %

Tab. 42: Verteilung des Geschlechts innerhalb der Probandengruppe

ein Privat- oder um ein Firmenfahrzeug handelt) und

- Fahrleistung / Jahr mit dem Fahrzeug, mit welchem der Fahrer zum Zeitpunkt der Befragung unterwegs ist.

Bei der Auswertung wurden die Ergebnisse zur besseren Übersichtlichkeit in Klassen eingeteilt. Die Einteilung richtet sich nach gängigen Einteilungen der Jahresfahrleistung, wie sie beispielsweise von Versicherungen vorgenommen werden.

Hinsichtlich der jährlichen Fahrleistung sowohl in der Summe, als auch mit dem Fahrzeug, welches zum Zeitpunkt der Befragung gefahren wurde, ist eine relativ homogene Verteilung zwischen 0 und 100.000 km/Jahr festzustellen. Die Jahreskilometerleistungen zwischen 30.000 und 50.000 km/Jahr sind dabei mit 20 % am Gesamtkollektiv am stärksten vertreten (siehe Anhang J). Durch die Differenzierung zwischen Gesamtfahrleistung und Anteil

mit dem Fahrzeug zum Zeitpunkt der Befragung können Verschiebungen der subjektiven Einschätzung von Fahrgefühl und Sicherheitsempfinden erkannt werden. Insbesondere im Bereich der Vielfahrer werden tendenziell mehr Anteile mit demselben Fahrzeug gefahren. Im Bereich unter 10.000 km sind höhere Anteile mit fremden Fahrzeugen zu verzeichnen. Insgesamt kann der Anteil jedoch über den gesamten Fahrleistungsbereich als homogen angesehen werden. Eine Fehlbeeinflussung der Aussageergebnisse durch den Einfluss eines ungewohnten Fahrzeugs kann weitestgehend ausgeschlossen werden. Dies wird insbesondere bei der Betrachtung der Ortskundigkeit der Fahrer deutlich. Wie in Bild 127 dargestellt werden die Strecken von über 50 % mehrmals pro Woche oder sogar täglich befahren. Lediglich 9 % befahren die Strecke zum ersten Mal. Der Großteil des Befragtenkollektivs kann also als ortskundig bezeichnet werden.

Die eigene Fahrweise wird von den Befragten vorrangig als defensiv bezeichnet (siehe Anhang J). Wie subjektiv und unbelastbar diese Selbsteinschätzung ist, wird an dem klar ausgeprägten Maximum in der Mitte der Bewertungsskala deutlich. Trotzdem ist diese Einschätzung wichtig zur Kalibrierung der Aussagen bzgl. der Einschätzung der Gefährlichkeit der Strecken.

In Anhang J erkennt man sehr deutlich die verschobene Risikosicht der Fahrer. Während die Strecken von den Befragten für die eigene Person als relativ sicher erachtet wird, liegt die Einschätzung der Gefahr für ortsunkundige Fahrer deutlich nach oben verschoben. Vielfach wurden Äußerungen getätigt, die diesen Sachverhalt erläutern: „Für mich ist die Strecke nicht gefährlich, da ich Sie ja kenne. Ich kann meine Fahrweise an die Strecke anpassen und diese so gefahrlos passieren. Fremde kennen die Strecke nicht und geraten unvermittelt in gefährliche Situationen.“ Der eklatante Unterschied zwischen subjektivem und objektivem Risiko wird an dieser Stelle deutlich.

Die Strecken wurden bei dieser Einschätzung durch die Befragten teilweise unterschiedlich bewertet. Während der gut ausgebaute Querschnitt der B 477 zwischen Lühheim und Eggersheim als weniger gefährlich eingeordnet wurde, werden die anderen Strecken als gleichermaßen gefährlich angesehen (siehe hierzu Anhang J).

Die Akzeptanz hinsichtlich Maßnahmen an den untersuchten Streckenabschnitten liegt deutlich im positiven Bereich. Ca. 70 % der Befragten befürworten das Aufbringen der Rüttelstreifen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit (vergleiche Bild 128).

Hinsichtlich der störenden Wirkung für die Fahrer kann keine eindeutige Tendenz ermittelt werden. Auf allen Strecken variiert die Einschätzung der Fahrer von „nicht bemerkbare Wirkung“ bis hin zu „sehr störende Wirkung auf Fahrzeug und Fahrer“. Diese Einschätzung spiegelt erneut die starke subjektive Ausprägung des Empfindens von haptischen und akustischen Signalen wieder.

Hinsichtlich der tatsächlichen verkehrlichen Wirkung wurde ebenfalls eine subjektive Selbsteinschätzung durch die Probanden durchgeführt. Zum einen sollte das eigene Geschwindigkeitsverhalten bewertet werden. Zum anderen wurde im Hinblick auf die in Kapitel 7.3.2 durchgeführte Betrachtung des allgemeinen Fahrerverhaltens erfragt, ob eine grundsätzliche Bereitschaft besteht, die Rüttelstreifen zu umfahren (vergleiche Bild 130).

Die eigene Fahrgeschwindigkeit ist nach Einschätzung von knapp über 50 % der Befragten auf Grund der Maßnahme gesunken. Fast 40 % der Befragten sehen keine Veränderung der eigenen Geschwindigkeitswahl. Im Kontext mit den zuvor beschriebenen Bewertungen der Streckengefährlichkeit ist dieser Sachverhalt logisch und kann anhand der häufigen Erklärung der Befragten erläutert werden: „Ich kenne doch die Strecke und bin schon immer mit einer angepassten, richtigen Geschwindigkeit gefahren – warum sollte ich langsamer werden?“

Eine Bereitschaft, die Rüttelstreifen zu umfahren, um diesem Diskomfort zu entgehen signalisierten ca. 20 % Prozent der Befragten. Dies wurde jedoch oft eingeschränkt: „Grundsätzlich ja, aber nur wenn kein Gegenverkehr zu sehen ist.“ oder „Ich würde schon gerne, aber die Strecke ist hier so schlecht einsehbar, dass das Risiko zu groß wäre.“ Vergleicht man den tatsächlichen Anteil der Umfahrer mit der Selbsteinschätzung hinsichtlich der Frage „Würden Sie die Streifen umfahren, wenn sich Ihnen die Möglichkeit bietet?“, so ist eine klare Diskrepanz festzustellen. Die Ergebnisse sind – differenziert nach Untersuchungsstrecken – in Tab. 43 gegenübergestellt. Deutlich werden hier auch die Unterschiede in den Streckencharakteristiken. Im Gegensatz zu den Strecken mit weit gefasstem Verkehrsraum und Blickfeld ist die Bereitschaft zum Umfahren bei der Strecke B 399 zwischen Hürtgenwald und Gey wahrscheinlich auf Grund der sehr niedrigen Sichtweiten und der kurvigen Charakteristik der Strecke mit 17 % am niedrigsten.

Strecke	Anteil tats. Umfahrer	Bereitschaft Umfahren
L 257 FR Buir	13,0 %	29 %
L 257 FR Morchenisch	10,4 %	19 %
B 477 FR LUXheim	10,8 %	26 %
B 399 FR Gey	5,0 %	17 %

Tab. 43: Gegenüberstellung des tatsächlichen Anteils der Umfahrer (aus Verkehrsmessungen) und der subjektiven Bereitschaft zum Umfahren (aus Befragungen)

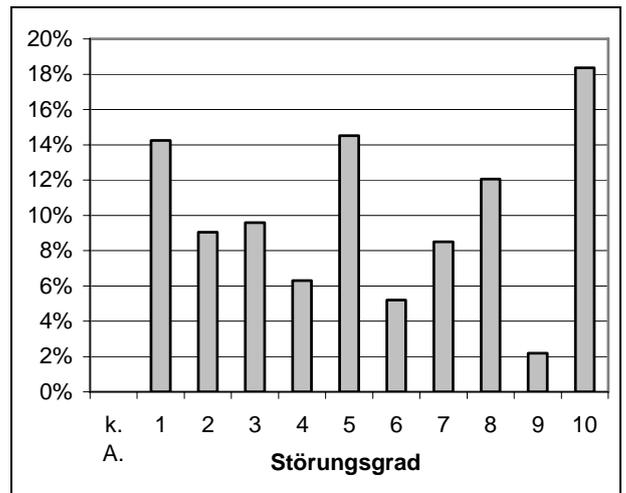


Bild 129: Beeinträchtigung durch die Rüttelstreifen (1=nicht bemerkbar bis 10=sehr störend)

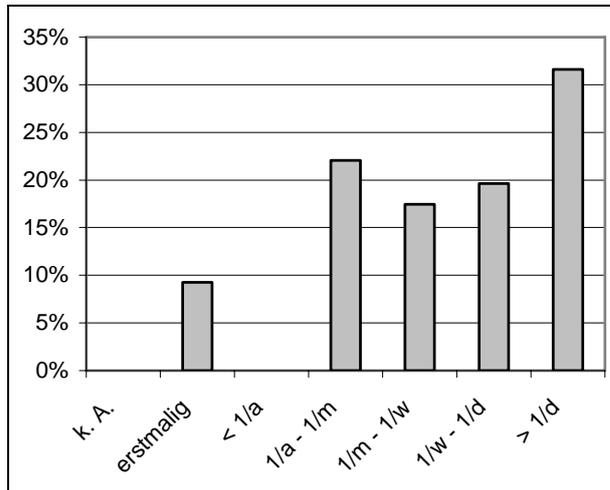


Bild 127: Häufigkeit der Streckennutzung (erstmalig, einmal pro Jahr bis mehrmals am Tag)

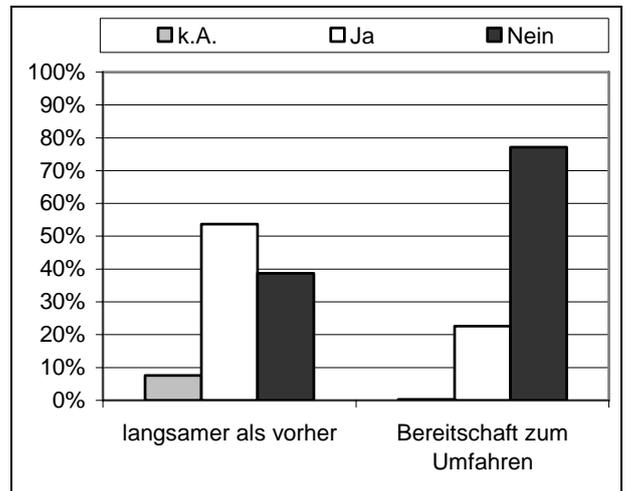


Bild 130: Einschätzung der Befragten hinsichtlich eigenem Geschwindigkeitsverhalten und Fahrerverhalten

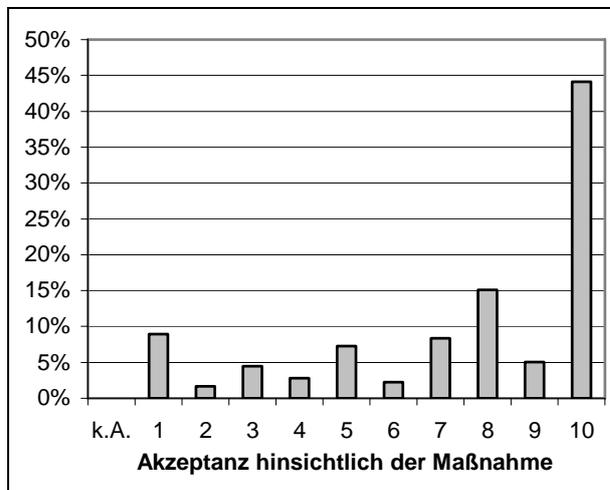


Bild 128: Akzeptanz der Befragten hinsichtlich der Maßnahme "Rüttelstreifen" zur Erhöhung der Verkehrssicherheit (1=keine Akzeptanz bis 10=volle Akzeptanz)

7.3.5 Allgemeine Akzeptanz in der Bevölkerung

Neben den zuvor beschriebenen Befragungen eines Kollektivs von Verkehrsteilnehmern kam es während der Untersuchungen zu einer Vielzahl von Reaktionen aus der Bevölkerung.

Vereinzelt kam es zu schriftlichen Rückmeldungen von Nutzern der Strecken, in welchen der Sinn der Maßnahme in Frage gestellt wurde. Kritikpunkte waren neben dem generellen Zweifel an der Wirkung der Rüttelstreifen auch das Ausweichen einzelner Fahrer in den Gegenverkehr. Die häufigste Sorge der Autofahrer galt jedoch der Wirkung der Rüttelstreifen auf Ihre Fahrzeuge. Neben den Rückmeldungen von einzelnen Autofahrern kam es auch zu Reaktionen der Anwohner.

An zwei Ortslagen wurde von den Anwohnern von einer extremen Lärmbelastung berichtet. Insbesondere nachts und bei Überfahrungen der Streifen von Fahrzeugen mit leichten Anhängern sei die Belästigung durch den Lärm nicht zu ertragen. Die Unregelmäßigkeit der Geräusche und die Geräuschausprägung, die beispielsweise als Pistolenschuss bezeichnet wurde, stellten dabei die größten Probleme dar. Aufgrund dieser Beschwerden wurden stichprobenweise Immissionsmessungen durchgeführt, wobei sich die gefühlte Beeinträchtigung nur bei einer Strecke (B 399) messtechnisch nachweisen ließ. Die Messungen erfolgten hierbei sowohl außerhalb als auch innerhalb der betroffenen Häuser stichprobenartig an unterschiedlichen Standorten über mehrere Minuten. Insgesamt wurden an der Ortslage B 339 sechs Messungen durchgeführt. Die Schallimmission wurde dabei mittels der gleichen akustischen Ausrüstung aufgezeichnet, die auch in den messtechnischen Vorversuchen (vergleiche Kapitel 5) verwendet wurden. Die Messdaten wurden retrospektiv ausgewertet. Es konnten je nach Messstandort kurzzeitige Schallspitzen von drei bis sechs dB(A) über dem Grundschallpegel nachgewiesen werden. Diese Schallspitzen liegen zwar in ähnlichen Größenordnungen, wie die gemessenen Pegeländerungen durch Vorbeifahrten ohne Rüttelstreifen oder andere Störgeräusche, führen aber insbesondere durch ihr kurzes regelmäßiges „knallendes“ Auftreten zu Irritationen bei den Anwohnern. Auf Grund dieser Ergebnisse und der nachvollziehbaren subjektiven Beeinträchtigung wurden die Beschwerden der Anwohner als relevant eingestuft. Die Rüttelstreifen wurden hier auf Grund dieser Ergebnisse nach Abschluss der verkehrstechnischen Untersuchung entfernt.

An einer zweiten Strecke (B 477) ergaben sowohl subjektive Hörproben bei diversen Ortsterminen, als auch stichprobenartige und langfristige Immissionsmessungen über eine Nacht im der Straße zugewandten Schlafzimmer einer Anwohnerin bei offenem Fenster keinen Beleg für die geschilderte Lärmbelastung. In Rücksichtnahme auf die Interessen der Anwohner wurden die Rüttelstreifen auch auf dieser Strecke nach Abschluss der verkehrstechnischen Untersuchung zurückgebaut.

Bei beiden Ortslagen war das Empfinden der Anwohner je nach Persönlichkeit, Ausrichtung des Hauses – hier vor allem Schlafzimmer und Terrasse – sehr unterschiedlich und reichten von „starker Beeinträchtigung“ bis hin zu „nicht störend“.

Analog zu den Erkenntnissen früherer Studien muss als Fazit dieser Akzeptanz erkannt werden, dass selbst ein als ausreichend angenommener

Abstand von über 700 Metern oder bei geringeren Abständen von ca. 150 bis 200 Metern die Lage der Strecke in Geländeeinschnitten nicht ausreichen, um eine zumindest subjektive Beeinträchtigung a priori auszuschließen. Messtechnisch unbedeutende Änderungen der Umgebungsgeräusche können als sehr störend empfunden werden. Externe Einflüsse wie beispielsweise Windrichtung und -stärke können die Immissionen ebenfalls wesentlich beeinflussen. Des Weiteren muss man die geringe Reizschwelle der Anwohner in den untersuchten Bereichen in Betracht ziehen. Auf Grund der Wohnlage – ländliche Region mit geringen allgemeinen Emissionen aus Infrastruktur oder Industrie – kann bereits eine geringe akustische Zusatzbelastung als stark störend empfunden werden. Maskierende Umgebungsgeräusche treten in diesen ländlichen Bereichen in wesentlich geringerem Maße auf, als in Stadtnähe.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei einem möglichen Einsatz von Rüttelstreifen die Akzeptanz der Anwohner eine entscheidende Rolle spielt. Auch wenn objektiv keine Beeinträchtigungen erwartet werden, sollte eine frühzeitige Beteiligung der Anwohner in Betracht gezogen werden.

7.4 Zusammenfassung der Untersuchungen unter Verkehr

7.4.1 Ausführung und Ortslage

Die Rüttelstreifenform, die sich in den theoretischen und messtechnischen Vorversuchen als optimierte Form ergeben hatte (vergleiche Kapitel 3 bis 6), wurde auf vier Landstraßen vor gefährlichen Kurven aufgebracht. Die Anordnung wurde auf Grund der Randbedingungen und der lokalen Unterschiede der Strecken (beispielsweise Radienfolge, einmündende Wege, Beschilderung) leicht variiert.

Die Herstellung der Streifen aus einer Zweikomponenten-Kaltplaste erfolgte durch eine Fachfirma. Zur Sicherstellung einer guten Erkennbarkeit wurden die Streifen in Weiß gestaltet. Eine gesonderte Beschilderung oder Anpassung der Längsmarkierung erfolgte nicht.

7.4.2 Geschwindigkeitsverhalten

Vor der baulichen Umsetzung der Rüttelstreifen wurden auf den vier Untersuchungsstrecken Messungen der Geschwindigkeit durchgeführt. Das Geschwindigkeitsverhalten wurde an wesentlichen Punkten im Annäherungsbereich sowie in der Kurve selber mit Hilfe von Seitenradargeräten aufge-

nommen. Nach einer Eingewöhnungszeit von mindestens vier Wochen nach der Installation der Rüttelstreifen wurden die verkehrlichen Erhebungen an allen vier Strecken wiederholt.

Zur Abgrenzung möglicher Wirkungen der Rüttelstreifen von Effekten aus Wetter, Untersuchungskollektiv oder weiteren Einflussgrößen wurden parallel zu den Hauptmessungen an einem Querschnitt im Umkreis der jeweiligen Untersuchungsstrecke Kontrollgruppenmessungen vorgenommen. Die Kontrollgruppen ergaben ein homogenes und stabiles Geschwindigkeitsverhalten. Die Schwankungen innerhalb der Geschwindigkeitsverteilung betragen zwischen 0,50 und 2,30 km/h. Im Vergleich zu vorangegangenen Untersuchungen zum Fahrerverhalten auf Landstraßen stellen sich diese Schwankungen als gering und das allgemeine Fahrerverhalten somit als stabil und frei von Störeinflüssen dar.

Die Geschwindigkeitsmessungen auf allen vier Untersuchungsstrecken ergaben eine Reduktion der Geschwindigkeit durch die Rüttelstreifen. Je nach Ausgangsgeschwindigkeit, Streckencharakteristik und Verkehrsbelastung fielen diese Geschwindigkeitsrückgänge unterschiedlich stark aus. Bezogen auf alle Strecken konnte die Geschwindigkeit in allen Bereich des Untersuchungsraums um mehrere Stundenkilometer (im Mittel zwischen drei und sechs, in der Spitze zwischen sechs und zwölf) gesenkt werden. Das besondere Augenmerk bei der Analyse lag auf dem Kollektiv der Geschwindigkeitsüberschreiter bzw. der Fahrer im oberen Geschwindigkeitsbereich. Diese wurden durch Kenngrößen der Geschwindigkeit

- v_{95} ,
- mittlere Geschwindigkeit der Überschreiter der v_{zul} und
- mittlere Geschwindigkeit der Überschreiter der $v_{zul} + 10$ km/h

sowie deren prozentualer Anteil am gesamten Verkehrskollektiv beschrieben. Auch in diesem Bereich konnten deutliche Geschwindigkeitsrückgänge verzeichnet werden. Je nach Strecke wurden im Bereich der als Gefahrenstelle identifizierten Kurve im Mittel Reduktionen der v_{95} zwischen 2 km/h und 9 km/h und eine Verringerung des Anteils der Überschreiter der v_{zul} von bis zu 12 % gemessen. Daneben zeigte diese Gruppe jedoch auch die größten Inhomogenitäten ihres Geschwindigkeitsverhaltens im Verlauf der Strecke. Je nach Strecke wurden im Bereich der Rüttelstreifen, also im Annäherungsbereich der Gefahrenstelle, im Mittel Reduktionen der v_{95} zwischen 5 km/h und 14 km/h und ein Rückgang der Ü-

berschreiter der v_{zul} von bis zu 33 % beobachtet. Während also im Bereich der Rüttelstreifen der größere Effekte erzielt wurde, reduzierte sich dieser im Bereich der Kurve. Durch die Rüttelstreifen wird demnach der Punkt der Verzögerung auf der Strecke vorgezogen. Die niedrigere Eingangsgeschwindigkeit in die Kurve bewirkt zwar auch dort einen Geschwindigkeitsrückgang, dieser ist jedoch in seiner Ausprägung geringer. Zusätzlich lässt sich ein kleines Kollektiv von Fahrern auch durch Maßnahmen wie Rüttelstreifen wenig beeinflussen. Hier beschränkt sich die Wirkung der Rüttelstreifen vorrangig auf den Bereich der haptischen und akustischen Beeinflussung. Auf allen untersuchten Strecken wird auf Grund der Lage und bestärkt durch die Ergebnisse der Akzeptanzuntersuchung ein hoher Anteil an ortskundigen Fahrern vermutet. In dieser Straßennutzergruppe ist das Bestreben, die übliche Geschwindigkeit auf bekannten Strecken zu erreichen, besonders ausgeprägt. Sobald der Bereich der haptischen und akustischen Beeinflussung passiert wurde, versuchen die Fahrer ihre Wunschgeschwindigkeit wieder zu erreichen.

Die größten Effekte im Bereich der Rüttelstreifen wurden auf der B 477 erzielt. Diese zeichnet sich durch die höchste Ausgangsgeschwindigkeit und einen überbreit ausgebauten Querschnitt aus. Die Sichtweiten liegen auf der Strecke bei über 600 Metern und reduzieren sich im Bereich der Kurve auf ca. 100 Meter. Die Kurvigkeit dieser Strecke ist mit unter 50 gon/km am niedrigsten. Die Geschwindigkeit sank 60 Tage nach der baulichen Umsetzung der Rüttelstreifen im Annäherungsbereich um ca. 10 km/h (v_{50} und v_{85}) bzw. um 15 km/h (v_{95}) und hält auch 172 Tage nach Maßnahmenumsetzung an (vergleiche Bild 131).

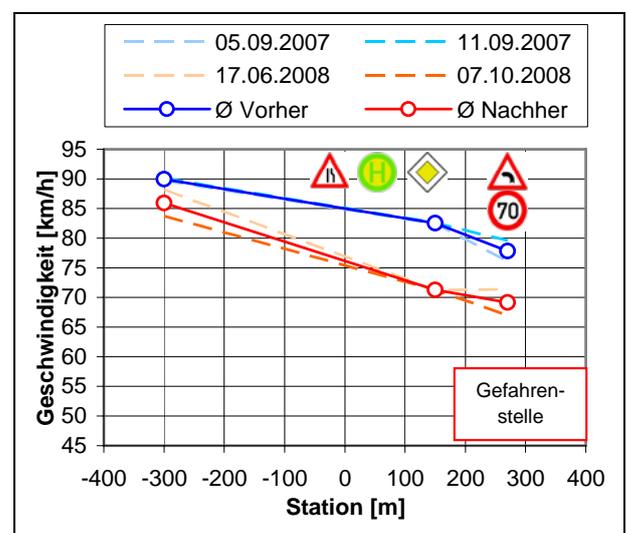


Bild 131: Vergleich der v_{85} vor und nach Applikation der Rüttelstreifen auf der B 477 Fahrtrichtung Lückheim

Die Effekte auf der L 257 liegen 20 Tage nach Maßnahmenumsetzung um ca. 1 bis 4 km/h niedriger, jedoch in ähnlichen Größenordnungen wie auf der B 477 (vergleiche Bild 132 und Bild 133). Der Effekt der Rüttelstreifen auf das Geschwindigkeitsniveau unterliegt auf dieser Strecke einem gewissen Gewöhnungseffekt. Nach einem Zeitraum von 279 Tagen nach der ersten Messung konnte lediglich ein Drittel der zuvor beobachteten Geschwindigkeitsreduktion gemessen werden. Der Anteil der Überschreiter stieg ebenfalls zwischen den beiden Messungen wieder an.

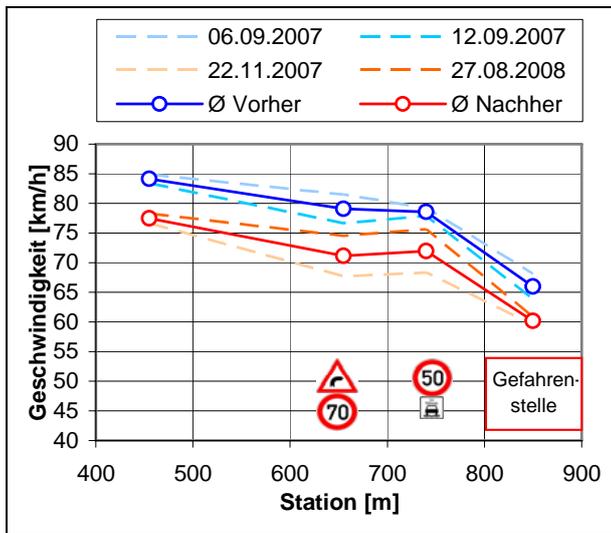


Bild 132: Vergleich der v_{85} vor und nach Applikation der Rüttelstreifen auf der L 257 Fahrtrichtung Buir

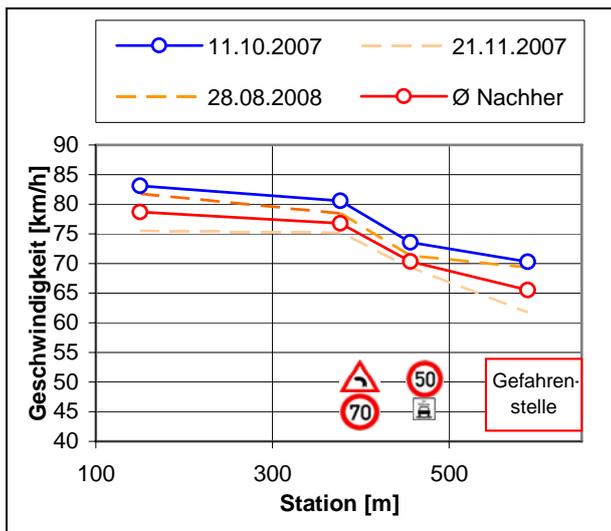


Bild 133: Vergleich der v_{85} vor und nach Applikation der Rüttelstreifen auf der L 257 Fahrtrichtung Morschenich

Der geringste Effekt sowohl im Annäherungs- als auch im Kurvenbereich konnte auf der B 399 gemessen werden. Die Erhebungen 40 Tage nach

Applikation der Rüttelstreifen ergaben im Bereich der Streifen eine Geschwindigkeitsreduktion von ca. 5 bis 6 km/h über alle Geschwindigkeitsbereiche (v_{15} , v_{50} , v_{85} , v_{95}) und im Bereich der Kurve von lediglich 2 km/h (vergleiche Bild 134). Diese geringere Reduktion der Geschwindigkeit wird zum einen auf die hohe Kurvigkeit ($> 250 \text{ gon/km}$) und zum anderen auf die niedrigen Sichtweiten (100 bis 150 Meter) zurückgeführt. Des Weiteren liegt auf dieser Strecke mit 60 bis 65 km/h die niedrigste Ausgangsgeschwindigkeit vor.

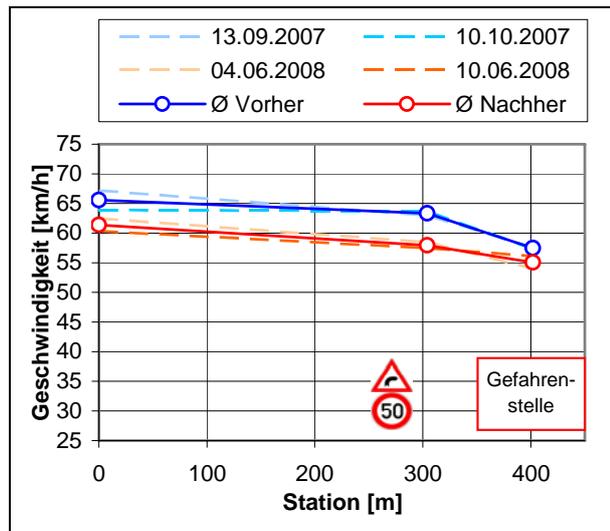


Bild 134: Vergleich der v_{85} vor und nach Applikation der Rüttelstreifen auf der B 399 Fahrtrichtung Gey

In der Summe kann die geschwindigkeitsdämpfende Wirkung der Rüttelstreifen für die untersuchten Strecken als vorhanden und teilweise stark ausgeprägt bezeichnet werden.

7.4.3 Fahrerverhalten und Akzeptanz

Zusätzlich zur reinen Geschwindigkeitsbetrachtung wurde das allgemeine Fahrerverhalten nach der Maßnahmenumsetzung beobachtet und quantifiziert. Unerwünschte plötzliche Manöver, wie extremes Abbremsen oder abrupte Lenkbewegungen durch die Rüttelstreifen konnten nicht beobachtet werden. Lediglich in der ersten Eingewöhnungsphase konnte ein stärkeres Abbremsen vor den Streifen beobachtet werden. Dieses Verhalten sowie ein vereinzelt Umfahren der Rüttelstreifen konnte nach der Eingewöhnungsphase noch bei Fahrzeugen mit geringem Bodenabstand beobachtet werden. Der Anteil der Umfahrer der Streifen liegt je nach Strecke im Mittel zwischen ca. 3 % und 13 % des gesamten Verkehrsaufkommens in der beobachteten Fahrtrichtung. Von allen beobachteten Umfahrern hielten ca. 96 % eine Zeitlücke von mehr als fünf Sekunden zum Gegenver-

kehr ein. Dies entspricht 99,5 % des gesamten Fahrerkollektivs.

7.4.4 Unfallgeschehen

Die Motivation zur Anordnung von Rüttelstreifen liegt in der Verbesserung der Verkehrssicherheit. Im Rahmen der Studie sollte insbesondere das Fahrverhalten an Rüttelstreifen analysiert werden. Aufgrund des kurzen Untersuchungszeitraums können die Sicherheitswirkungen der Rüttelstreifen nicht quantifiziert werden. Eine erste Einschätzung hinsichtlich der Wirkung von Rüttelstreifen auf das Unfallgeschehen kann aber anhand der Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeitsverhalten und Unfallgeschehen erfolgen. Durch eine Reduktion der Geschwindigkeiten in den Gefahrenbereichen kann eine Verbesserung der Verkehrssicherheit erwartet werden. Für die L 257 liegen Unfalldaten für einen Betrachtungszeitraum von 11 Monaten nach Umsetzung der Maßnahme vor. In diesem Zeitraum ereignete sich im Bereich der untersuchten Kurve kein Unfall. In den drei Jahren vor Maßnahmenumsetzung kam es im gleichen Bereich zu sieben Unfällen. Wie auch die Unfalluntersuchungen vergangener Studien (vergleiche Kapitel 2) ist diese Aussage rein qualitativ zu verstehen. Belastbare Ergebnisse würden einen größeren Streckenumfang sowie einen deutlich längeren Untersuchungszeitraum erfordern.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der Untersuchung war die Ermittlung einer wirkungsvollen Methode, Kraftfahrer auf Landstraßen durch Veränderungen der Fahrbahnoberfläche hinsichtlich ihrer Geschwindigkeitswahl zu beeinflussen.

Zur Beeinflussung der Geschwindigkeit, aber auch zur Erhöhung der Aufmerksamkeit vor Gefahrenstellen werden vor allem im Ausland, vereinzelt auch in Deutschland so genannte Rüttelstreifen eingesetzt.

8.1 Vorgehen und Ergebnisse

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurden durch theoretische und empirische Ansätze baulich umsetzbare hinsichtlich ihrer Wirksamkeit optimierte Lösungsvorschläge für Rüttelstreifen erarbeitet. Basierend auf vorliegenden internationalen Erkenntnissen wurden messtechnische Voruntersuchungen konzipiert, die zu einer optimierten Bauform von Rüttelstreifen führten. Diese wurde abschließend auf Untersuchungsstrecken installiert

und hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Fahrerverhalten untersucht und bewertet. Die wesentlichen Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete werden im Weiteren ausgeführt.

In einem ersten Schritt wurde der aktuelle Stand der Technik auf nationaler wie auch auf internationaler Ebene erhoben. Der Schwerpunkt der Analyse lag dabei auf transversalen, d.h. quer zur Fahrbahn verlegten oder eingefrästen Rüttelstreifen oder -strecken. Zusätzlich zu der reinen „Status-Quo-Analyse“ wurden die theoretischen Grundlagen der Akustik und Haptik im Hinblick auf die Umgebung „Fahrzeug-Straße“ und auf die psychologische Wirkung unterschiedlicher haptischer und akustischer Reize untersucht.

Ziel des ersten Projektabschnitts war die Identifikation der wirksamsten Bauform unter Berücksichtigung von betrieblichen Aspekten wie beispielsweise dem Winterdienst. Hierzu wurde auf Basis der Literaturrecherche, einer ausführlichen Befragung der Straßenbauverwaltungen in den einzelnen Ländern und den theoretischen Grundlagen aus dem Bereich der Akustik und Haptik ein erstes Konzept für die Ausbildung von Rüttelstreifen auf deutschen Landstraßen erarbeitet.

Im Rahmen dieses Vorentwurfs ergaben sich unterschiedliche Ausführungsvarianten sowohl im Hinblick auf Einzelformen von Rüttelstreifen, als auch auf die laterale und transversale Anordnung. Während die Anordnung in Querrichtung vorrangig psychologischen und betrieblichen Einflüssen unterliegt, erfolgte eine Optimierung des Querschnitts und der Abstände von Rüttelstreifen untereinander auf Basis von messtechnischen Vorversuchen.

Auf einer Versuchsstrecke, die in ihren Eigenschaften wie Trassierung und Oberfläche einer gut ausgebauten Landstraße entspricht, wurden unterschiedliche Variationen von Rüttelstreifen hergestellt und mit messtechnisch ausgerüsteten Fahrzeugen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten mehrfach überfahren. Aufgezeichnet wurden dabei sowohl die relevanten Innenraumschwingungen, als auch die Innenraumgeräusche. Die Messsignale wurden hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Menschen ausgewertet und die Bauform mit dem maximalen Effekt ermittelt. Diese bildete in einer zweiten Versuchsreihe die Grundlage zur Ermittlung der optimalen Abstände von Rüttelstreifen zur selektiven Beeinflussung einzelner Geschwindigkeitsbereiche mit maximaler Wirkung.

Die theoretisch erwarteten Optimierungspotentiale konnten jedoch während der Versuche nicht erreicht werden. Eine selektive Steigerung der Rüttelwirkung für ausgewählte höhere Geschwindig-

keitsbereiche bei gleichbleibendem Komfort für niedrige Geschwindigkeiten zeigt sich in der Praxis als nicht durchführbar. Als Form mit der maximalen akustischen und haptischen Wirkung unter Berücksichtigung betrieblicher Aspekte ergab sich ein 50 cm breites Sägezahnprofil, dessen Oberfläche mit regelmäßigen Unebenheiten besetzt ist. Der optimale Abstand zwischen den einzelnen Streifen – vorrangig verantwortlich für die haptischen Signale – ergab sich zu drei Metern. Als Material für die Herstellung wird Fahrbahnmarkierung aus Zweikomponenten Kaltplaste empfohlen. Diese ergab während der Vorversuche gute Herstellungs- und Materialeigenschaften und bietet den Vorteil, dass es sich um ein bereits für den Straßenraum zugelassenes Material handelt.

Im zweiten Abschnitt des Projekts sollte die zuvor rein theoretisch und messtechnisch entwickelte und untersuchte Bauform von Rüttelstreifen hinsichtlich ihrer tatsächlichen Wirkung auf den Fahrer überprüft werden.

Zur Analyse der Wirkungen der Rüttel Elemente auf das Fahrverhalten wurden verkehrstechnische Untersuchungen durchgeführt. Im Fokus standen dabei das Geschwindigkeitsverhalten, das allgemeine Fahrerverhalten, die Akzeptanz der Fahrer sowie die Akzeptanz der Anwohner.

Auf vier Landstraßen im Kreis Düren wurden Testfelder im Annäherungsbereich von unfallträchtigen Kurven umgesetzt. Auf Basis von Vorher- Nachher- Messungen des Geschwindigkeitsverhaltens wurde eine Bewertung der Wirkung von Rüttelstreifen vorgenommen.

Auf allen vier Strecken konnte ein teilweise deutlicher Rückgang der Geschwindigkeit verzeichnet werden. Der mittlere Rückgang der Geschwindigkeiten liegt zwischen 3 und 6 km/h an einzelnen Messquerschnitten sogar bis zu 12 km/h. Die unterschiedliche Ausprägung des Effekts von Rüttelstreifen im Rahmen dieser Studie ist auf die unterschiedliche Charakteristik und Belastung der einzelnen Untersuchungsstrecken und auf den Standort der Querschnittsmessung zurückzuführen.

Basierend auf den Erkenntnissen von beispielsweise WEBSTER (1993) oder WATTS/STAIT/GODFREY (2002) wurden weitere Untersuchungen zur Langzeitwirkung von Rüttelstreifen durchgeführt. Mit Messungen ein halbes bzw. ein ganzes Jahr nach Maßnahmenumsetzung sollte untersucht werden, inwieweit die Wirkung bestehen bleibt bzw. ob sich ein Gewöhnungseffekt einstellt.

Während die Reduktionen der Geschwindigkeit auf der L 257 18 Tage nach der Applikation der Rüttel-

streifen im Bereich zwischen sechs und elf km/h (auf Höhe der Rüttelstreifen) bzw. drei und zehn km/h (innerhalb der Kurve) lag, konnte 279 Tage später wieder ein signifikanter Anstieg der Geschwindigkeit verzeichnet werden. Die Reduktionen lagen nun im gesamten Bereich der Untersuchungsstrecke mit drei km/h um bis zu zwei drittel unter dem zuvor gemessenen Effekt. Der Anteil der Geschwindigkeitsüberschreiter stieg ebenfalls wieder an, bleibt jedoch auch ca. ein Jahr nach der Maßnahmenumsetzung unter dem Ausgangsniveau. Auf dieser Strecke ist also eine langfristige Anpassung des Fahrerverhaltens und ein Gewöhnungseffekt zu verzeichnen.

Auf der B 477 wurden ebenfalls Messungen sofort nach der Maßnahmenumsetzung (60 Tage) und nach einem längeren Zeitraum (172 Tage) durchgeführt. Auf dieser Strecke lässt sich anhand des Geschwindigkeitsverhaltens eine größere Akzeptanz hinsichtlich der Maßnahme nachweisen. Die Geschwindigkeitsrückgänge liegen bei beiden Messungen in ähnlichen Größenordnungen.

Auf der B 399 wurden keine Langzeituntersuchungen vorgenommen, da die Rüttelstreifen frühzeitig entfernt wurden.

Auf Grund der Erfahrungen aus vergangenen Studien wurde neben den reinen Geschwindigkeitsmessungen das allgemeine Fahrerverhalten mittels Videobeobachtungen erhoben und analysiert. Außergewöhnliches Verhalten wie beispielsweise starke Verzögerungen vor den Streifen konnte nicht beobachtet werden. Dahingegen kam es jedoch auf allen Strecken zu Umfahrungen der Streifen. Die Rüttelstreifen wurden nur über eine Fahrspur aufgebracht und die Mittelmarkierung wurde nicht angepasst, so dass ein Ausweichen über die Gegenfahrbahn nicht unterbunden wurde. Der Anteil der Umfahrer am Gesamtkollektiv beträgt je nach Strecke zwischen 3 % und 13 % (incl. Zweiradfahrer). Von den insgesamt 365 beobachteten Umfahrungsmanövern wurden zwölf (3,3 % aller Umfahrer bzw. 0,5 % des gesamten Fahrerkollektivs) mit einem Zeitabstand von weniger als 5 Sekunden zum Gegenverkehr durchgeführt. Die kleinste beobachtete Zeitlücke zum Gegenverkehr betrug dabei 2 Sekunden bei einem Motorrad und 3 Sekunden bei einem Pkw. Das Umfahren der Rüttelstreifen wurde im Rahmen der Untersuchung im Bezug auf die Gegebenheiten der Strecke (Sichtweite und Verkehrsbelastung) von den Beteiligten als unkritisch angesehen. Maßnahmen zur Unterbindung solcher Manöver können Modifikationen der Mittelmarkierung (beispielsweise Fahrstreifenbegrenzungslinie mit oder ohne Rüttel Elemente) darstellen.

Die letzte Bewertungsstufe stellt eine umfassende Akzeptanzuntersuchung dar. Zum einen wurde auf allen Strecken eine Fahrerbefragung durchgeführt. Die Analyse dieser Daten ergibt eine hohe Akzeptanz der – meist ortsansässigen – Fahrer für die Maßnahme. Zum anderen wurde die Akzeptanz innerhalb der Bevölkerung – mit Schwerpunkt auf den Anwohnern – ermittelt. Auf Grund von subjektiv empfundenen und teilweise messtechnisch nachweisbaren zusätzlichen Lärmbelastungen durch die Rüttelstreifen liegt die Akzeptanz bei den Anwohnern auf einem niedrigen Niveau. Infolgedessen wurden an zwei Stellen die Rüttelstreifen nach Abschluss der Messungen wieder entfernt. Die Akzeptanz der Bewohner stellte sich im Rahmen des Projektes als ein maßgebliches Kriterium zum Einsatz von Rüttelstreifen heraus, welches bei zukünftigen Planung besonders berücksichtigt werden muss.

8.2 Forschungsbedarf

Zur abschließenden Klärung einzelner Fragen zum Einsatz von Rüttelstreifen als Maßnahme zur Erhöhung der Verkehrssicherheit, aber auch als Grundlage für andere Forschungsfelder wird die Untersuchung u. a. folgender Fragestellungen empfohlen:

- Bestätigt sich der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsdämpfung und Reduktion der Unfallzahlen auch für die Anlage von Rüttelstreifen?
- Beruht die Wirkung von Rüttelstreifen maßgeblich auf der Geschwindigkeitsreduktion oder vorrangig auf der Erhöhung der Aufmerksamkeit?
- Wie lässt sich die externe Schallemission von Rüttelstreifen minimieren, ohne die interne Wirkung negativ zu beeinflussen bzw. ohne den baulichen Aufwand der Maßnahme überproportional zu steigern, bzw. ab welcher Entfernung zur Wohnbebauung ist der Einsatz nach aktueller Ausführungsempfehlung unkritisch?

8.3 Empfehlungen

Auf Basis der Erkenntnisse vorangegangener Forschungsarbeiten, Erfahrungsberichten über experimentelle Anwendungen und den Ergebnissen des vorliegenden Forschungsberichts können Rüttelstreifen mit einigen Einschränkungen als wirkungsvolles und vor allem kostengünstiges Mittel zur Erhöhung der Verkehrssicherheit empfohlen werden.

Mögliche Einsatzgebiete für Rüttelstreifen bieten gefährliche Kurven, unfallträchtige Kreuzungen und Änderungen betrieblicher und baulicher Ausprägungen von Landstraßenstrecken.

Auf Grund der Akzeptanzuntersuchungen muss unbedingt auf einen ausreichenden Abstand zu Bebauungen eingehalten werden. Die Anwohner sollten zur Erhöhung der Akzeptanz früh in die Maßnahmenplanung einbezogen und über die Installation von Rüttelstreifen unterrichtet werden. Ein pauschaler Grenzwert für diesen Abstand kann nicht gesetzt werden, da die Immission durch eine Vielzahl von Randbedingungen wie Topographie, Windrichtungen oder Ausrichtung der Bebauung beeinflusst wird. Eine messtechnische Abgrenzung kann derzeit nicht erfolgen. Die Untersuchung wie auch internationale Erfahrungen zeigen, dass auch bei Entfernungen größer 700 Meter Beeinträchtigungen nicht ausgeschlossen werden können.

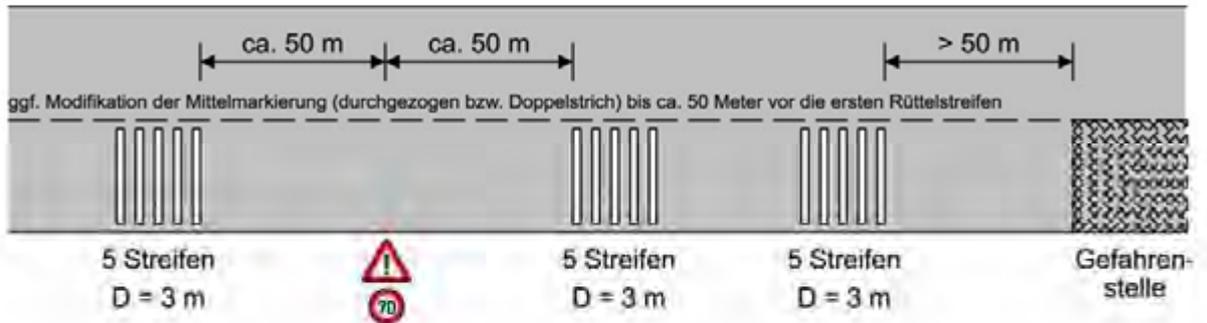
Auf Strecken mit hoher Kurvigkeit und niedriger Ausgangsgeschwindigkeit entfalten Rüttelstreifen in Bezug auf die Geschwindigkeit eine eher geringe Wirkung, da die Streckencharakteristik die Geschwindigkeitswahl a priori stark einschränkt. Inwiefern eine Steigerung der Aufmerksamkeit die Unfallzahlen positiv beeinflusst und somit den Einsatz von Rüttelstreifen auch bei geringeren Auswirkungen auf das Geschwindigkeitsverhalten rechtfertigt bleibt zu untersuchen.

Im Rahmen der Untersuchung wurden die Rüttelstreifen wie in Bild 135 ausgeführt. Diese Anordnung entspricht den im Ausland gebräuchlichen Anordnungen und kann auch für die weitere Anwendung empfohlen werden. Die Ausführungsvariante 1 stellt dabei die Regelausführung dar, während die Ausführungsvariante 2 bspw. bei beengten Verhältnissen zum Einsatz kommt. Eine Anordnung über die gesamte Fahrbahn wird auf Grund von Gewöhnungseffekten und damit niedrigere Akzeptanz nicht empfohlen. Um ein Umfahren der Rüttelstreifen zu vermeiden ist ggf. eine Modifikation der Mittelmarkierung – beispielsweise Doppelstrich oder Rüttelstreifen in Längsrichtung – vorzunehmen. Die Regelzeichnung nach Bild 135 stellt dabei eine Empfehlung dar, die den örtlichen Gegebenheiten angepasst werden muss. Bei größeren Abständen zwischen Geschwindigkeitsbegrenzung und Gefahrenstelle können beispielsweise zusätzliche Streifenpakete angeordnet werden. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, dass die Gesamtzahl der Streifen bzw. die laterale Ausdehnung der gesamten Maßnahme nicht zu groß wird, da sonst Gefahr besteht, dass zum einen die Akzeptanz der Fahrer sinkt und zum anderen ein Gewöhnungseffekt eintritt.

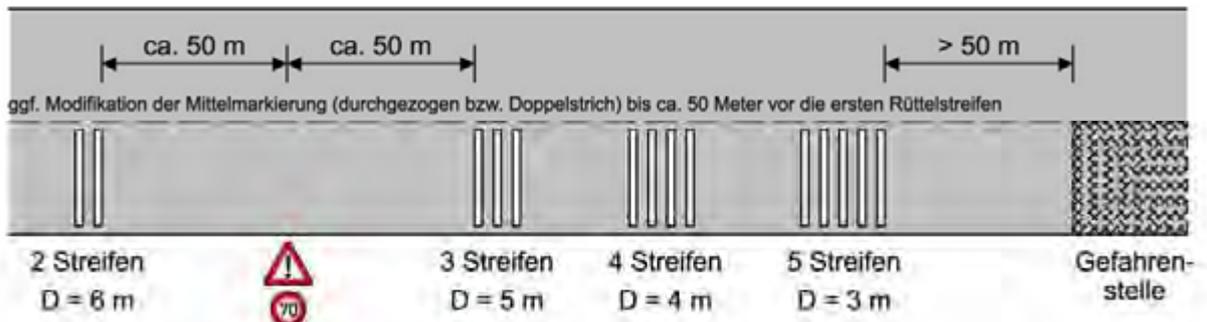
Bautechnisch wird der Einsatz von Profilmarkierung empfohlen. Die Rüttelstreifen sind so vor allem kostengünstig und schnell herzustellen ohne die Straßensubstanz durch Fräsarbeiten der Deckschicht zu schwächen. Ein weiterer Vorteil besteht

in der zusätzlichen optischen Warnung der Verkehrsteilnehmer durch die retroreflektierenden Eigenschaften und die weiße Einfärbung des Materials.

Ausführungsvariante 1



Ausführungsvariante 2



Ausführungsdetails

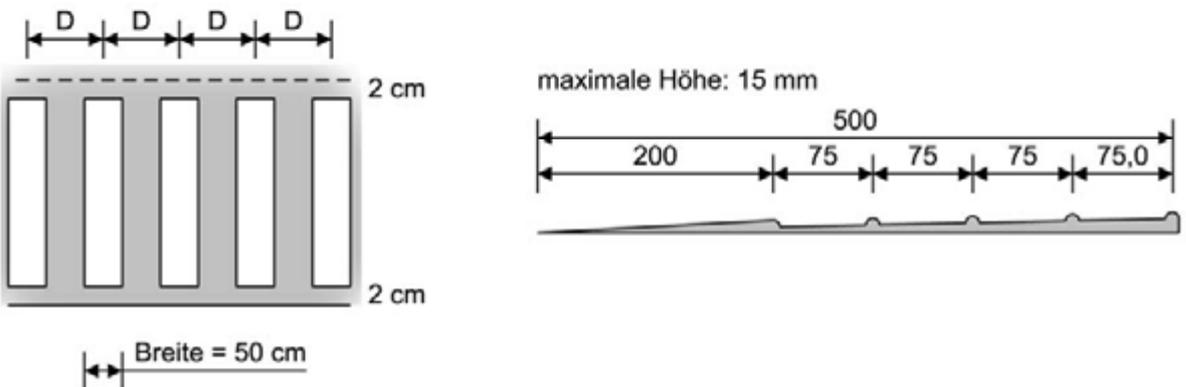


Bild 135: Ausführungsempfehlungen für Rüttelstrecken

Literatur

- Aaa New York:
 Url:http://www.aaany.com/safety/traffic/bicycles_and_pedestrians/local_calming_efforts/-images/Rumblestripswellwoodav1-150.jpg, gelesen am: 25.07.2006]
- ALASKA DOT: Rumble Strip Policy, Alaska Department of Transportation and Public Facilities, 2001
- BAIER, M.M, Hotop, R, Kemper, D., Steinauer, B.: Empfehlungen zum Einsatz von Warnschwellen zur Sicherung von stationären Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Autobahnen, Straße und Autobahn 56 (2005)
- BECKENBAUER, T., Spiegler, P., Blokland van, G., Kuijpers, A., Reinink, F., Huschek, S., Stütze, Th., Heerkens, J.: Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 847, Bonn, 2002
- BECKENBAUER, T.: Reifen-Fahrbahn-Geräusche – Minderungspotenziale der Straßenoberfläche, Plenarvortrag zur DAGA in Aachen, 2003
- BECKENBAUER, T.: Reifen-Fahrbahn-Geräusche – Minderungspotenziale der Straßenoberfläche. Müller-BBM GmbH, Planegg, 2004
- BENDTSEN, H., Kragh, J., Nielsen, E.: Use of noise reducing pavements – European experience, Road Directorate, Danish Road Institute, 2008
- BERGER W. J.: Evaluation of accident black-spot redevelopment – investigated at a sample of sites, In: ICTCT 97 Conference, Proceedings, ICTCT and the Department of Traffic Planning and Engineering Lund University, Lund, 1997
- BERNHARD, R., Wayson, R. L.: An Introduction to Tire/Pavement Noise of Asphalt Pavement,
- BITULEIT: www.bituleit.de (gelesen 05.06.2008)
- BMVBW 2003 :DIW, infas: Mobilität in Deutschland 2002, Kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten, Projektnummer 70.0681/2001 im Forschungsprogramm Stadtverkehr des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Endbericht, 2003
- BRAMMER, A., J., PETERSON D., E.: Vibration, Mechanical Shock, and Impact, in Standard Handbook of Biomedical Engineering and Design, New York 2003
- BRILON, W., Bäumer, H. und Weiser, F.: Mechanisch-akustische Bremsen in Verbindungsrampen von Autobahnknoten. Schlussbericht für das Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, 2001
- CARLSON, P. J, und Miles, J. D.: Effectiveness of Rumble Strips on Texas Highways: First Year Report. Texas Transportation Institute with Texas Department of Transportation and Federal Highway Administration, The Texas A&M University Systems, College Station, Texas, 2003
- Comunidad valenciana: Recomendaciones de la dirección general de obras públicas para la ejecución de Bandas Transversales de Alerta en carreteras del sistema viario de la comunidad valenciana, Conselleria de Infraestructuras y Transporte, Valencia, 2006
- CROCKER, M.J.: Handbook of Noise and Vibration Control, New Jersey, USA, 2007
- CUCUZ, S.: Schwingempfindung von Pkw-Insassen, Auswirkung von stochastischen Unebenheiten und Einzelhindernissen der realen Fahrbahn. Technische Universität zu Braunschweig, 1992
- DVR Schwerpunktaktion 2007: Kein Platz für Kreuze, http://www2.dvr.de/site.aspx?url=html/presse/infodienst/803_10.htm (gelesen am 20.12.2007)
- Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union: On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration), Direktive 2002/44/EC, Official J. European Communities, 2002
- European Road Safety Observatory: Speeding, 2006, veröffentlicht unter www.erso.eu am 20.01.2007
- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung: Merkblatt über Verkehrserhebungen und Datenschutz, Ausgabe 1986
- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung: Hinweise für den kurzzeitigen Einsatz von Stra-

- ßenverkehrszählgeräten, Ergänzung zu den Richtlinien für Verkehrserhebungen, Ausgabe 1987
- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung: Empfehlungen für Verkehrserhebungen – EVE 91, Ausgabe 1991
- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung: Hinweise zu Methoden computergestützter Erhebung zum individuellen Verkehrsverhalten, Ausgabe 2004
- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Abteilung Verkehrsmanagement: Merkblatt zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Motorradstrecken, Ausgabe 2007
- GOLDSTEIN, E. Bruce: Wahrnehmungspsychologie – eine Einführung, Spektrum Akademischer Verlag GmbH; Heidelberg, Berlin, Oxford, 1997
- GRIFFIN, M.J.: Handbook of Human Vibration. Human Factors Research Unit, Institute of Sound and Vibration Research, The University Southampton, Academic Press Limited, London, 1990
- HARRIS, Cyril M. und Crede, Charles E., Shock and Vibration Handbook in three volumes. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto, London, 1961
- HÖHNSCHEID, K. J., Lippard, D unter Mitarbeit von Höhnscheid R. B.: Entwicklung der Anzahl Schwerstverletzter in Folge von Straßenverkehrsunfällen in Deutschland, Wissenschaftliche Informationen der Bundesanstalt für Straßenwesen Nr. 05, Bergisch Gladbach, 2005
- KLEBELSBERG, D.: Verkehrspsychologie, Springer Verlag; Berlin, Heidelberg, New York; 1982
- KREISPOLIZEIBEHÖRDE: Jahresbericht Verkehrsunfallentwicklung, Düren, 2006
- LFU 2004: Lärmarme Reifen und geräuschmindernde Fahrbahnbeläge, Erkenntnisse – Maßnahmen – Konzepte, Landesanstalt für Umweltschutz, Karlsruhe, 2004
- MAIER, R.: Ortsdurchfahrten, Verbesserung der Verkehrssicherheit. Mitteilungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung Nr. 31, Köln 1991
- MERTON 2006 :
Url:http://www.merton.gov.uk/living/transport/transportplan/roadsafetyplan/road_hump_102_0264.jpg ,
gelesen am 08.03.2006
- MILES, J. D., Carlson, P. J, und Pratt, M. P.: Traffic operational impacts of transverse, centreline and edgeline rumble strips. Texas Transportation Institute with Texas Department of Transportation and Federal Highway Administration, The Texas A&M University Systems, College Station, Texas 2005
- MITSCHKE, M.: Dynamik der Kraftfahrzeuge. Band B: Schwingungen; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo; 1984
- MORSCHHÄUSER, M.: Wirksamkeit von profilierten Fahrbahnmarkierungen auf die Verkehrssicherheit, Studienarbeit am Institut für Straßenwesen Aachen, 1999
- ROSTRA: www.rostra-vr.de (gelesen 05.06.2008)
- RYS, R.: Centerline rumble strips. Transportation Research Board, H 339; Washington D.C.; 2005
- SACHS, L.: Angewandte Statistik – Anwendung statistischer Methoden, 7. Auflage, Springer Verlag; Berlin, Heidelberg, New York; 1992
- SANDBERG, U.: Tyre/road noise – Myths and realities. Plenary paper, Internoise, 2001.
- SANDBERG, U., Ejsmont, J. A.: Tyre/Road Noise Reference book, Kisa, Schweden, 2002
- STEINAUER, B.: Stochastische und periodische Unebenheiten auf Fahrbahnen. Information Verkehrsplanung und Straßenwesen, Heft 32, Universität der Bundeswehr, München-Neubiberg, 1991
- STEINAUER, B.: Harmonisierung zwischen Befahrbarkeitszustand und Ausbaustandard von Straßen. Information Verkehrsplanung und Straßenwesen, Heft 38, Universität der Bundeswehr, München-Neubiberg, 1994
- STEINAUER, B., Baier, M. M., Kemper, D., Baur, O., Meyer, A.: Einsatz neuer Methoden zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer. FE 03.360/2002/FRB, Berichte der BAST Bericht V 118, Bergisch Gladbach, Dezember 2004
- Surface Characteristics, XXth PIARC World Congress Montreal, 3-9 September 1995

TERNEY, B.: Rumble Strips in Work Zones, <http://www.t2.unh.edu/spring02/pg3.html>, (gelesen 2007)

TIEFENTHALER, H. und Hamerle, C.: Schallpegelemission von strukturierten Fahrbahnmarkierungen. Literaturlauswertung, Im Auftrag des Bundesministeriums für wirtschaftliche Angelegenheiten, Innsbruck, 1998

TIEFENTHALER, H. et al.: Geräuschemission strukturierter und profilierter Fahrbahnmarkierungen. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 522, Wien 2002

TRL 2005: Rumblewave Surfacing, in Traffic Advisory Leaflet 1/05, London 2005

VDI- Handbuch Schwingungstechnik. VDI 2057 Teil 1, September 2002

VDI- Handbuch Schwingungstechnik. VDI 2057 Teil 2, September 2002

VEIT, I.: Technische Akustik, Grundlagen der physikalischen, physiologischen Elektroakustik. Vogel Buchverlag, 6. Auflage, Würzburg 2005

VELINOV, V.: Vergleich eines Schwingungsmodells mit Messwertreihen zur Abschätzung der Aussagequalität von 2d-Modellen bei Impulsanregung, Aachen, 2007 (unveröffentlicht)

VOKENHOFF, T.: Fahrerverhalten im Annäherungsbereich an Gefahrenstellen auf Landstraßen. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau der RWTH Aachen, Aachen, 2008 (unveröffentlicht)

VORLÄNDER, M.: Technische Akustik. Vorlesungsskript des Instituts für technische Akustik der RWTH Aachen, 2007

WATTS, G. R., STAIT, R. E., GODFREY, N. S., Chinn, L., Layfield, R.: Development of a novel traffic calming surface 'Rippleprint'. TRL Report TRL545, Department for Transport, 2002

WEBSTER, D. C., Layfield, R. E.: An assessment of rumble strips and rumble areas, Traffic and Transport Resource Center, Transport Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, 1993

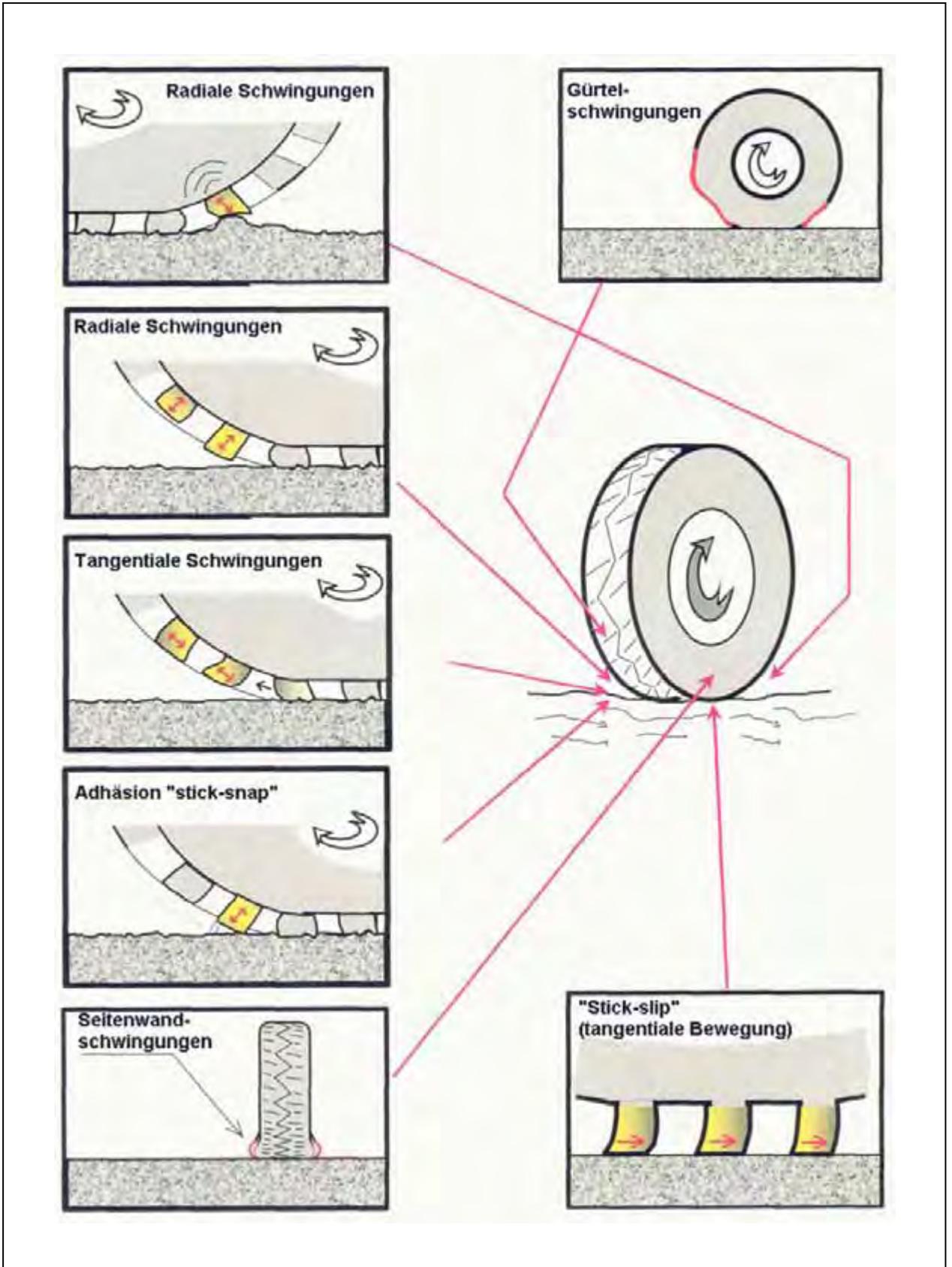
ZWICKER, E.: Psychoakustik; Springer Verlag; Berlin, Heidelberg, New York; 1982

Anhänge

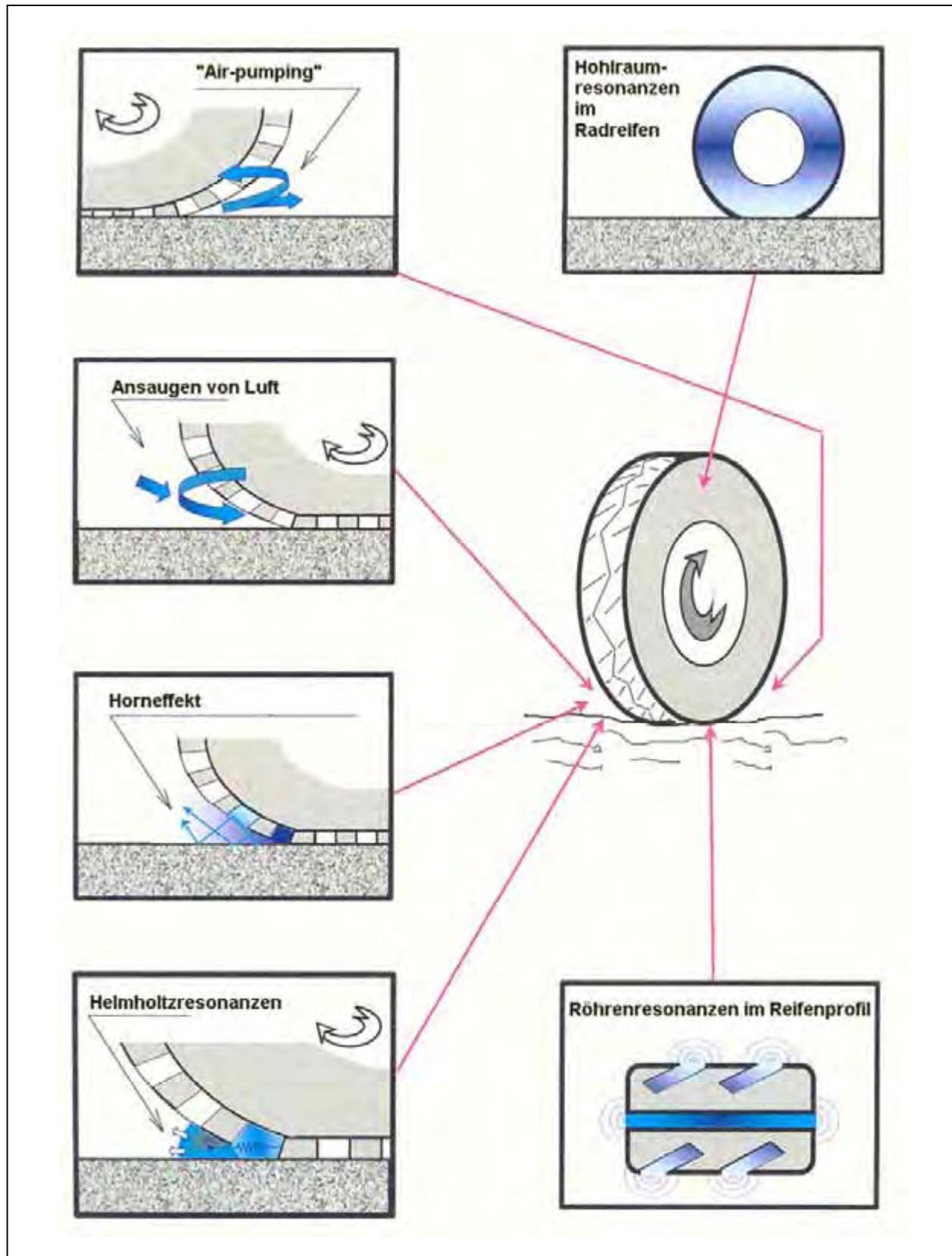
1	Anhang A: Entstehungsmechanismen der Rollgeräusche nach SANDERBERG/EJSMONT 2002	102
2	Anhang B: Bewertungsfunktionen nach VDI.....	105
3	Anhang C: Übersicht über die untersuchten Bauformen von Rüttel-elementen.....	108
3.1	Akustische Profile	109
3.2	Haptische Profile	110
3.3	Kombinationen	111
4	Anhang D: Beispiel zur Auswertung der Vorversuche (Lkw mit 50 km/h).....	112
5	Anhang E: Auswertung der Vorversuche (akustische und haptische Analyse)	116
5.1	Einzelemente (unterschiedliche Formen)	117
5.2	Streifenpakete (5 Streifen, Profil 21, unterschiedliche Abstände)	162
6	Anhang F: Zusammenfassung aller Auswertungen der Vorversuche	179
6.1	Einzelemente (unterschiedliche Formen)	180
6.2	Streifenpakete (5 Streifen, Profil 21, unterschiedliche Abstände)	193
7	Anhang G: Übersichtslagepläne und Ausführungspläne.....	222
8	Anhang H: Auswertung der Hauptversuche (Geschwindigkeitsanalyse).....	229
8.1	L257 Fahrtrichtung Buir (gesamtes Fahrzeugkollektiv)	230
8.2	L257 Fahrtrichtung Buir (frei Fahrende)	250
8.3	L257 Fahrtrichtung Morschenich (gesamtes Fahrzeugkollektiv)	270
8.4	L257 Fahrtrichtung Morschenich (frei Fahrende)	282
8.5	B399 Fahrtrichtung Gey (gesamtes Fahrzeugkollektiv)	294
8.6	B399 Fahrtrichtung Gey (frei Fahrende)	310
8.7	B477 Fahrtrichtung LUXheim (gesamtes Fahrzeugkollektiv)	326
8.8	B477 Fahrtrichtung LUXheim (frei Fahrende)	342
9	Anhang I: Umfahrungen Rüttelstreifen differenziert nach Ortslage.....	358
10	Anhang J: Ergebnisse der Akzeptanzerhebung.....	361

1 Anhang A: Entstehungsmechanismen der Rollgeräusche nach SANDERBERG/EJSMONT 2002

Mechanische Entstehungsmechanismen des Rollgeräuschs nach SANDBERG/EJSMONT 2002

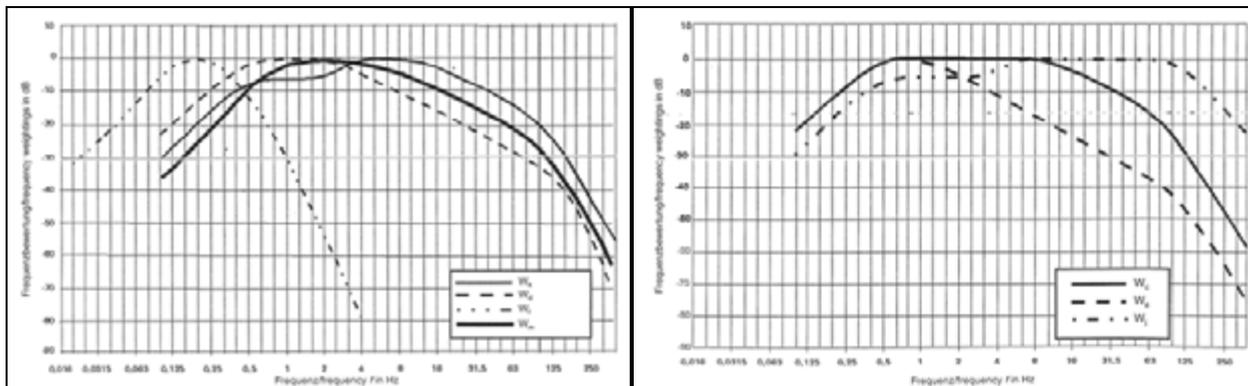


Aerodynamische Entstehungsmechanismen des Rollgeräuschs nach SANDBERG/EJSMONT 2002

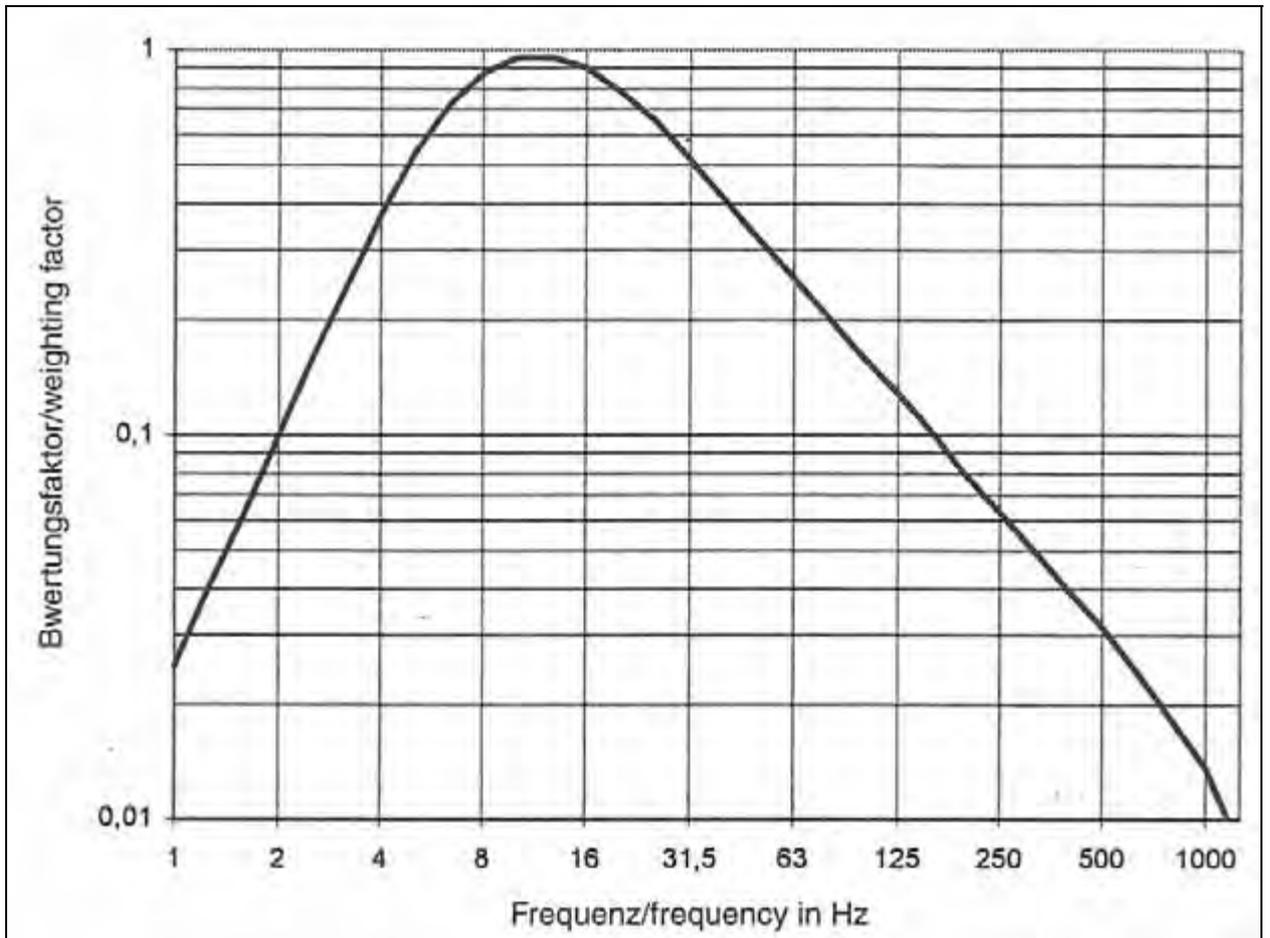


2 Anhang B: Bewertungsfunktionen nach VDI

Ganzkörperschwingungen:



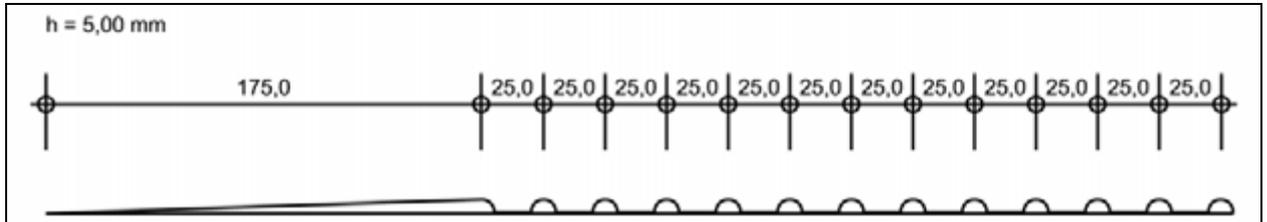
x	Terzmittenfrequenz (Nennwert) Hz	W _k Faktor	W _k dB	W _d Faktor	W _d dB	W _f Faktor	W _f dB	W _m Faktor	W _m dB
-17	0,02					0,0241	-32,37		
-16	0,025					0,0380	-28,40		
-15	0,0315					0,0602	-24,41		
-14	0,04					0,0962	-20,34		
-13	0,05					0,157	-16,06		
-12	0,063					0,267	-11,45		
-11	0,08					0,454	-6,86		
-10	0,1	0,0312	-30,11	0,0624	-24,09	0,695	-3,16	0,0158	-36,00
-9	0,125	0,0493	-26,14	0,0987	-20,12	0,900	-0,92	0,0251	-32,00
-8	0,16	0,0778	-22,21	0,155	-16,18	1,004	0,04	0,040	-28,01
-7	0,2	0,121	-18,37	0,242	-12,32	0,993	-0,06	0,063	-24,02
-6	0,25	0,183	-14,74	0,368	-8,68	0,850	-1,41	0,099	-20,05
-5	0,315	0,264	-11,55	0,533	-5,47	0,615	-4,22	0,156	-16,12
-4	0,4	0,350	-9,11	0,710	-2,98	0,388	-8,22	0,243	-12,29
-3	0,5	0,419	-7,56	0,854	-1,37	0,223	-13,05	0,368	-8,67
-2	0,63	0,459	-6,77	0,944	-0,50	0,116	-18,73	0,530	-5,51
-1	0,8	0,477	-6,44	0,991	-0,08	0,0543	-25,30	0,700	-3,09
0	1	0,482	-6,33	1,011	0,10	0,0235	-32,57	0,833	-1,59
1	1,25	0,485	-6,29	1,007	0,06	0,00970	-40,26	0,907	-0,85
2	1,6	0,493	-6,13	0,971	-0,26	0,00392	-48,14	0,934	-0,59
3	2	0,531	-5,50	0,891	-1,00	0,00157	-56,11	0,932	-0,61
4	2,5	0,633	-3,97	0,773	-2,23	0,000624	-64,10	0,910	-0,82
5	3,15	0,807	-1,86	0,640	-3,88	0,000248	-72,10	0,872	-1,19
6	4	0,965	-0,31	0,514	-5,78	0,000099	-80,10	0,818	-1,74
7	5	1,039	0,33	0,408	-7,78			0,750	-2,50
8	6,3	1,054	0,46	0,323	-9,83			0,669	-3,49
9	8	1,037	0,32	0,255	-11,87			0,582	-4,70
10	10	0,988	-0,10	0,202	-13,91			0,494	-6,12
11	12,5	0,899	-0,93	0,160	-15,93			0,411	-7,71
12	16	0,774	-2,22	0,127	-17,95			0,337	-9,44
13	20	0,637	-3,91	0,100	-19,97			0,274	-11,25
14	25	0,510	-5,84	0,0796	-21,98			0,220	-13,14
15	31,5	0,403	-7,89	0,0630	-24,01			0,176	-15,09
16	40	0,316	-10,01	0,0496	-26,08			0,140	-17,10
17	50	0,245	-12,21	0,0387	-28,24			0,109	-19,23
18	63	0,186	-14,62	0,0295	-30,62			0,0834	-21,58
19	80	0,134	-17,47	0,0213	-33,43			0,0604	-24,38
20	100	0,0887	-21,04	0,0141	-36,99			0,0401	-27,93
21	125	0,0531	-25,50	0,00848	-41,43			0,0241	-32,37
22	160	0,0292	-30,69	0,00467	-46,62			0,0133	-37,55
23	200	0,0153	-36,32	0,00244	-52,24			0,00694	-43,18
24	250	0,00779	-42,16	0,00125	-58,09			0,00354	-49,02
25	315	0,00393	-48,10	0,000629	-64,02			0,00179	-54,95
26	400	0,00198	-54,08	0,000316	-70,00			0,000899	-60,92
27	500							0,000451	-66,91
28	630							0,000226	-72,91
29	800							0,000113	-78,91

Hand-Arm-Schwingungen:

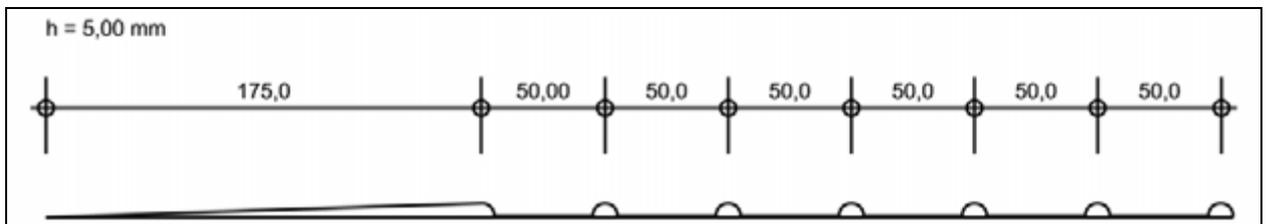
3 Anhang C: Übersicht über die untersuchten Bauformen von Rüttel- elementen

3.1 Akustische Profile

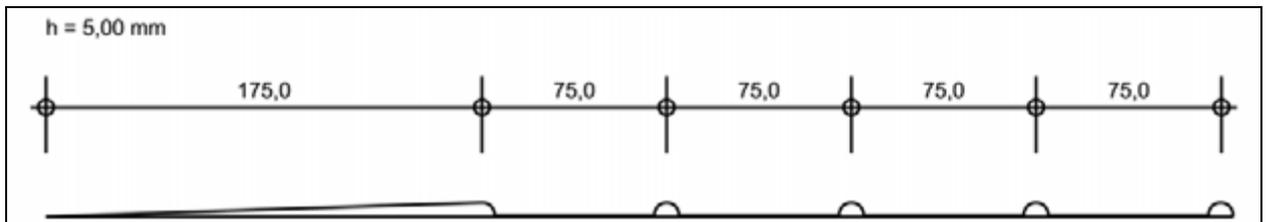
Profil 2 - 025



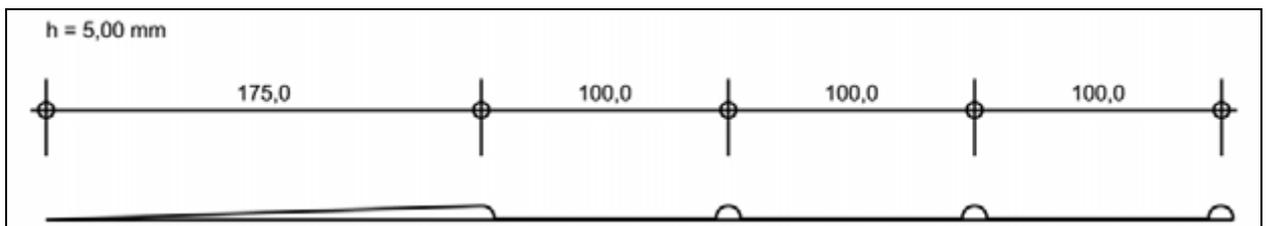
Profil 3 - 050



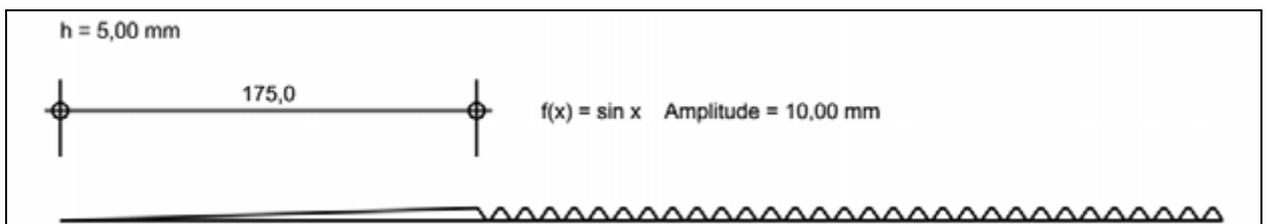
Profil 4 - 075



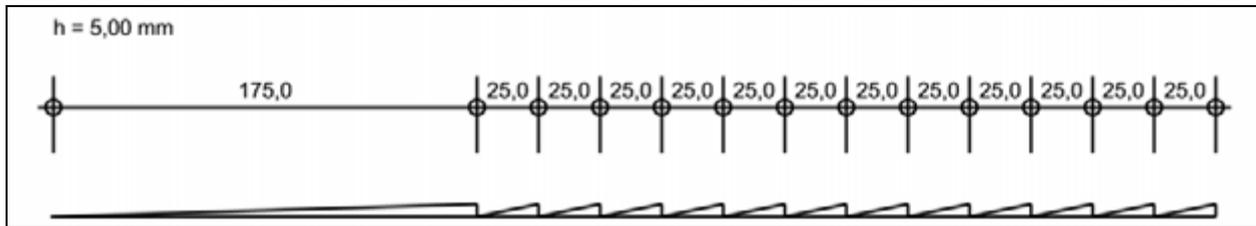
Profil 5 - 100



Profil 6

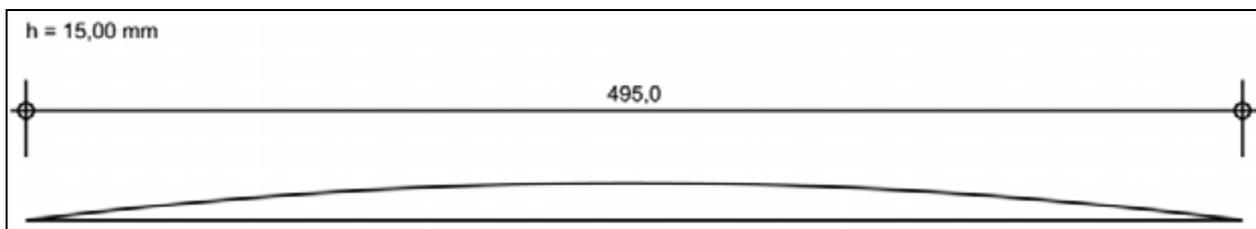


Profil 7

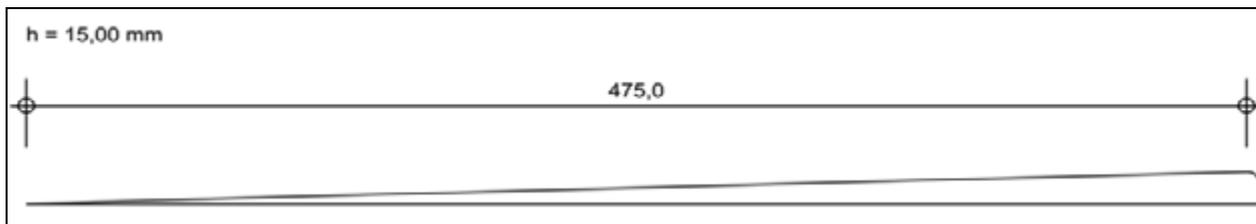


3.2 Haptische Profile

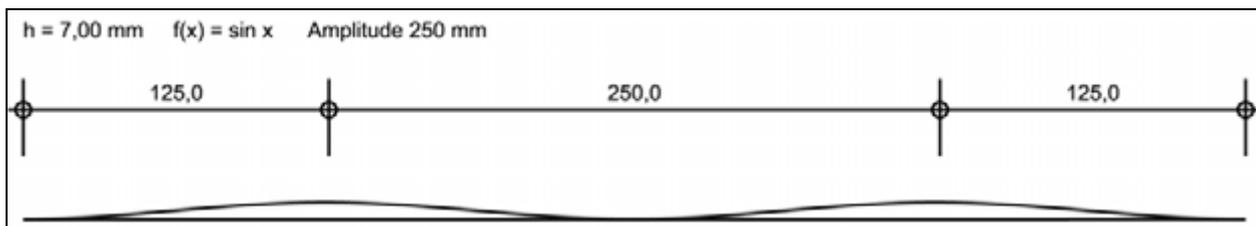
Profil 10



Profil 11

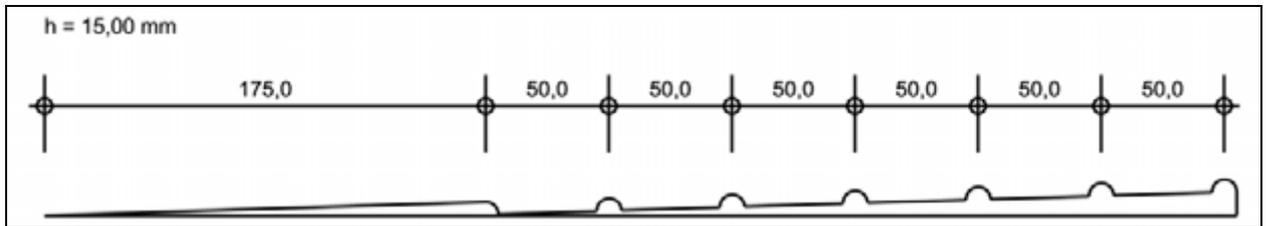


Profil 12

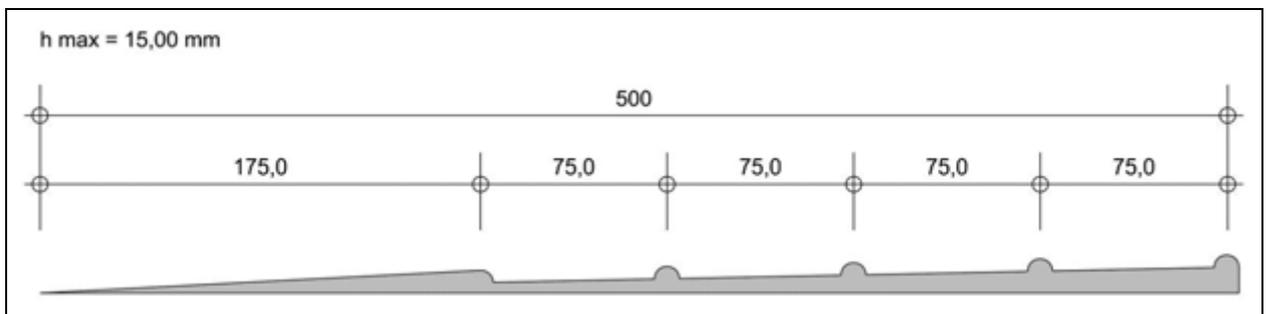


3.3 Kombinationen

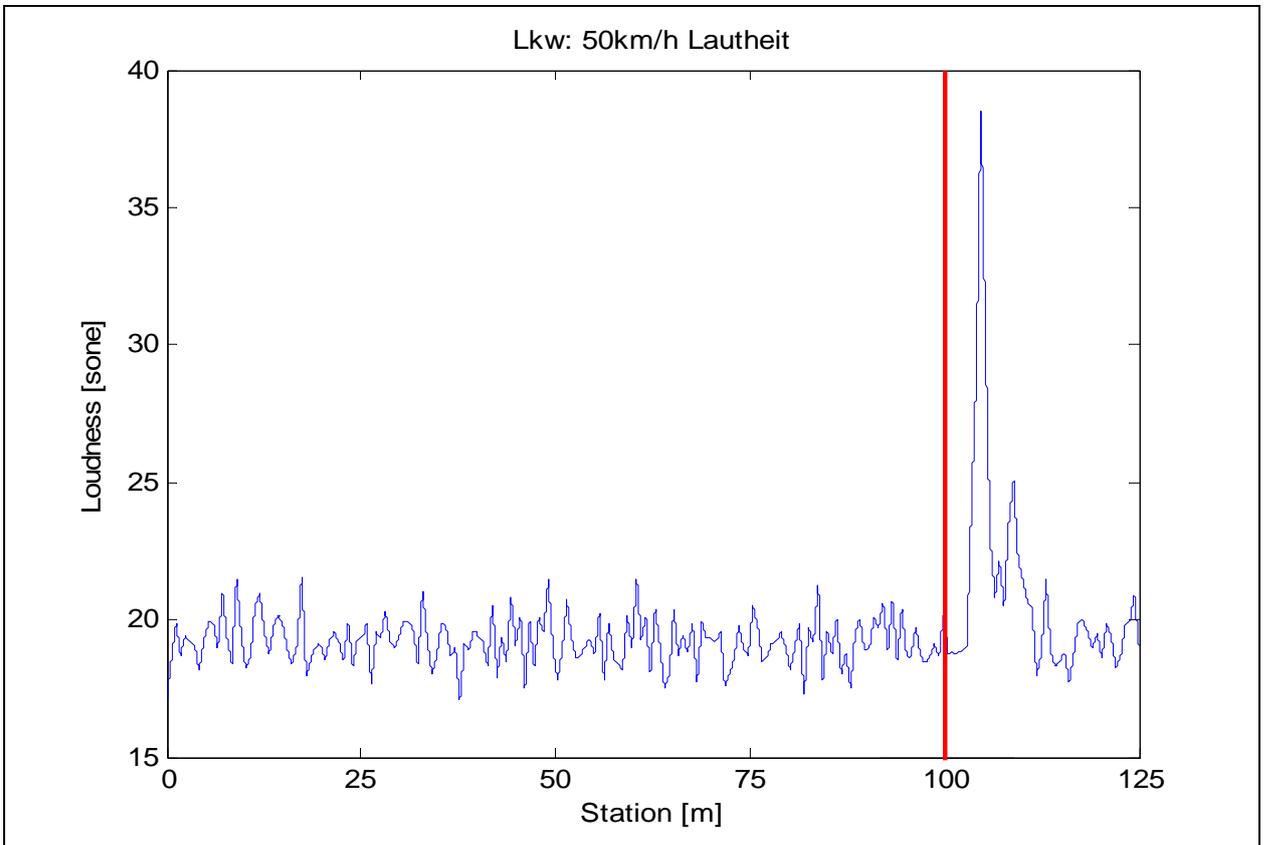
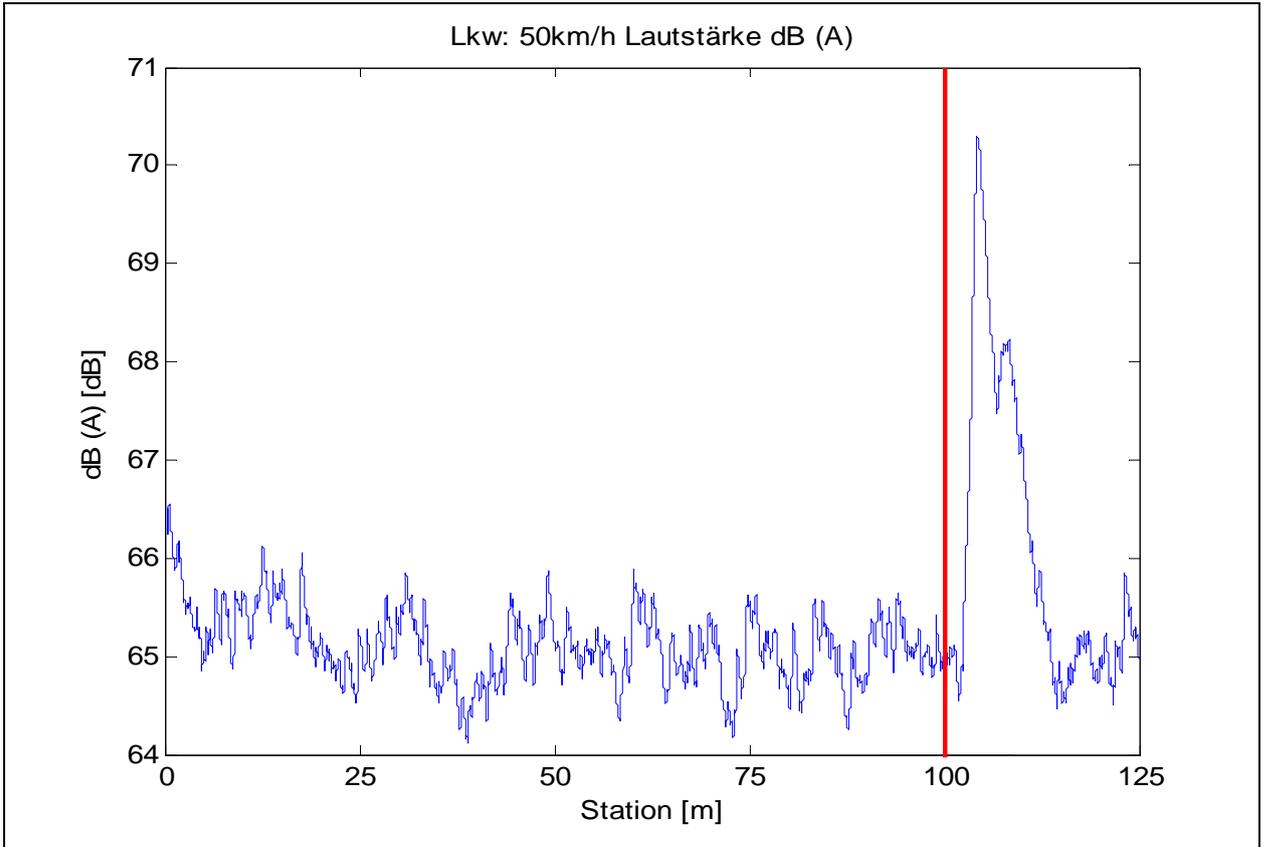
Profil 20

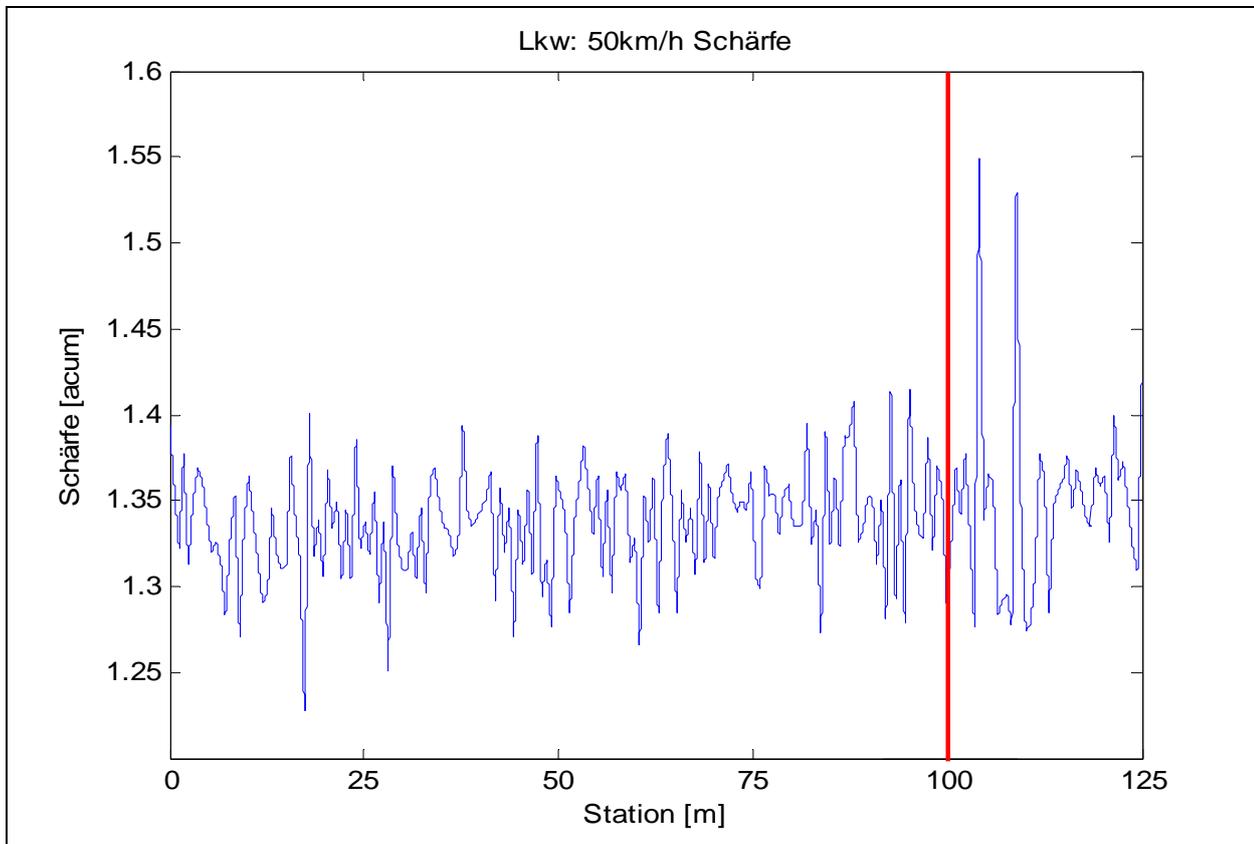
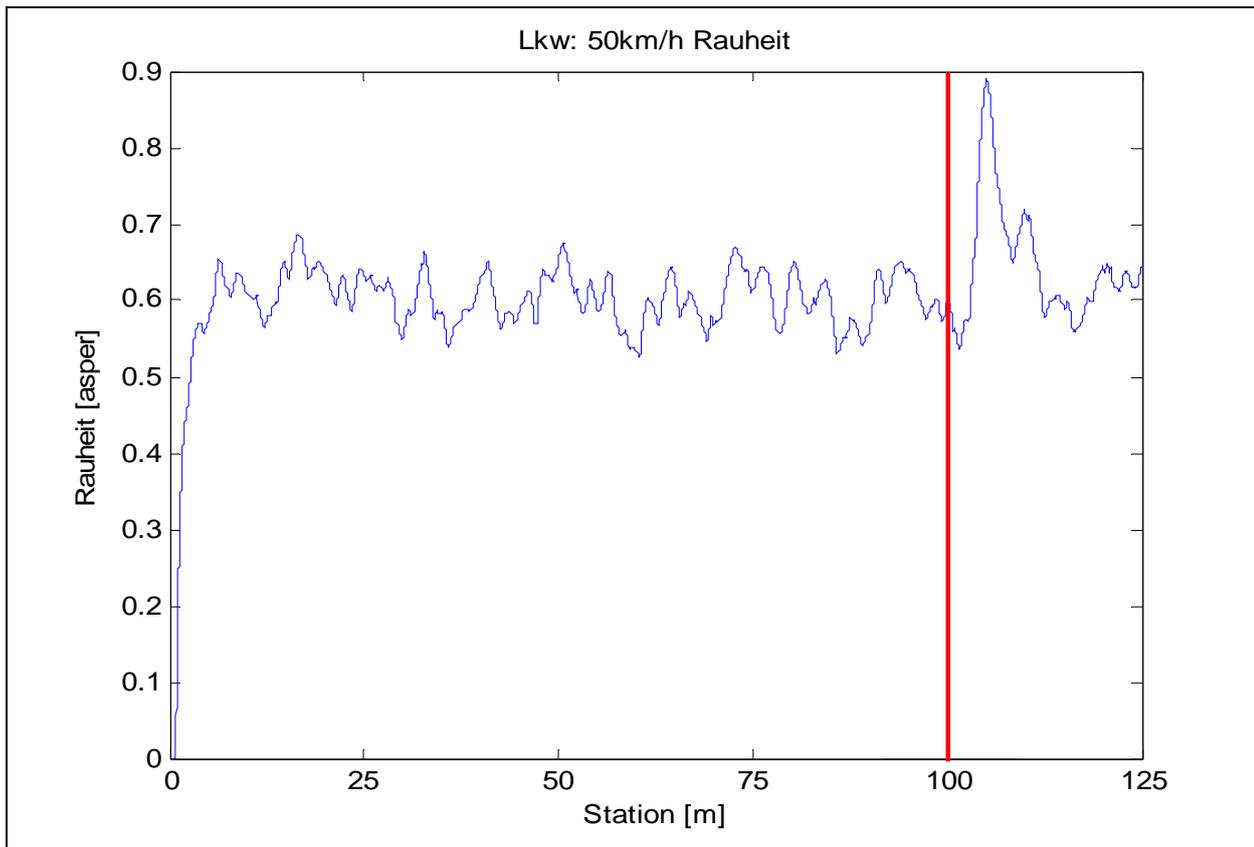


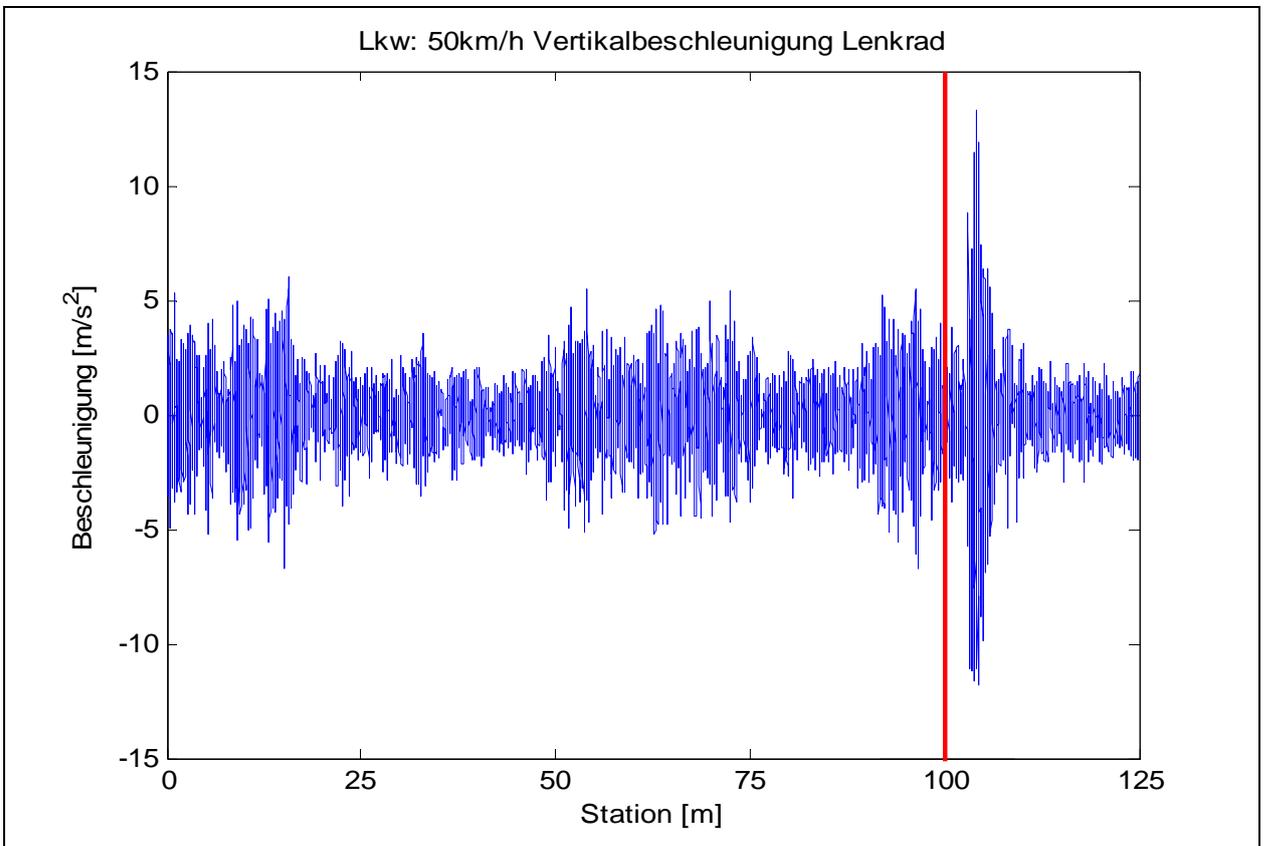
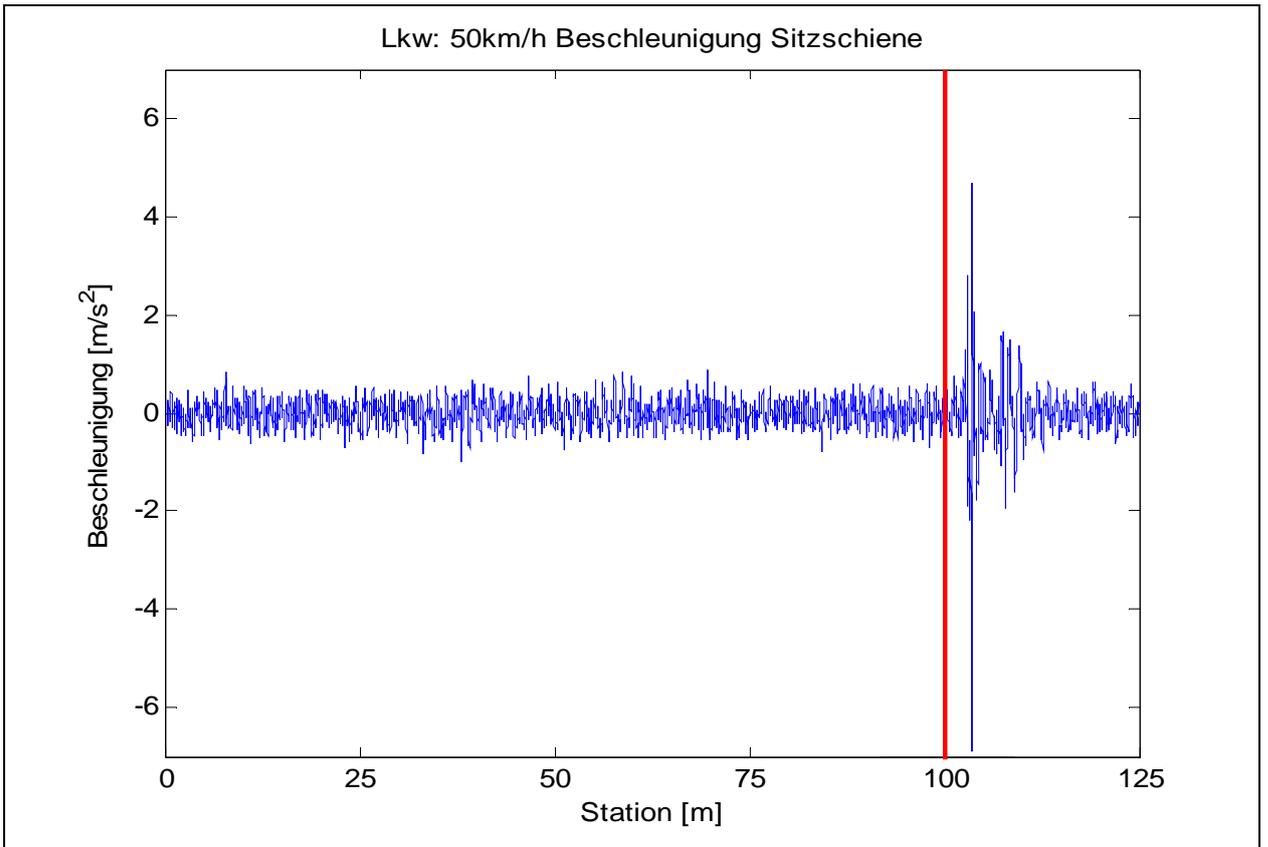
Profil 21 (endgültige Empfehlung)



4 Anhang D: Beispiel zur Auswertung der Vorversuche (Lkw mit 50 km/h)



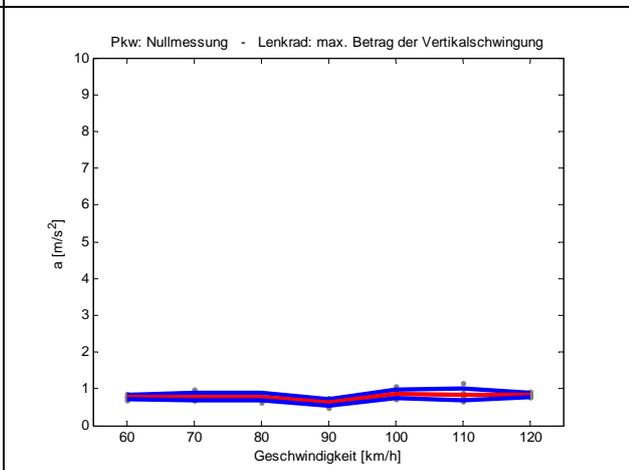
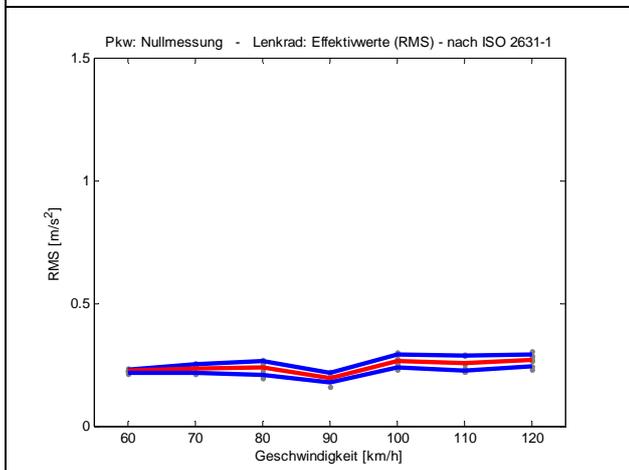
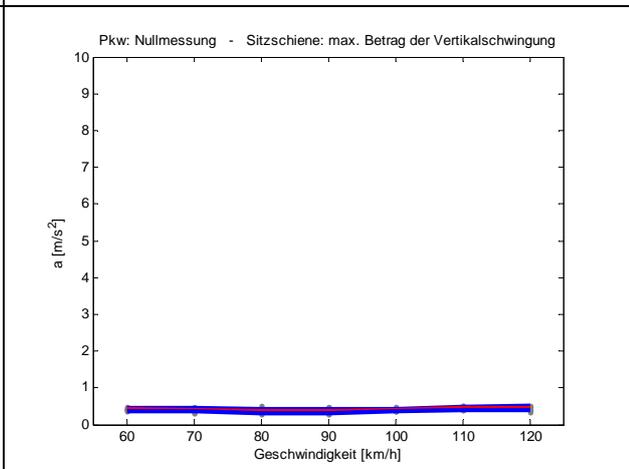
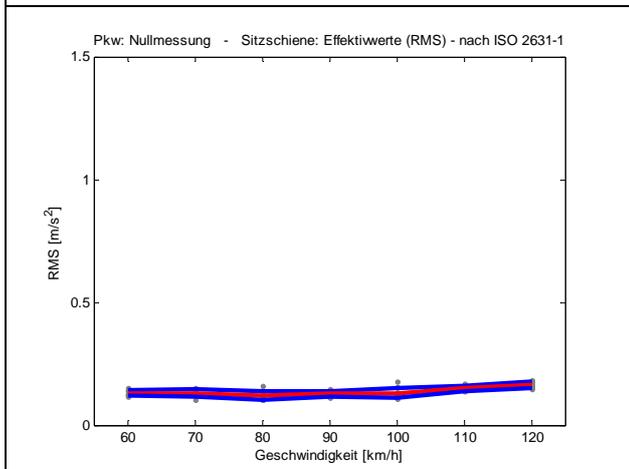
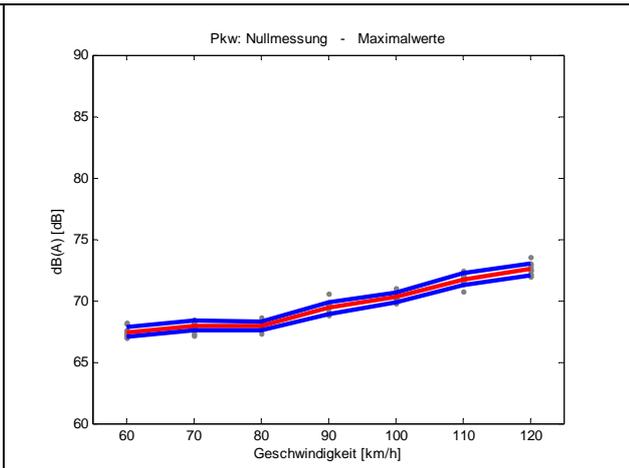
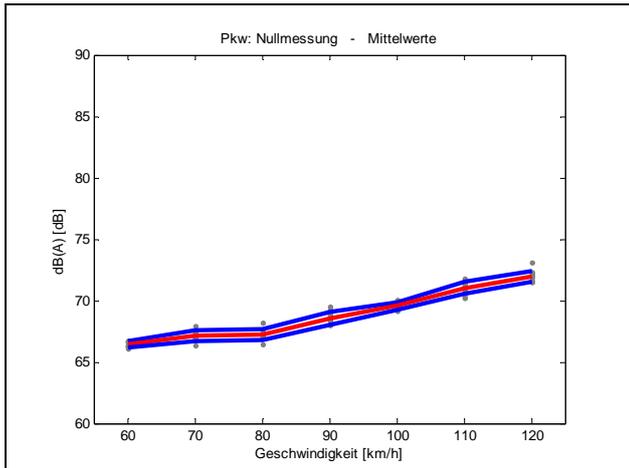
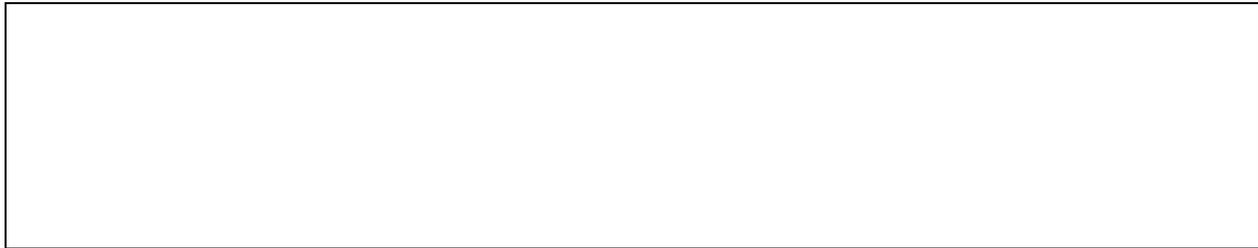




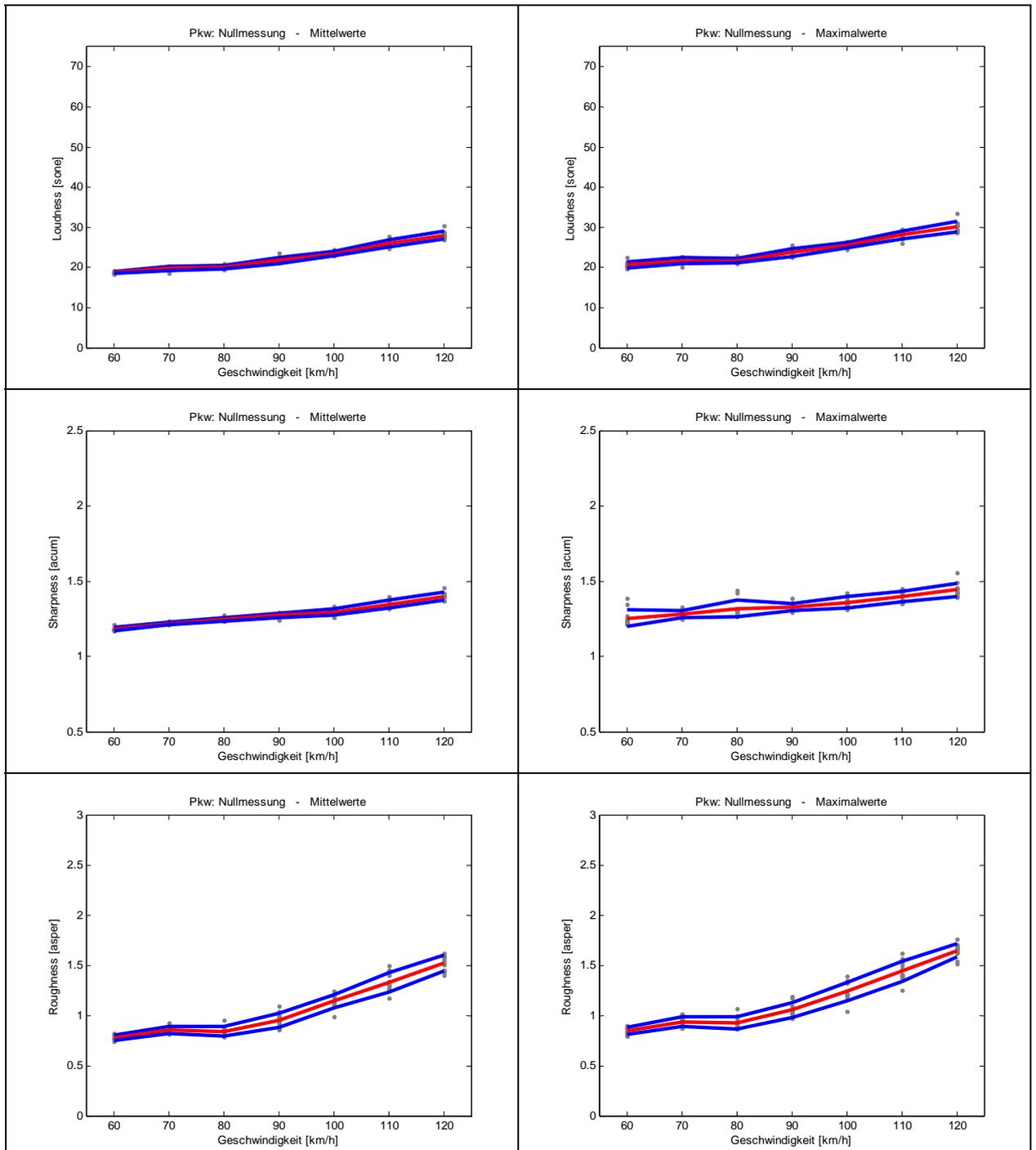
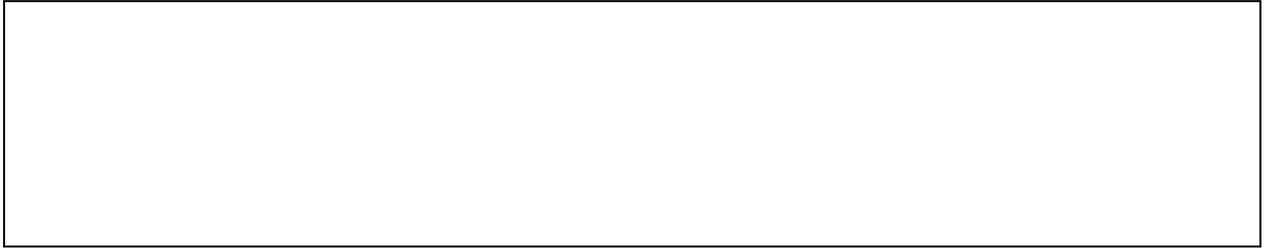
5 Anhang E: Auswertung der Vorversuche (akustische und haptische Analyse)

5.1 Einzelemente (unterschiedliche Formen)

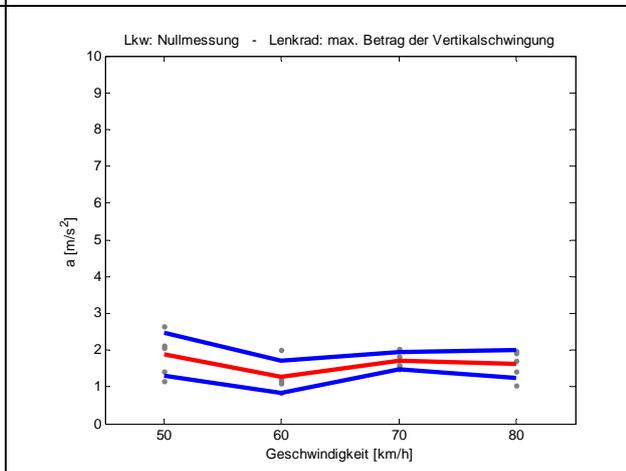
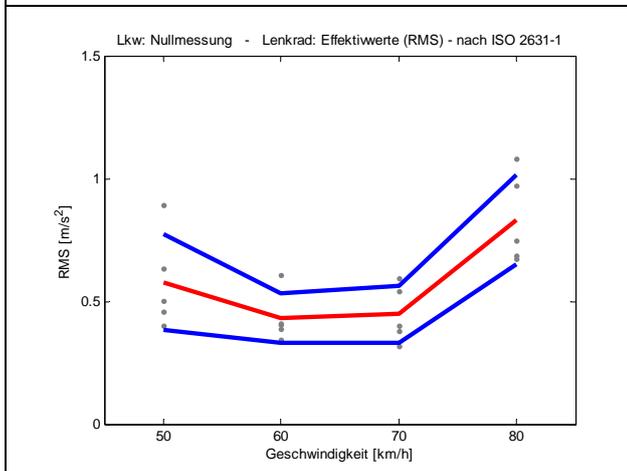
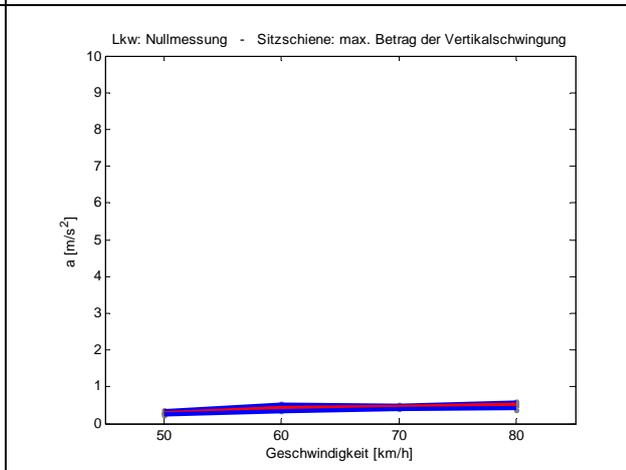
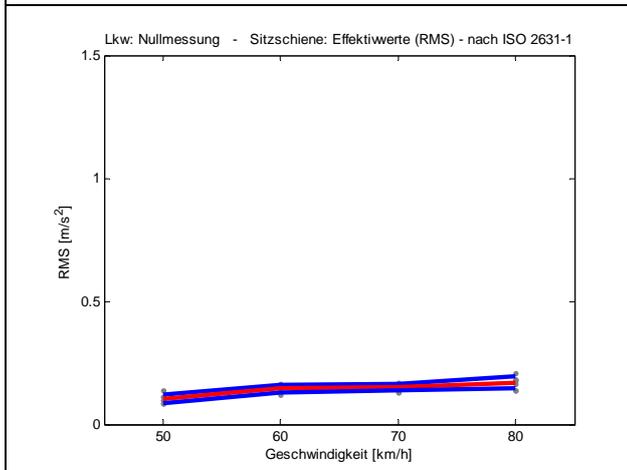
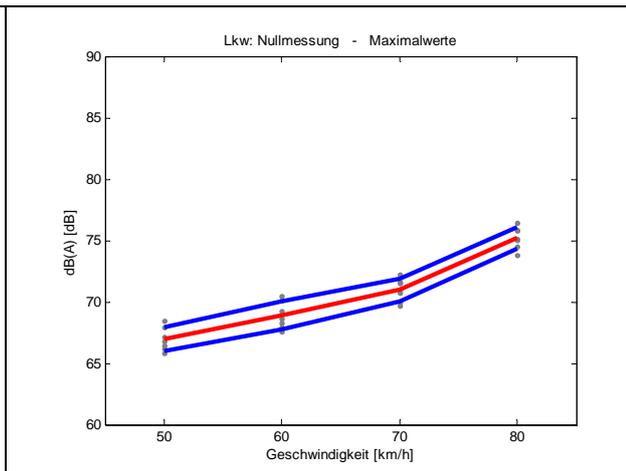
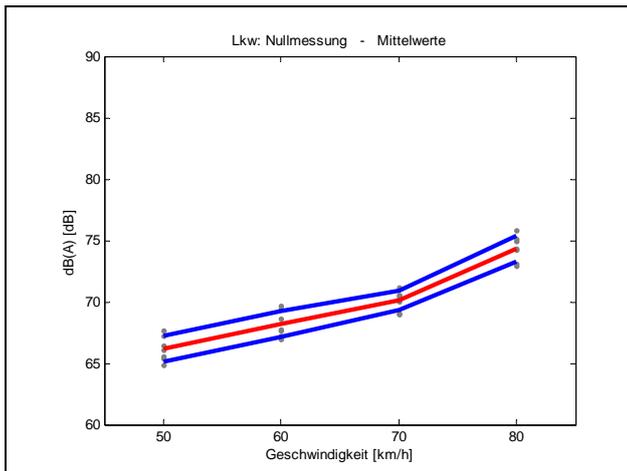
Nullmessung - Pkw - physikalische Größen:



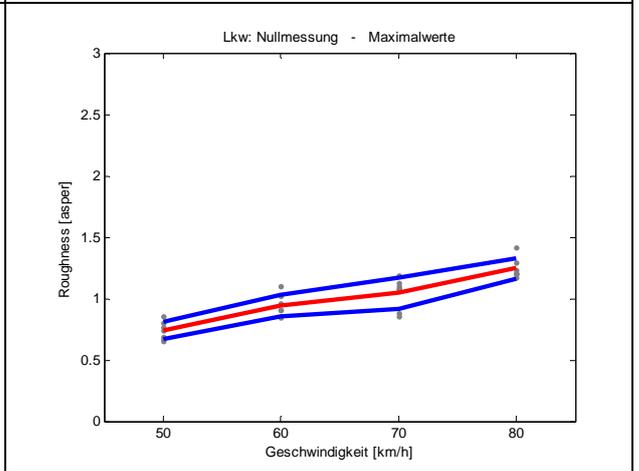
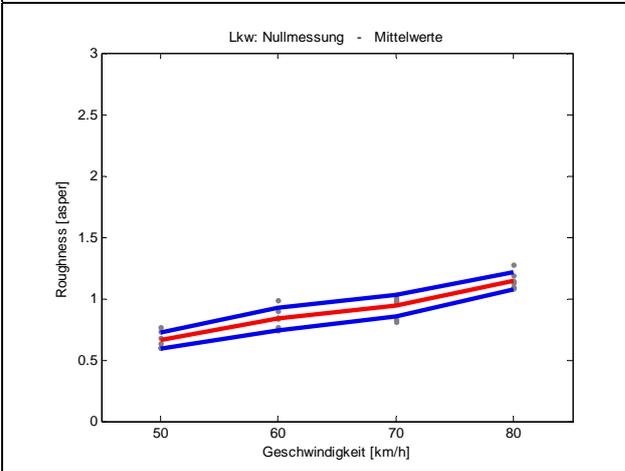
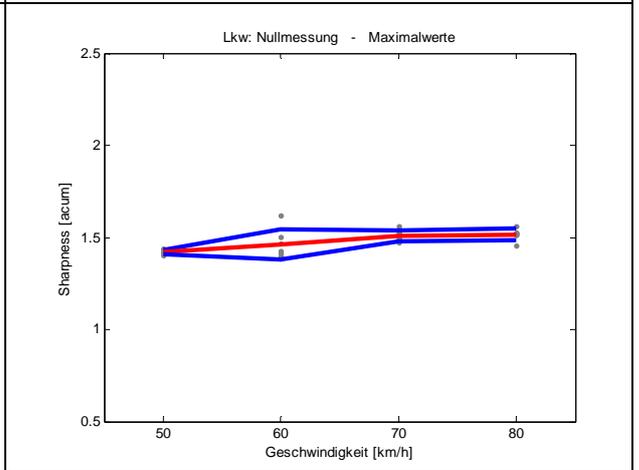
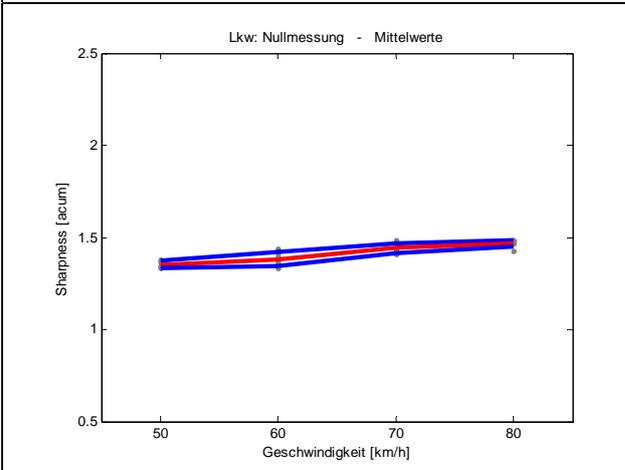
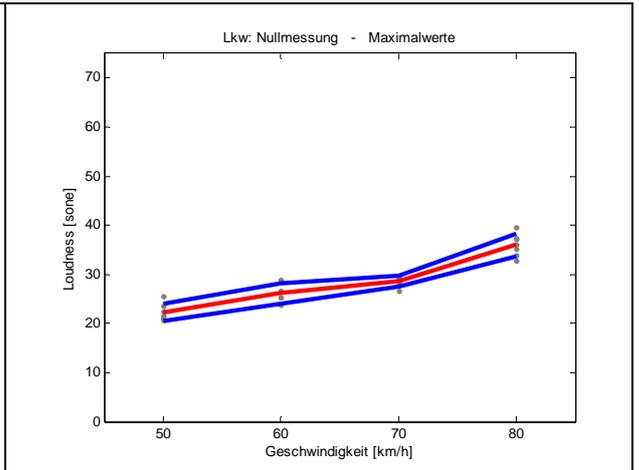
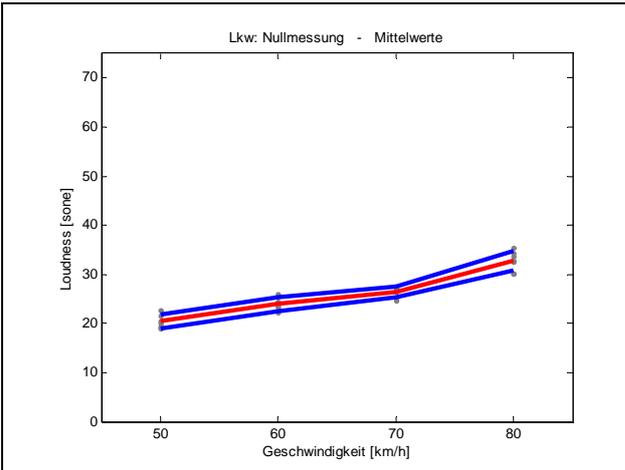
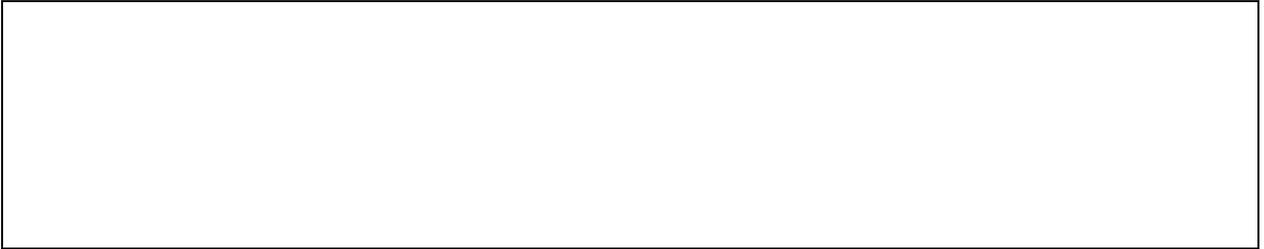
Nullmessung - Pkw - psychoakustische Größen:



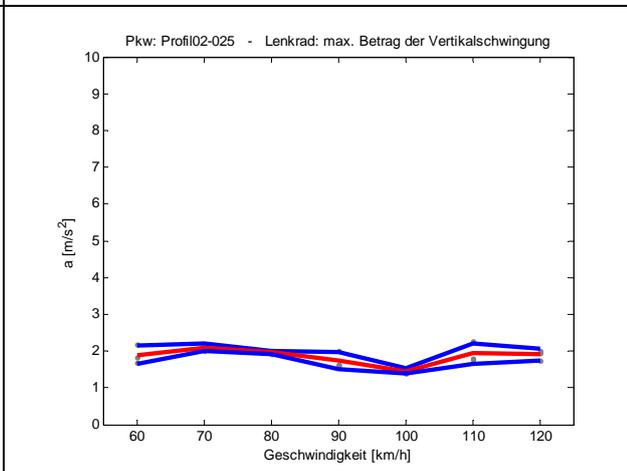
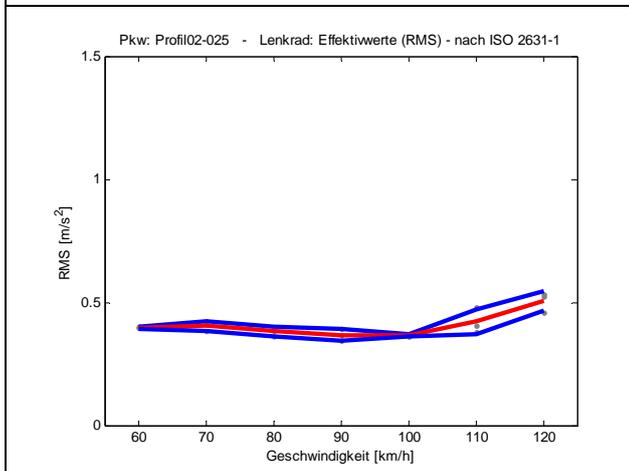
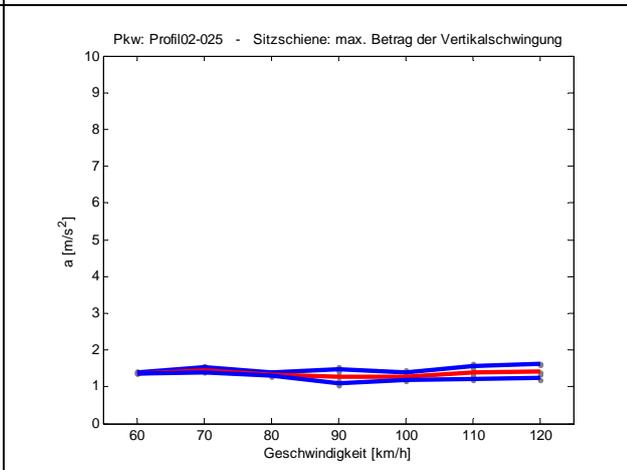
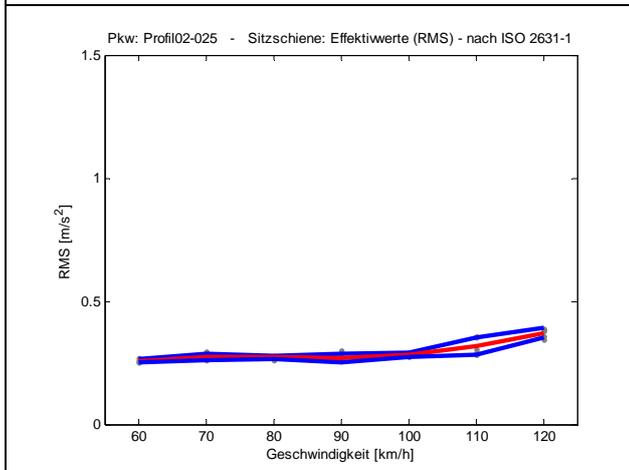
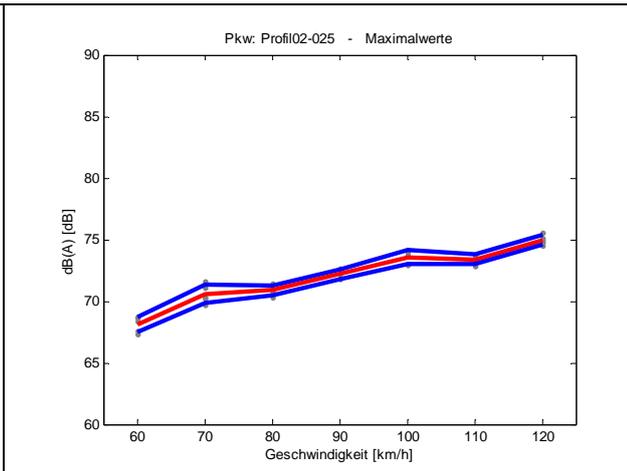
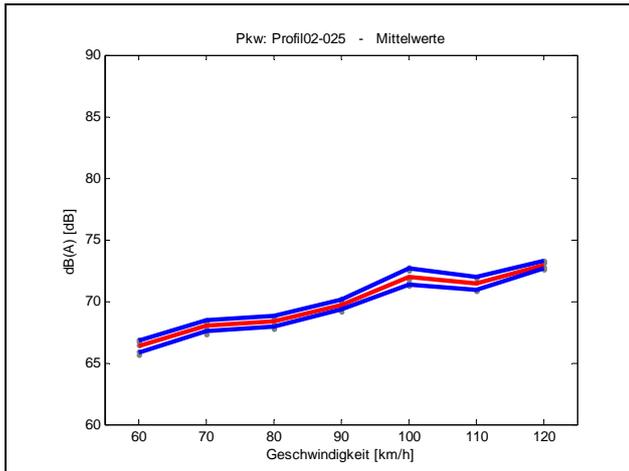
Nullmessung - Lkw - physikalische Größen:



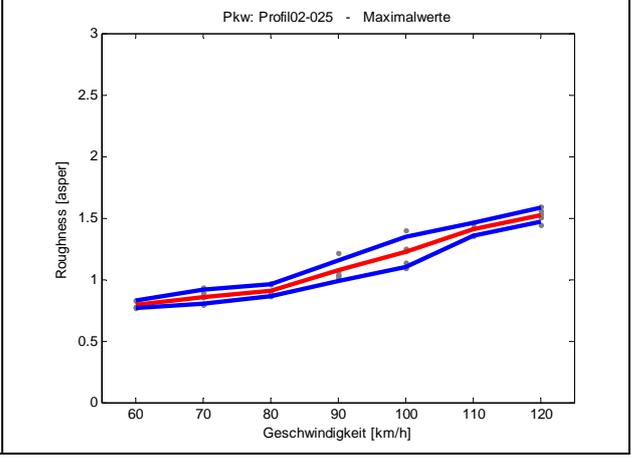
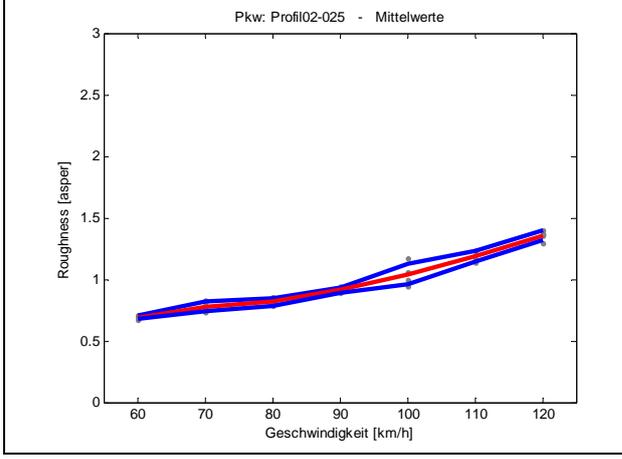
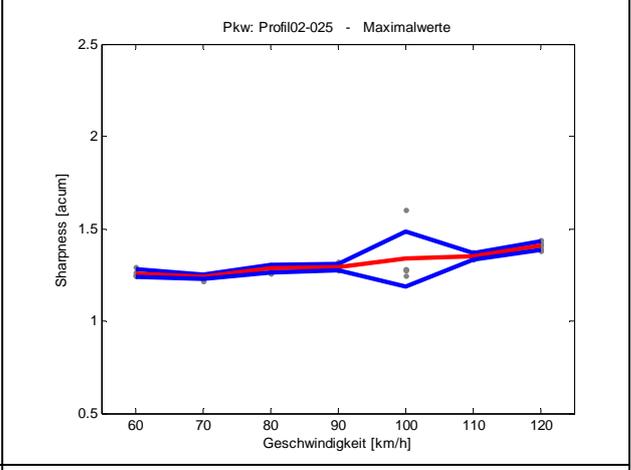
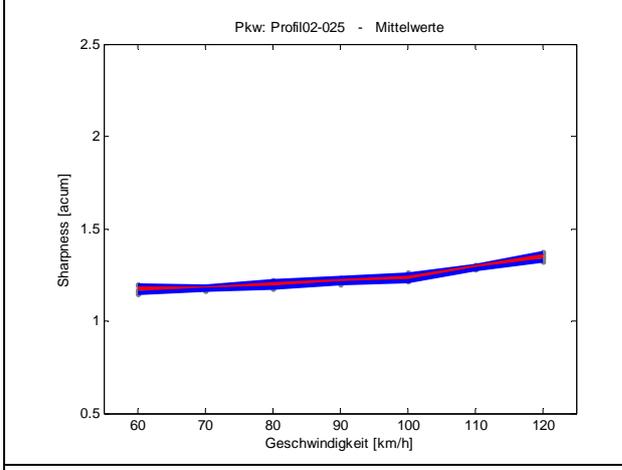
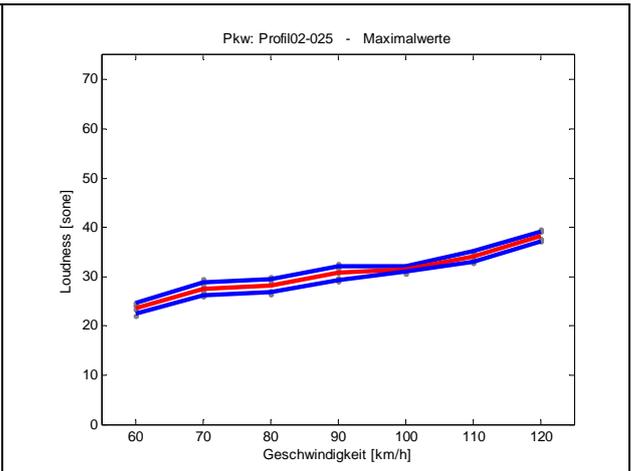
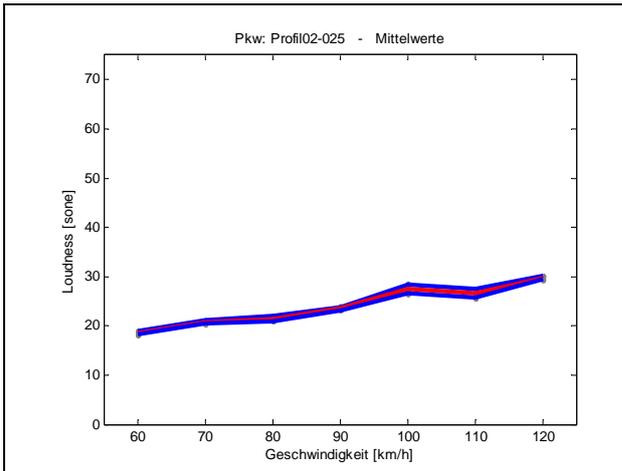
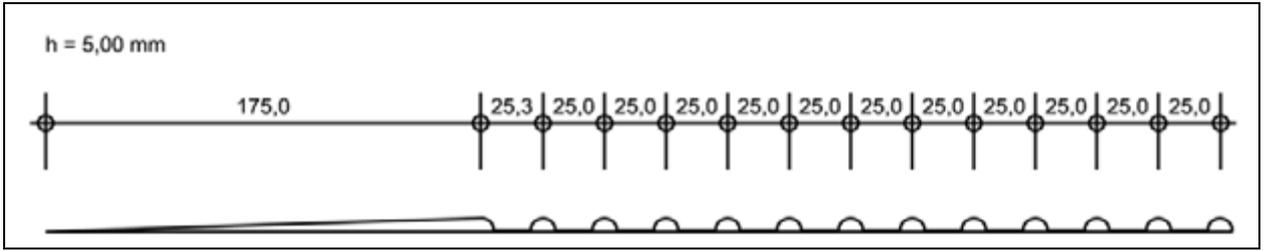
Nullmessung - Lkw - psychoakustische Größen:



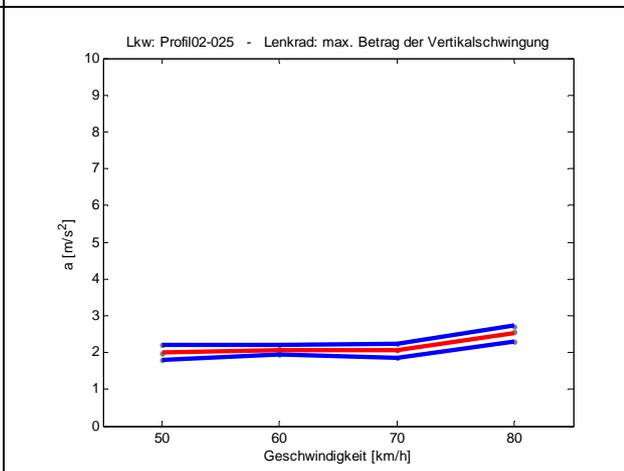
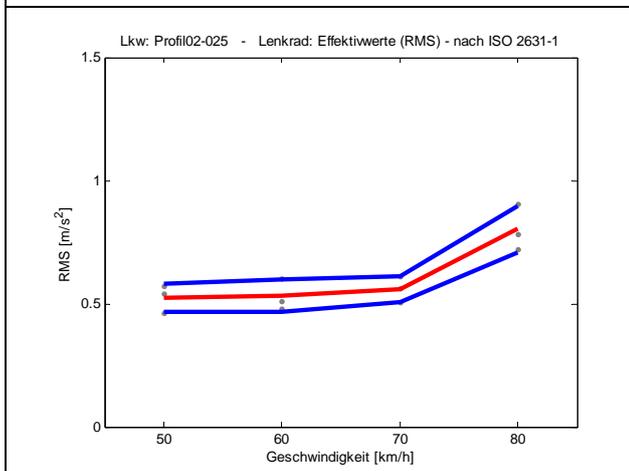
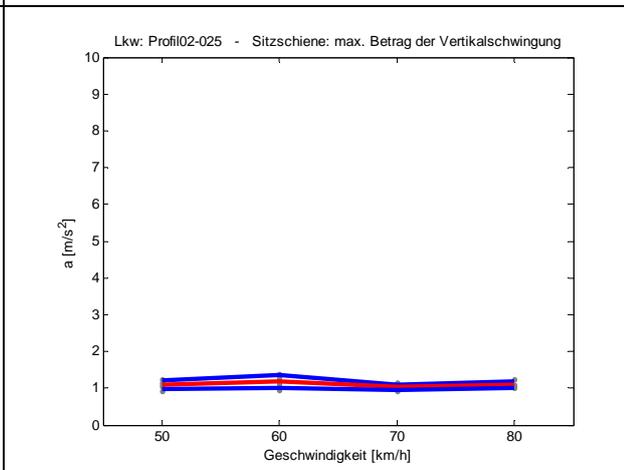
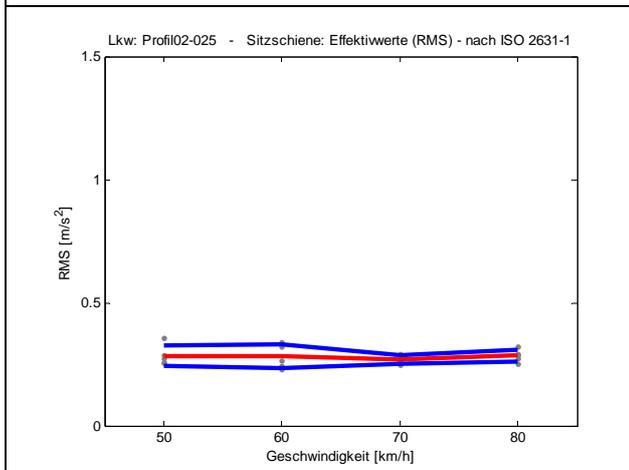
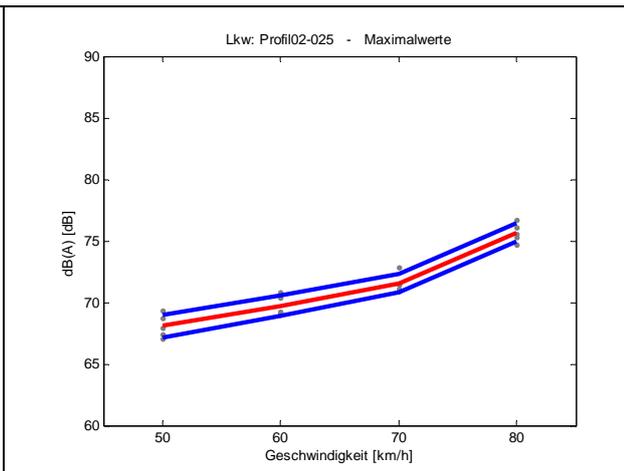
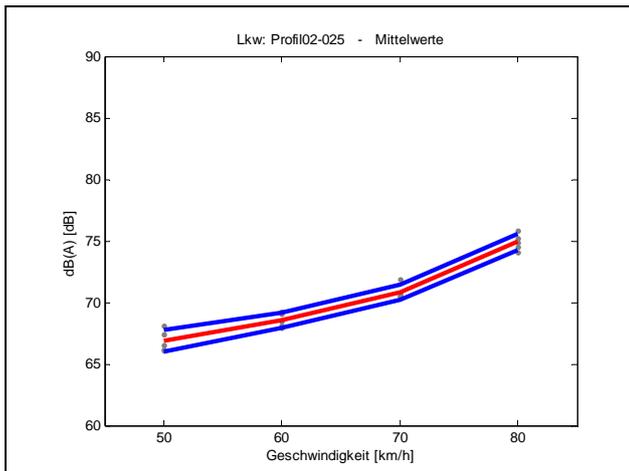
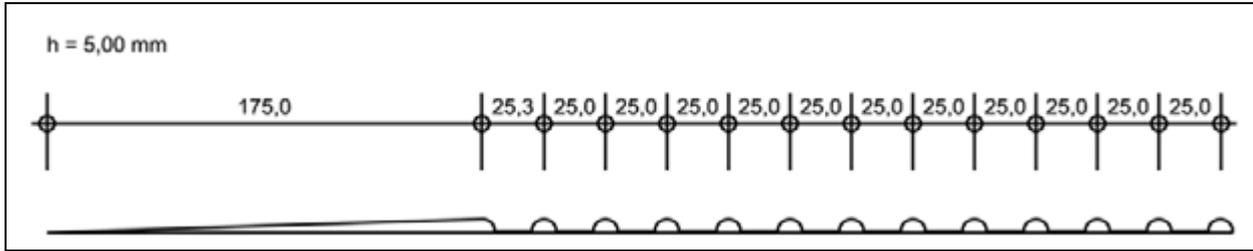
Profil 2_025 - Pkw - physikalische Größen:



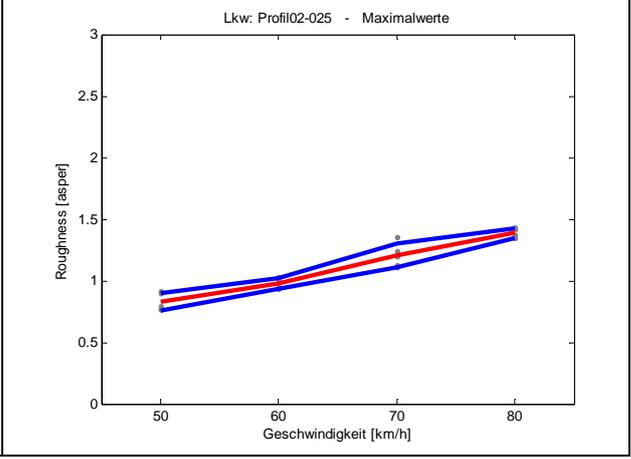
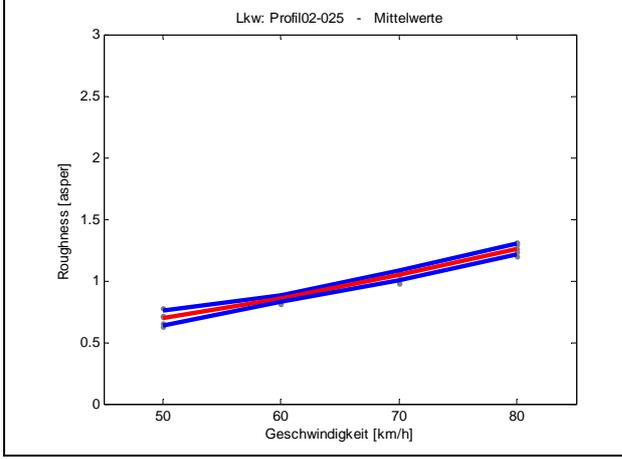
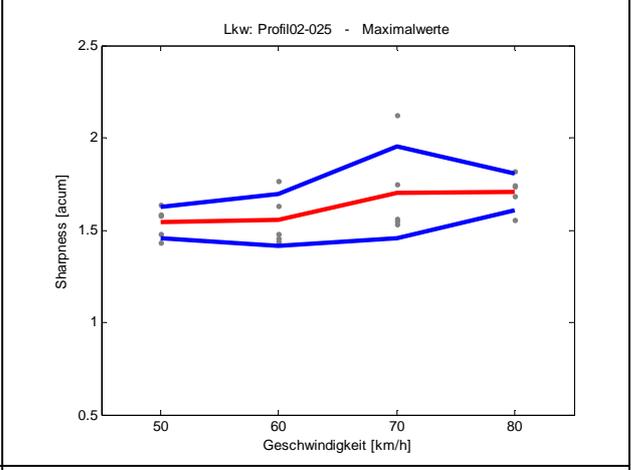
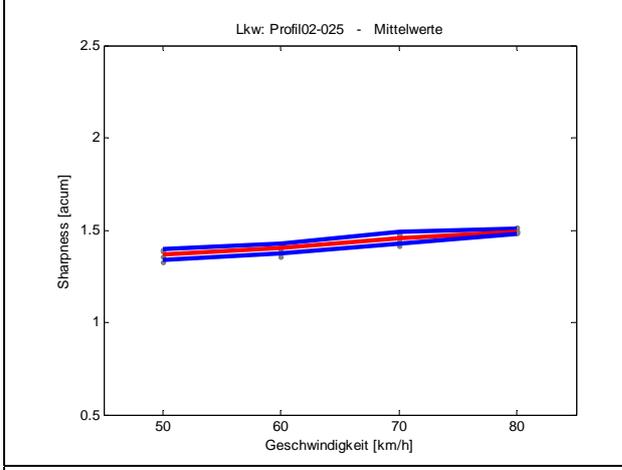
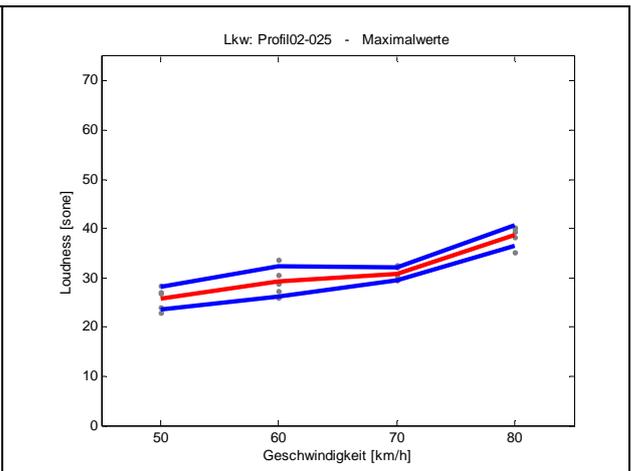
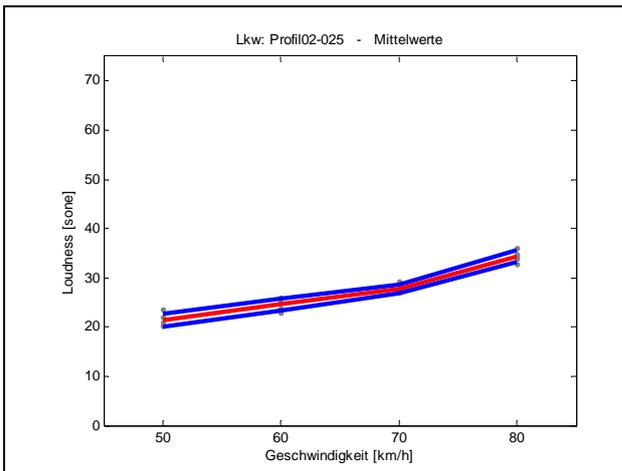
Profil 2_025 - Pkw - psychoakustische Größen:



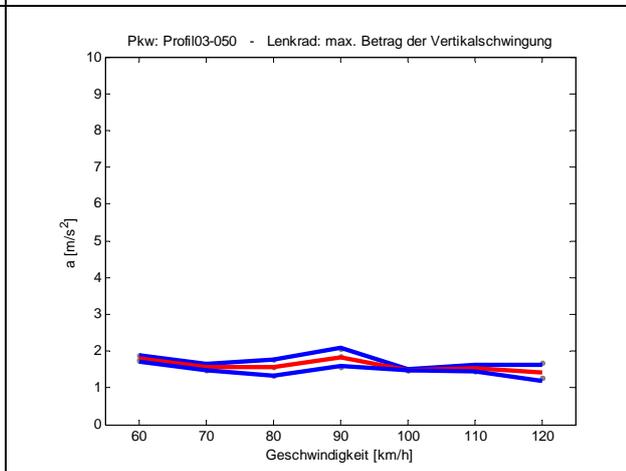
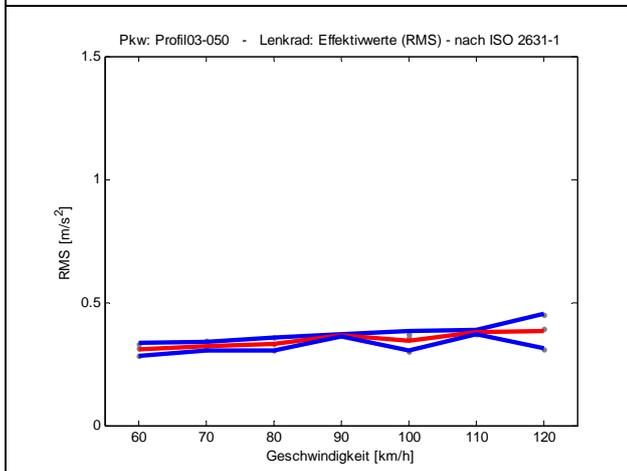
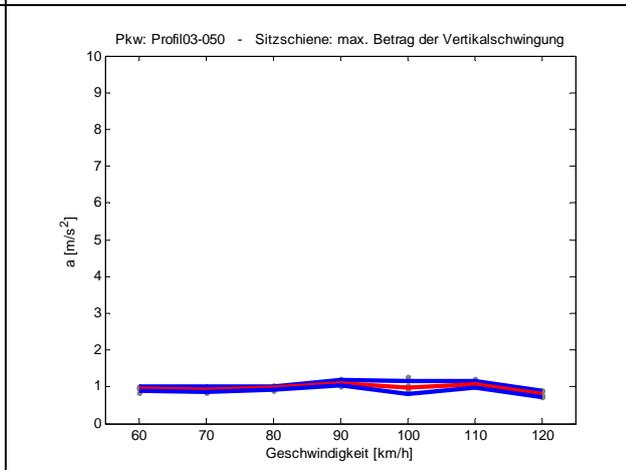
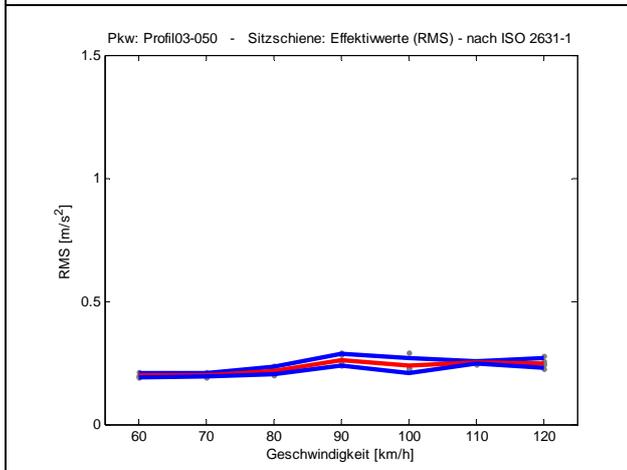
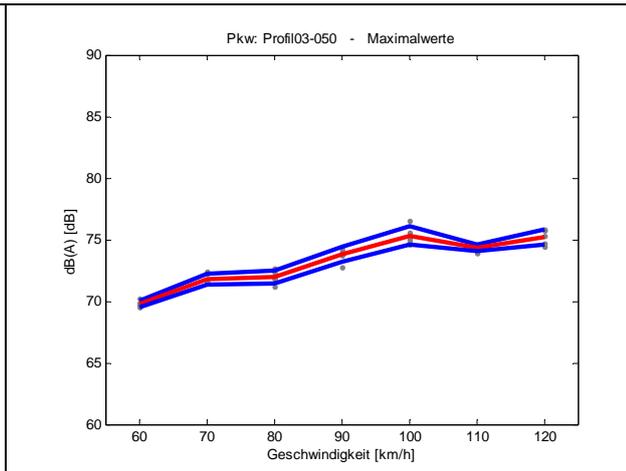
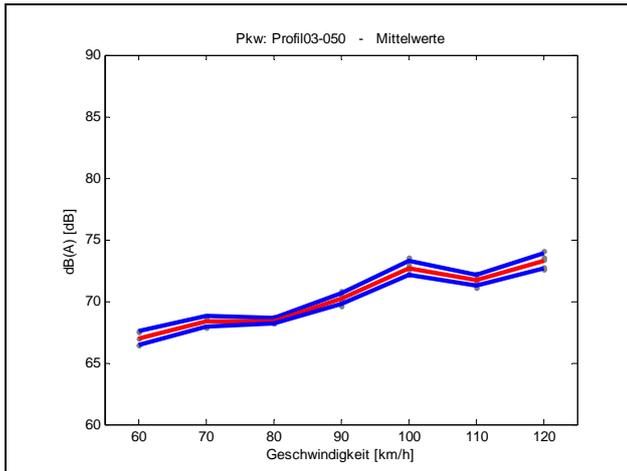
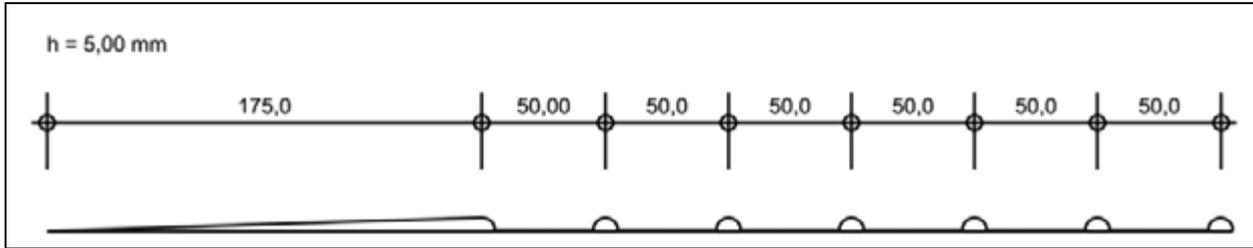
Profil 2_025 - Lkw - physikalische Größen:



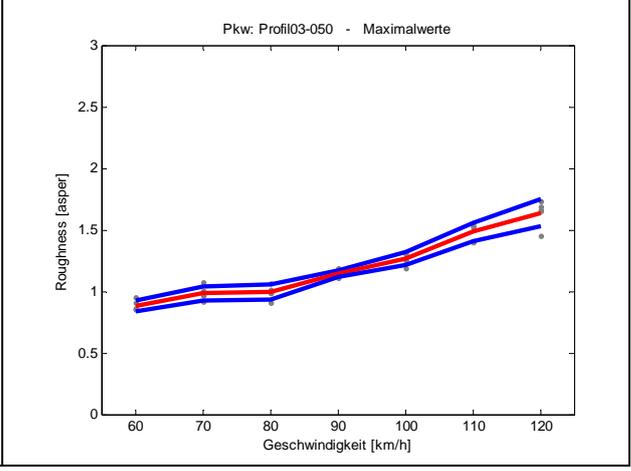
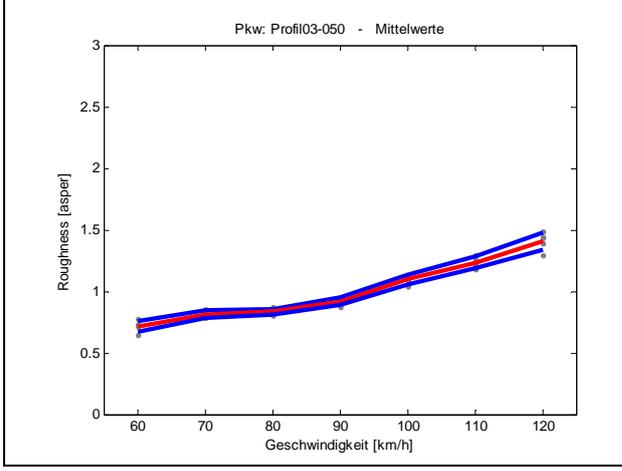
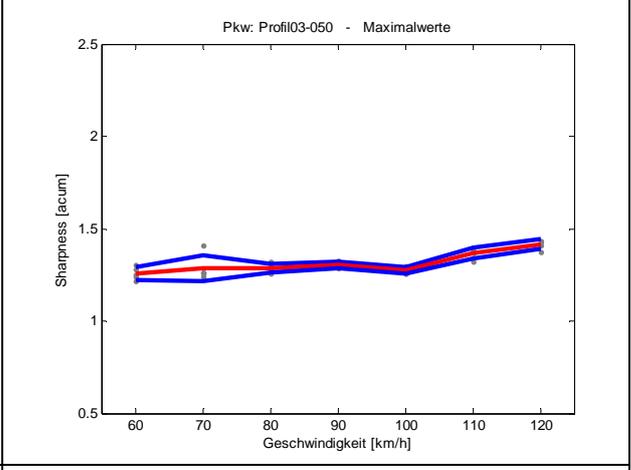
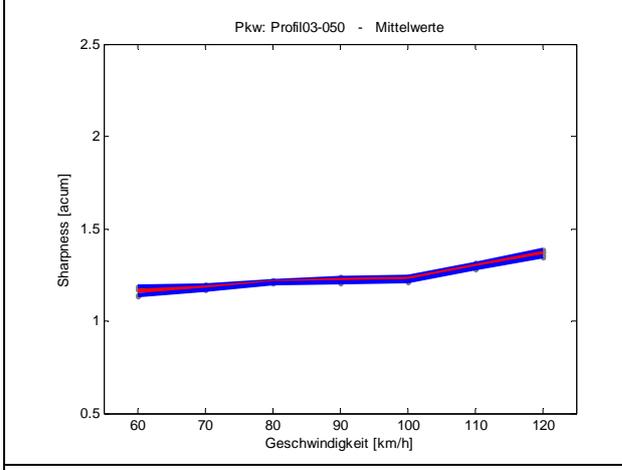
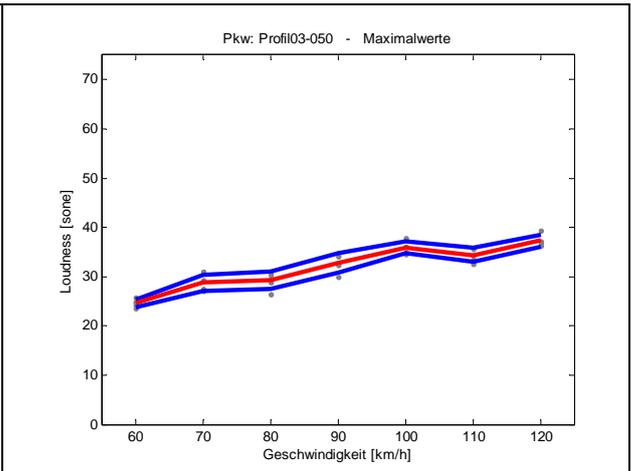
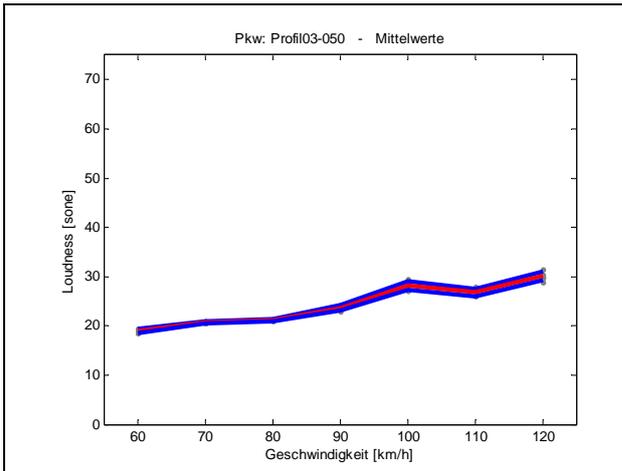
Profil 2_025 - Lkw - psychoakustische Größen:



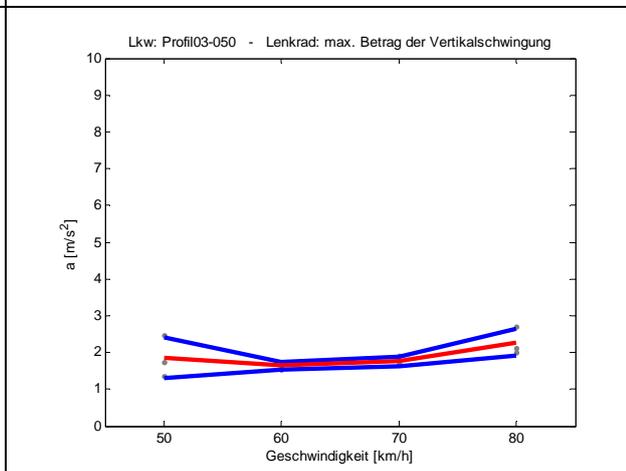
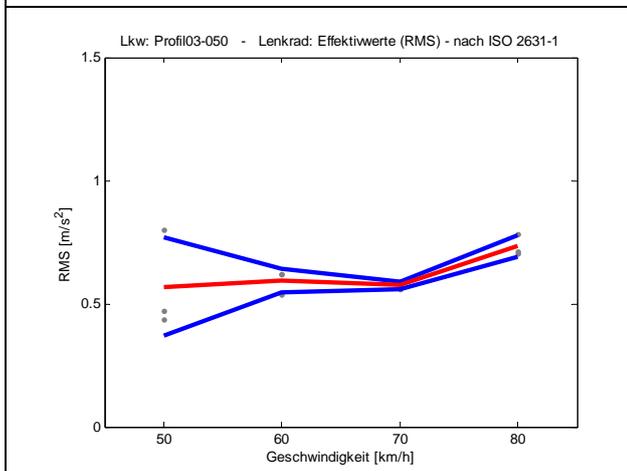
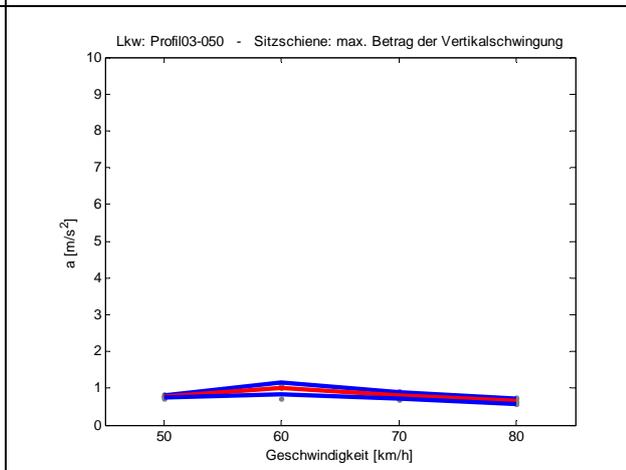
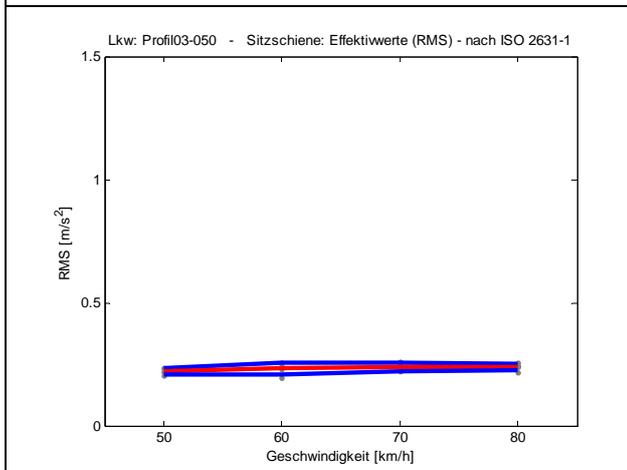
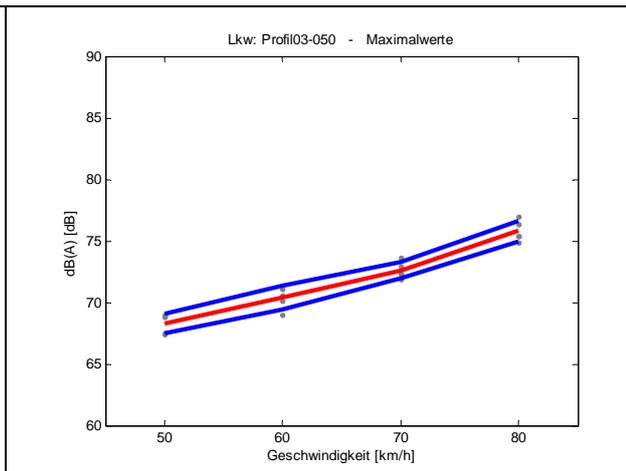
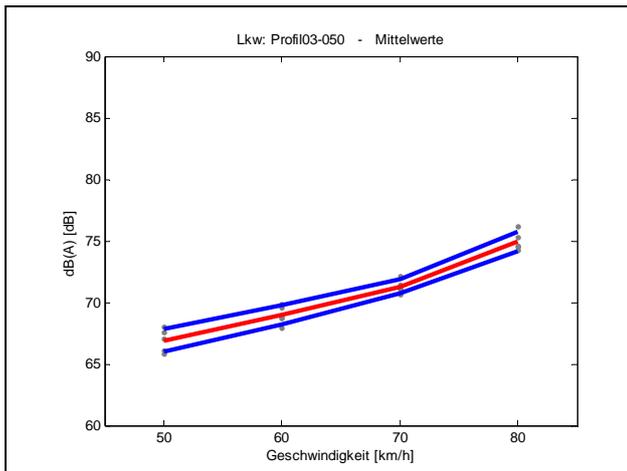
Profil 3_050 - Pkw - physikalische Größen:



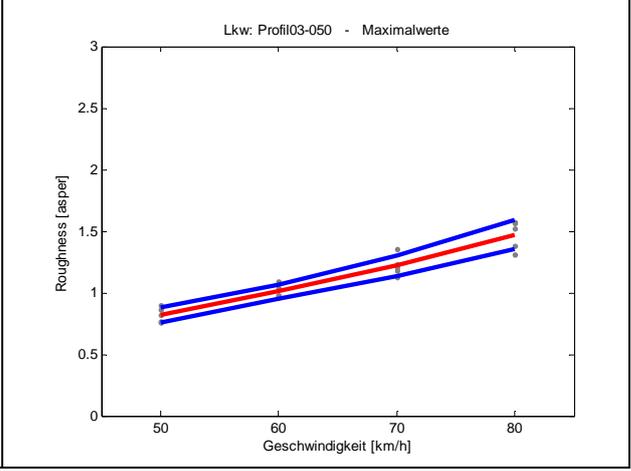
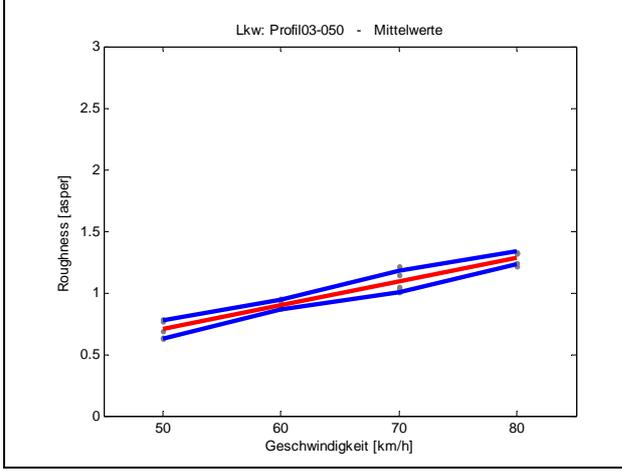
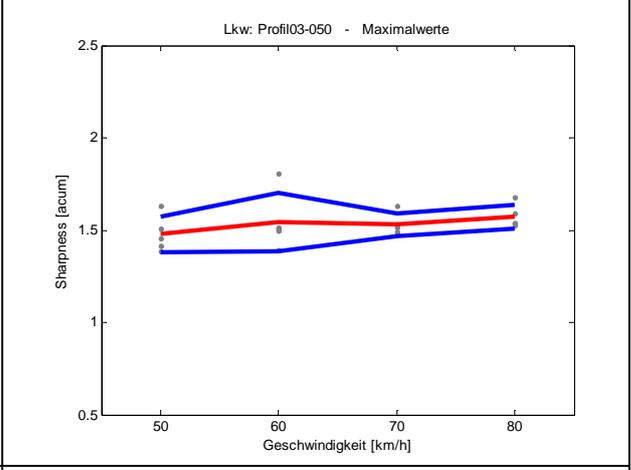
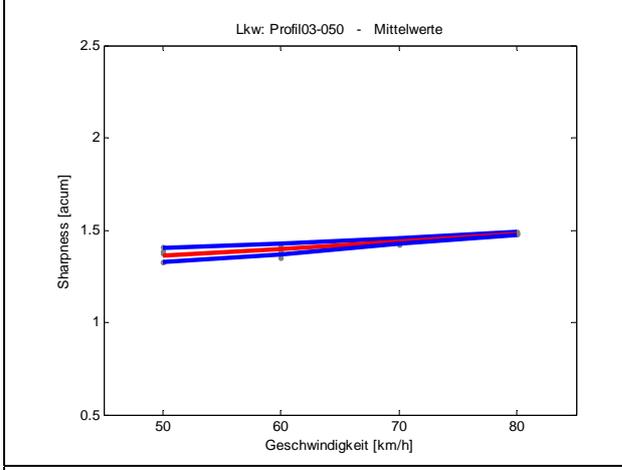
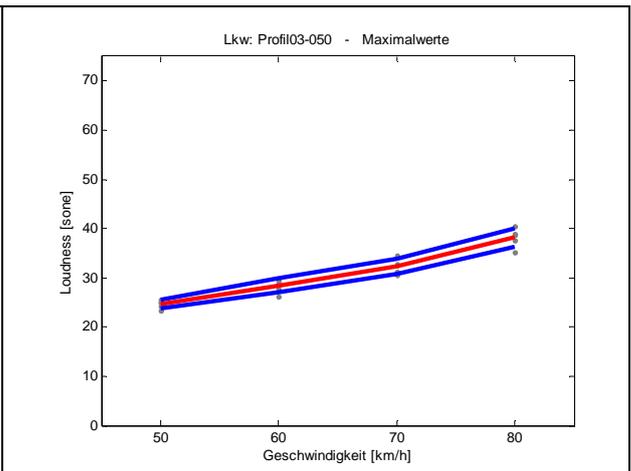
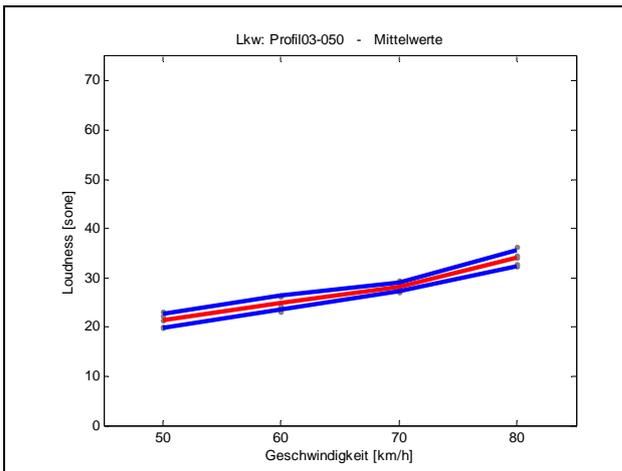
Profil 3_050 - Pkw - psychoakustische Größen:



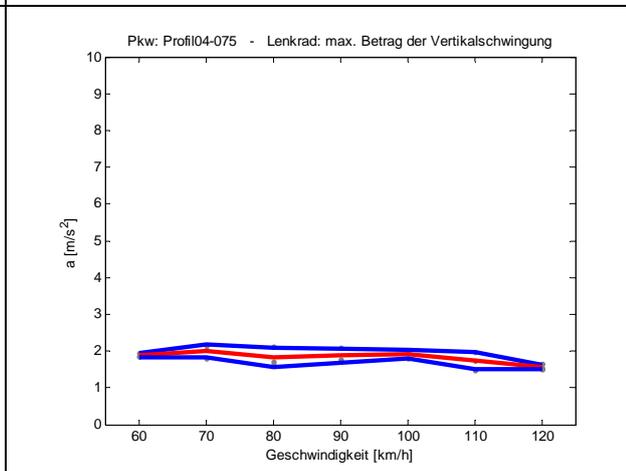
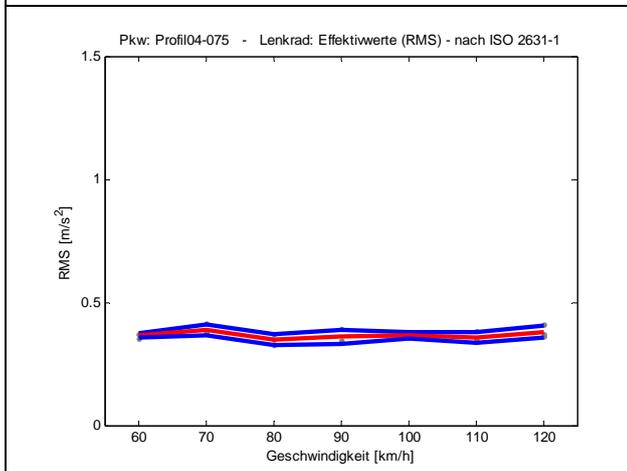
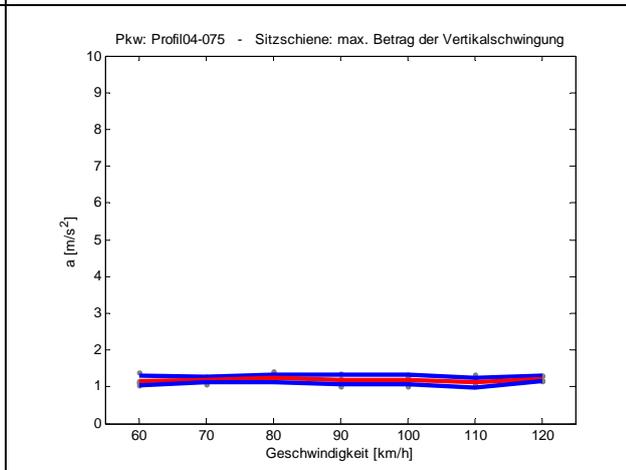
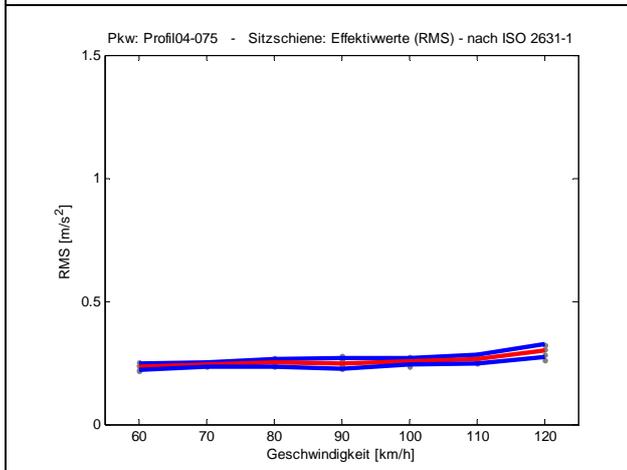
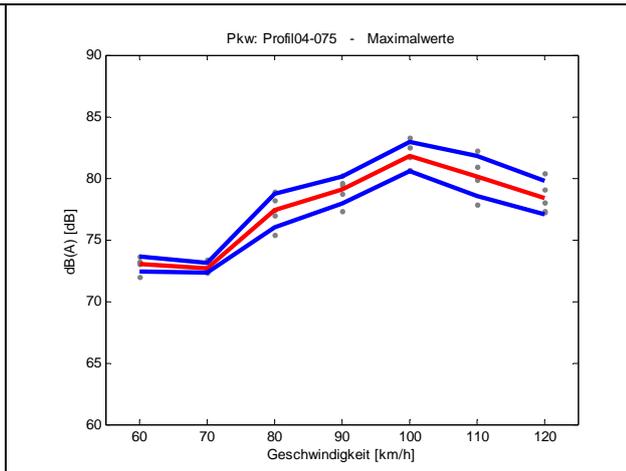
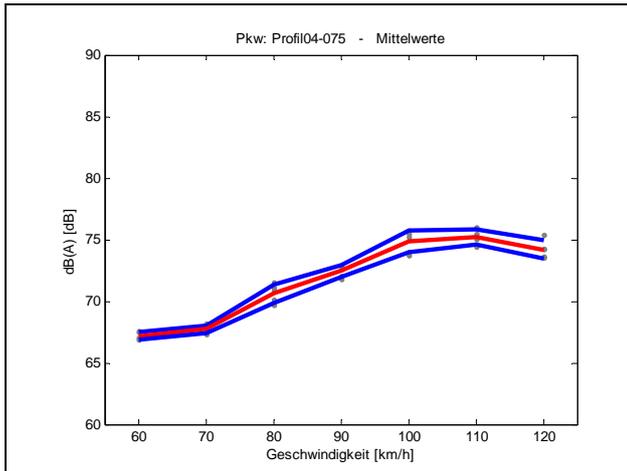
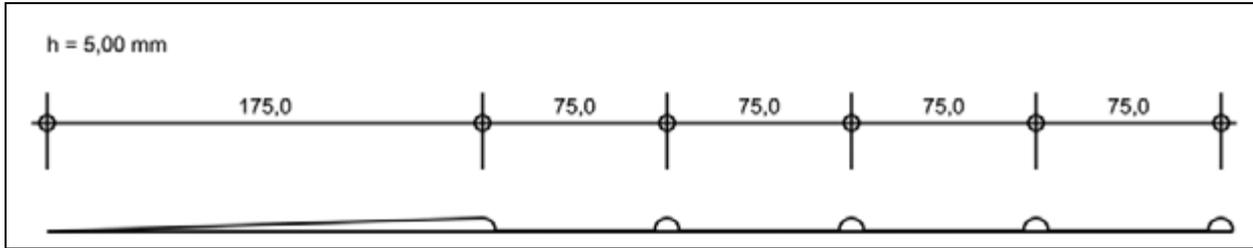
Profil 3_050 - Lkw - physikalische Größen:



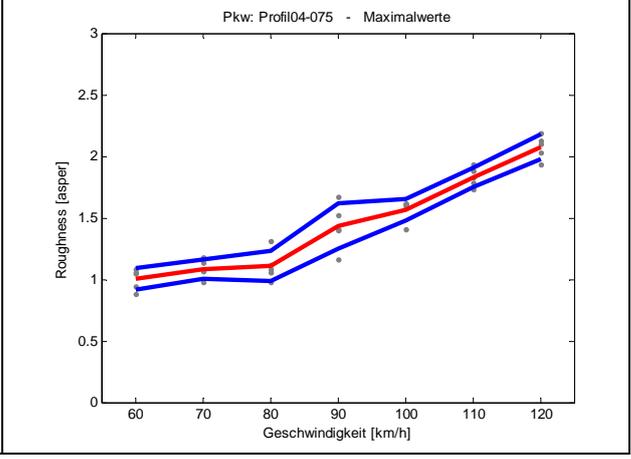
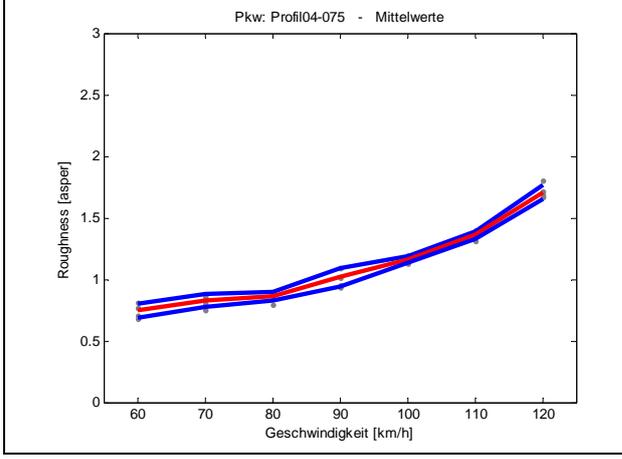
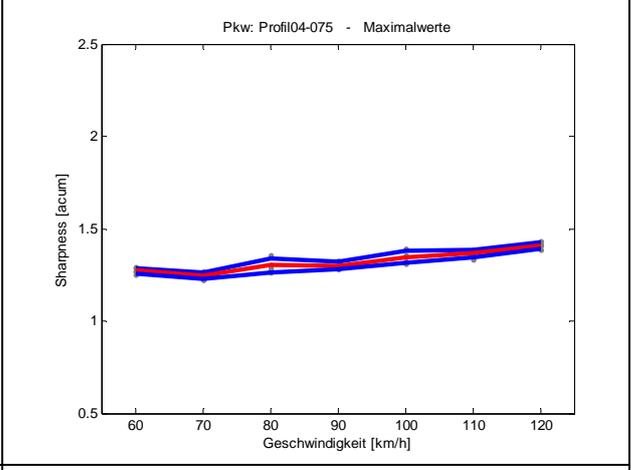
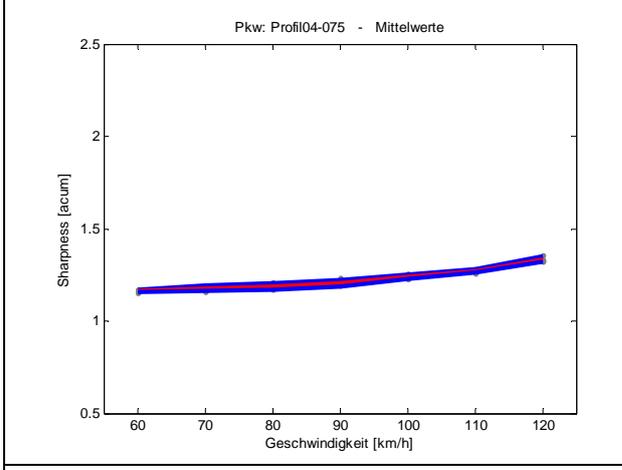
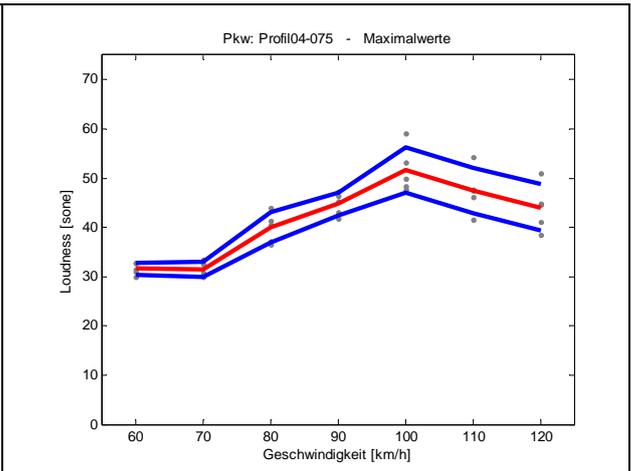
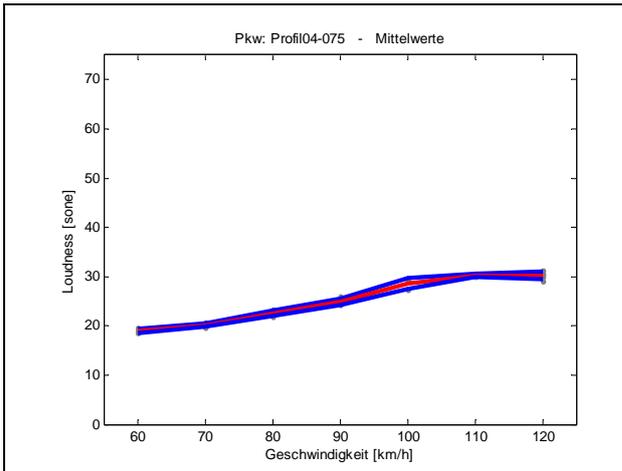
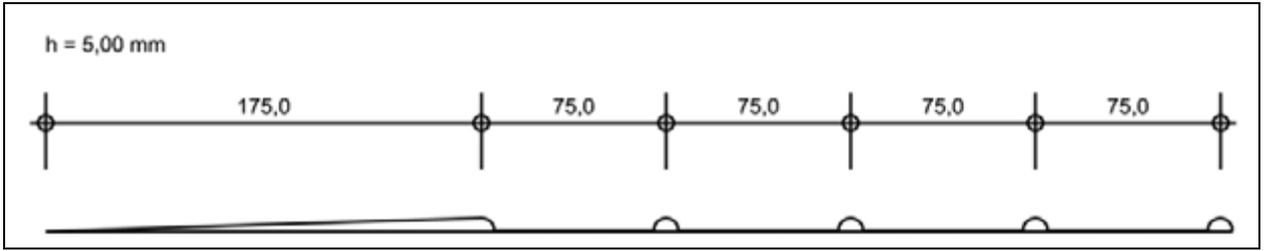
Profil 3_050 - Lkw - psychoakustische Größen:



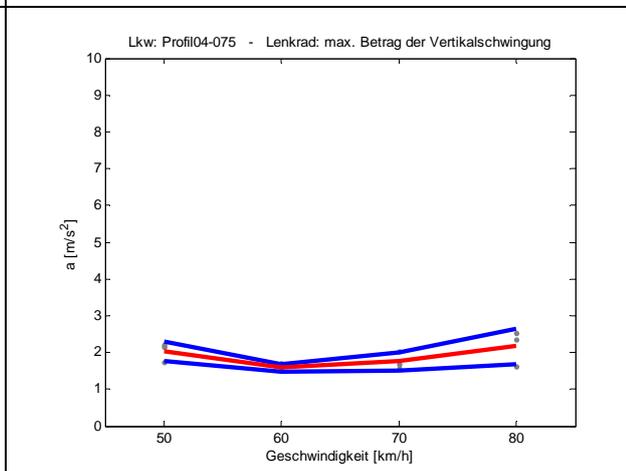
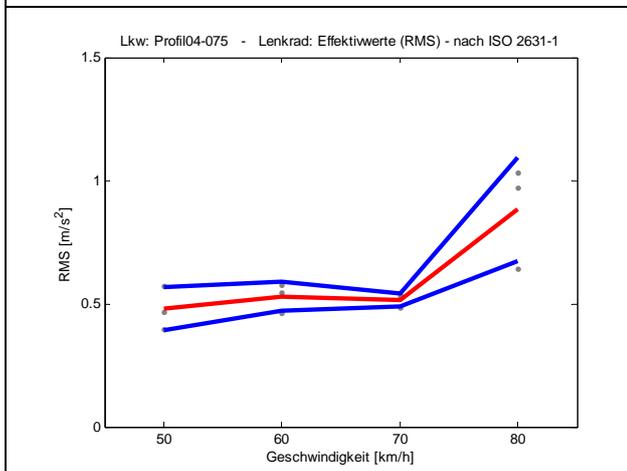
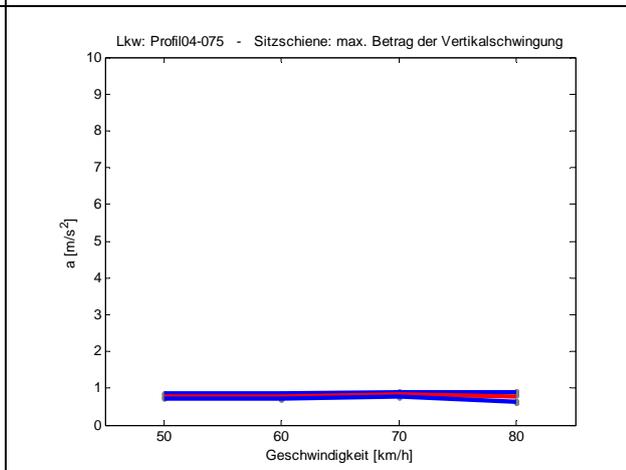
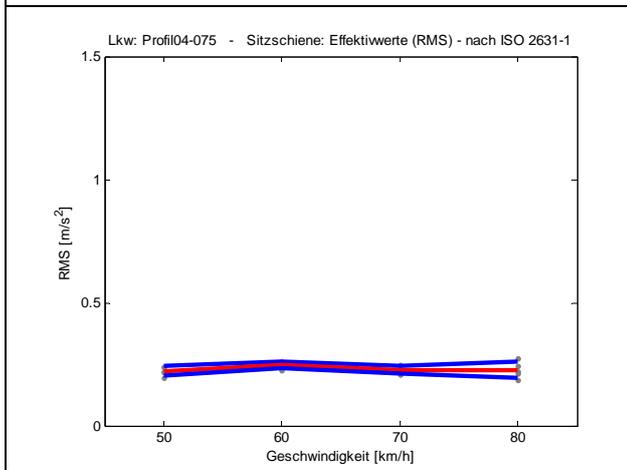
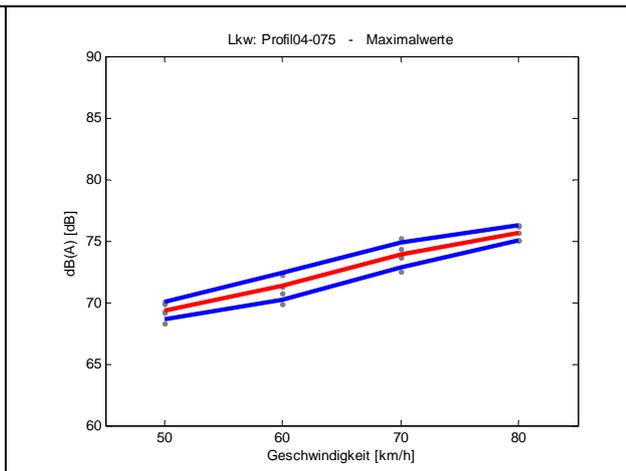
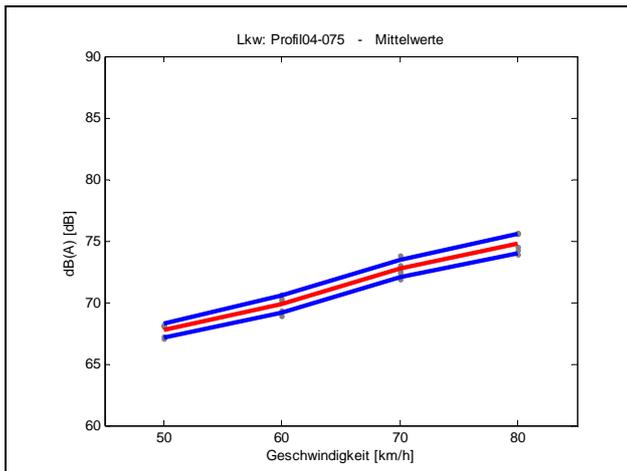
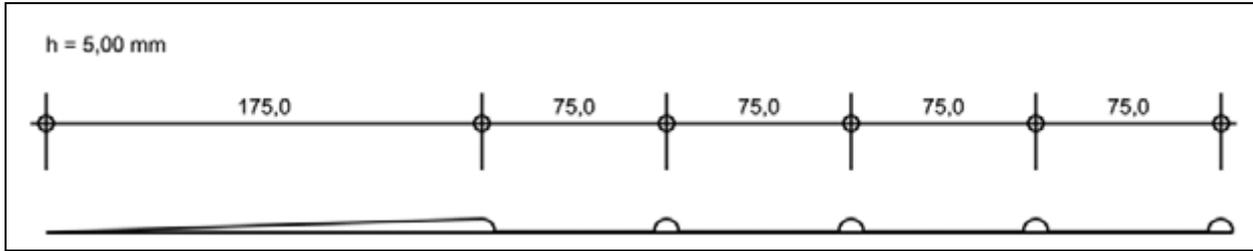
Profil 4_075 - Pkw - physikalische Größen:



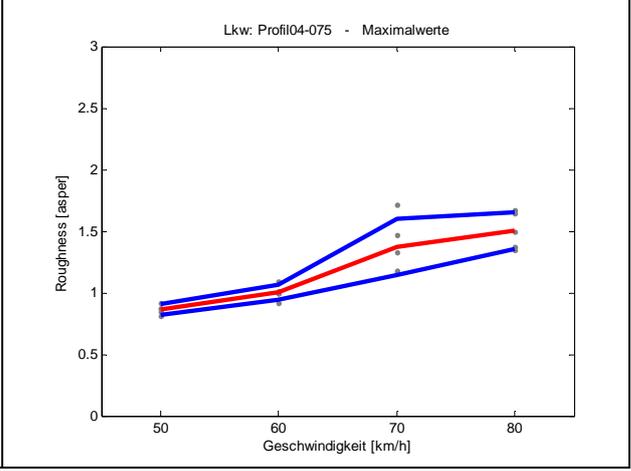
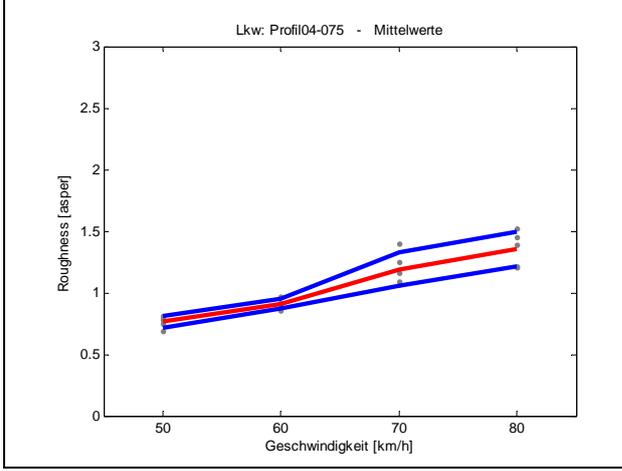
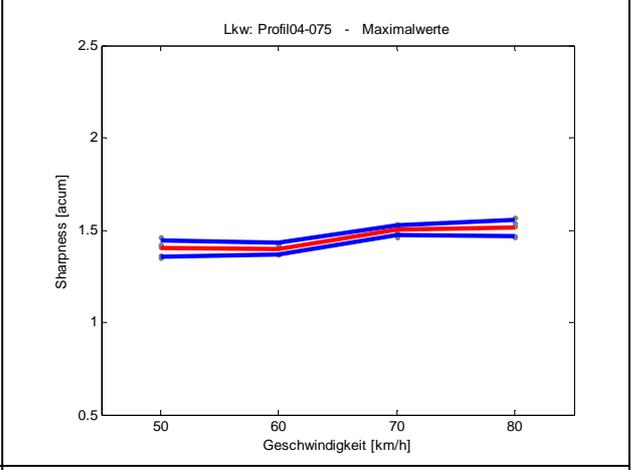
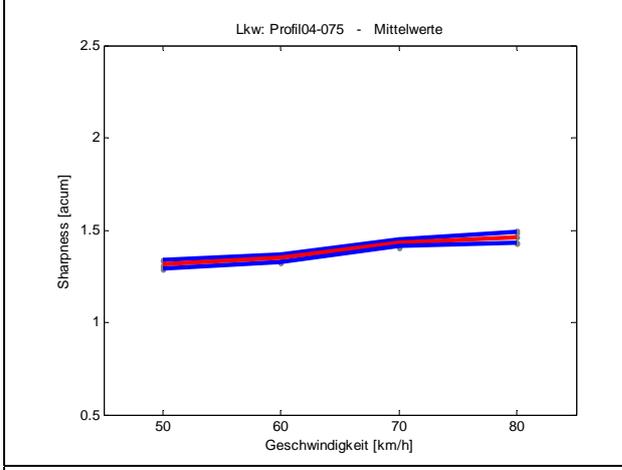
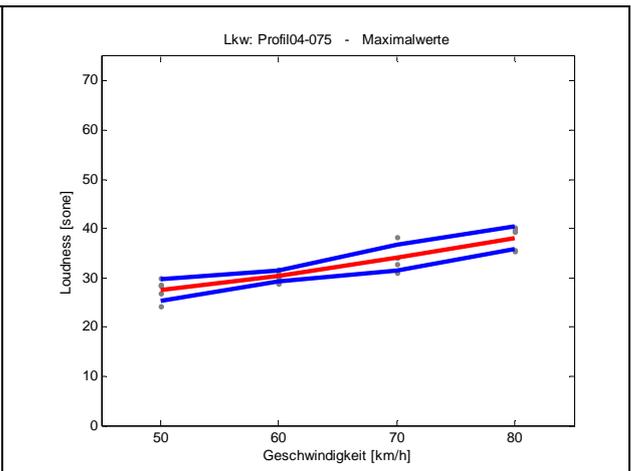
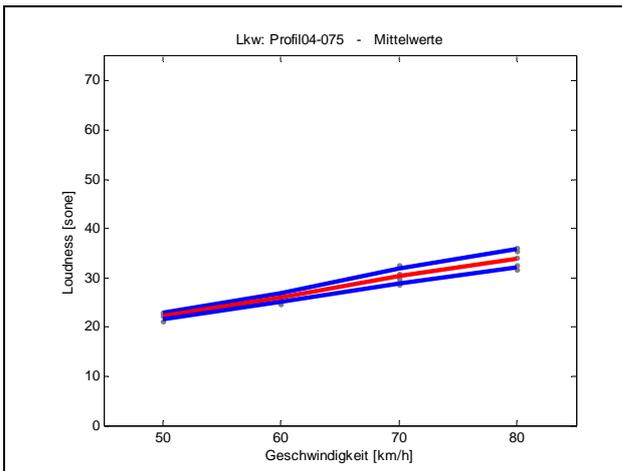
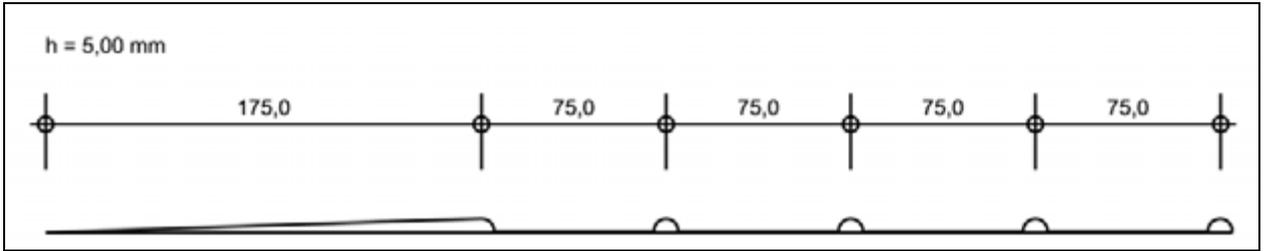
Profil 4_075 - Pkw - psychoakustische Größen:



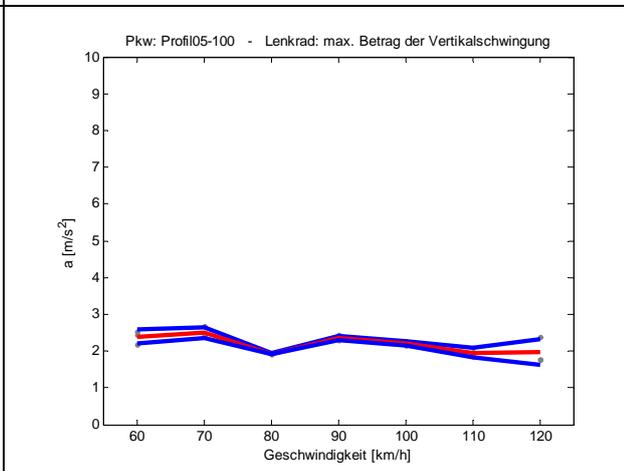
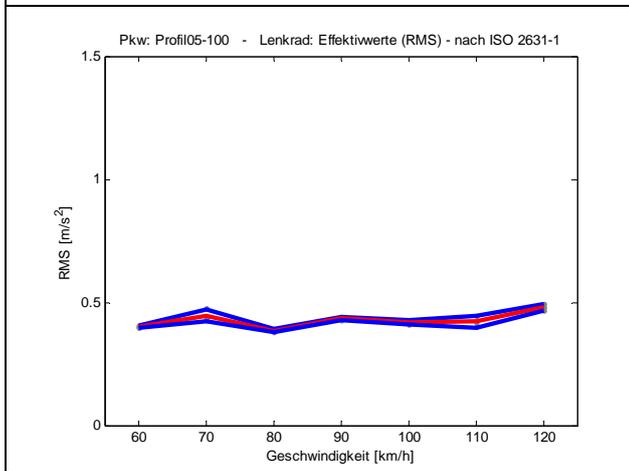
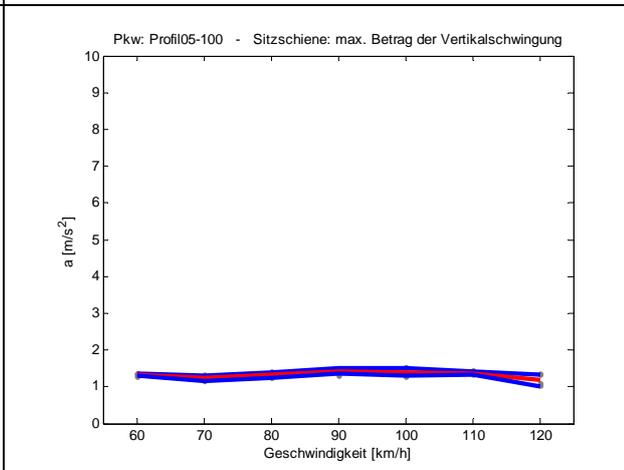
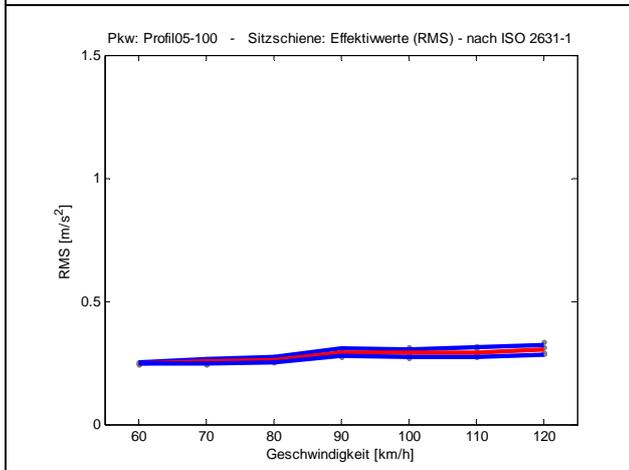
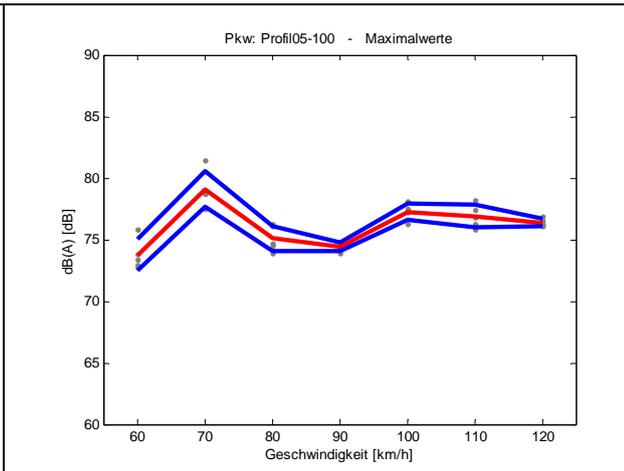
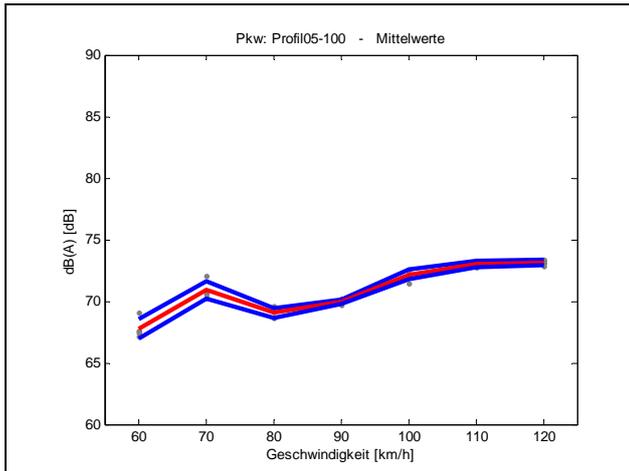
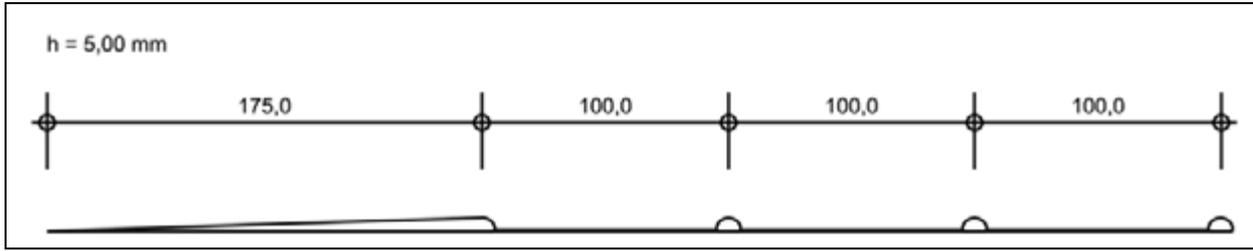
Profil 4_075 - Lkw - physikalische Größen:



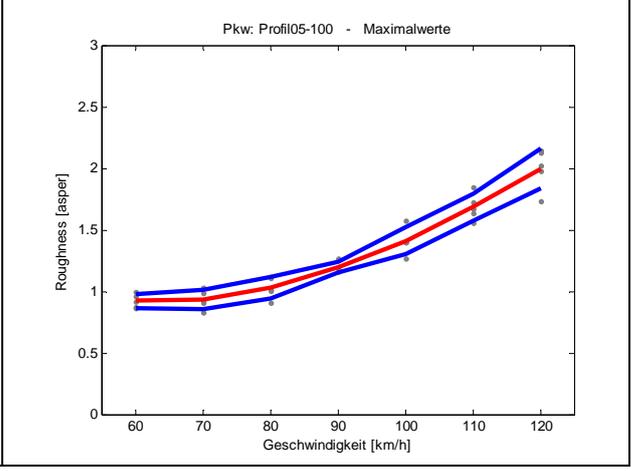
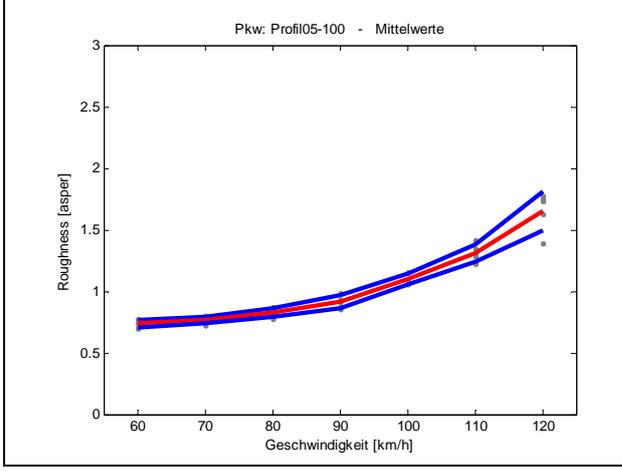
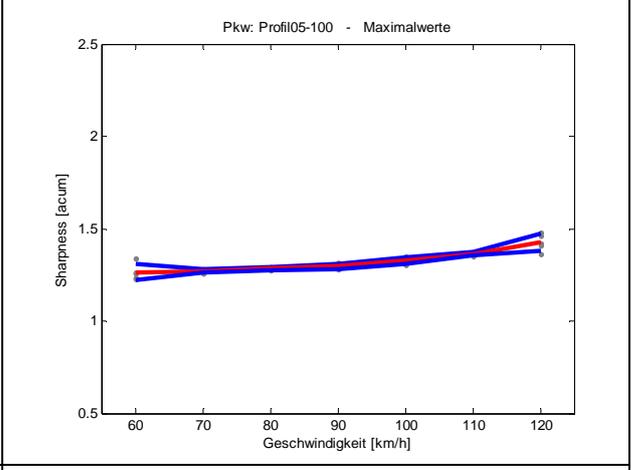
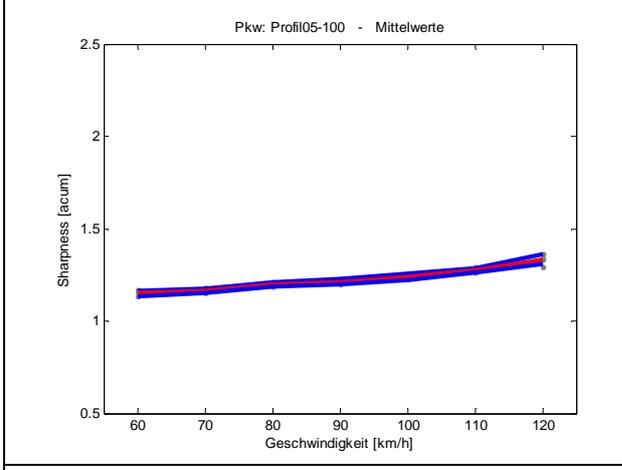
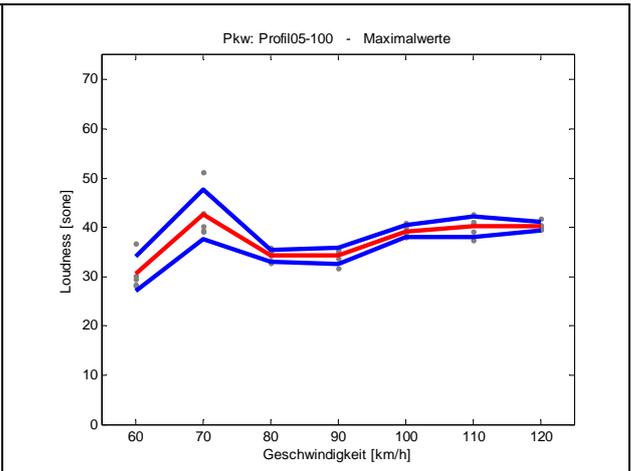
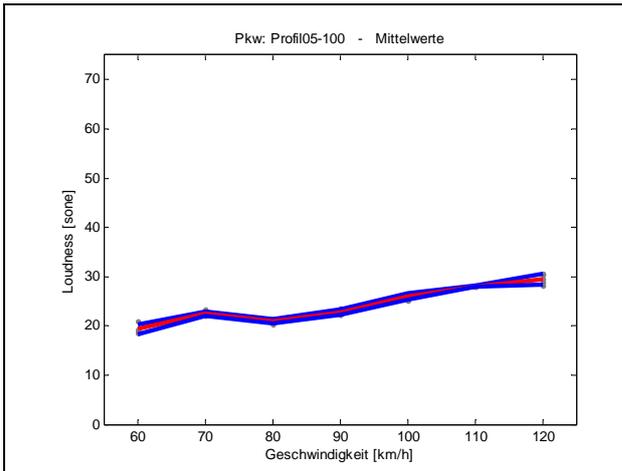
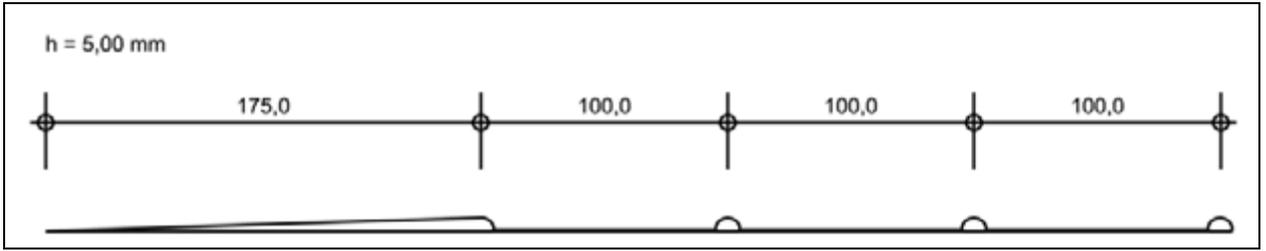
Profil 4_075 - Lkw - psychoakustische Größen:



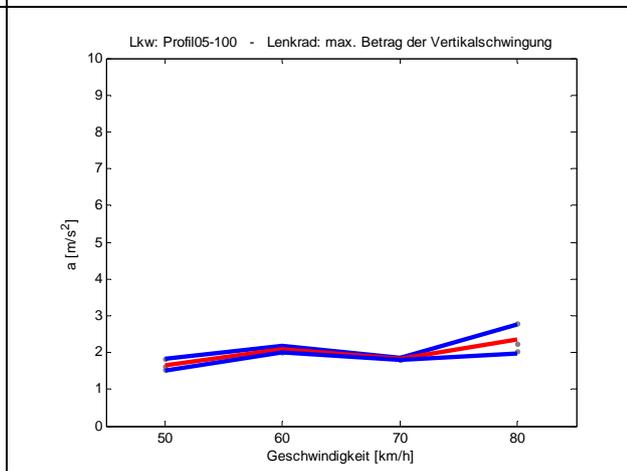
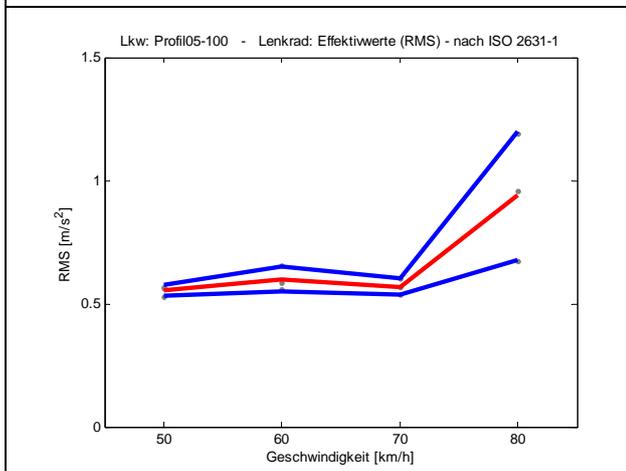
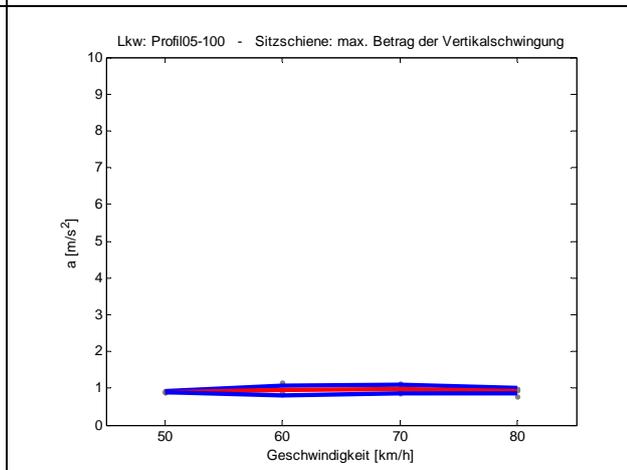
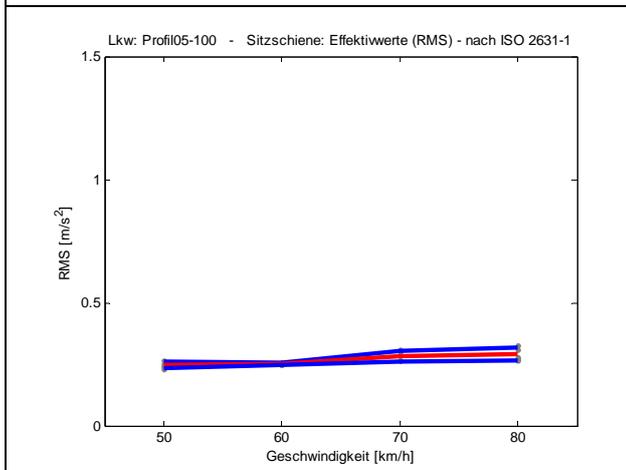
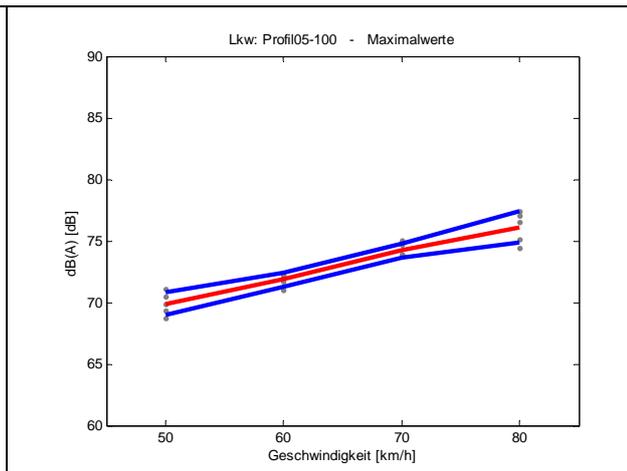
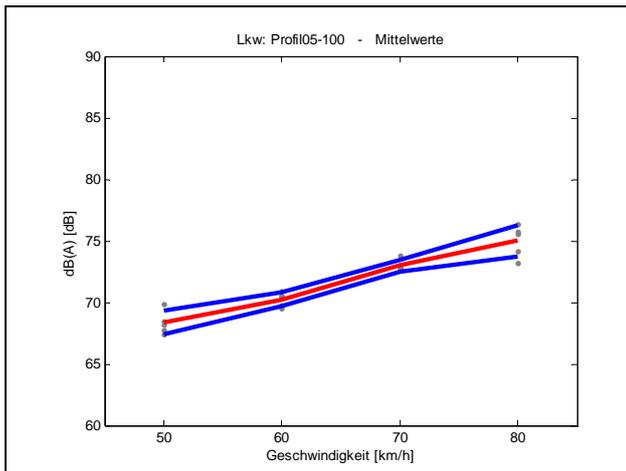
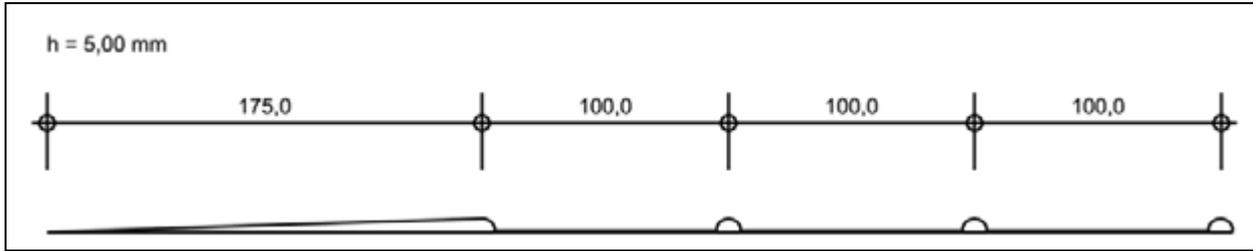
Profil 5_100 - Pkw - physikalische Größen:



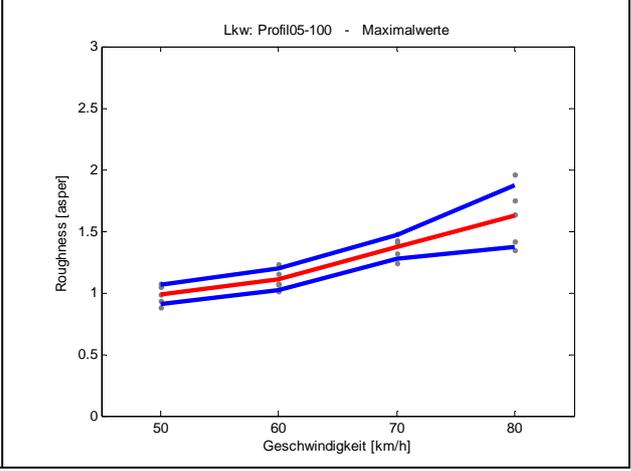
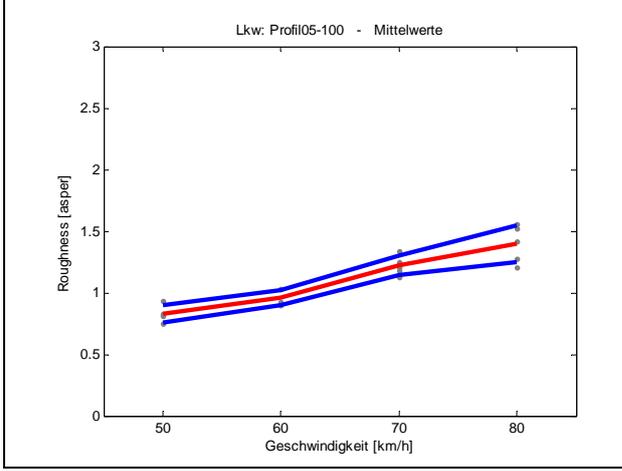
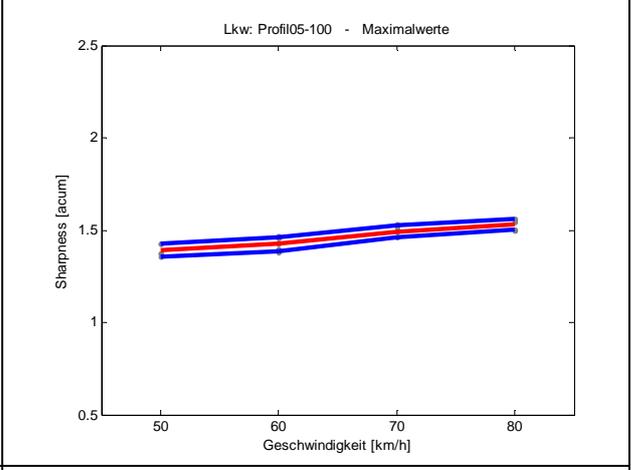
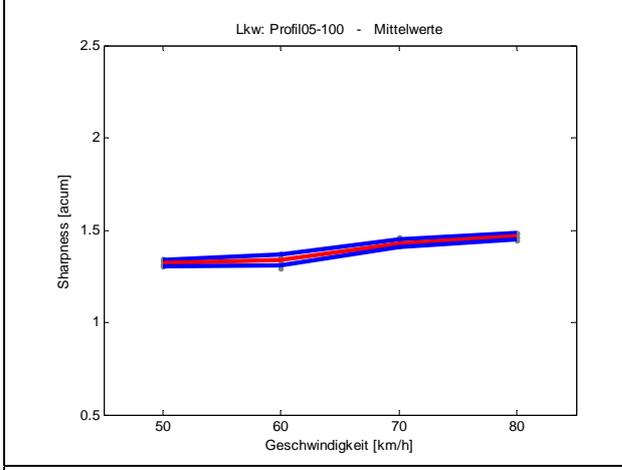
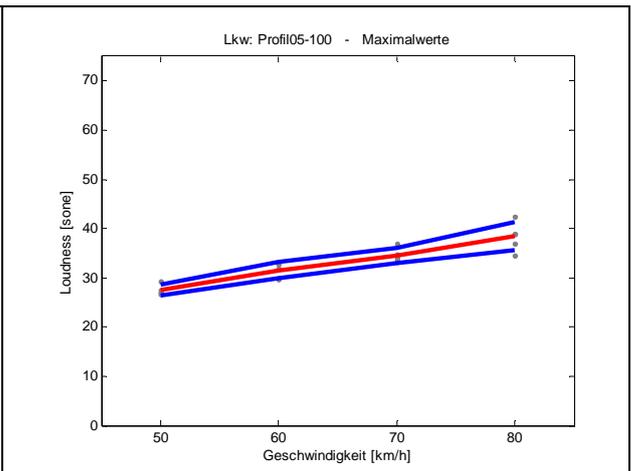
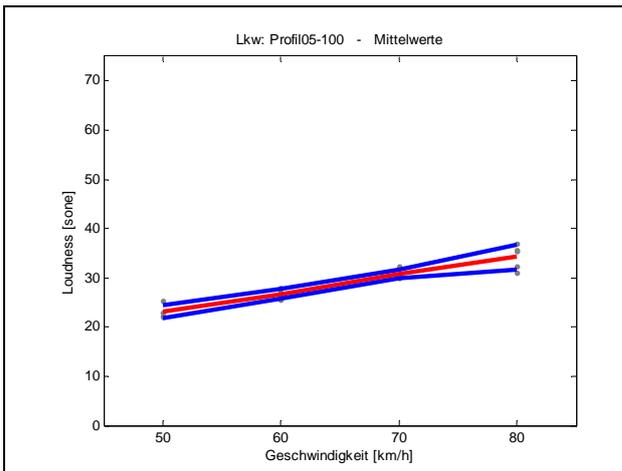
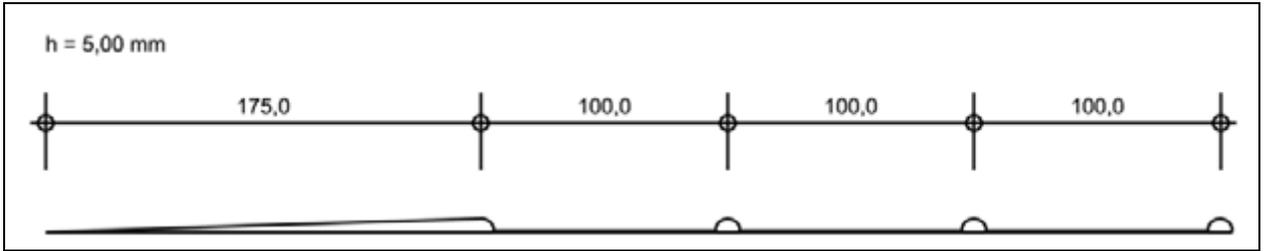
Profil 5_100 - Pkw - psychoakustische Größen:



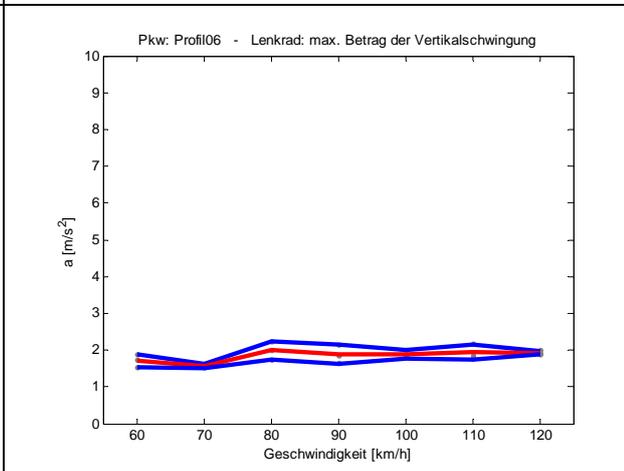
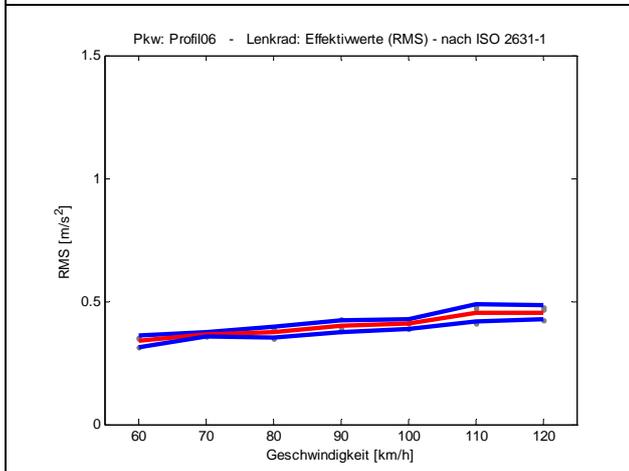
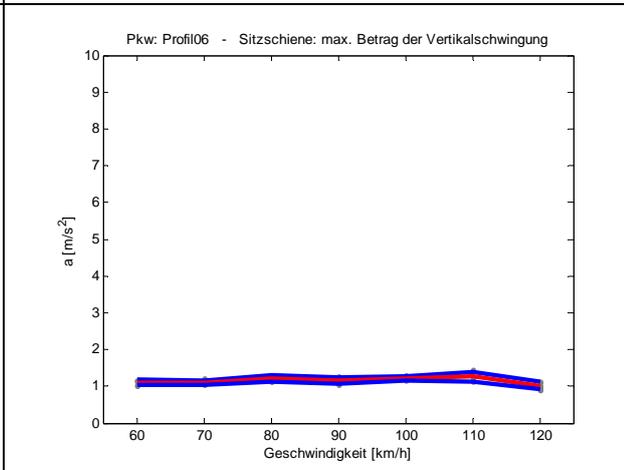
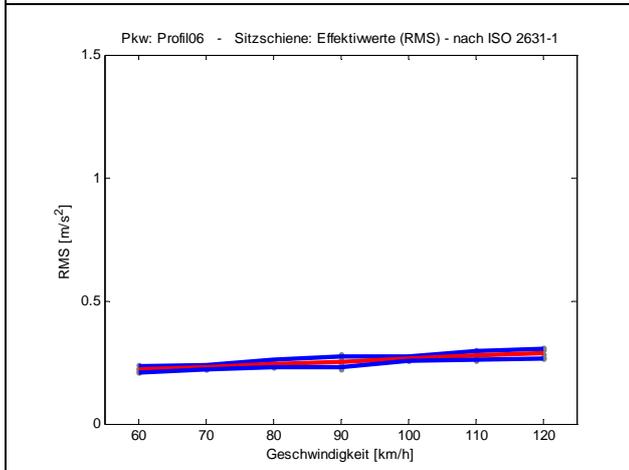
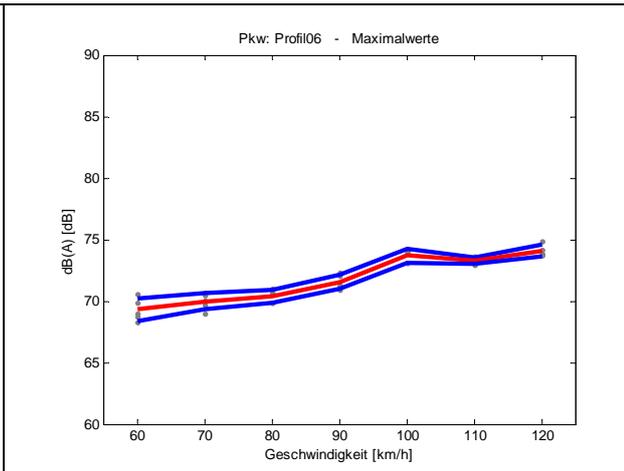
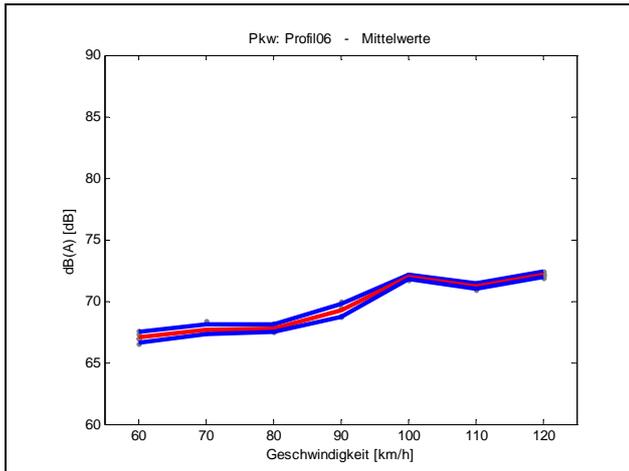
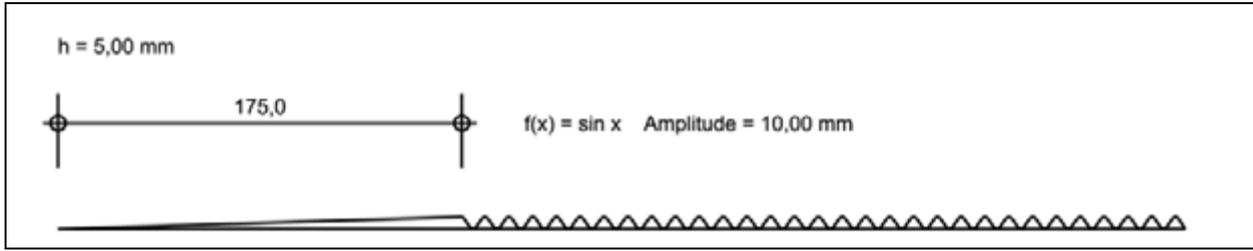
Profil 5_100 - Lkw - physikalische Größen:



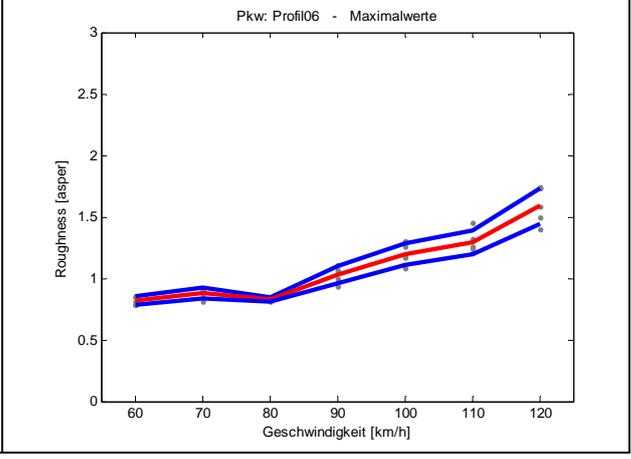
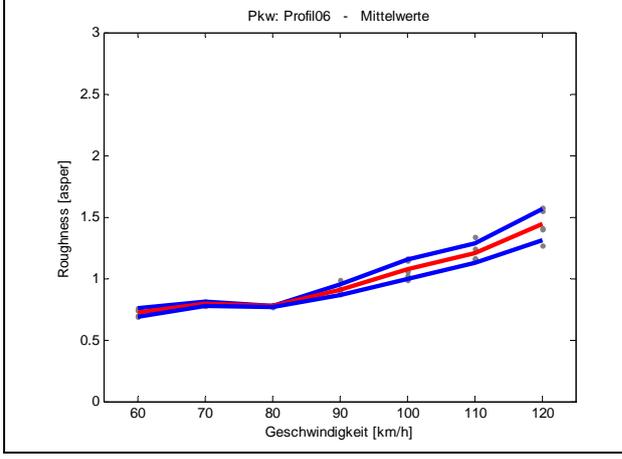
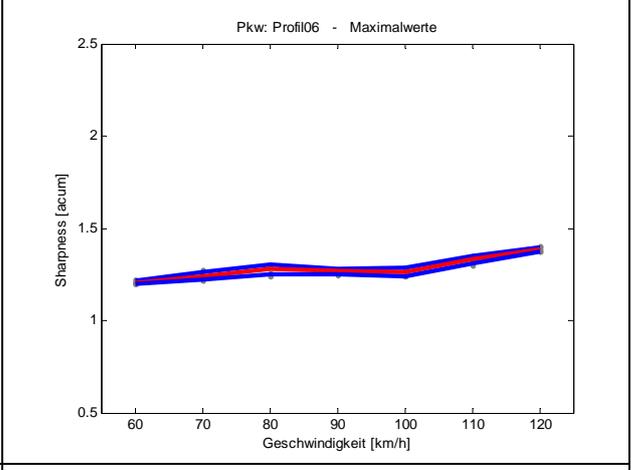
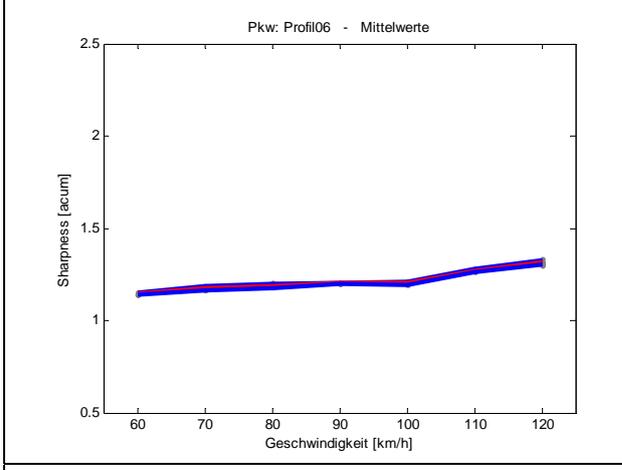
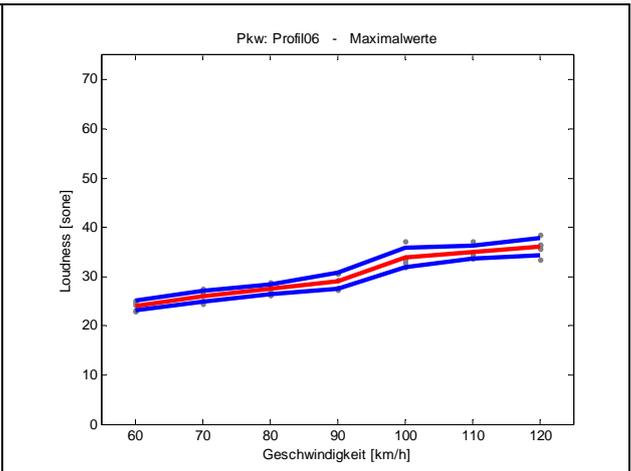
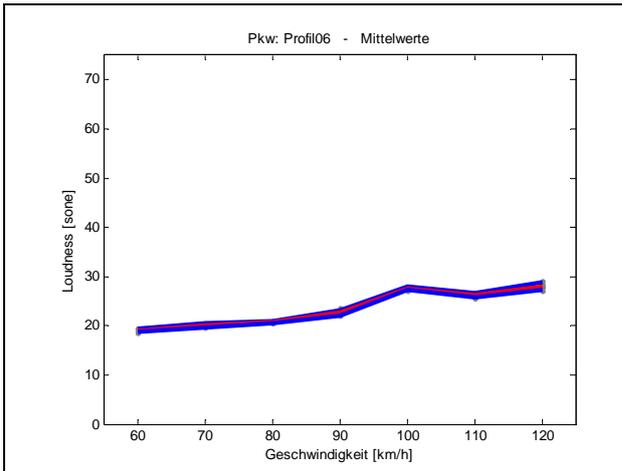
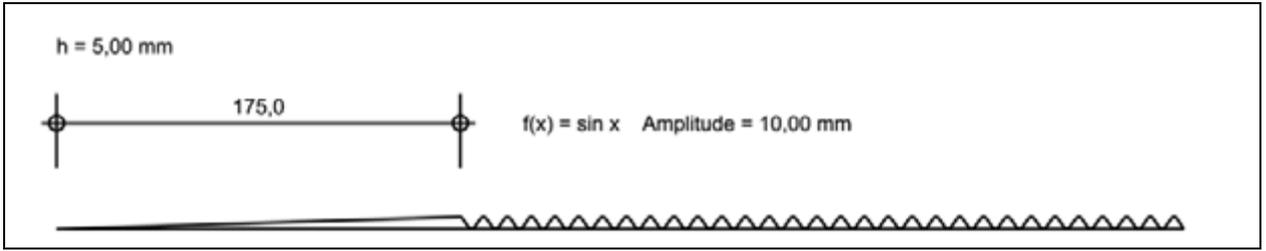
Profil 5_100 - Lkw - psychoakustische Größen:



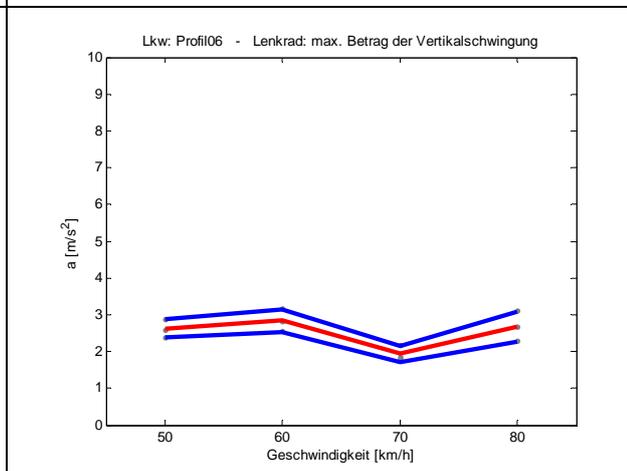
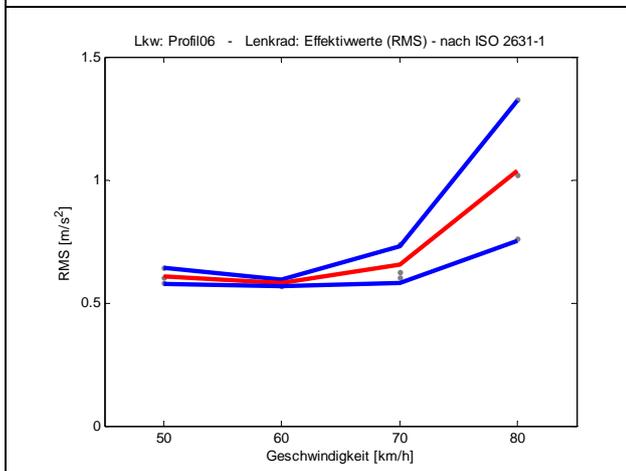
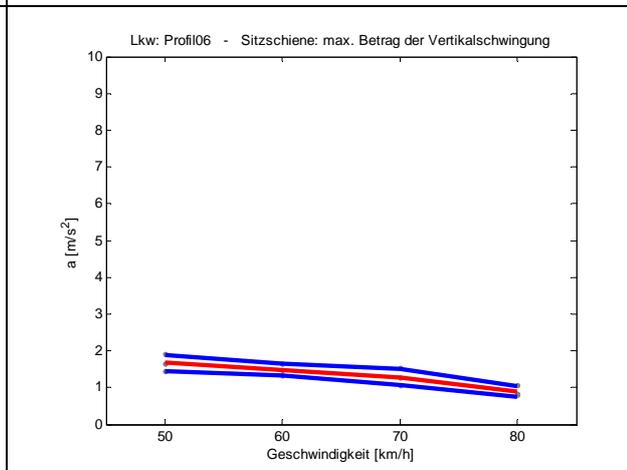
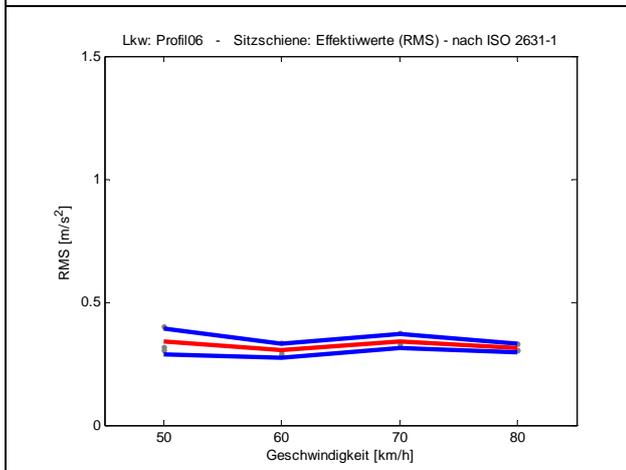
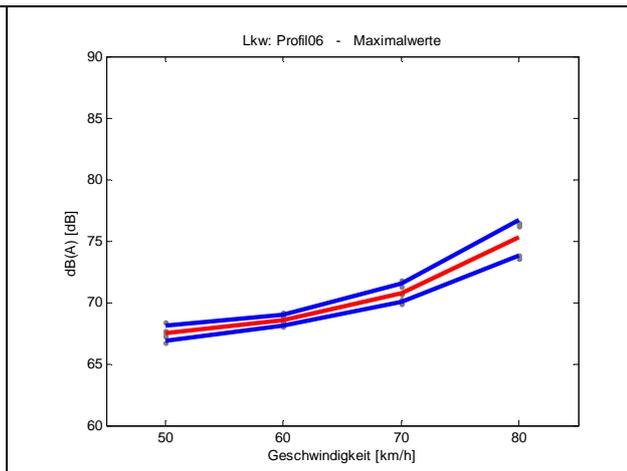
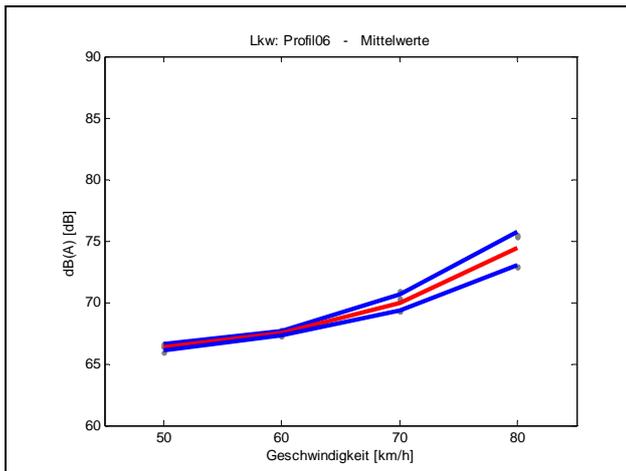
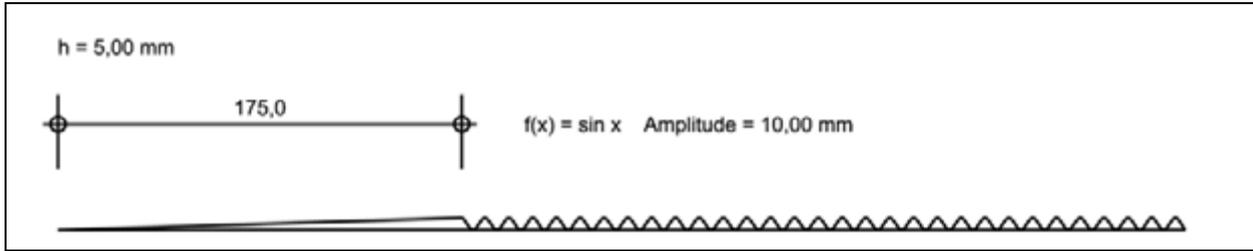
Profil 6 - Pkw - physikalische Größen:



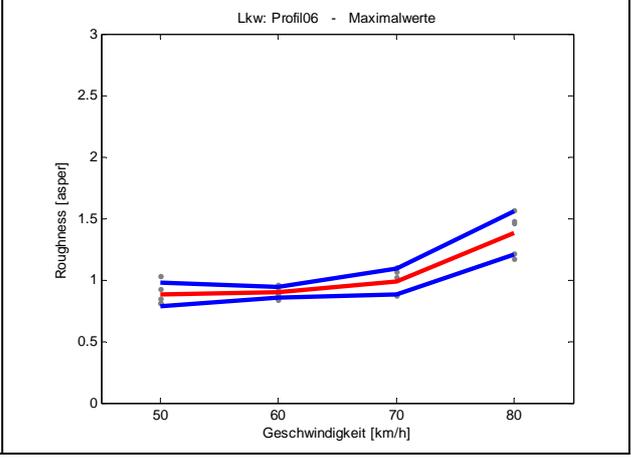
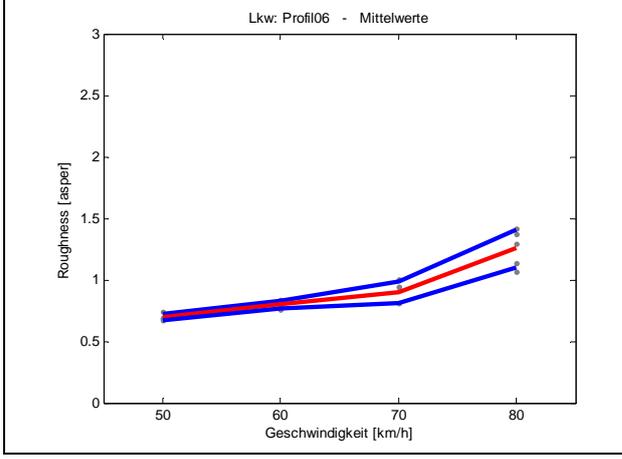
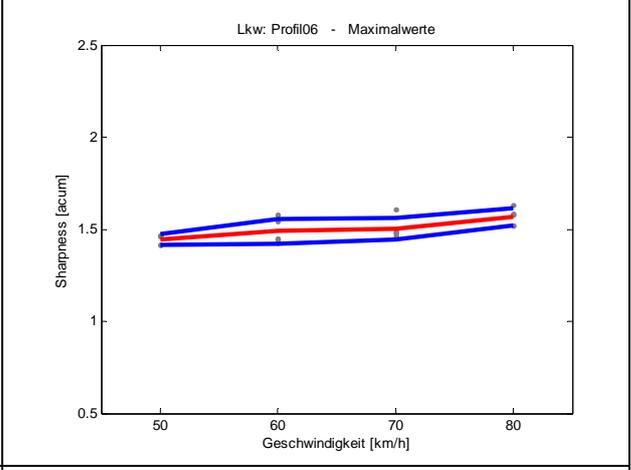
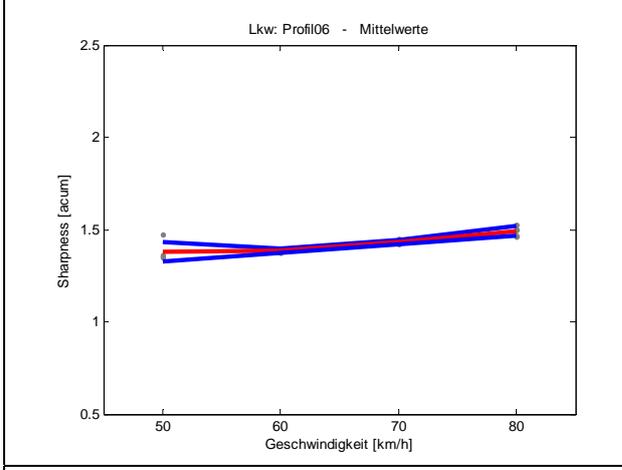
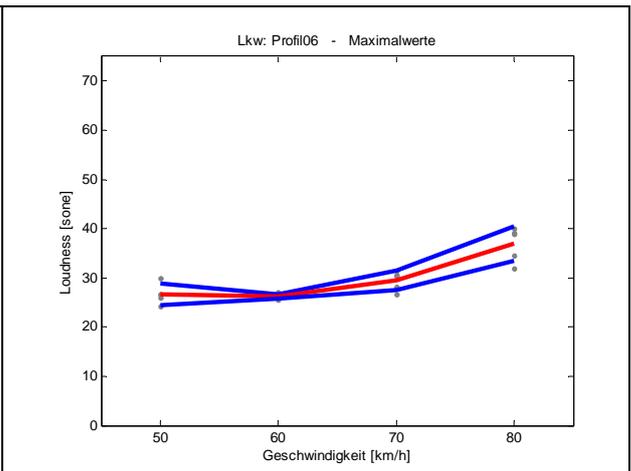
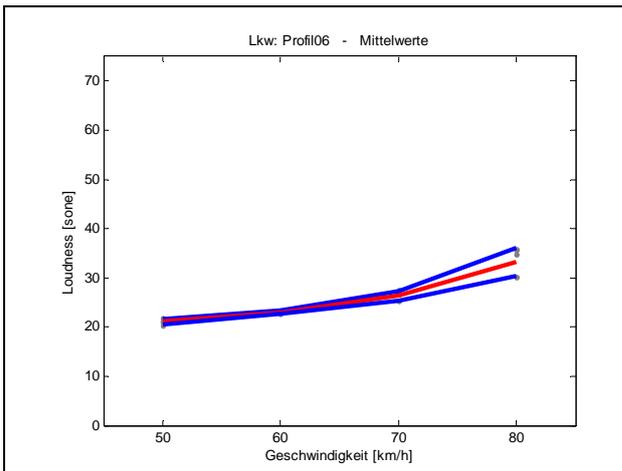
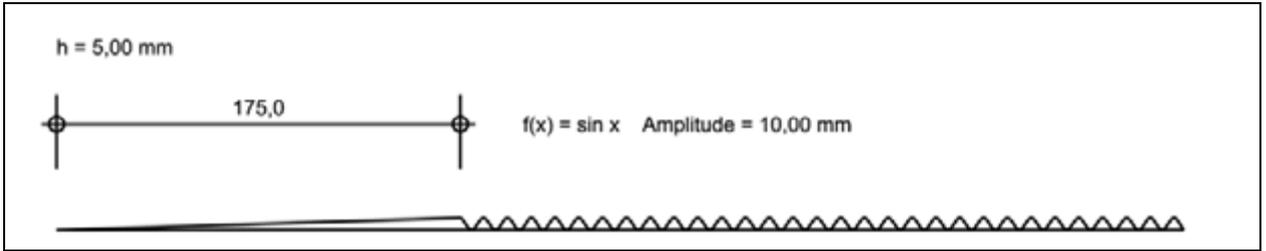
Profil 6 - Pkw - psychoakustische Größen:



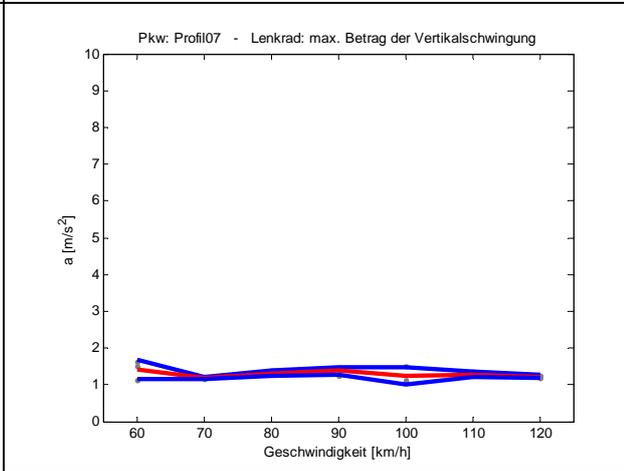
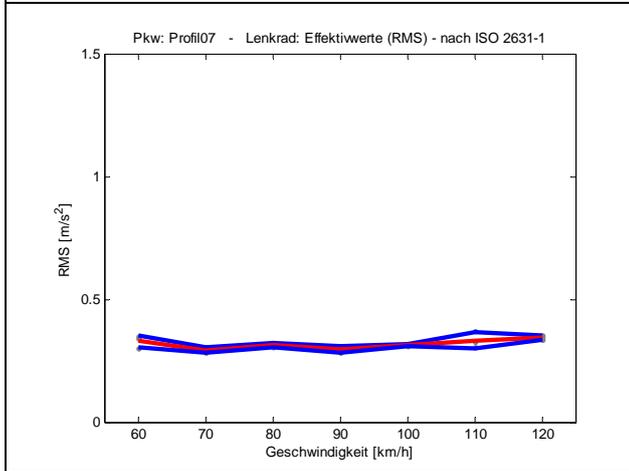
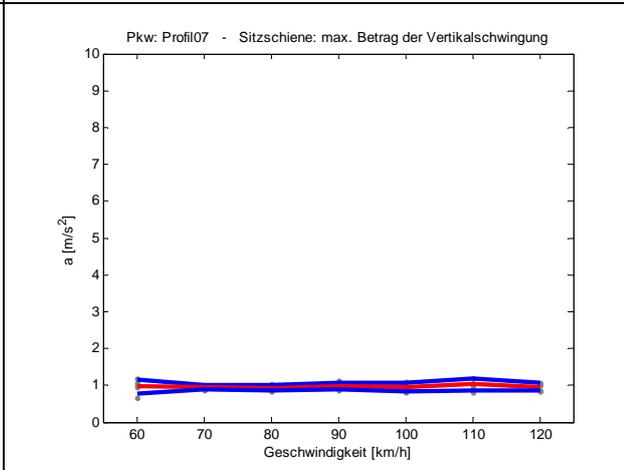
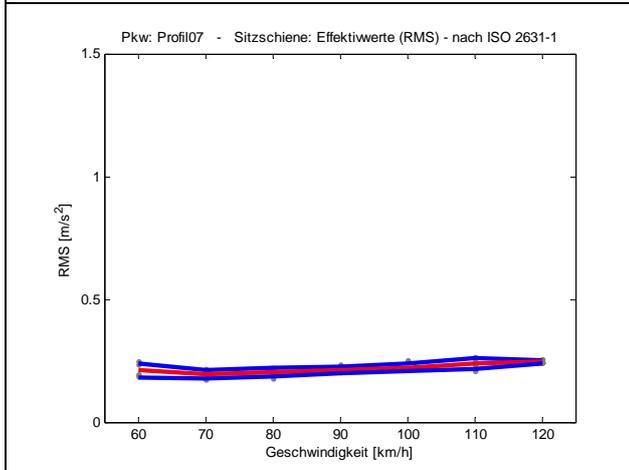
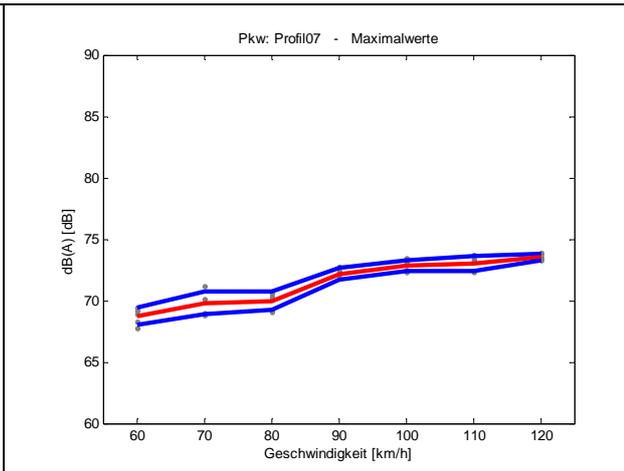
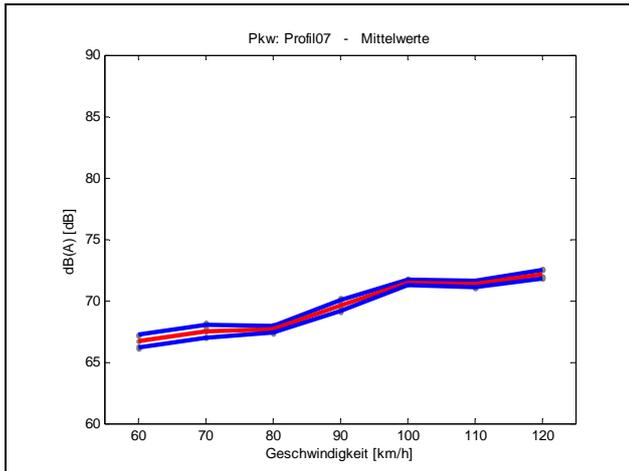
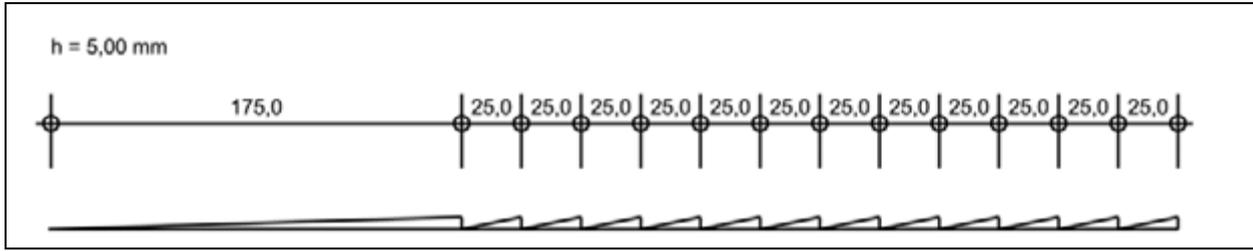
Profil 6 - Lkw - physikalische Größen:



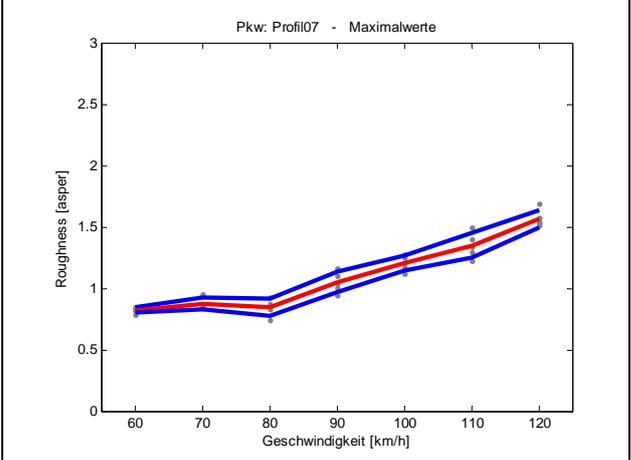
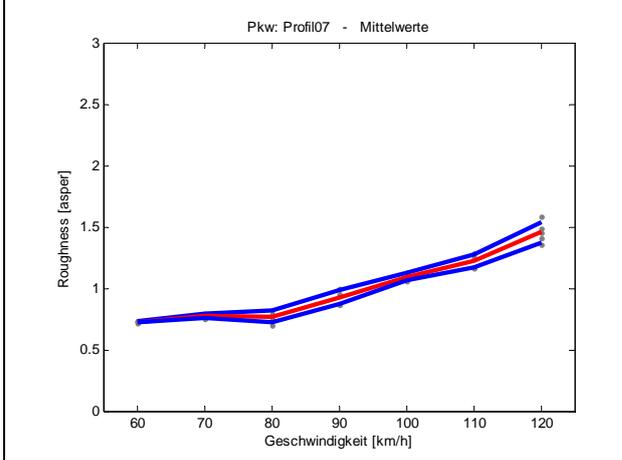
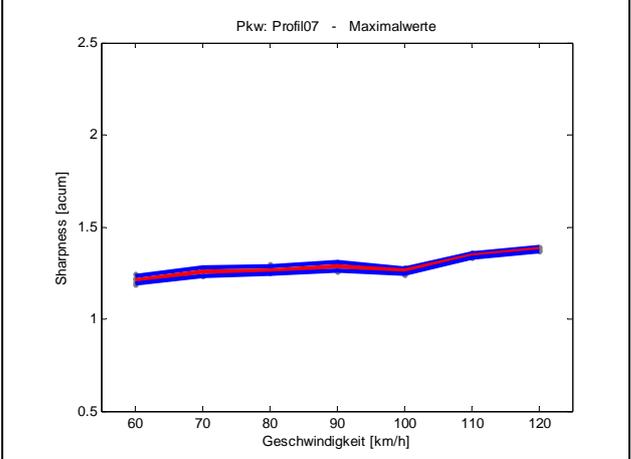
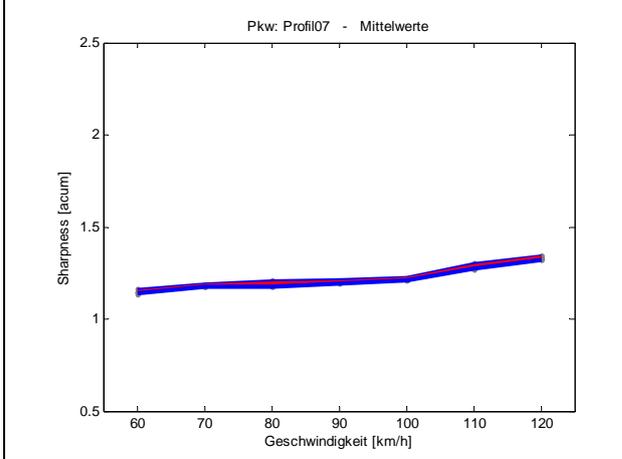
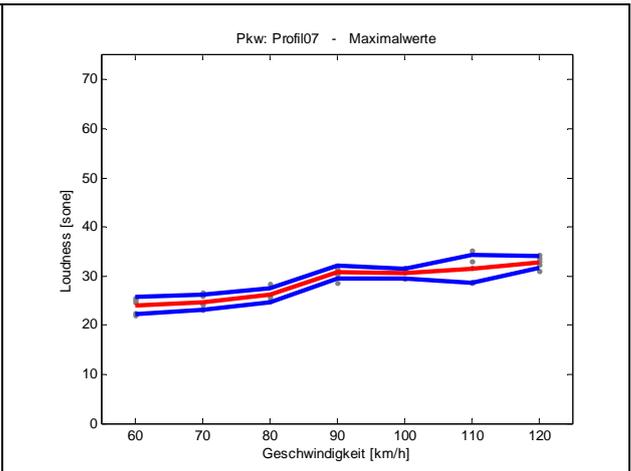
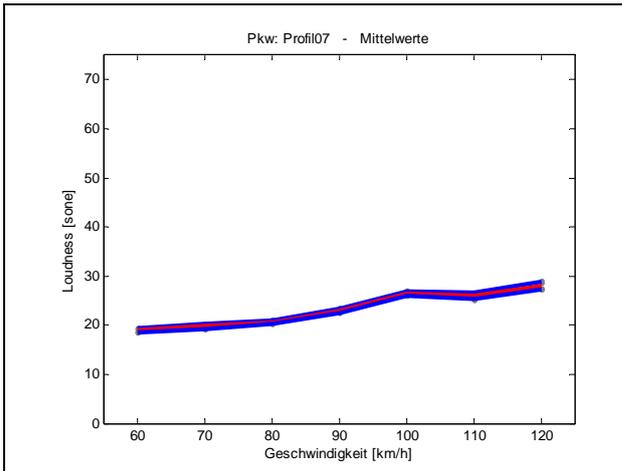
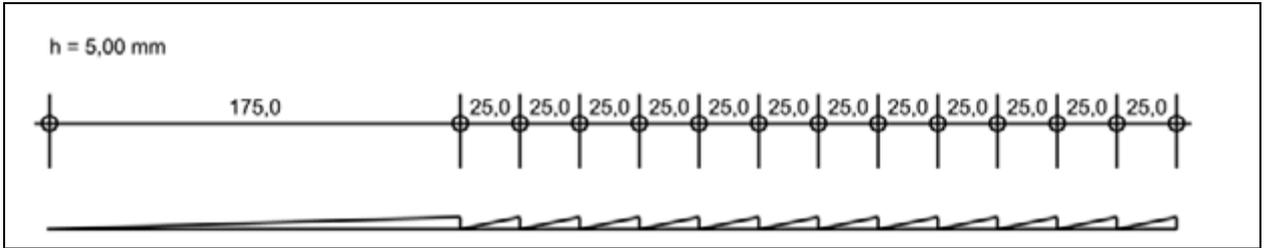
Profil 6 - Lkw - psychoakustische Größen:



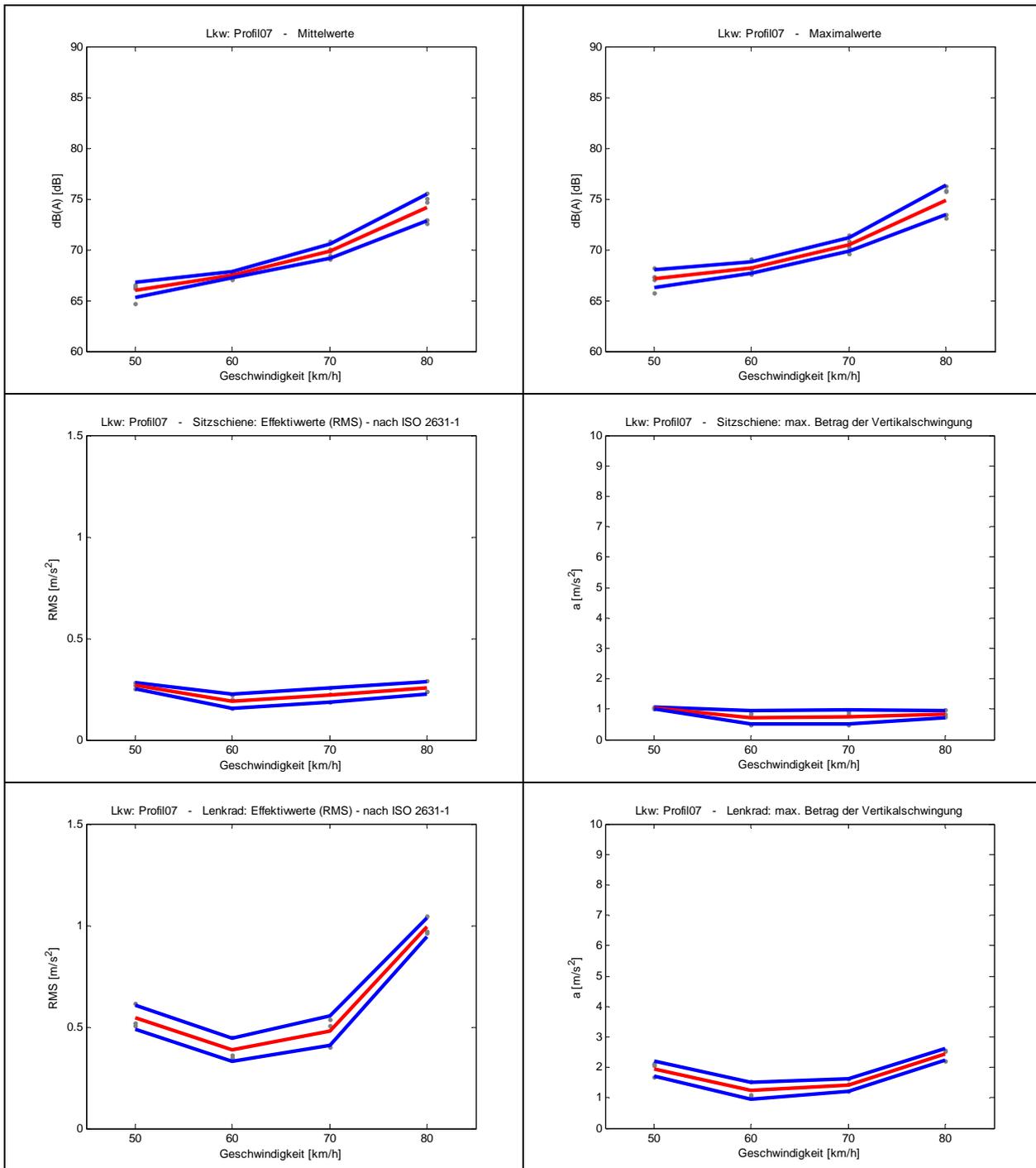
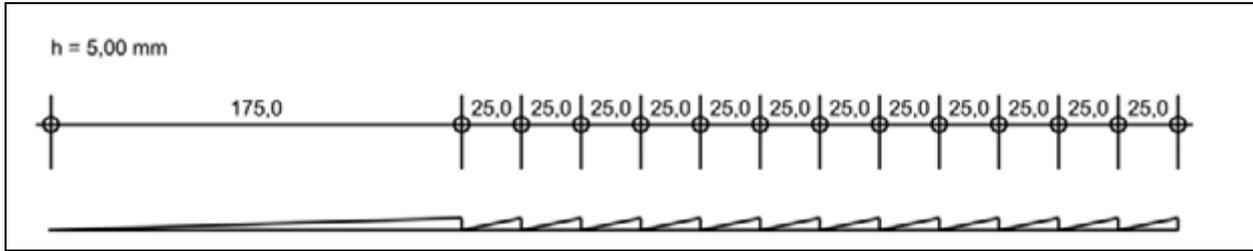
Profil 7 - Pkw - physikalische Größen:



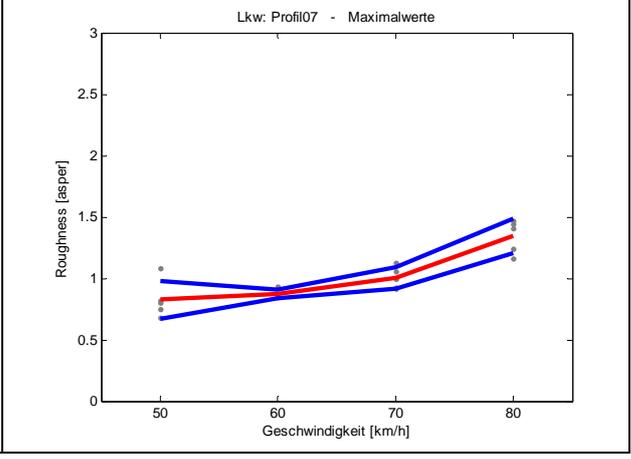
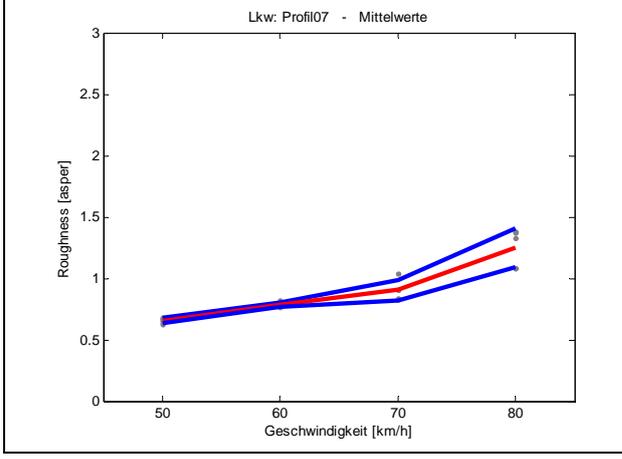
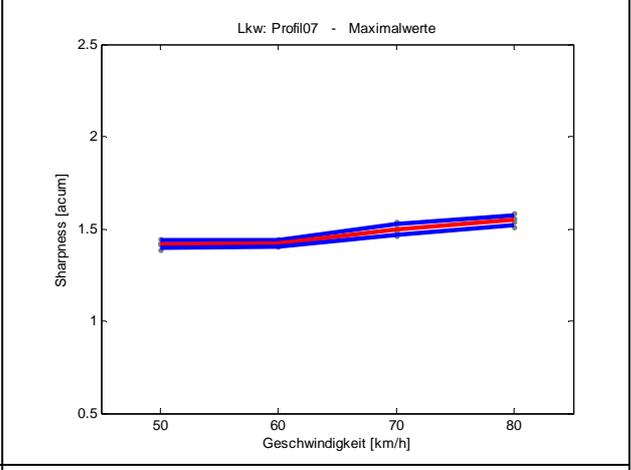
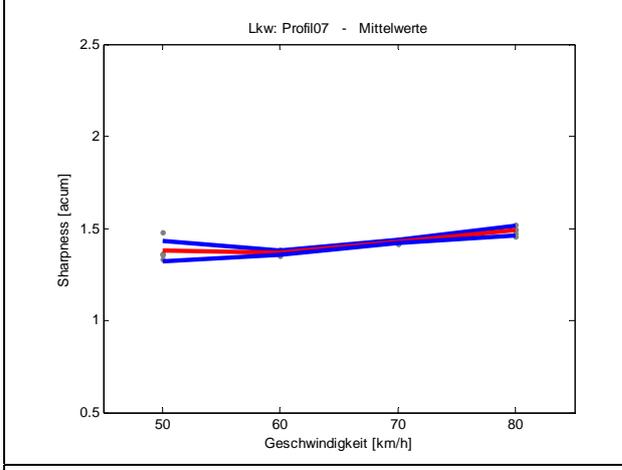
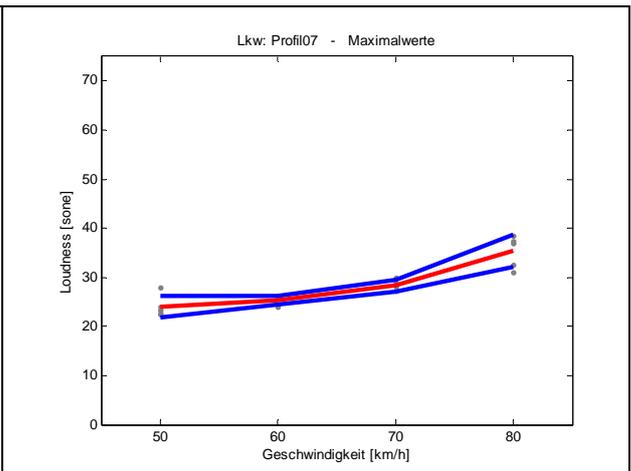
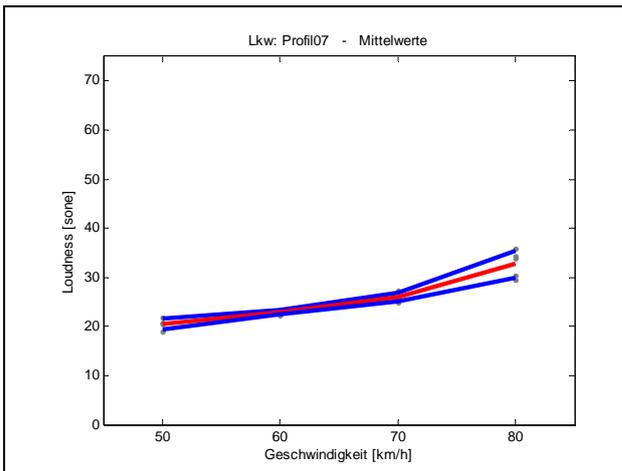
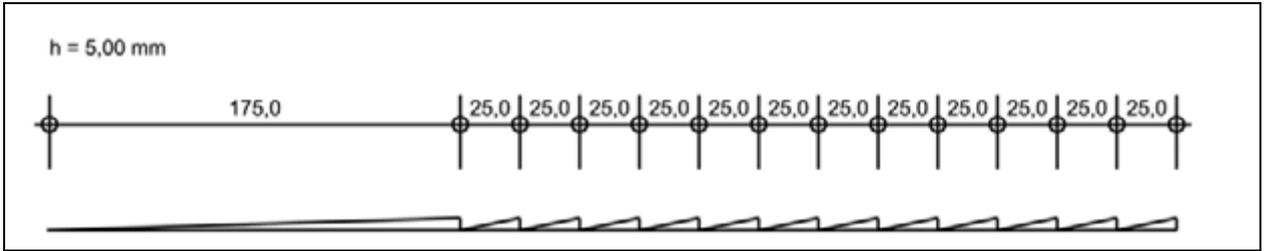
Profil 7 - Pkw - psychoakustische Größen:



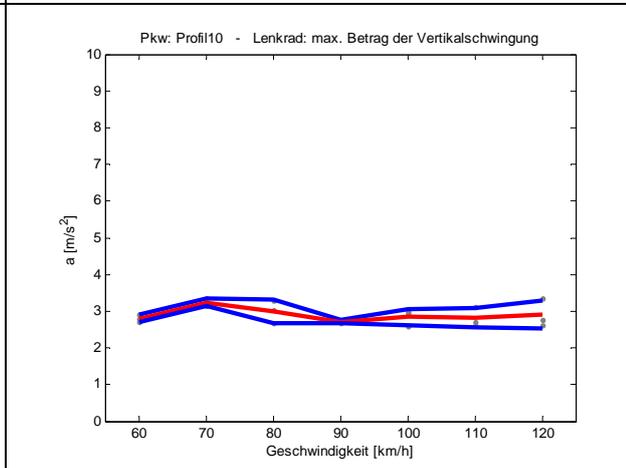
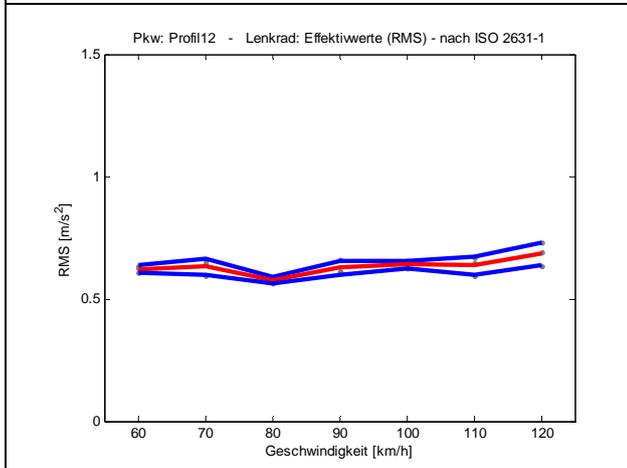
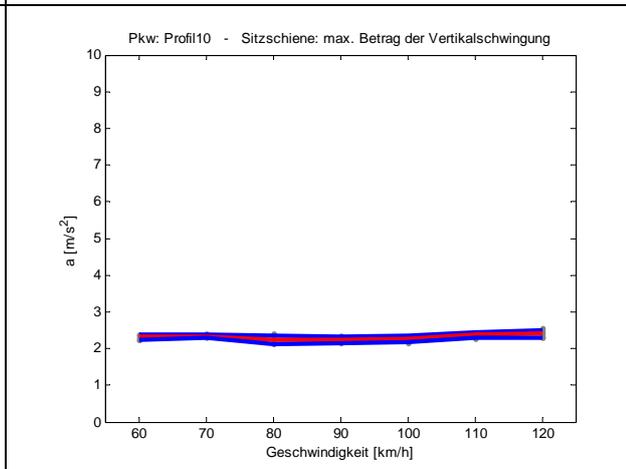
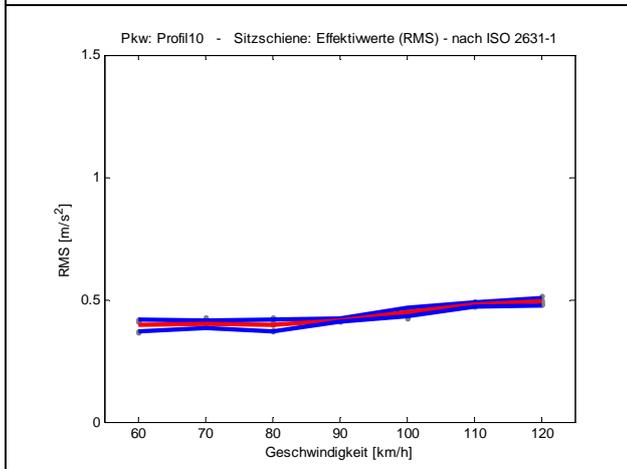
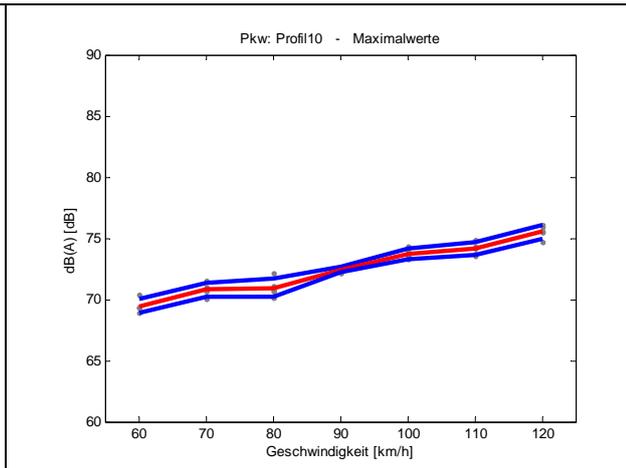
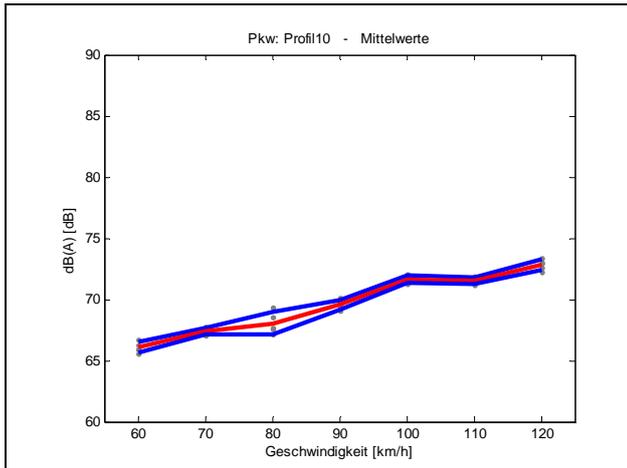
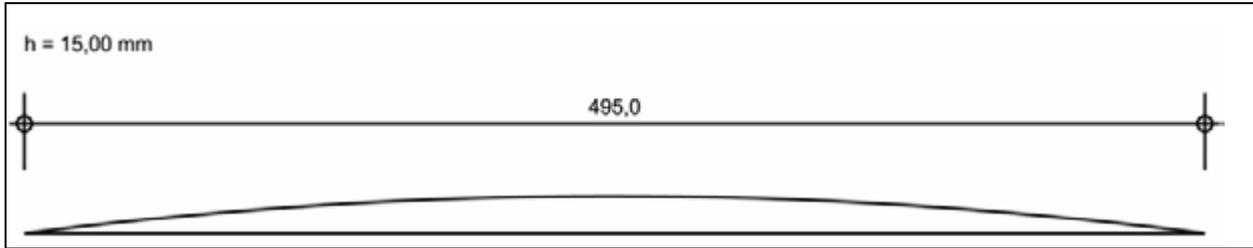
Profil 7 - Lkw - physikalische Größen:



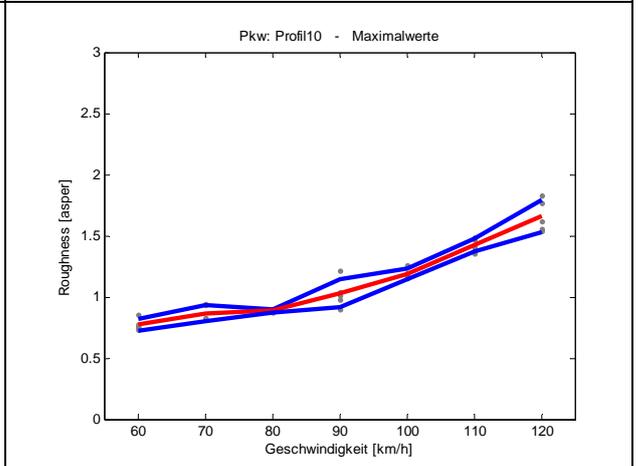
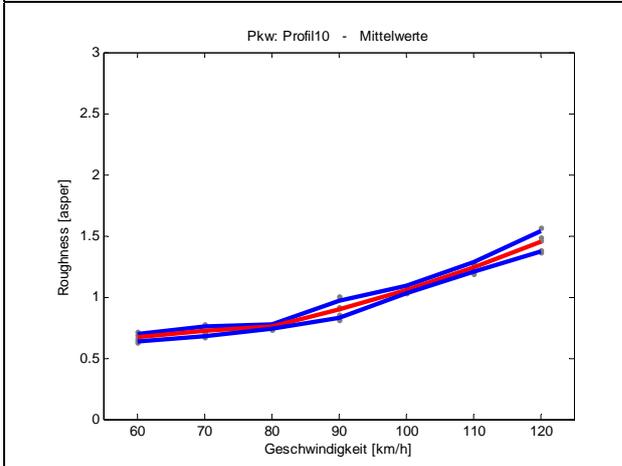
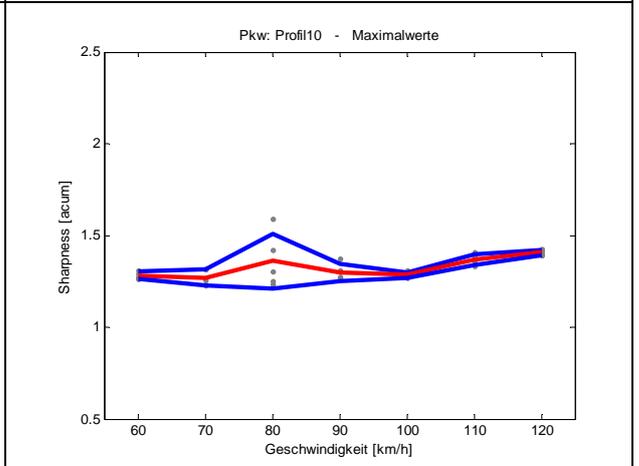
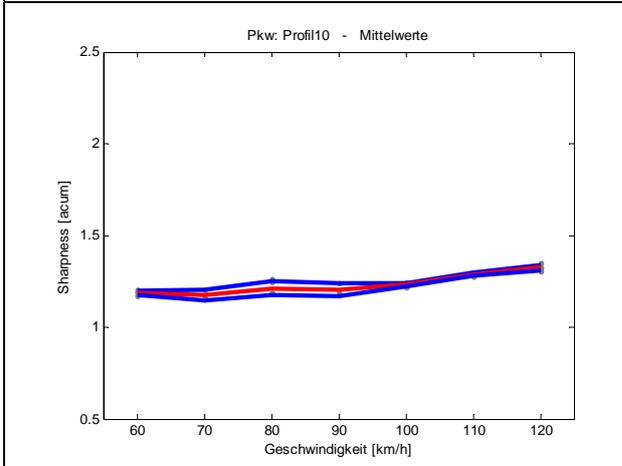
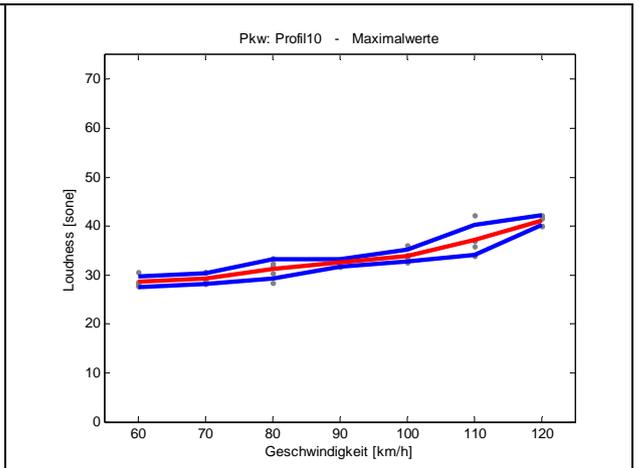
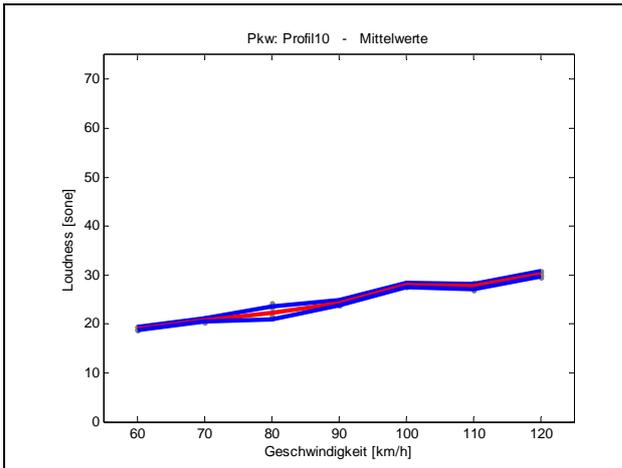
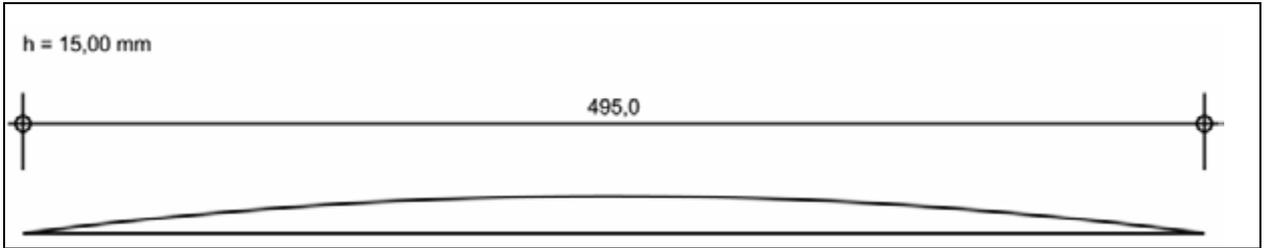
Profil 7 - Lkw - psychoakustische Größen:



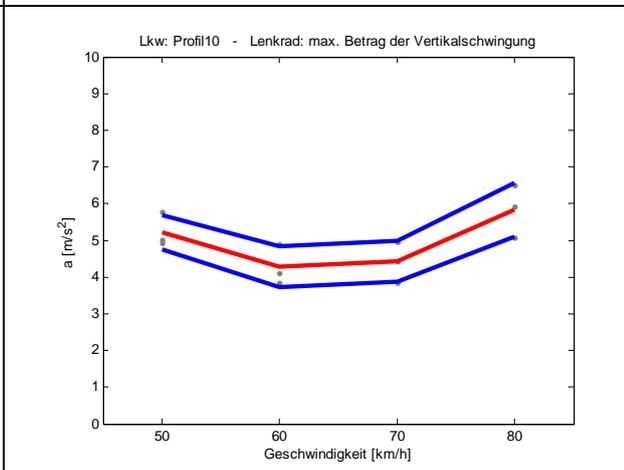
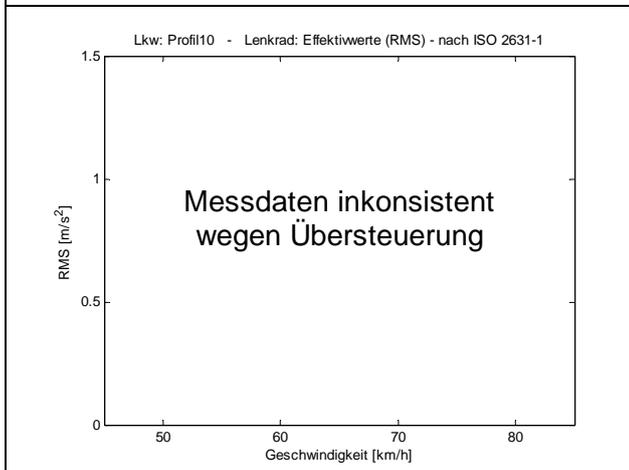
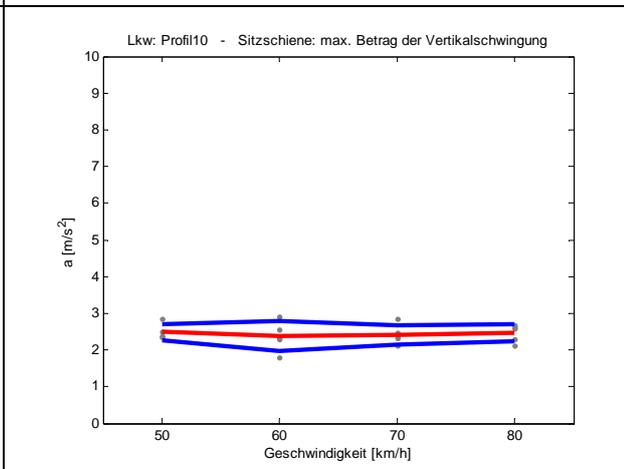
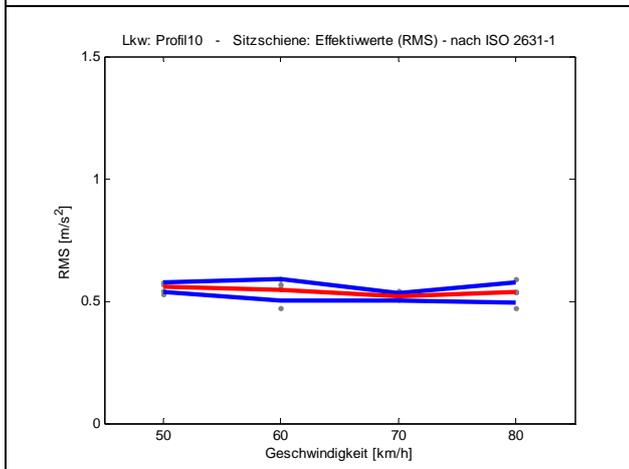
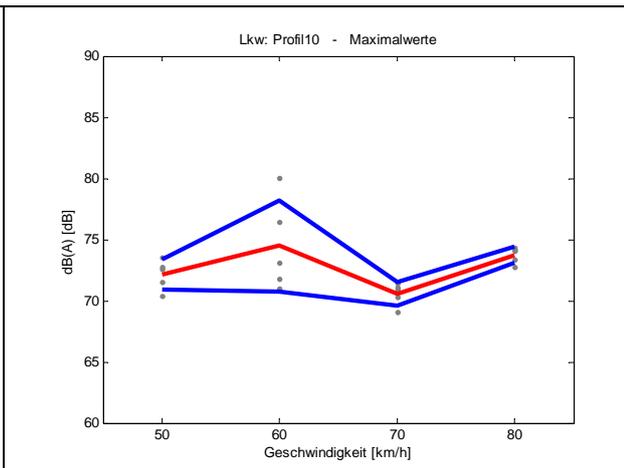
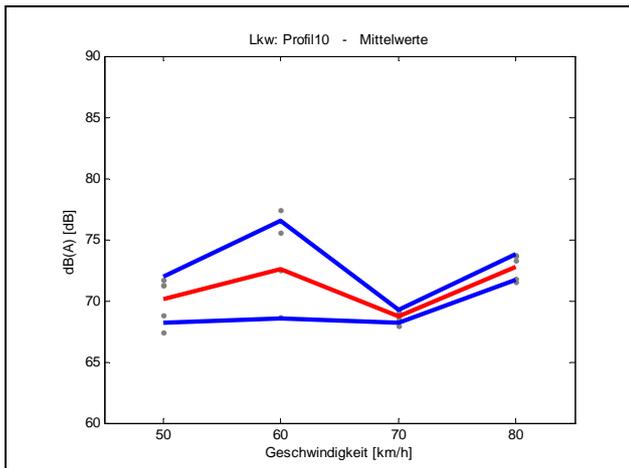
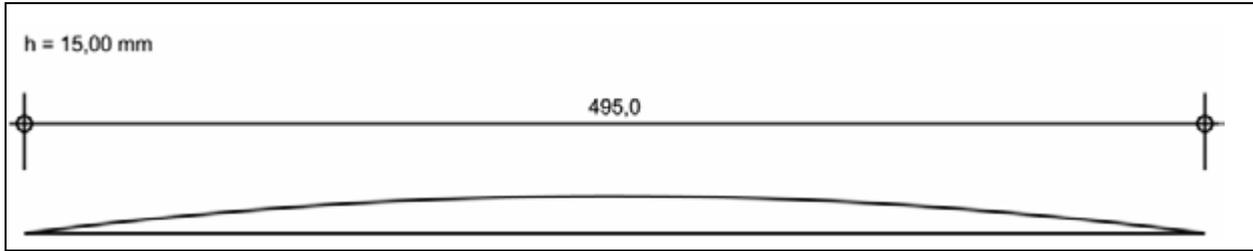
Profil 10 - Pkw - physikalische Größen:



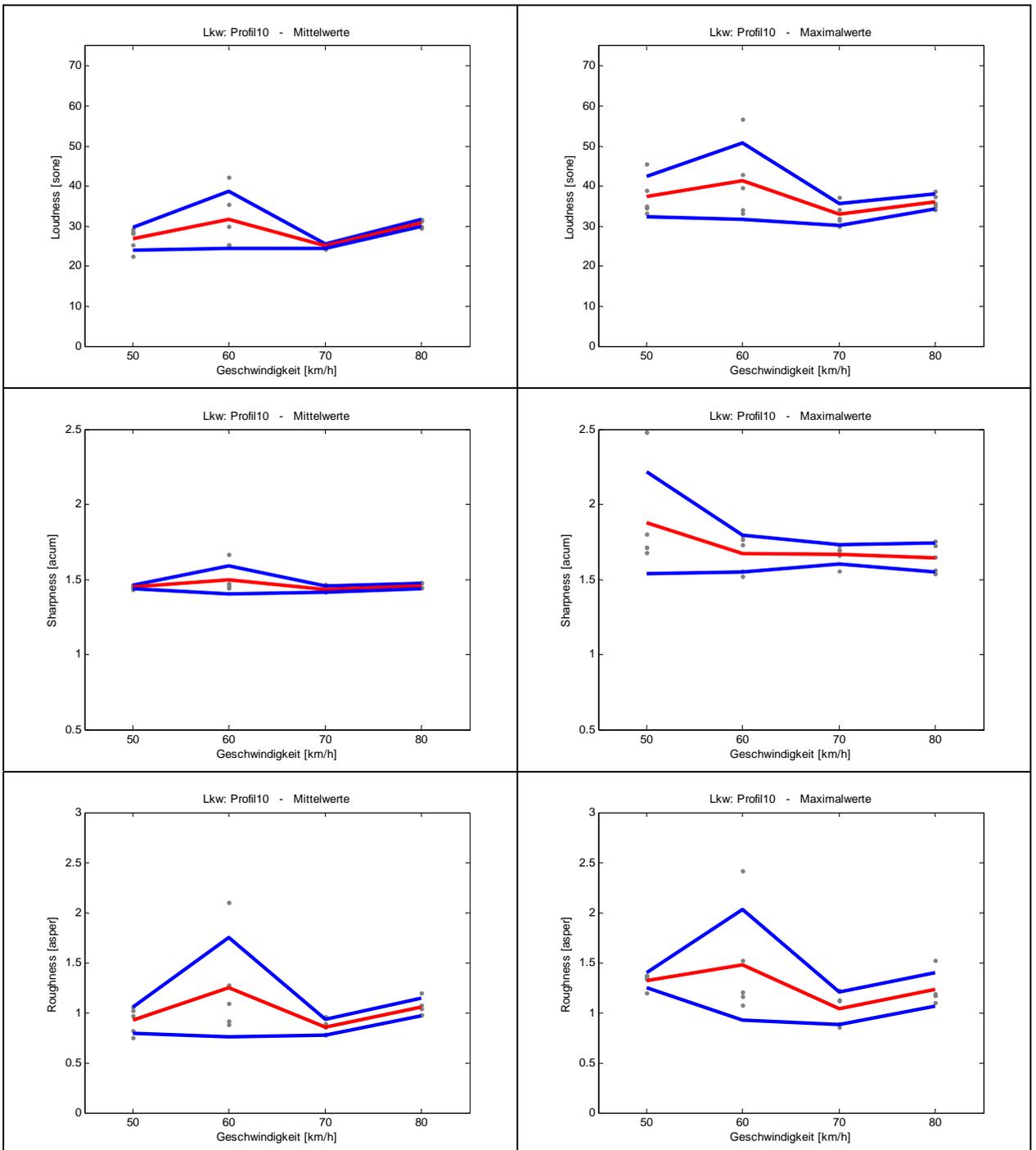
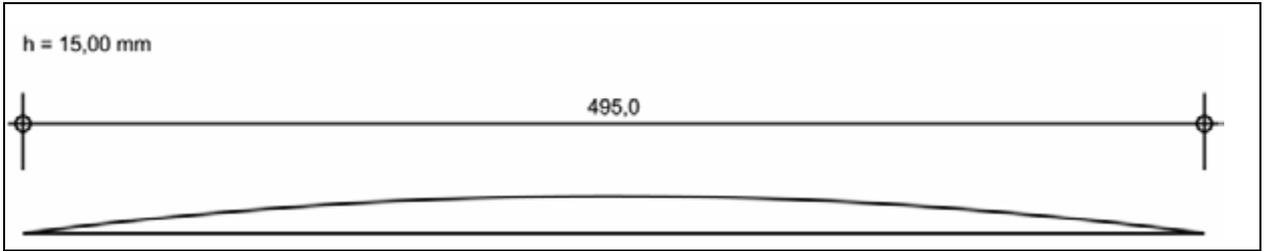
Profil 10 - Pkw - psychoakustische Größen:



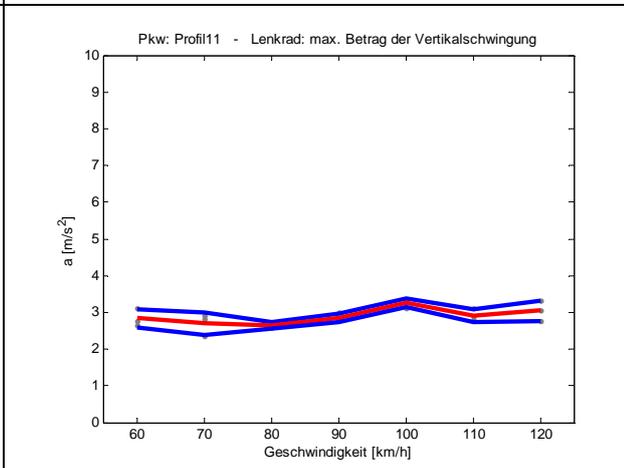
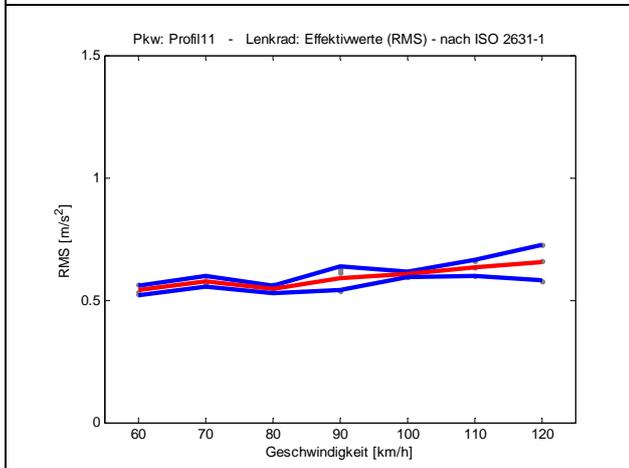
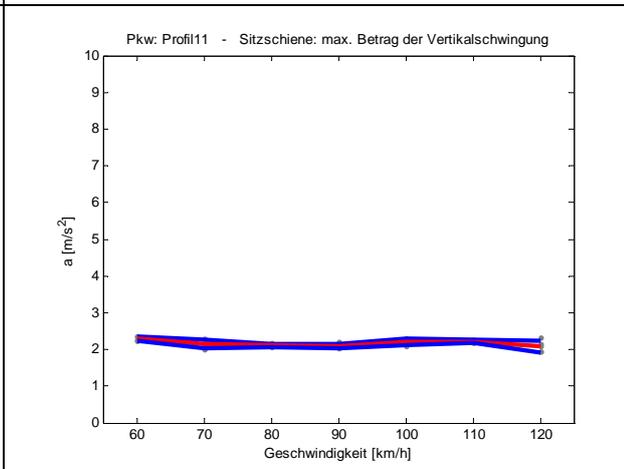
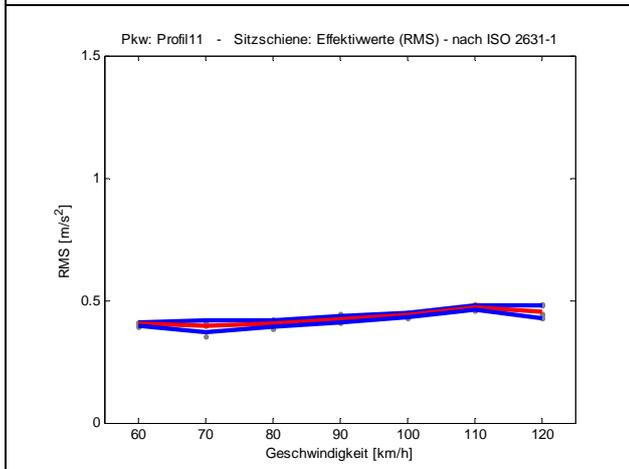
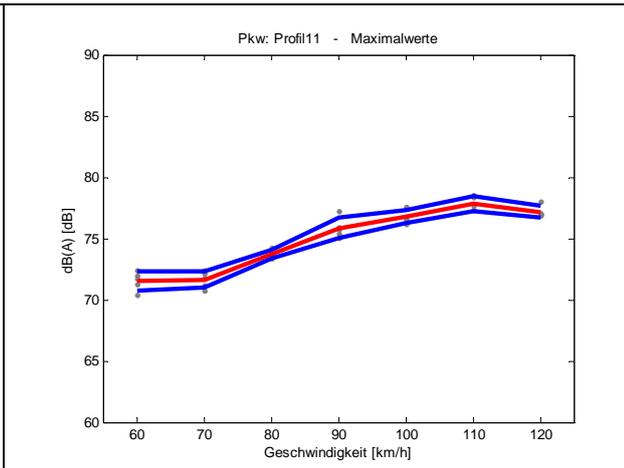
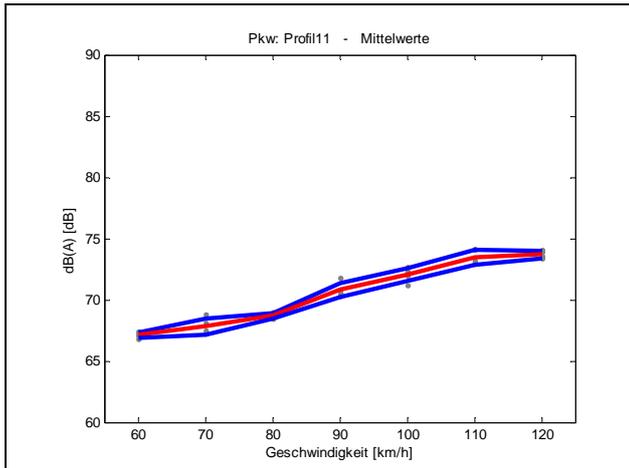
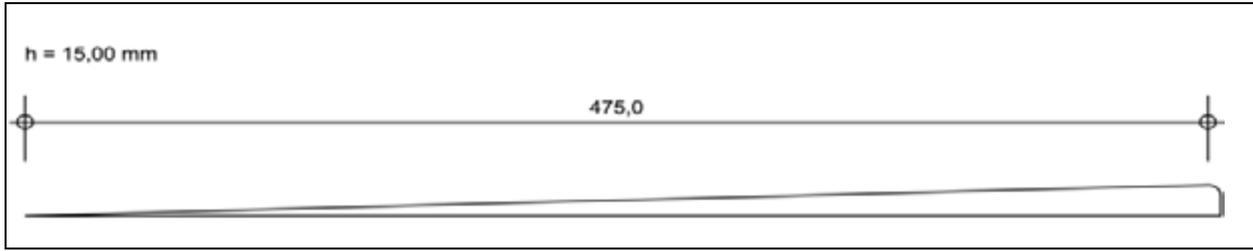
Profil 10 - Lkw - physikalische Größen:



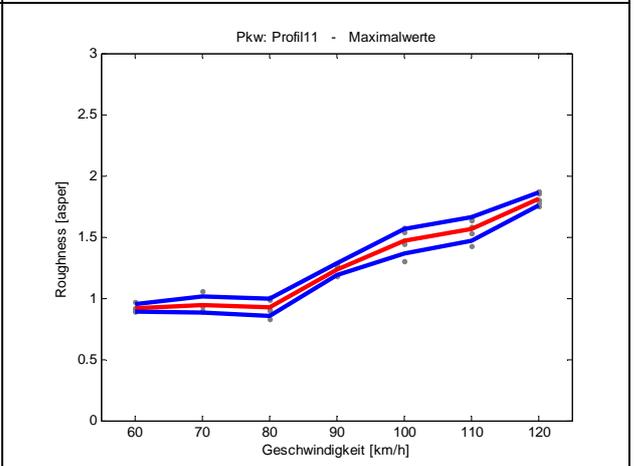
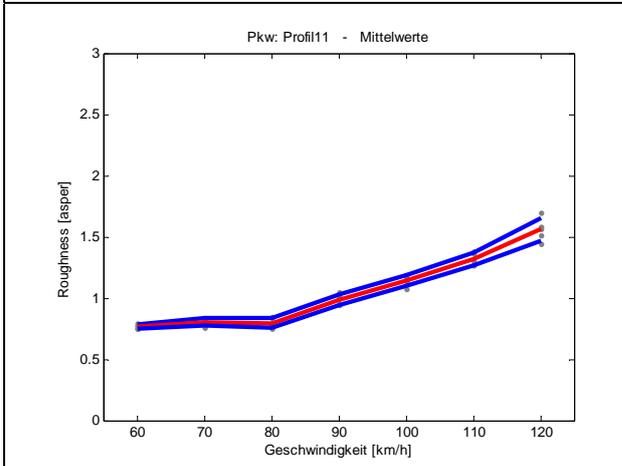
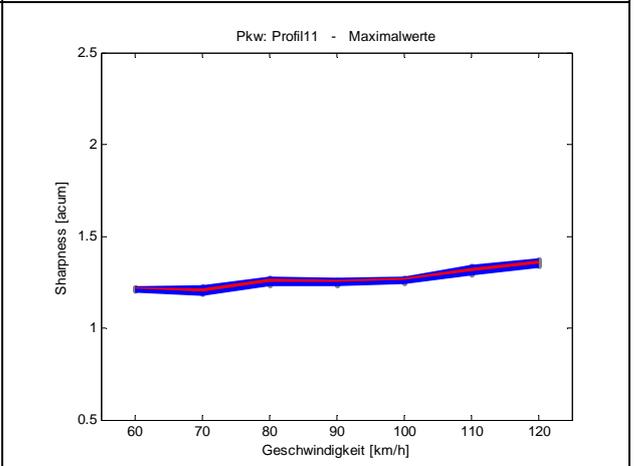
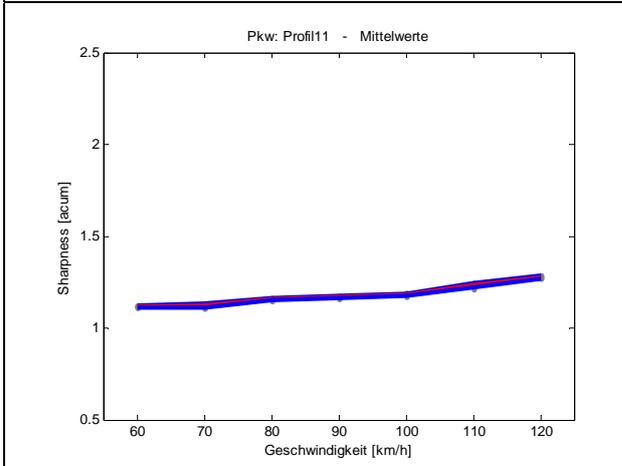
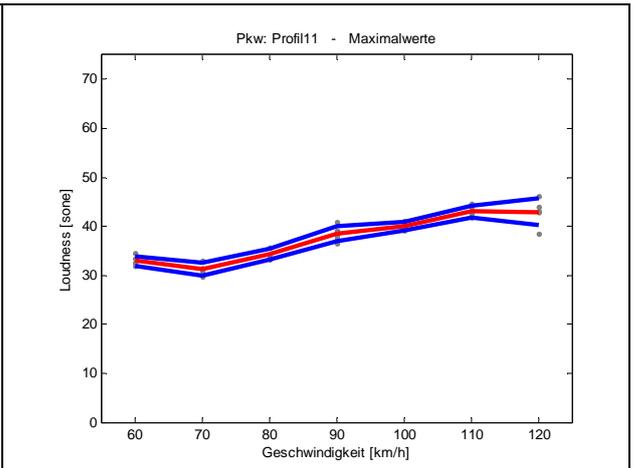
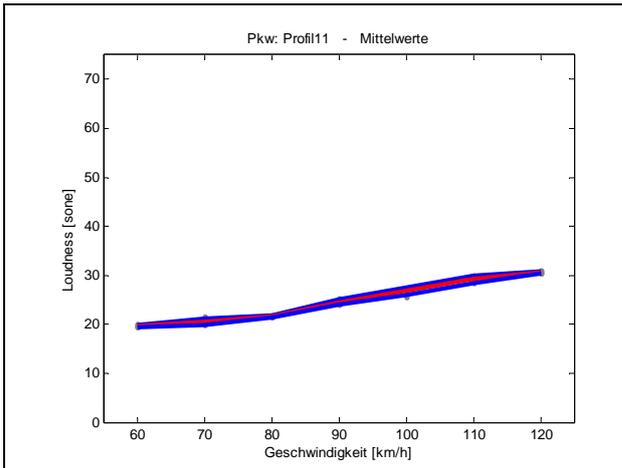
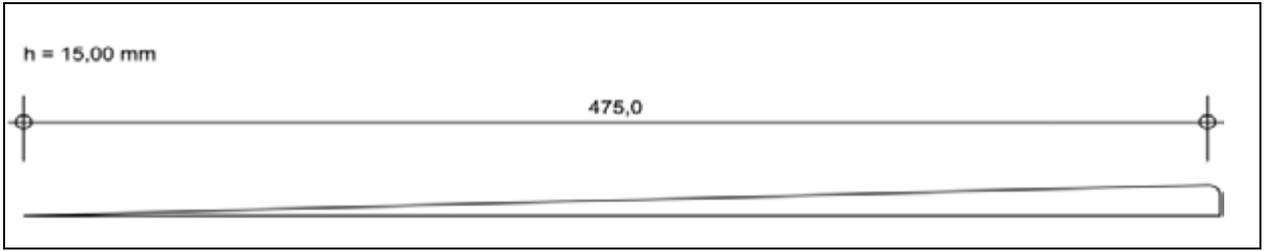
Profil 10 - Lkw - psychoakustische Größen:



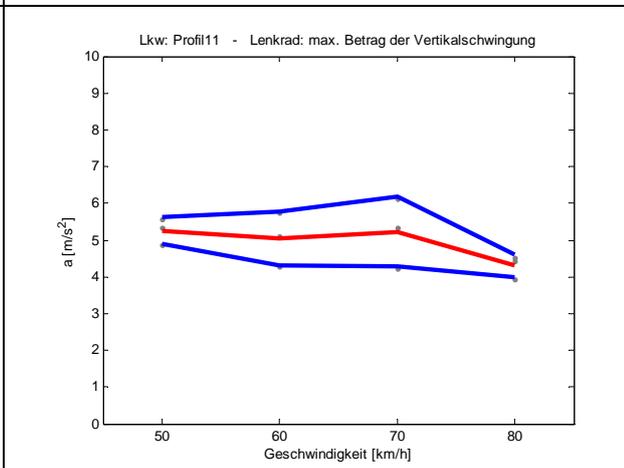
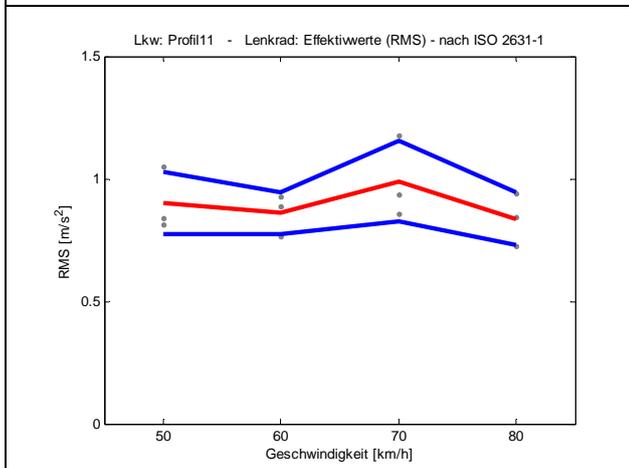
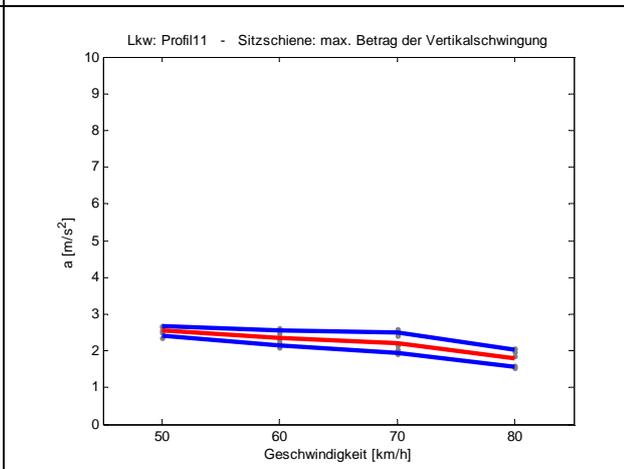
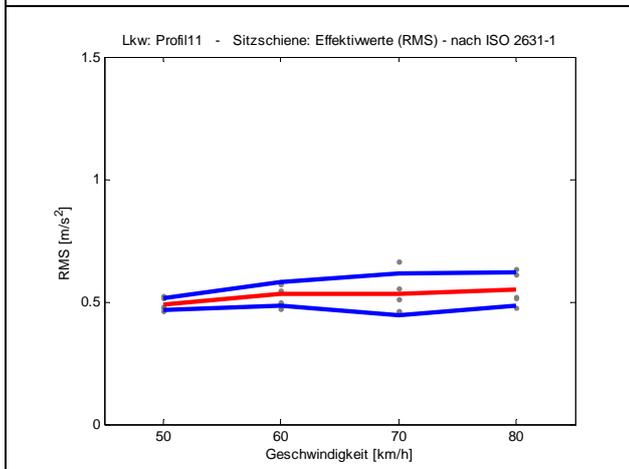
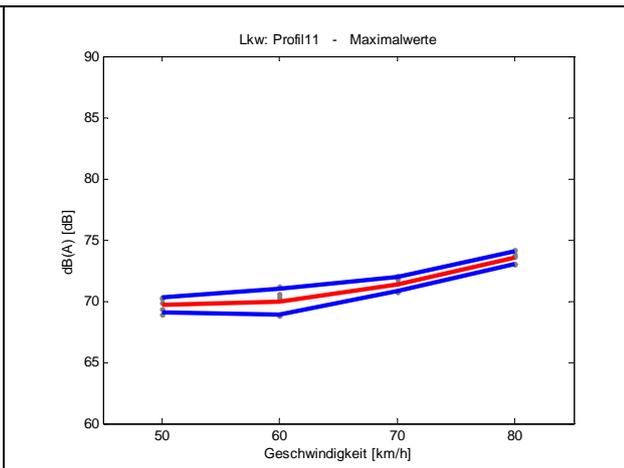
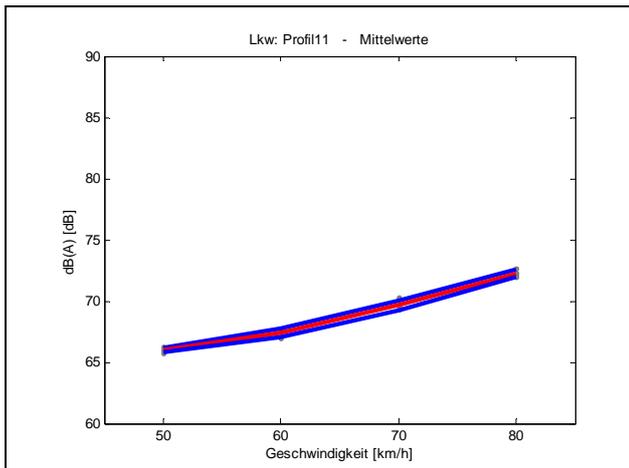
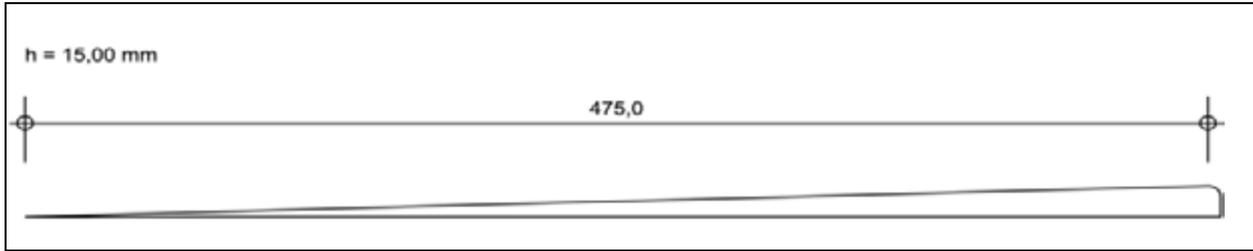
Profil 11 - Pkw - physikalische Größen:



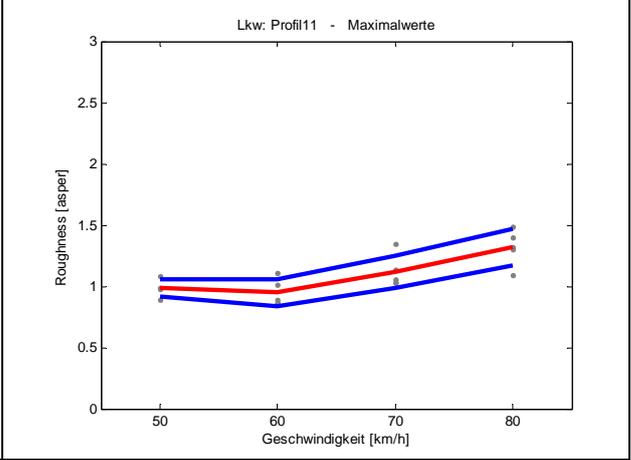
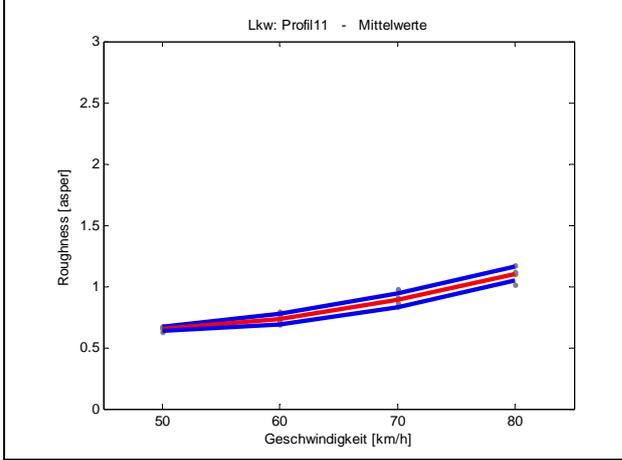
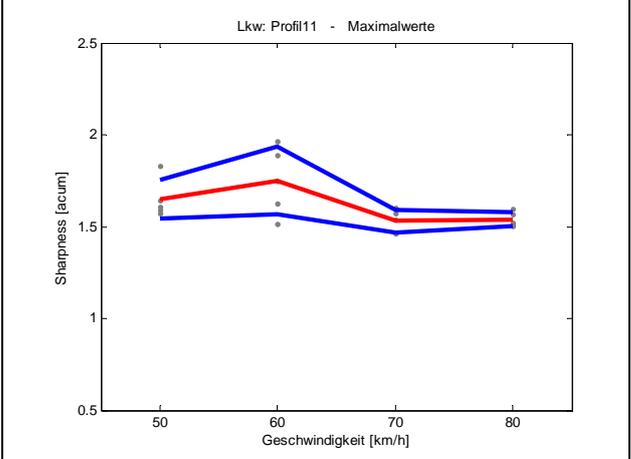
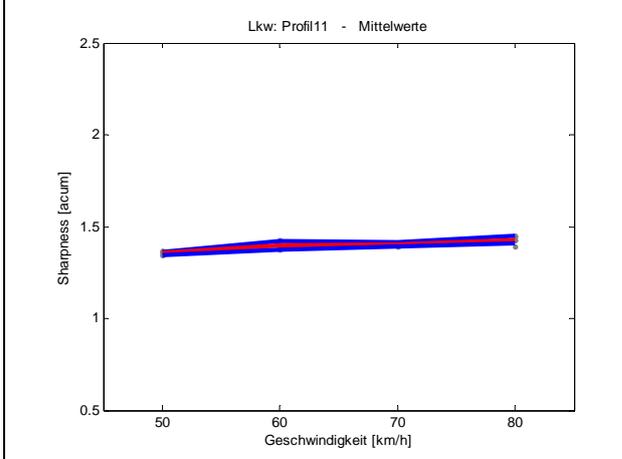
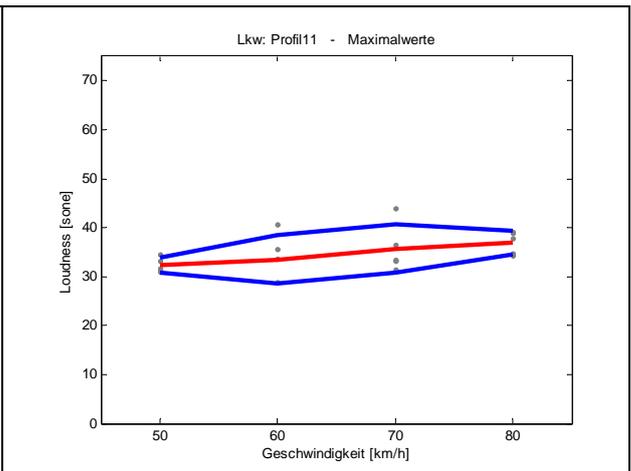
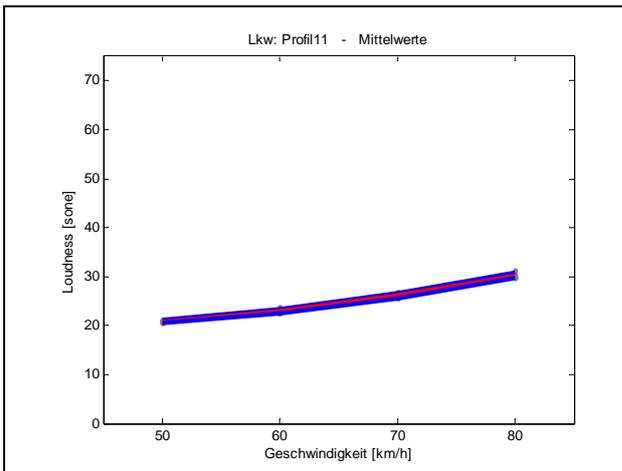
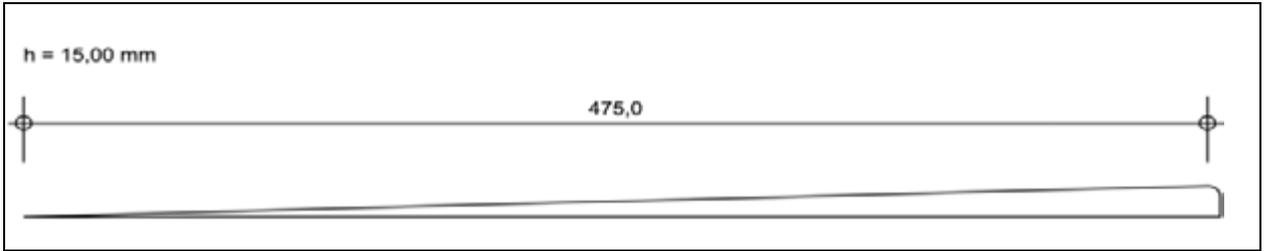
Profil 11 - Pkw - psychoakustische Größen:



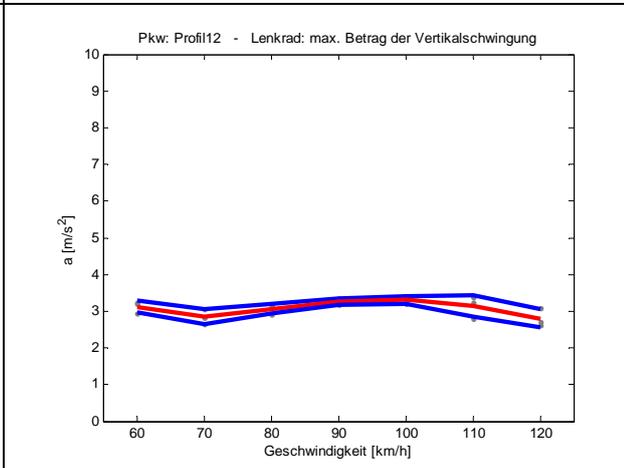
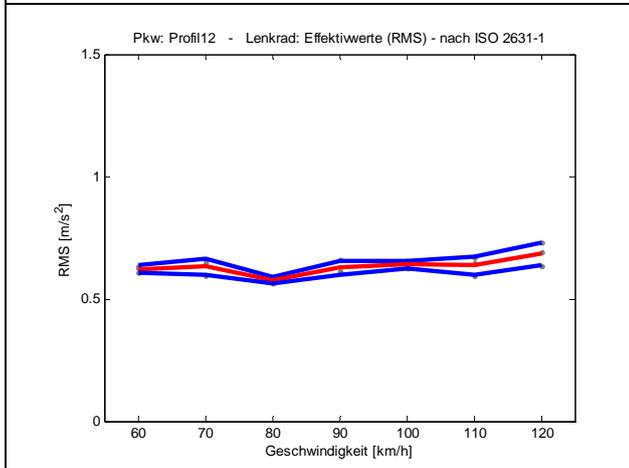
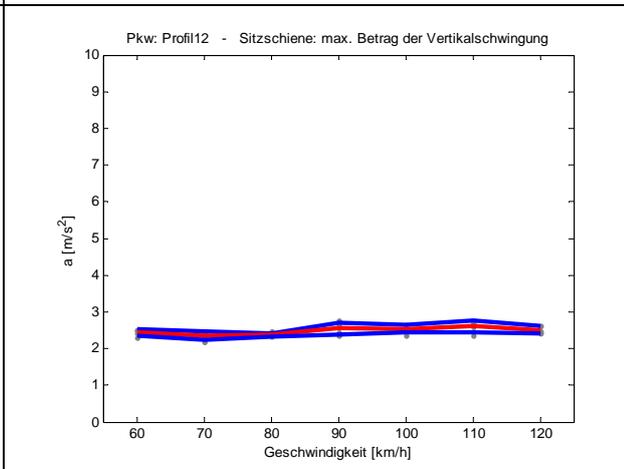
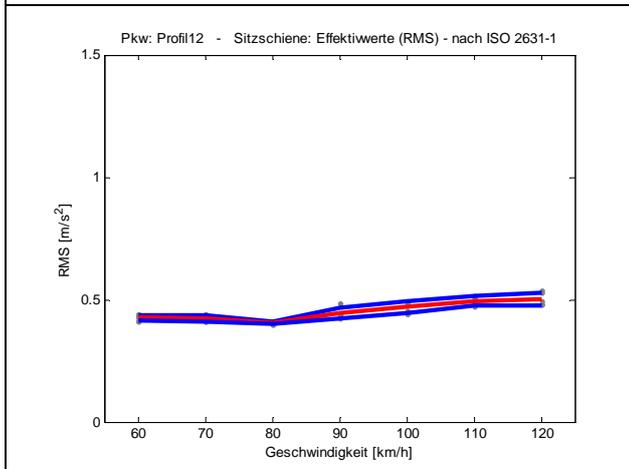
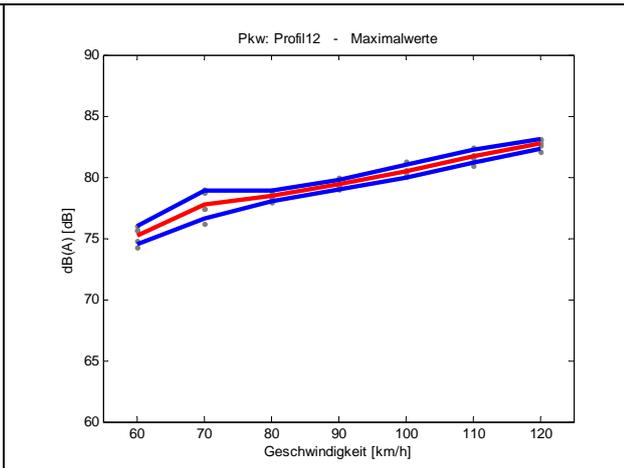
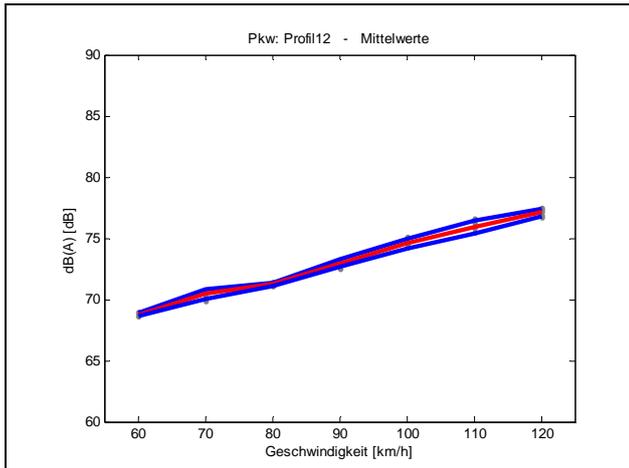
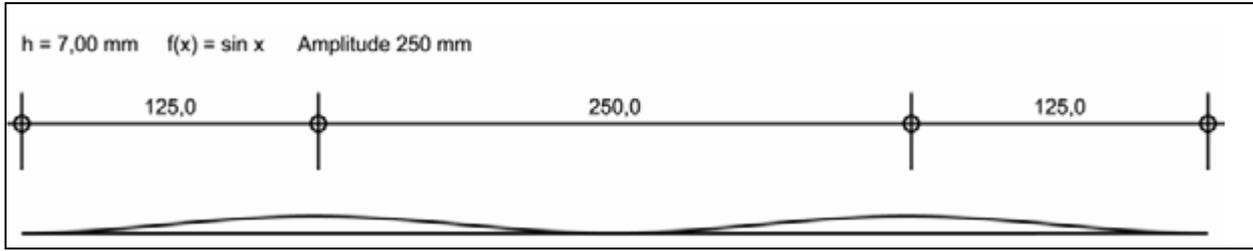
Profil 11 - Lkw - physikalische Größen:



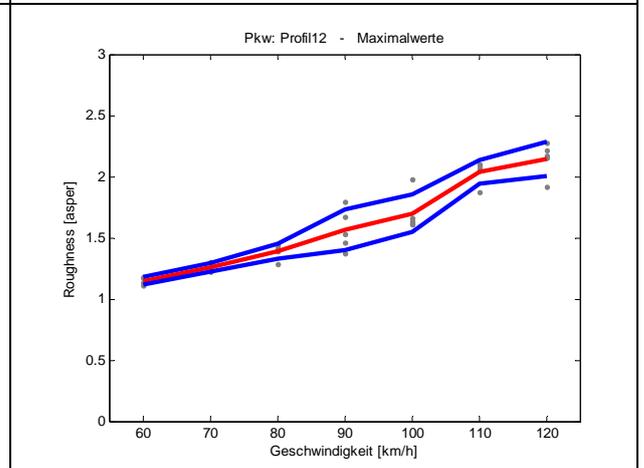
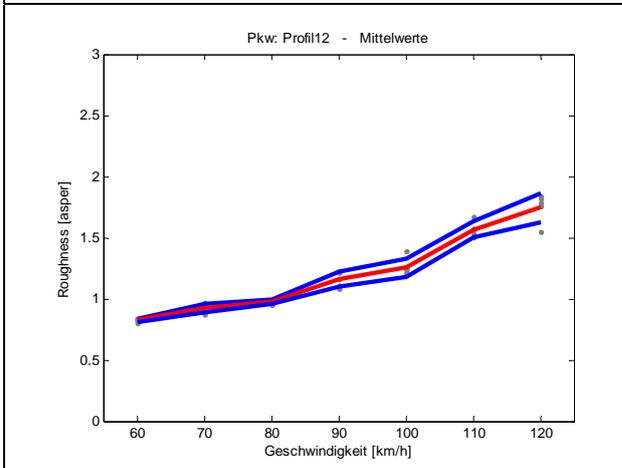
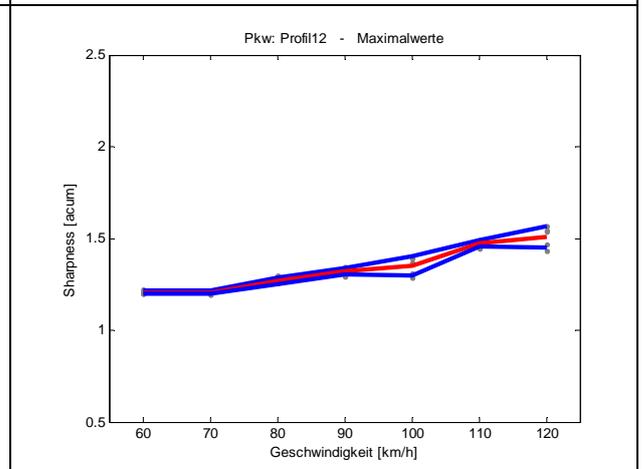
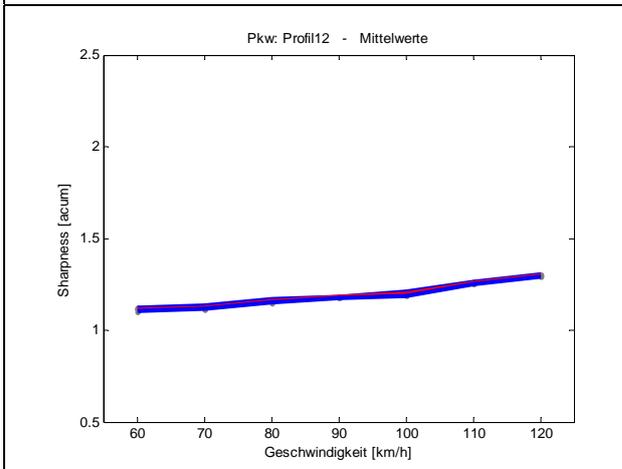
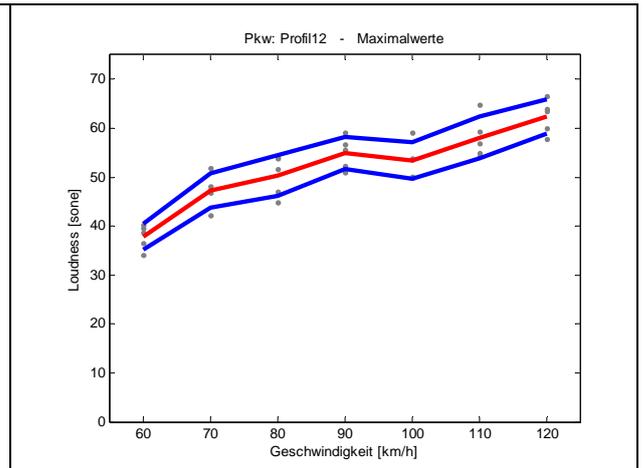
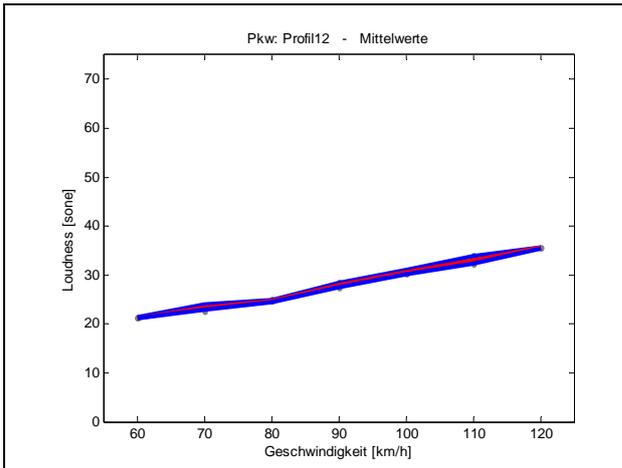
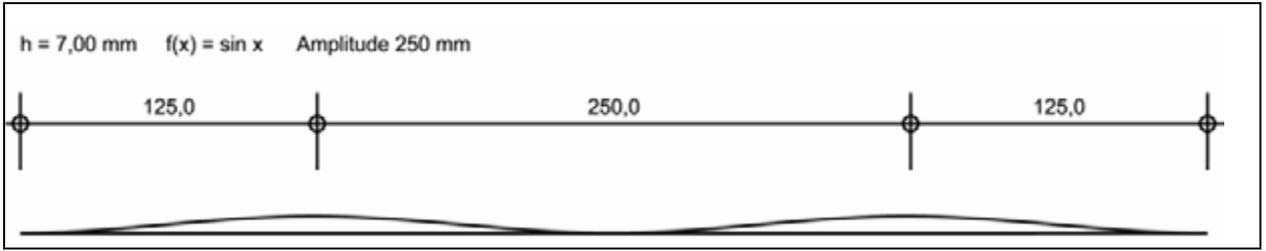
Profil 11 - Lkw - psychoakustische Größen:



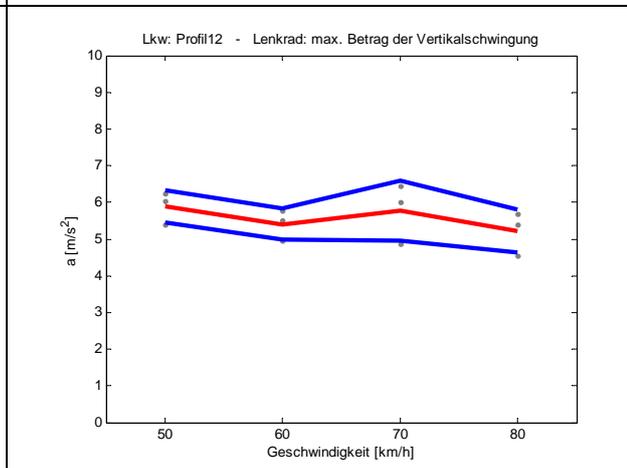
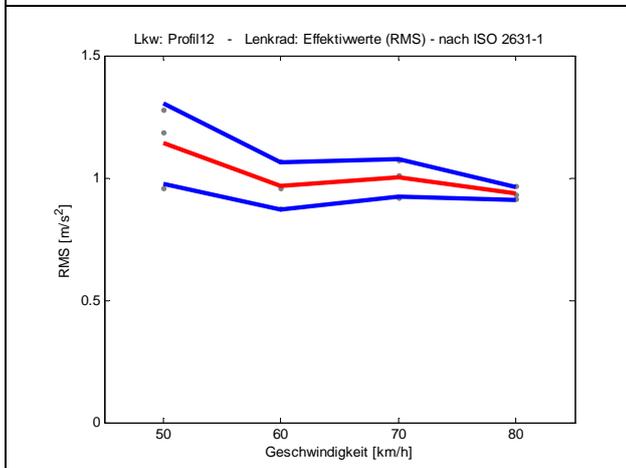
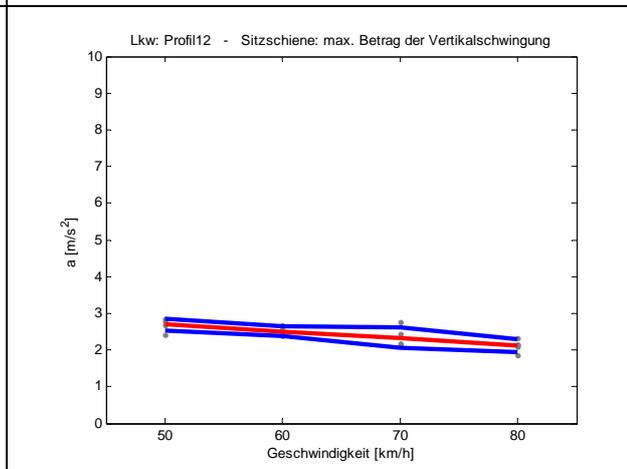
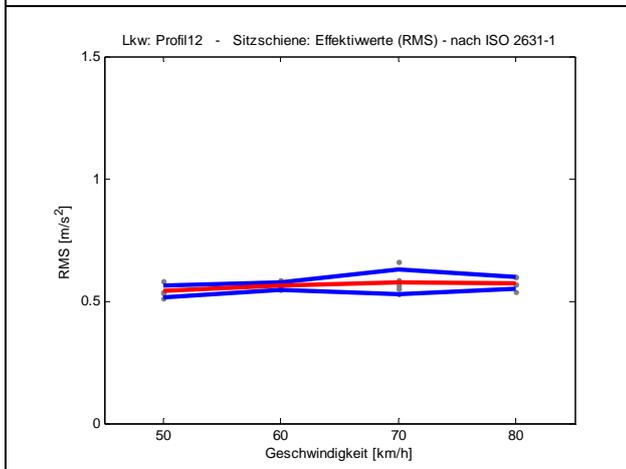
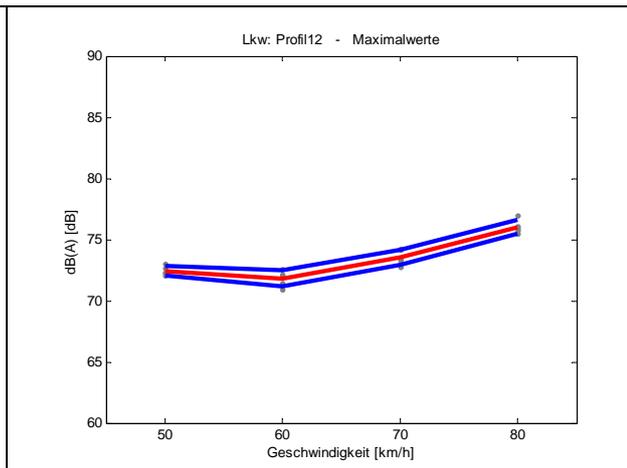
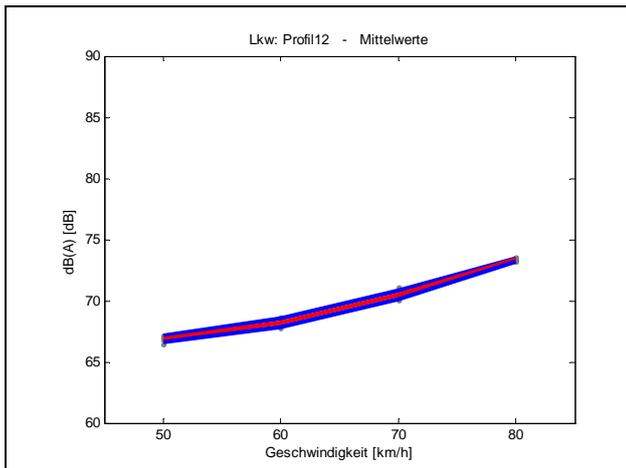
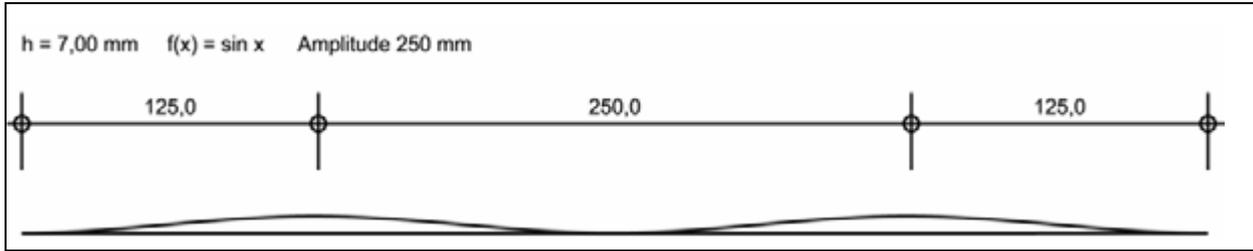
Profil 12 - Pkw - physikalische Größen:



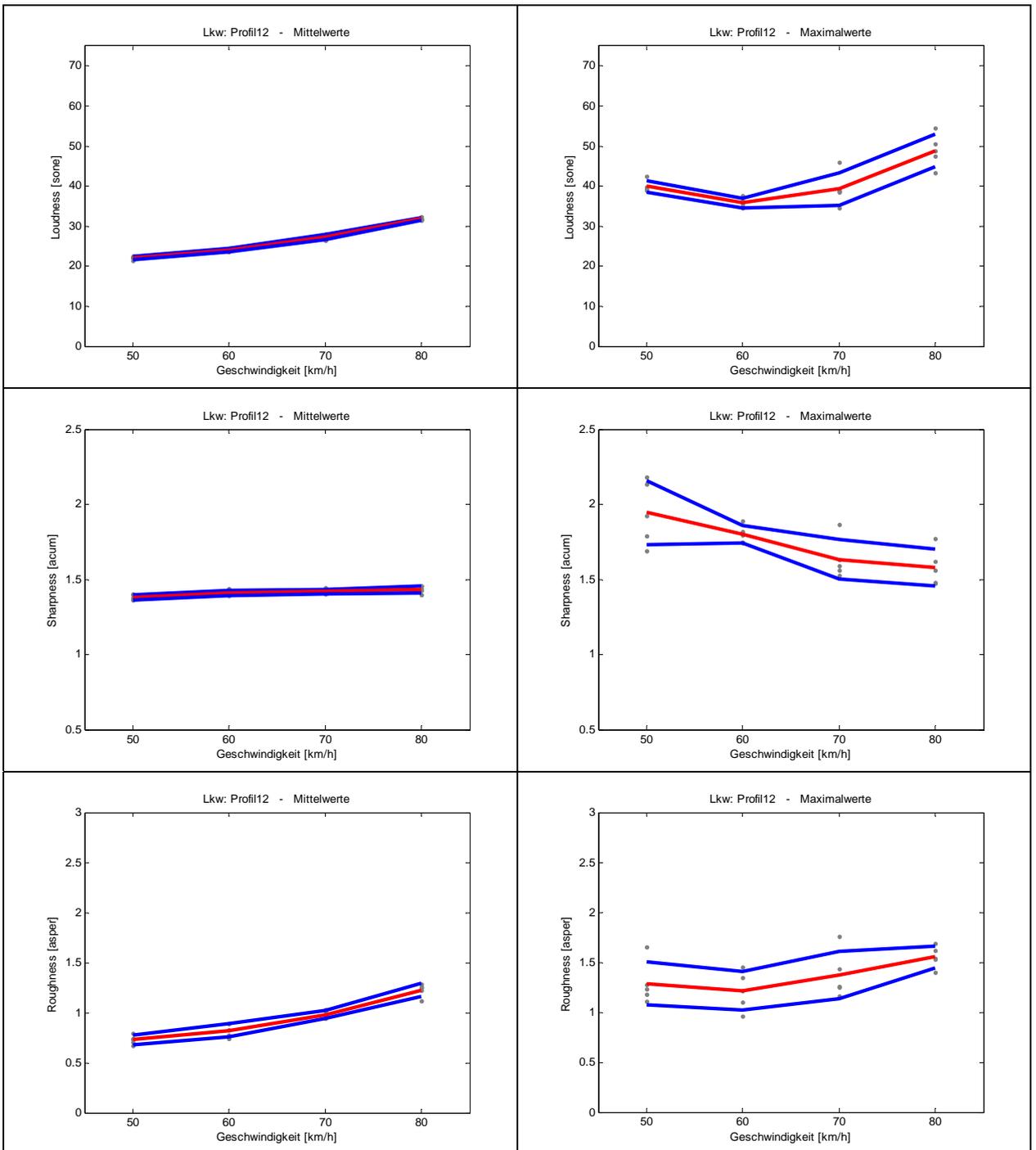
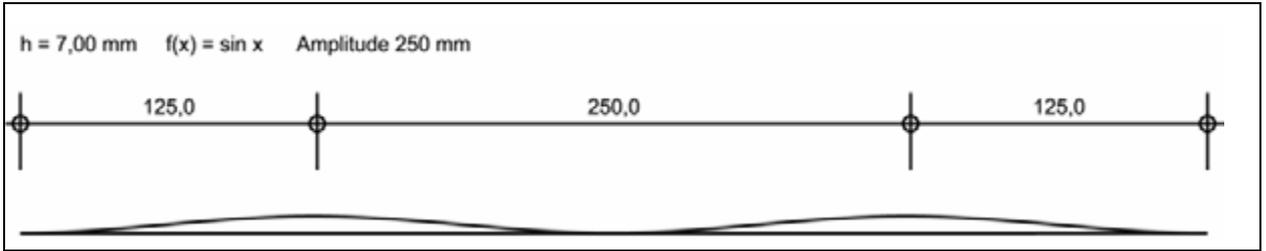
Profil 12 - Pkw - psychoakustische Größen:



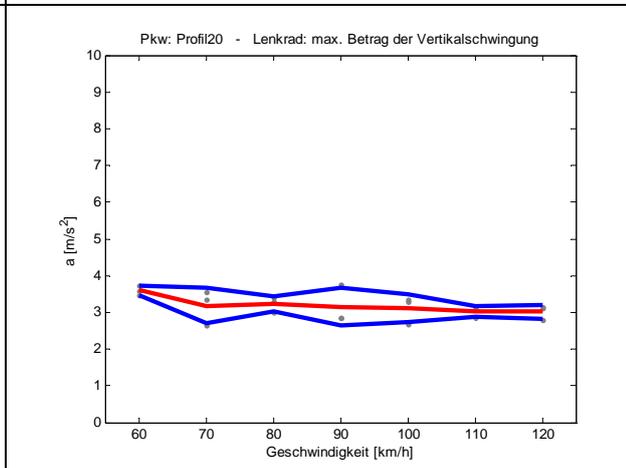
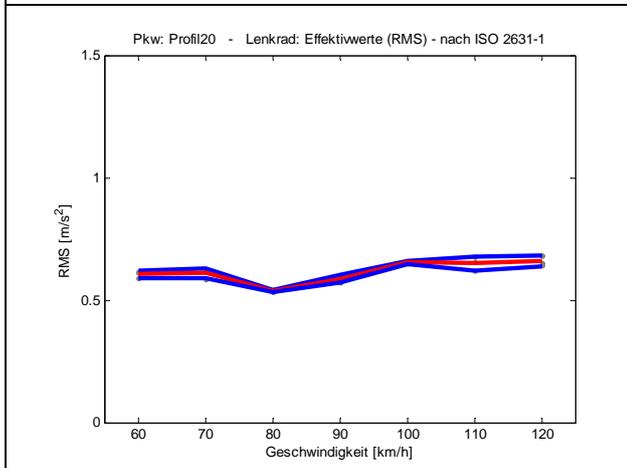
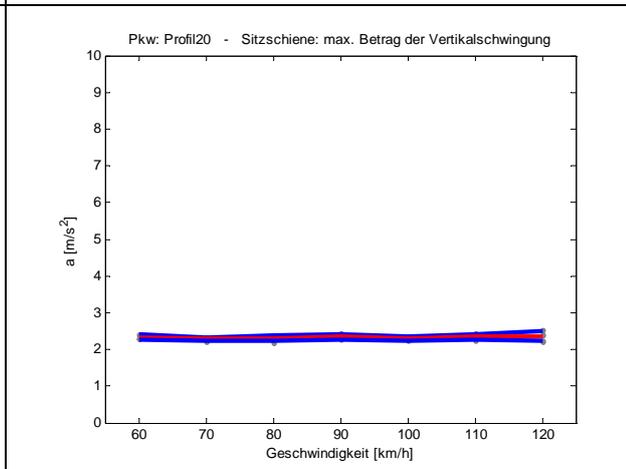
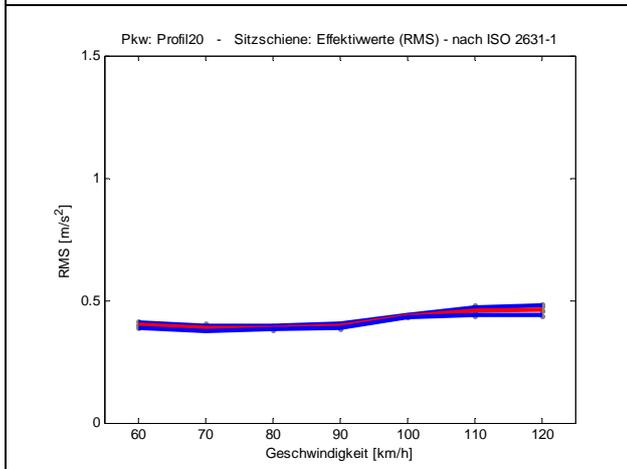
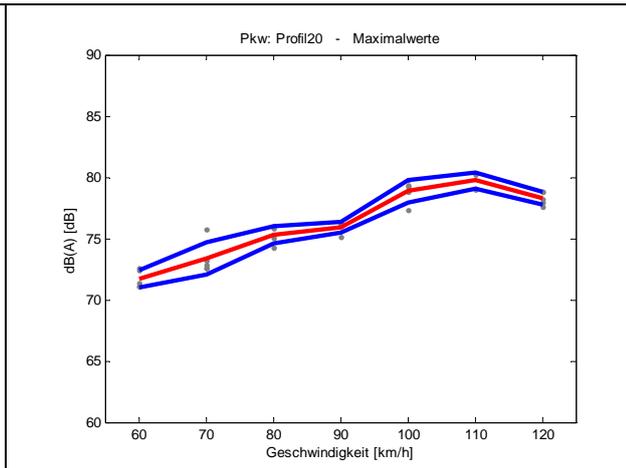
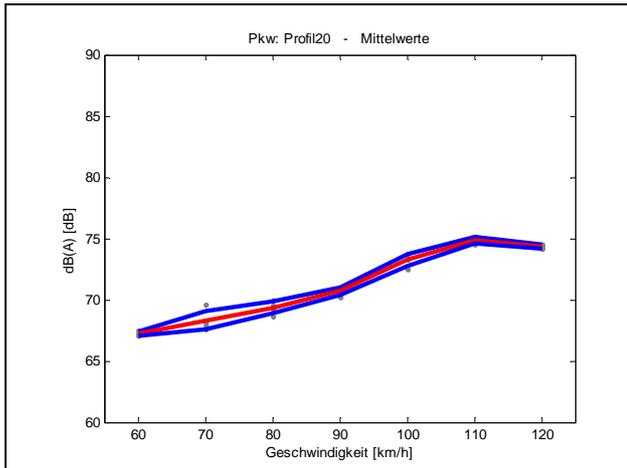
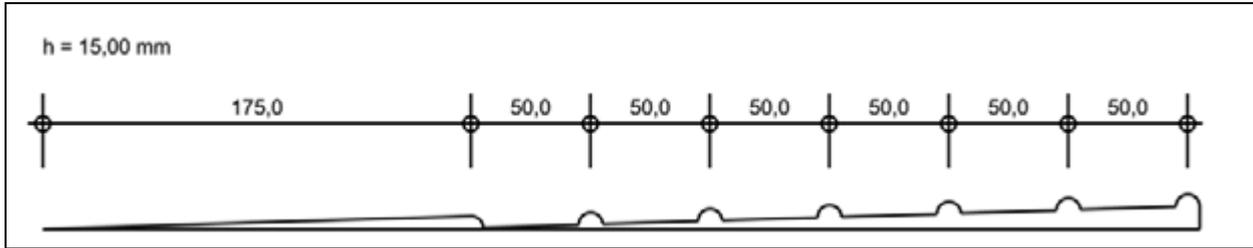
Profil 12 - Lkw - physikalische Größen:



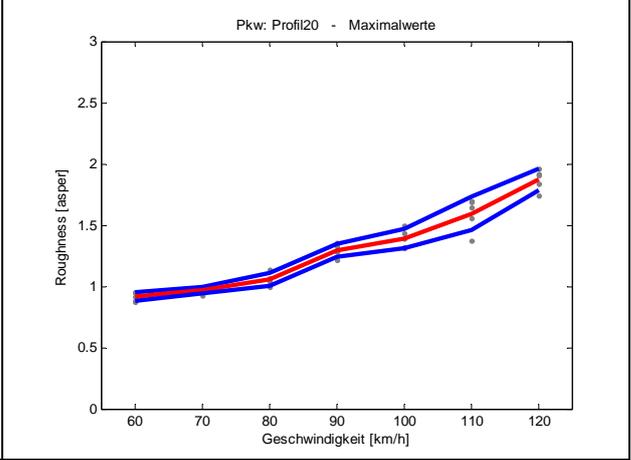
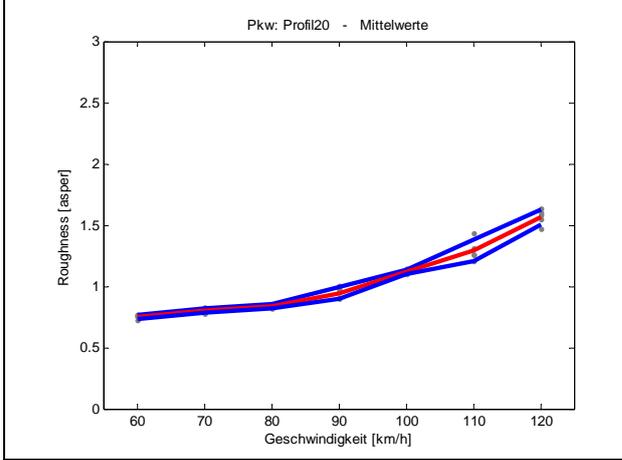
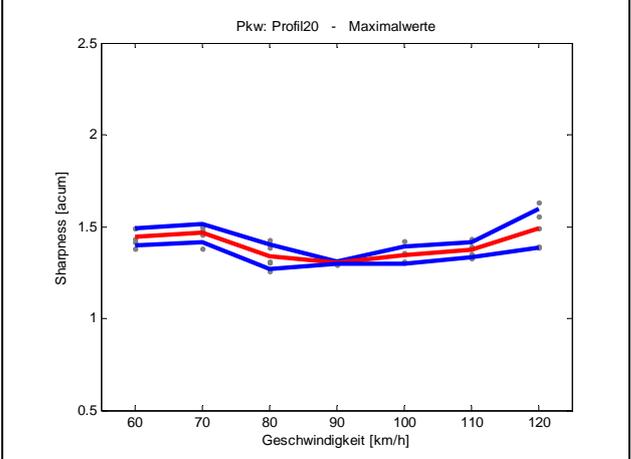
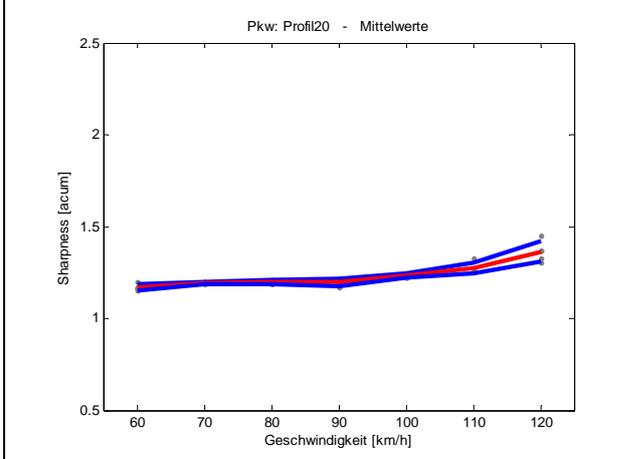
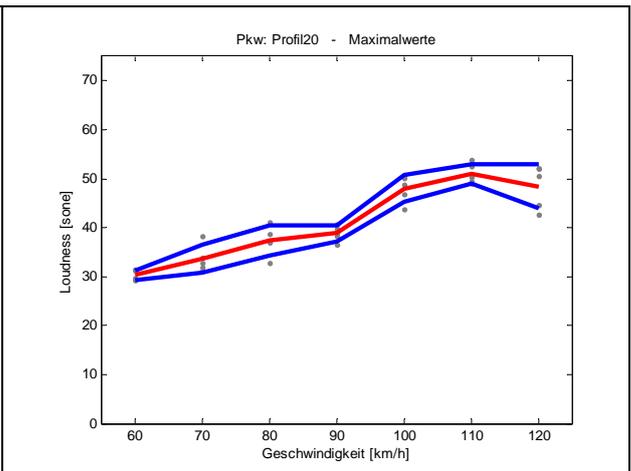
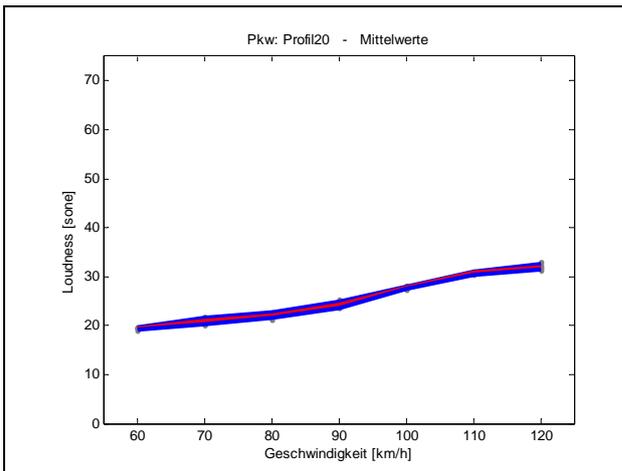
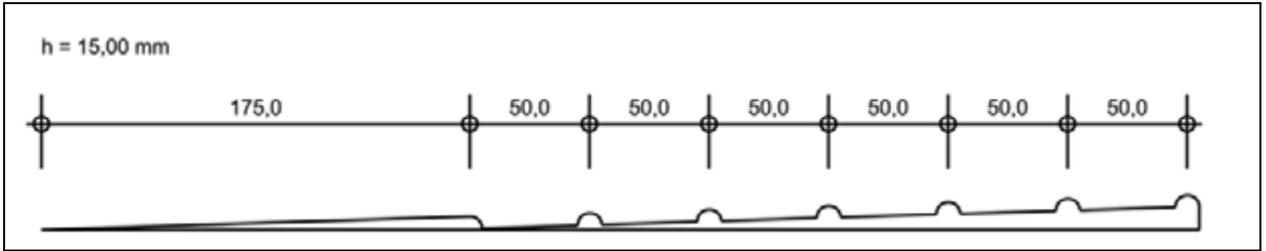
Profil 12 - Lkw - psychoakustische Größen:



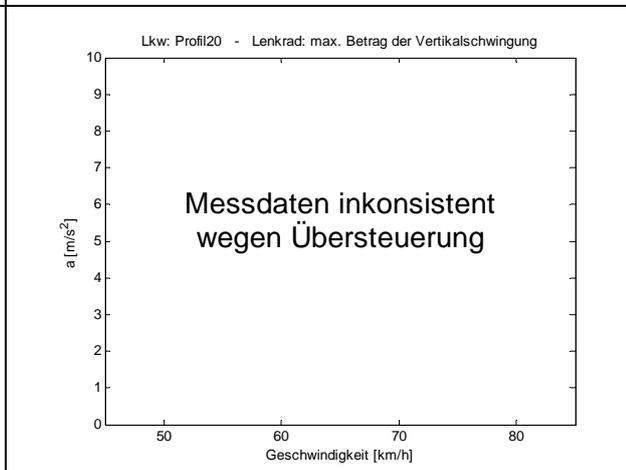
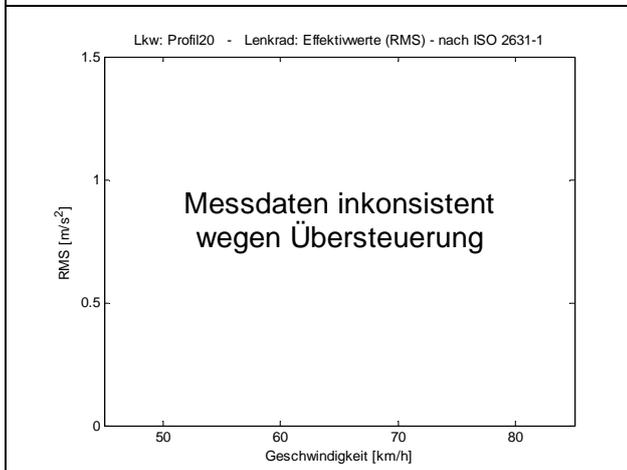
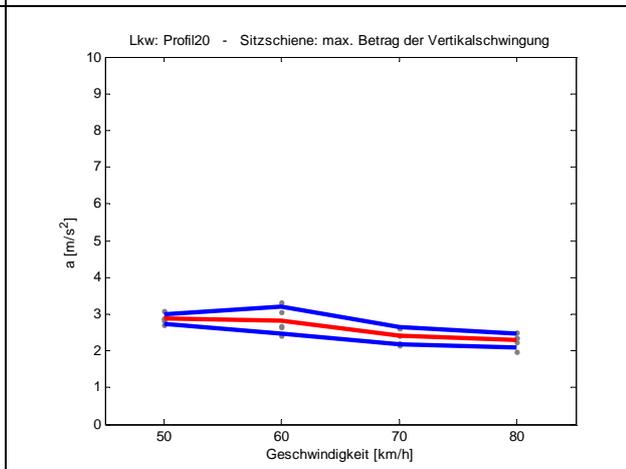
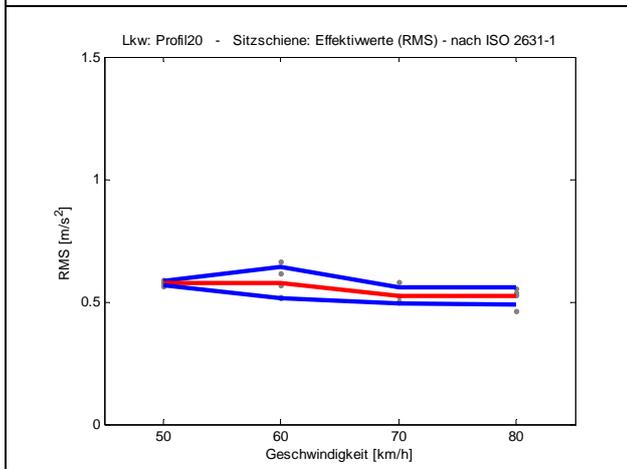
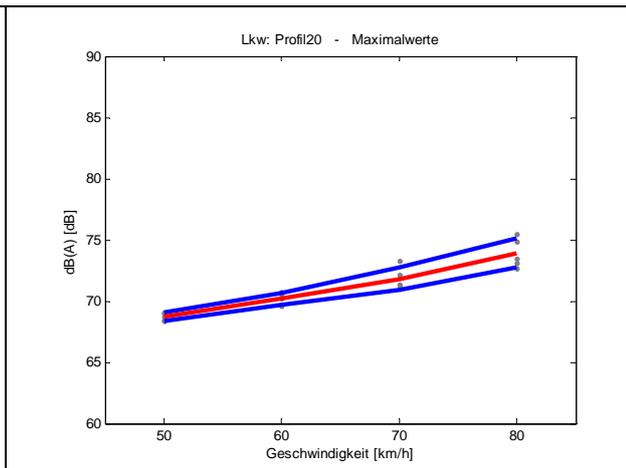
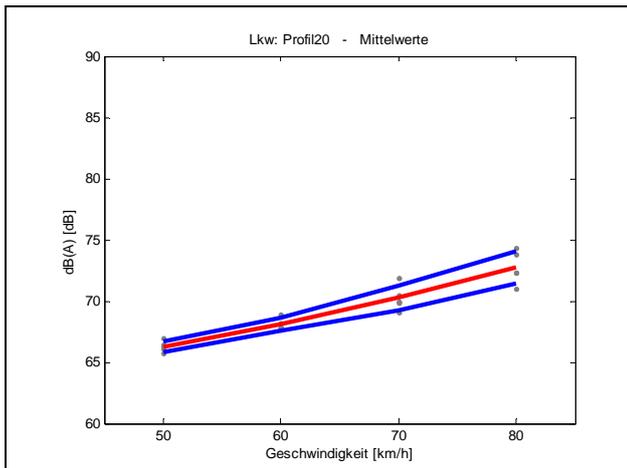
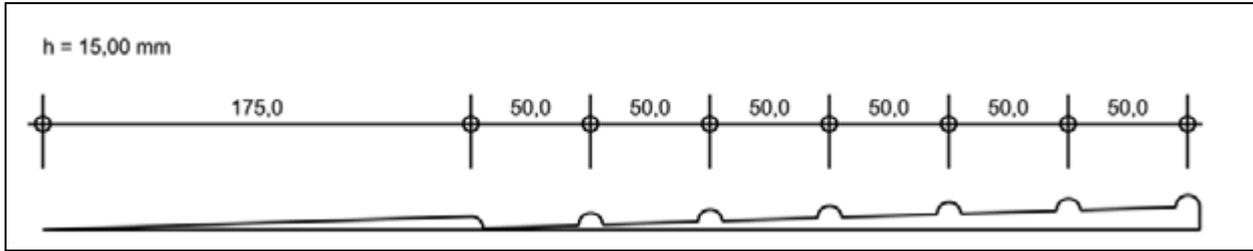
Profil 20 - Pkw - physikalische Größen:



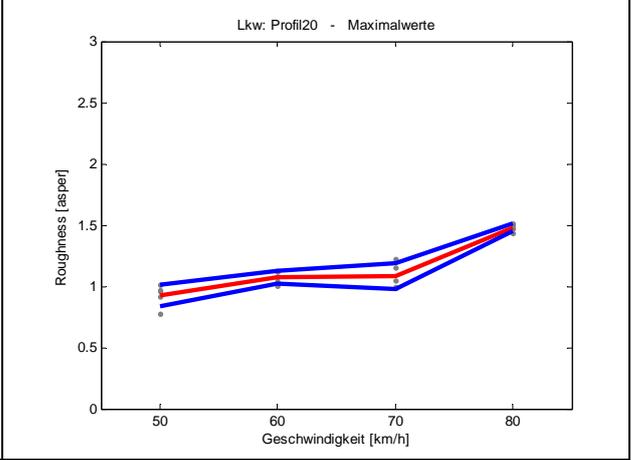
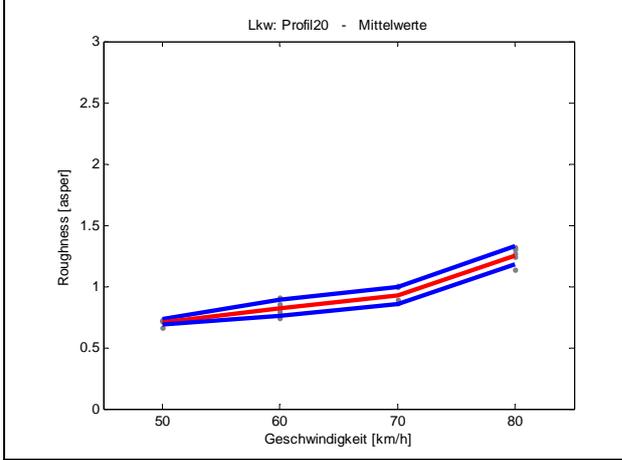
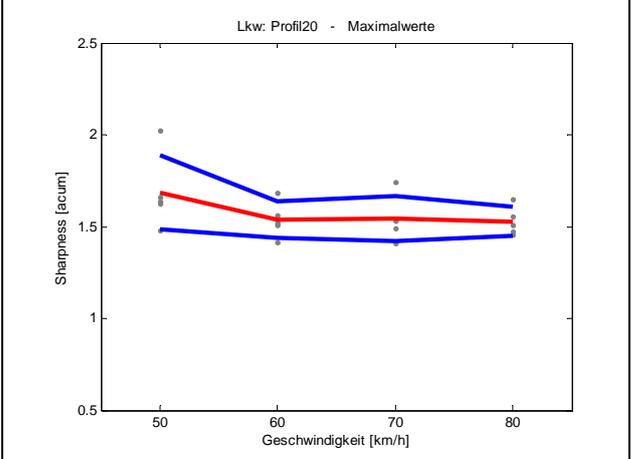
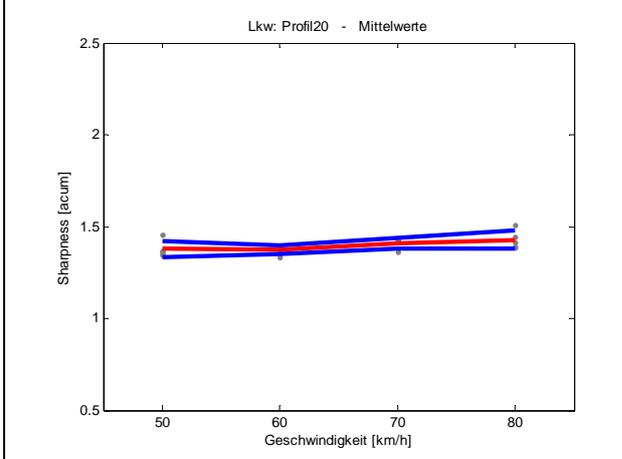
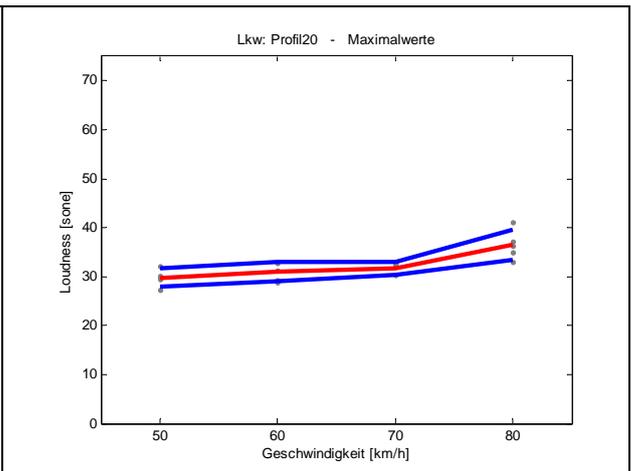
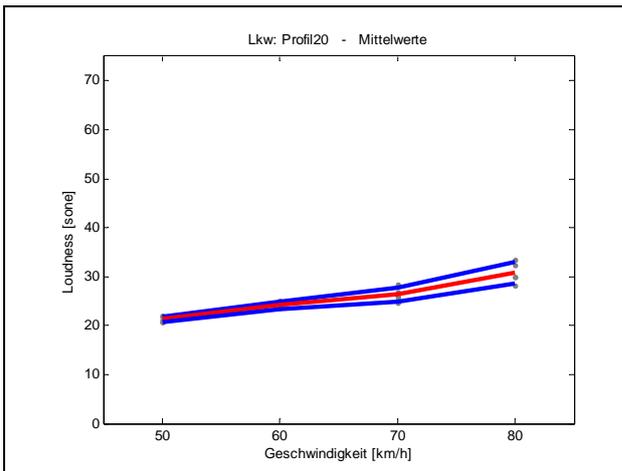
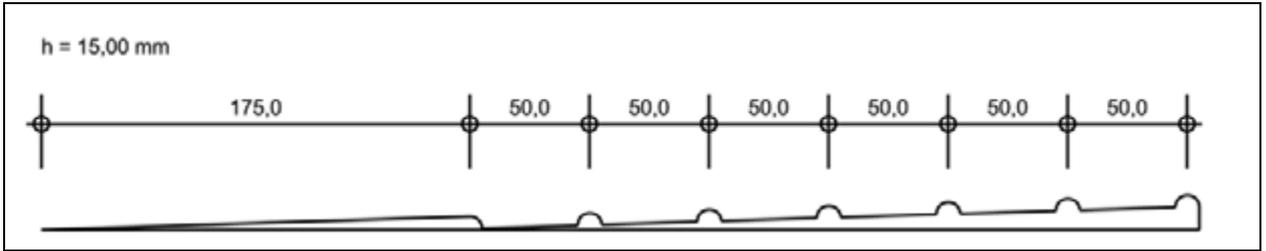
Profil 20 - Pkw - psychoakustische Größen:



Profil 20 - Lkw - physikalische Größen:



Profil 20 - Lkw - psychoakustische Größen:



5.2 Streifenpakete (5 Streifen, Profil 21, unterschiedliche Abstände)

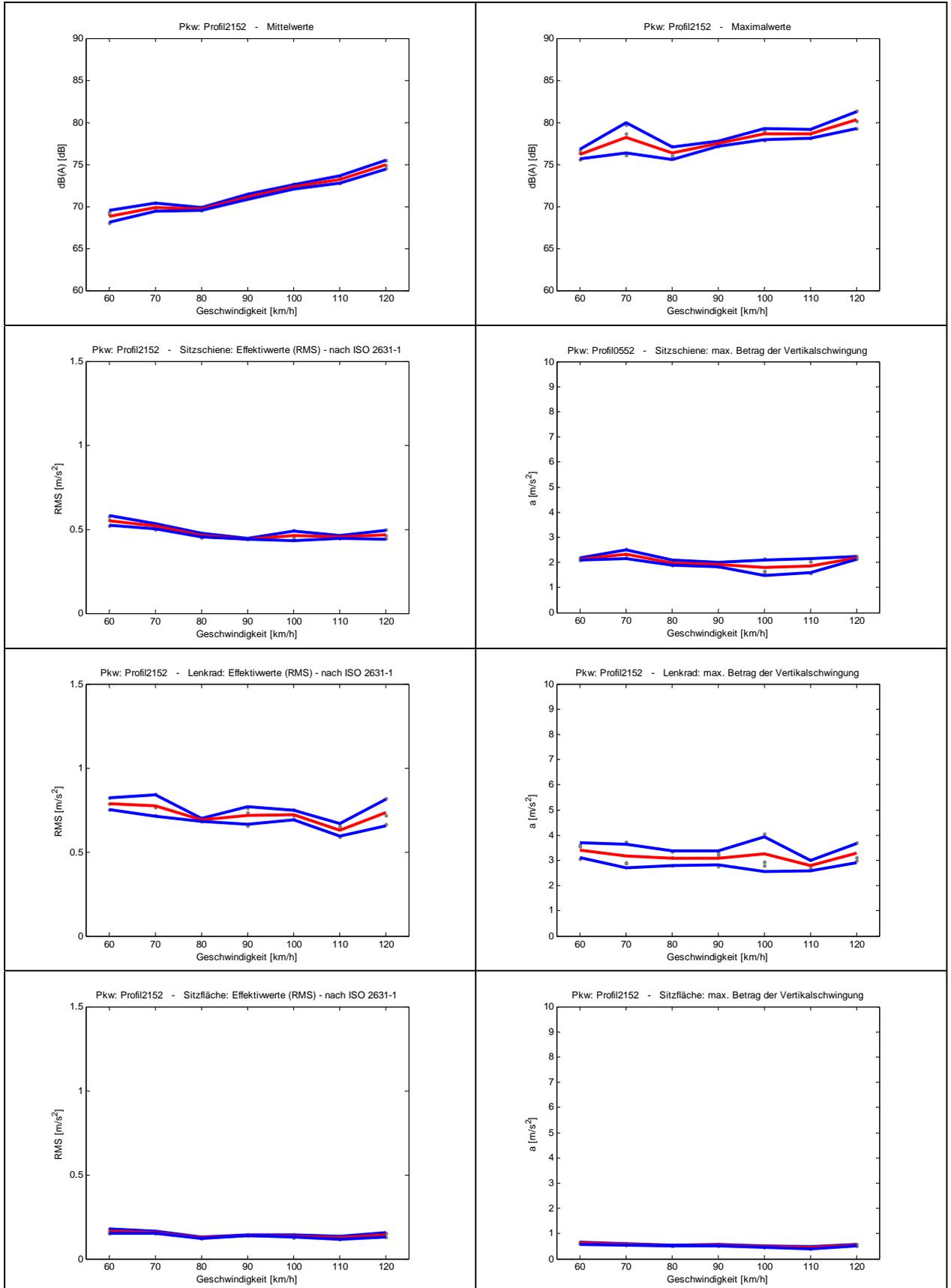
[Profilname][Anzahl Streifen][Abstand in Metern]

Beispiel:

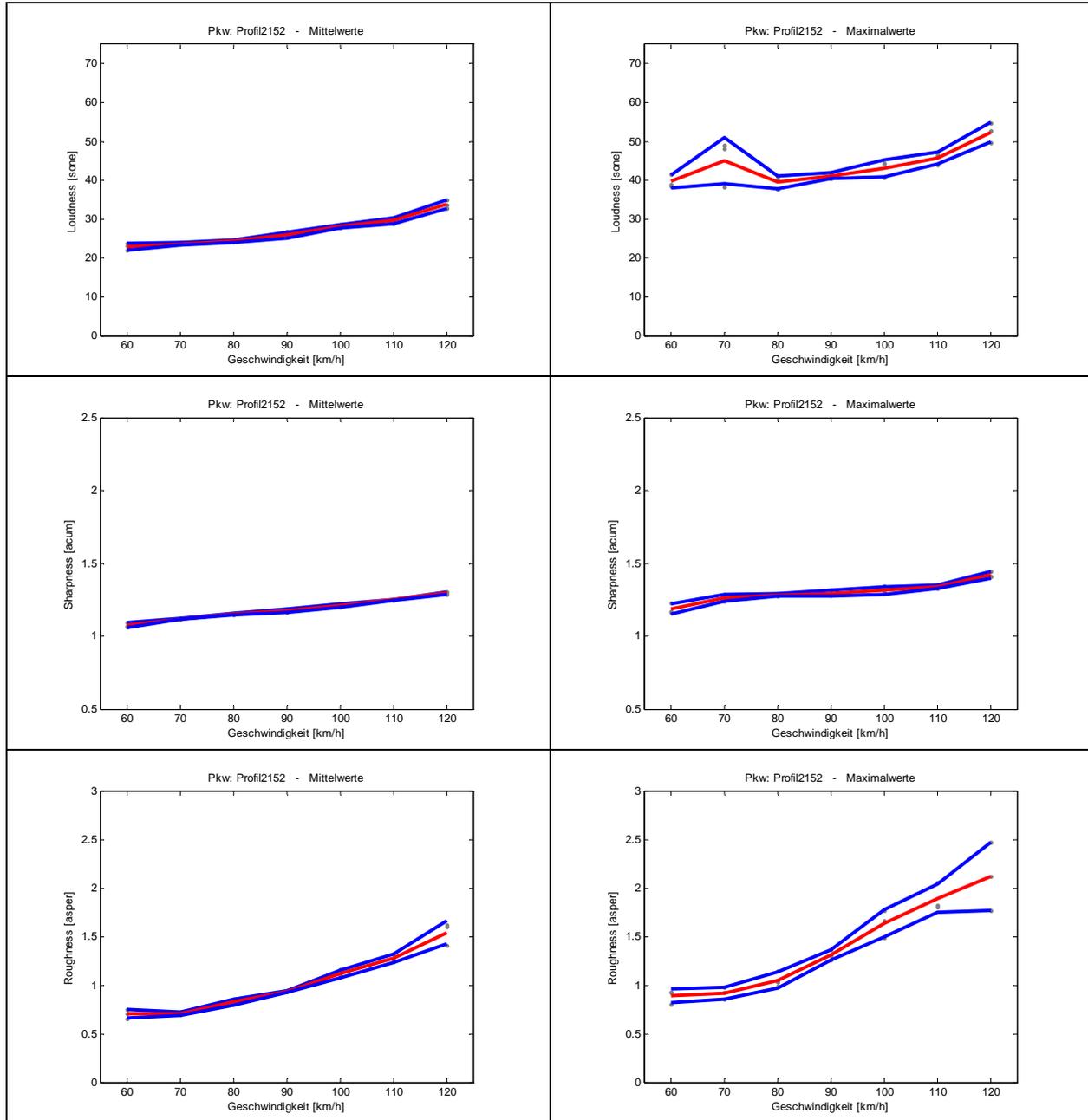
Profil 2152 entspricht

Profil 21 (siehe Anhang C), 5 Streifen, 2 Meter Abstand

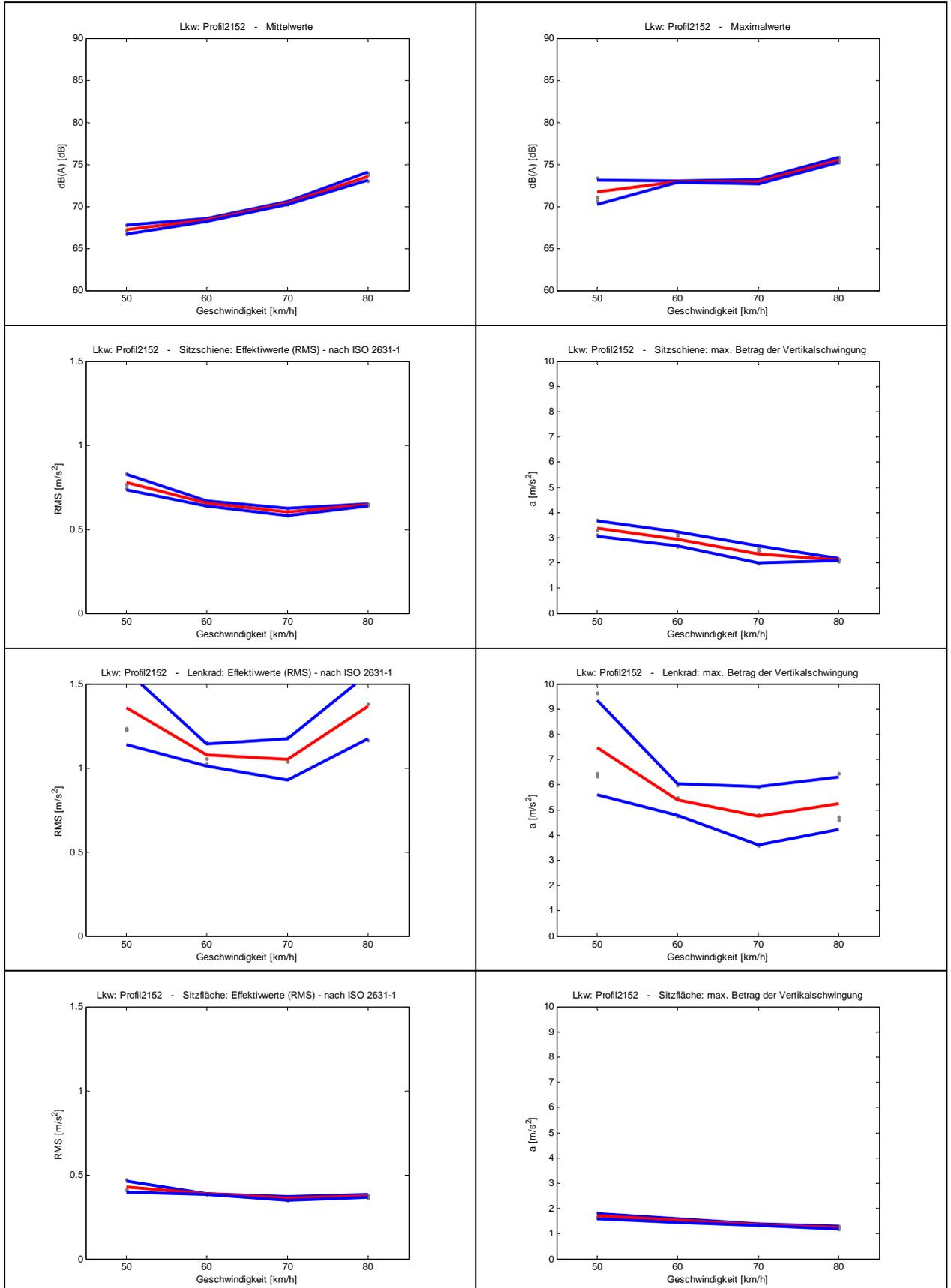
Profil 2152 - Pkw - physikalische Größen:



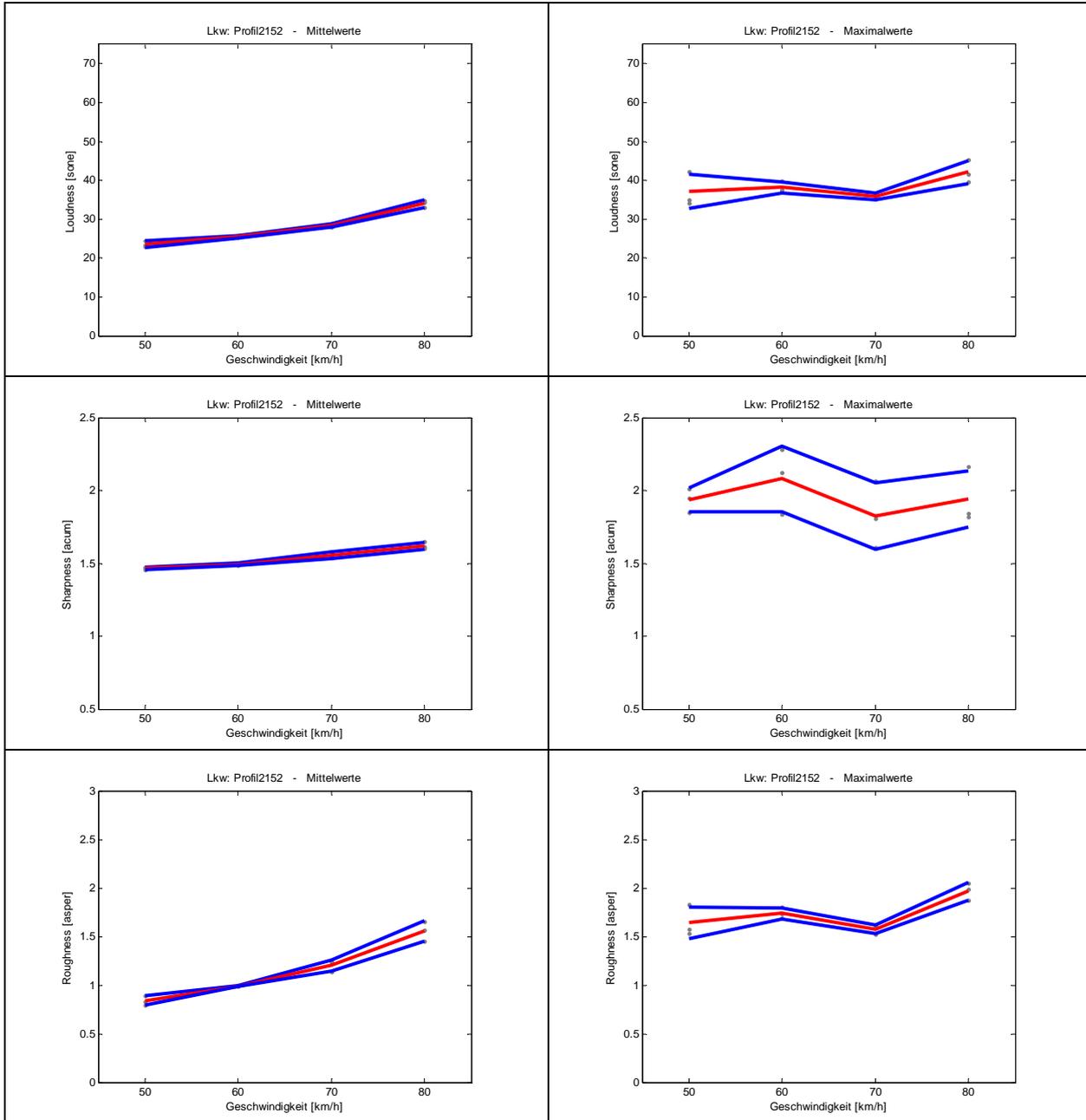
Profil 2152 - Pkw - psychoakustische Größen:



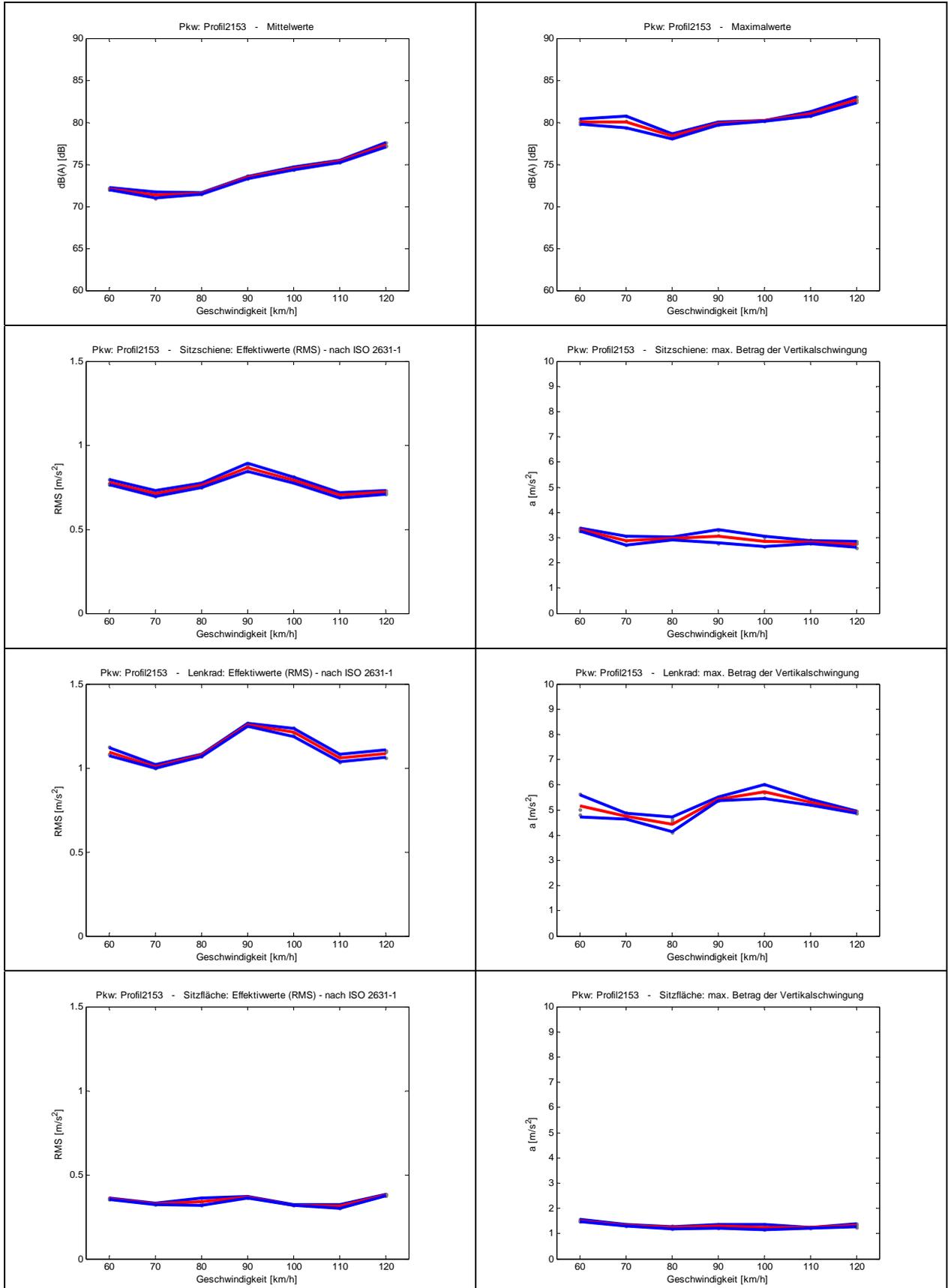
Profil 2152 - Lkw - physikalische Größen:



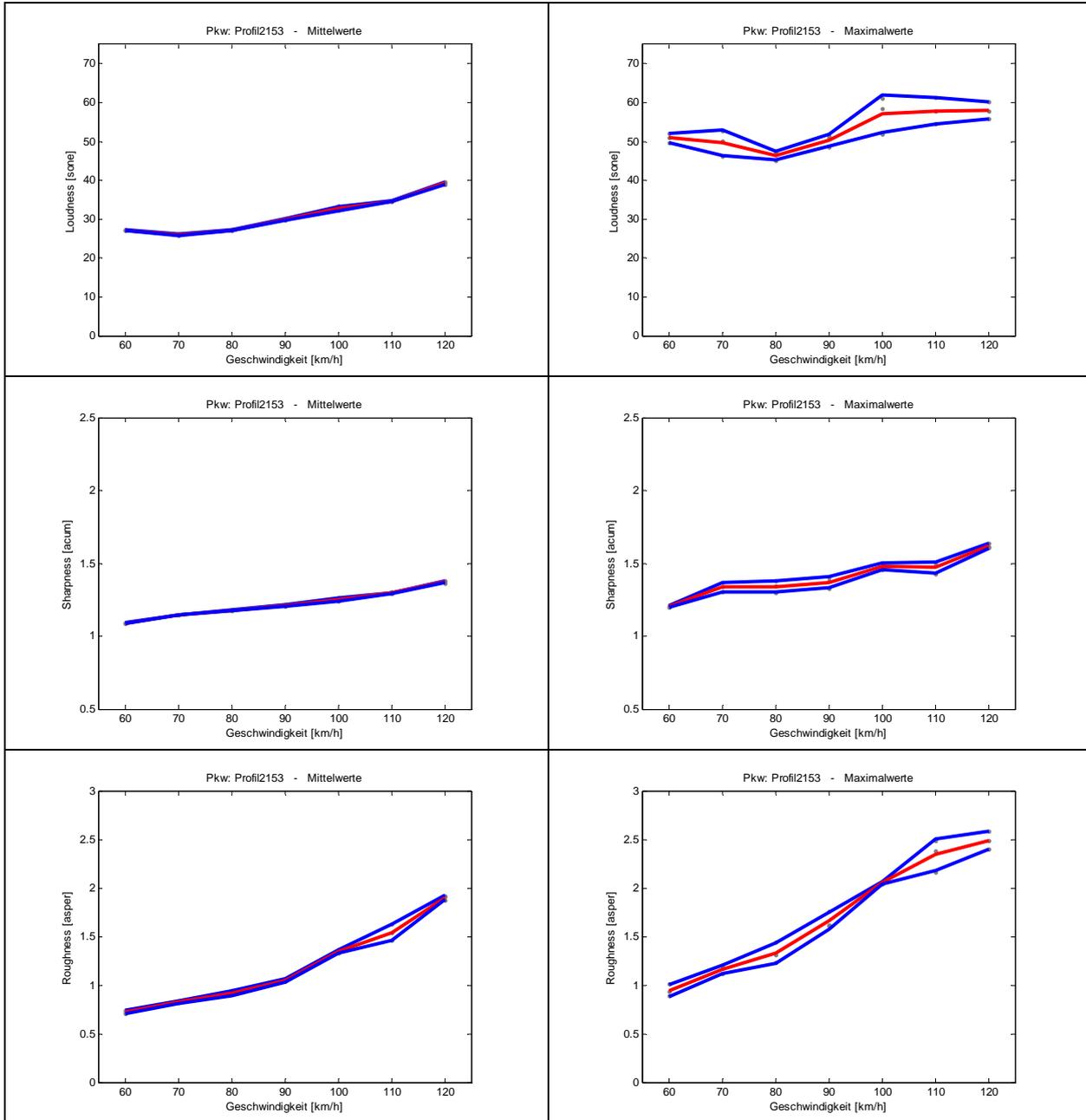
Profil 2152 - Lkw - psychoakustische Größen:



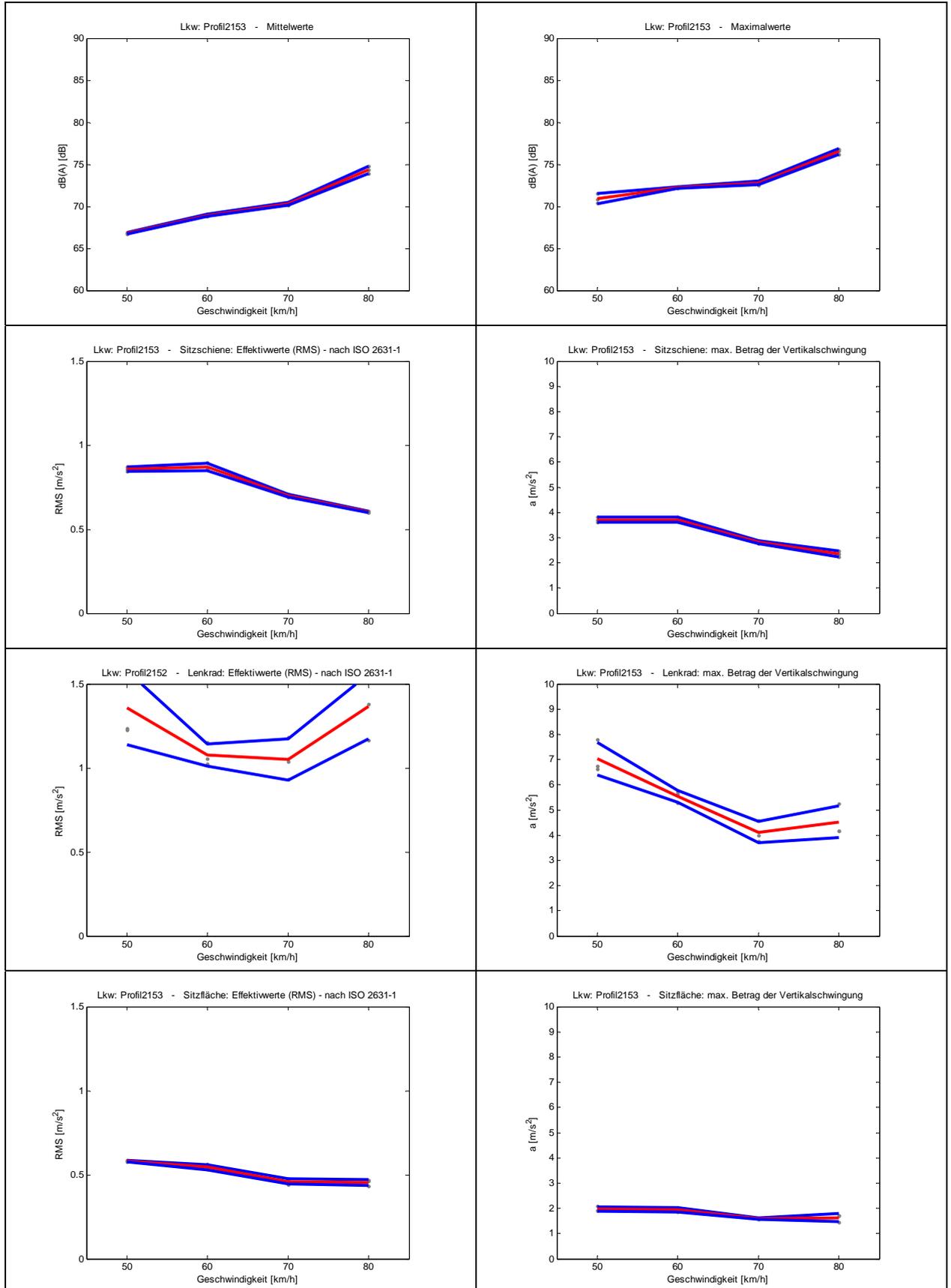
Profil 2153 - Pkw - physikalische Größen:



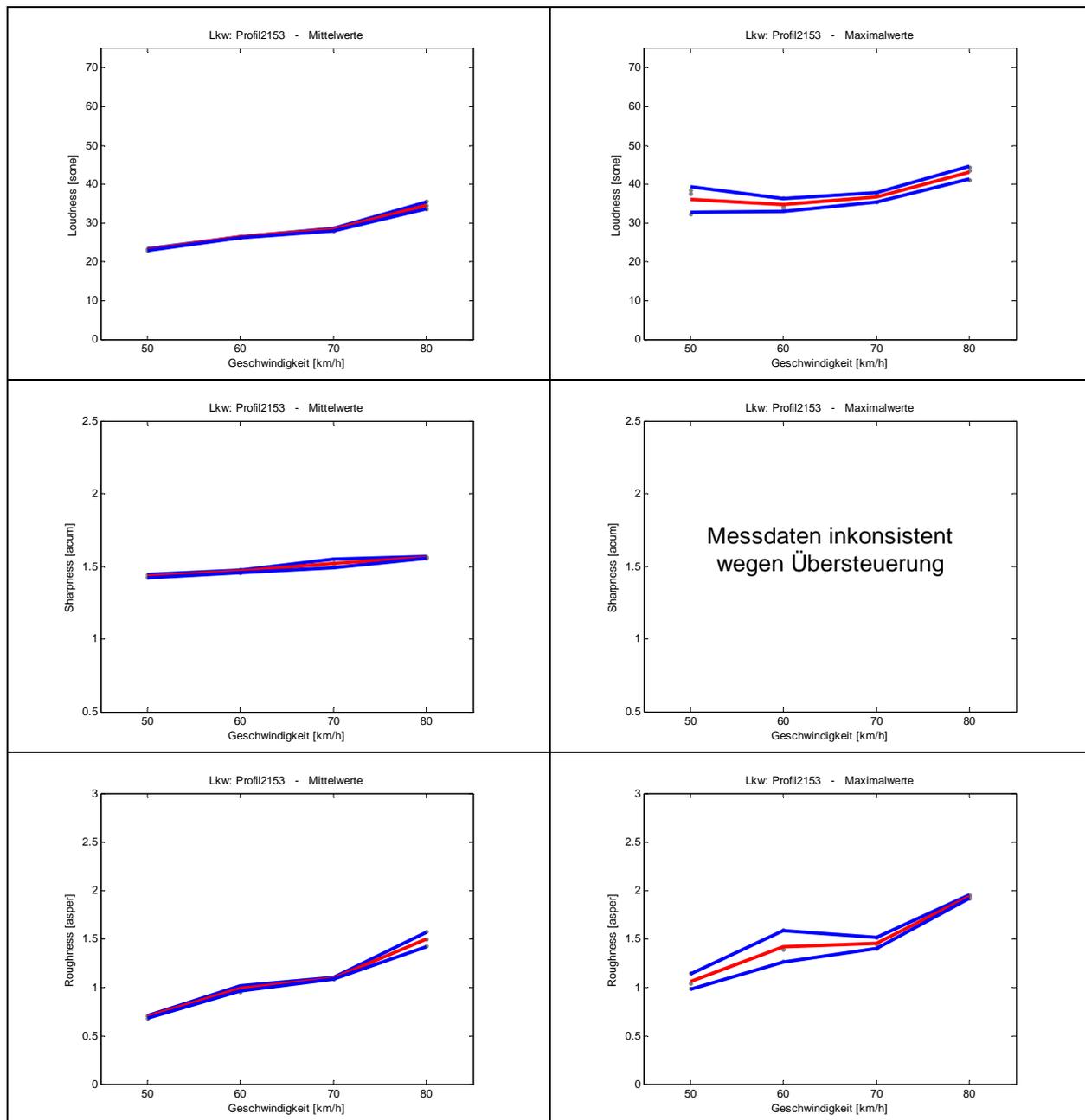
Profil 2153 - Pkw - psychoakustische Größen:



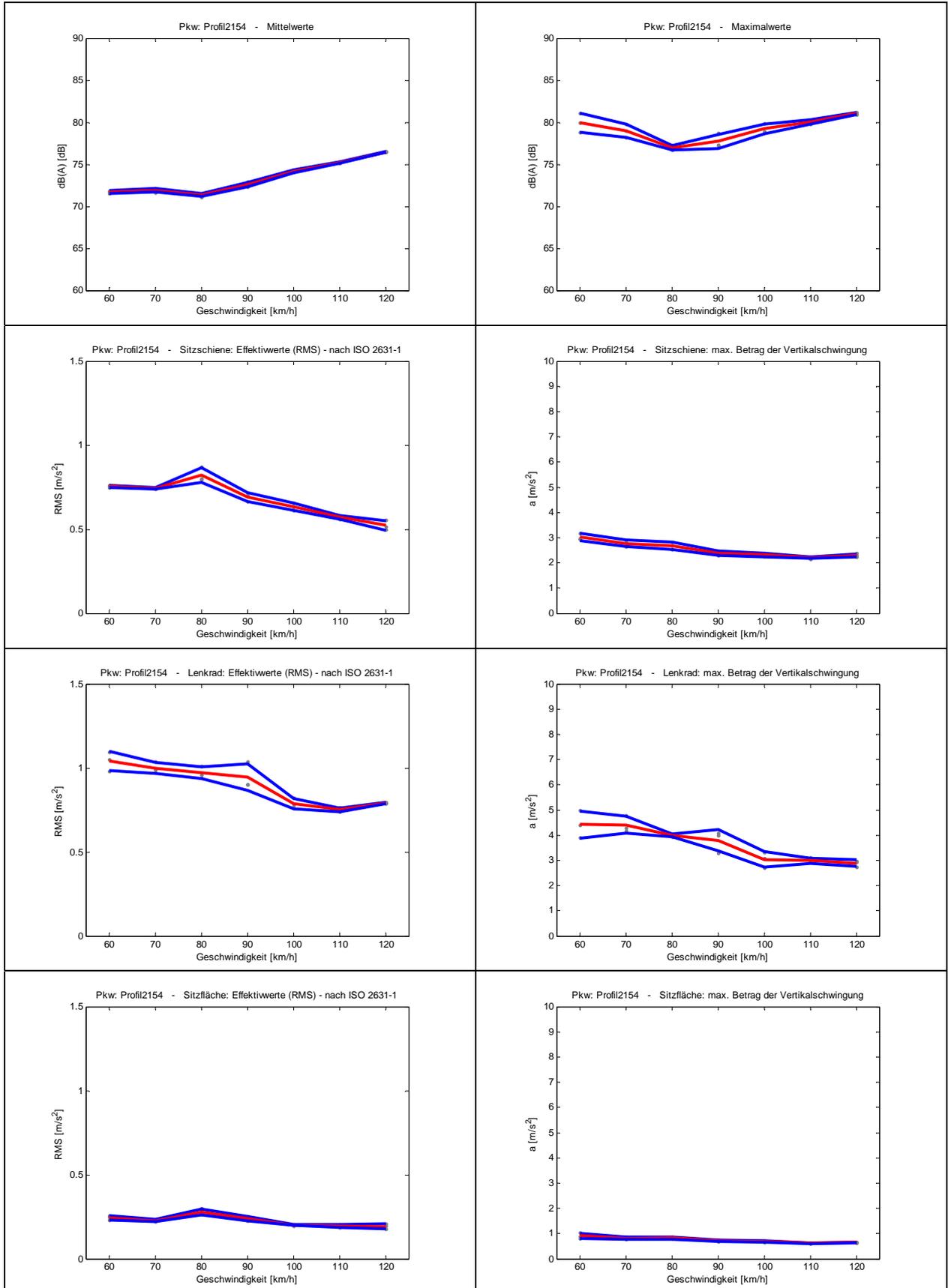
Profil 2153 - Lkw - physikalische Größen:



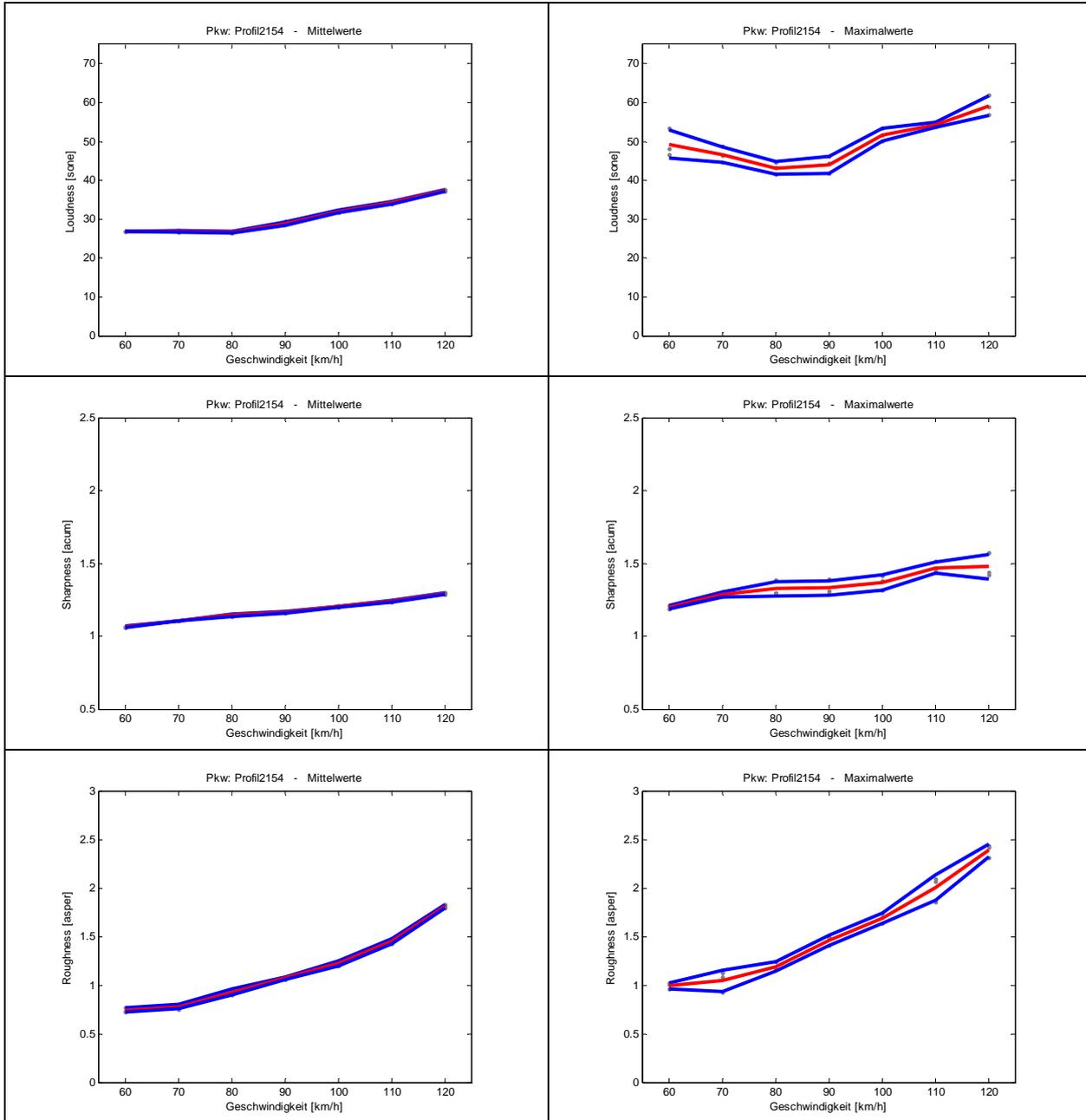
Profil 2153 - Lkw - psychoakustische Größen:



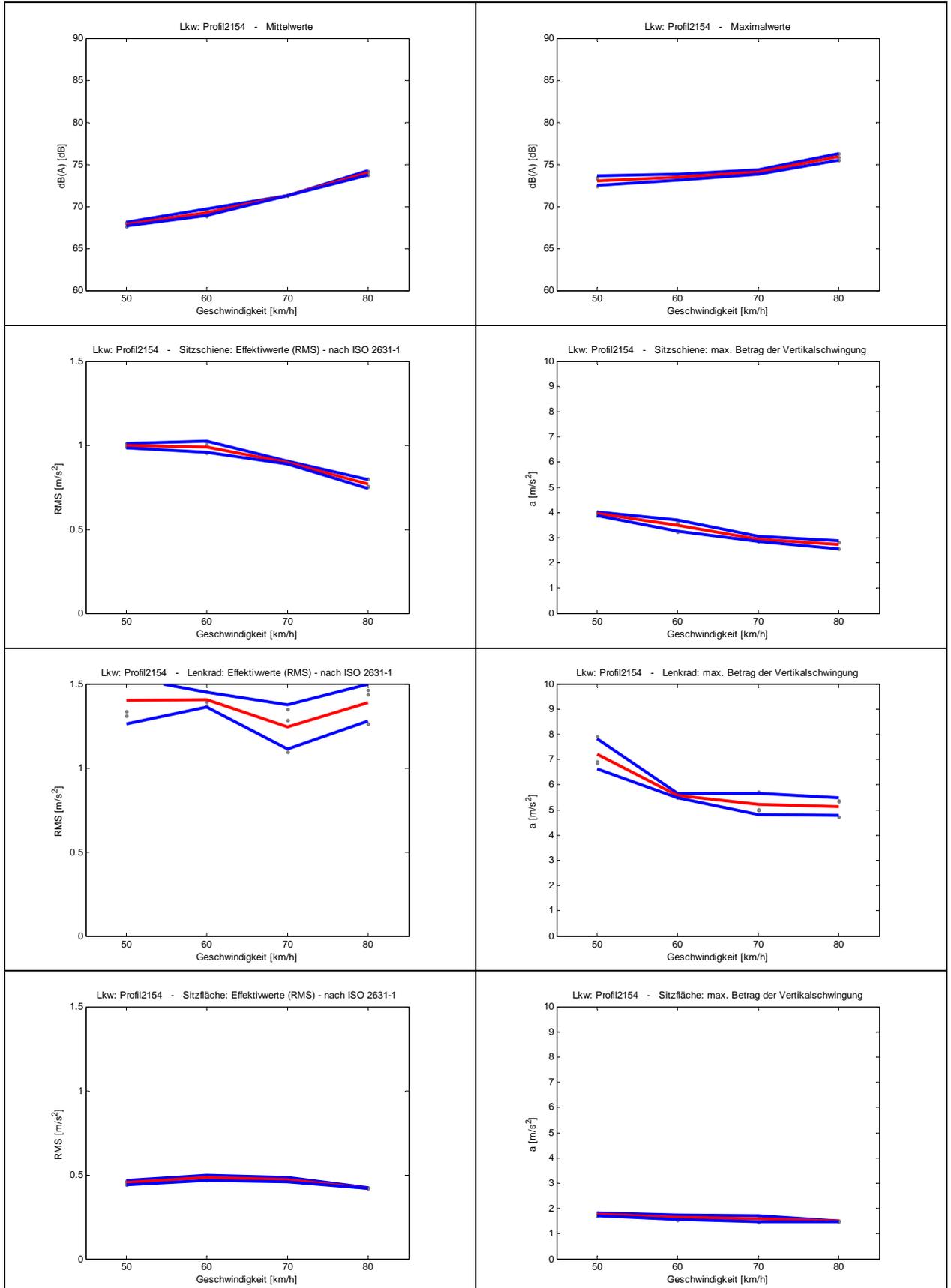
Profil 2154 - Pkw - physikalische Größen:



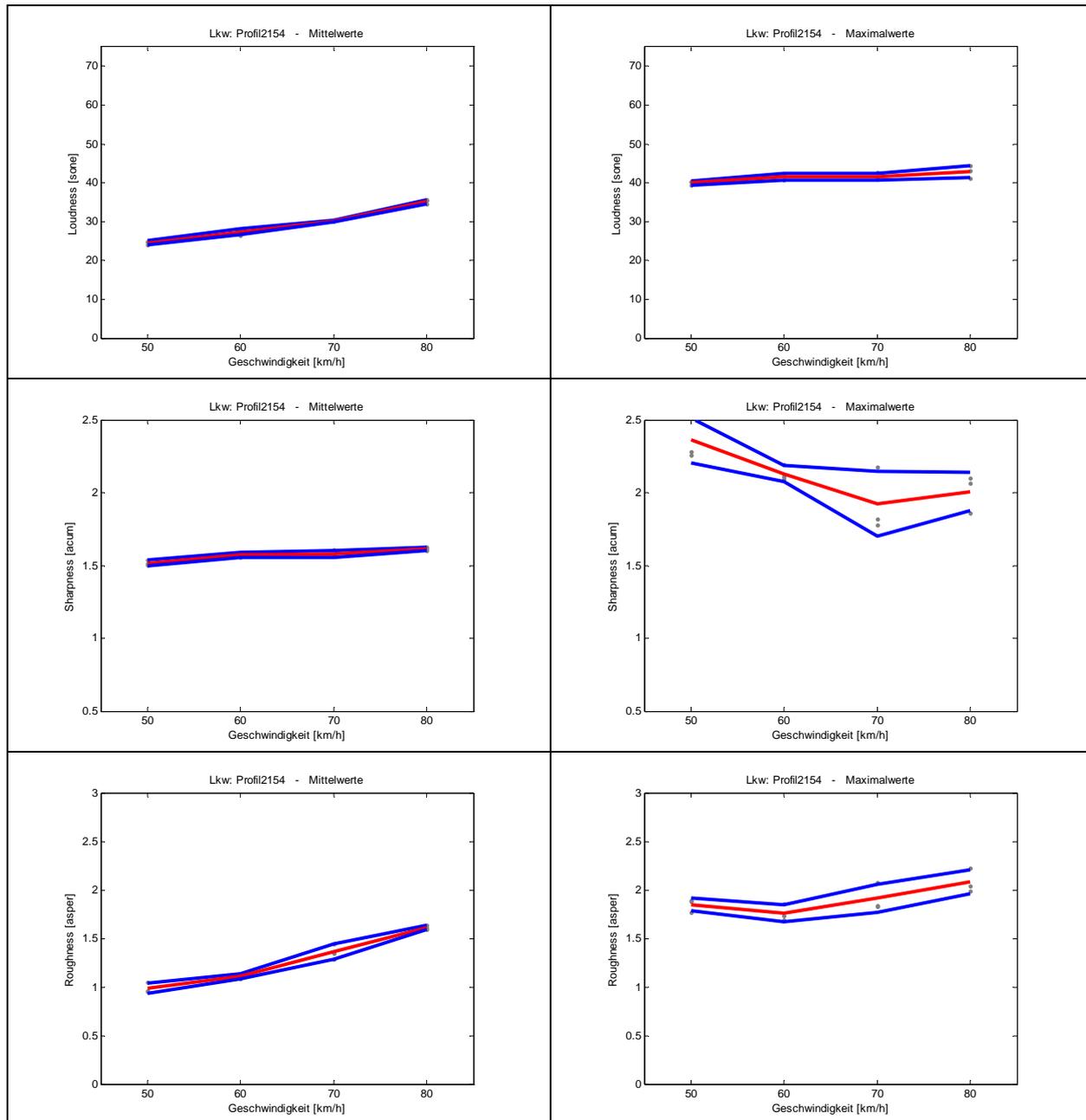
Profil 2154 - Pkw - psychoakustische Größen:



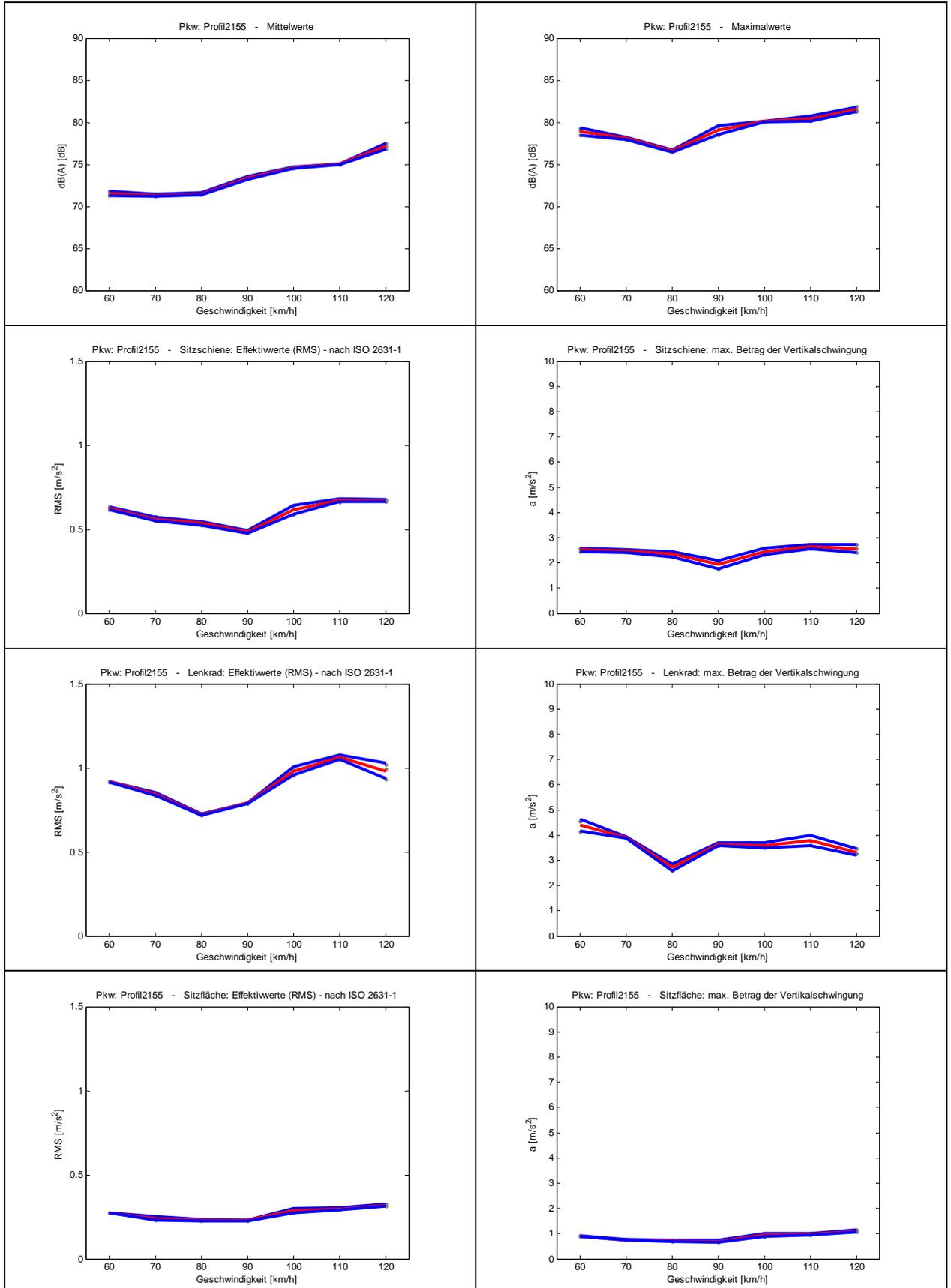
Profil 2154 - Lkw - physikalische Größen:



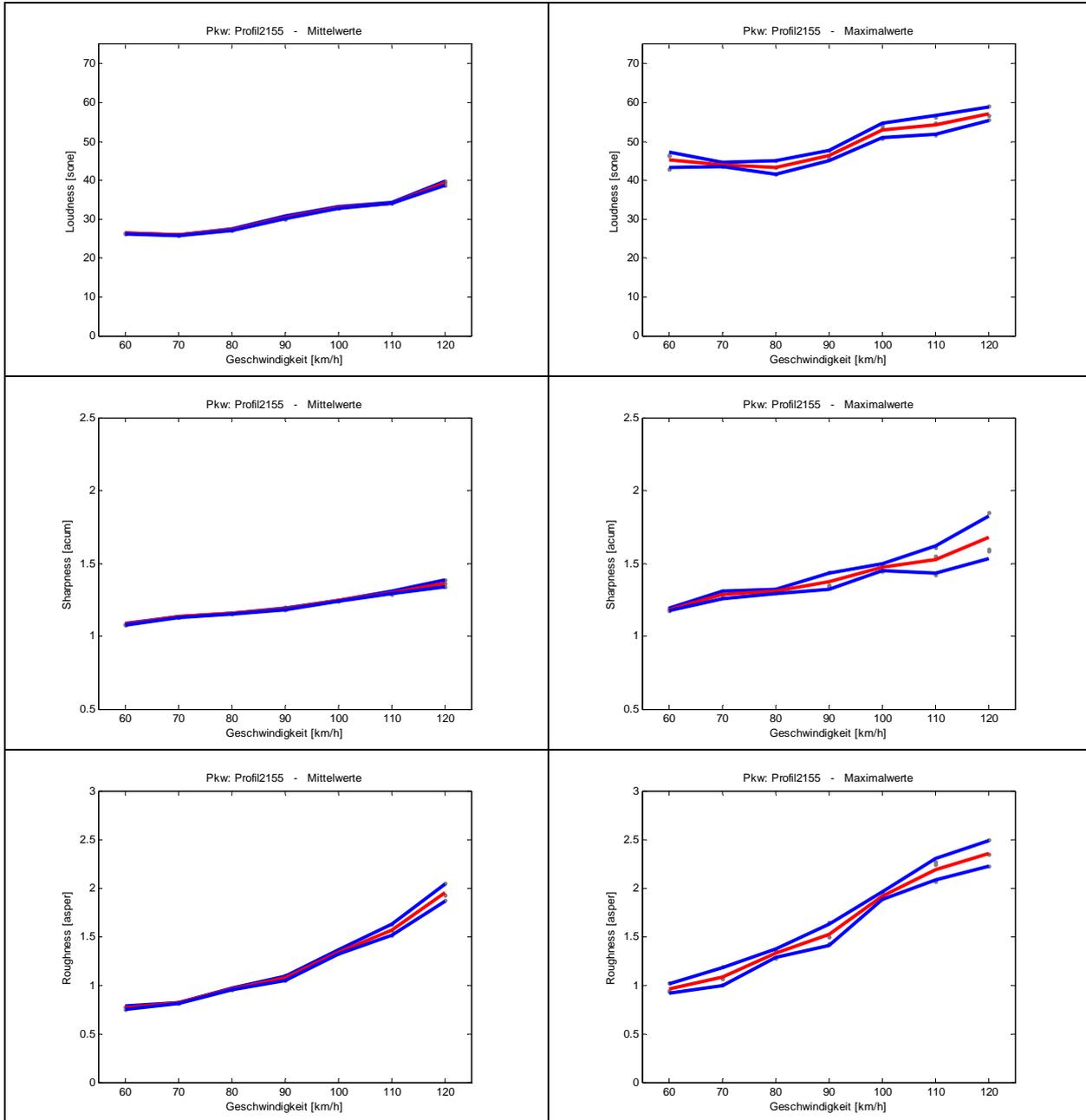
Profil 2154 - Lkw - psychoakustische Größen:



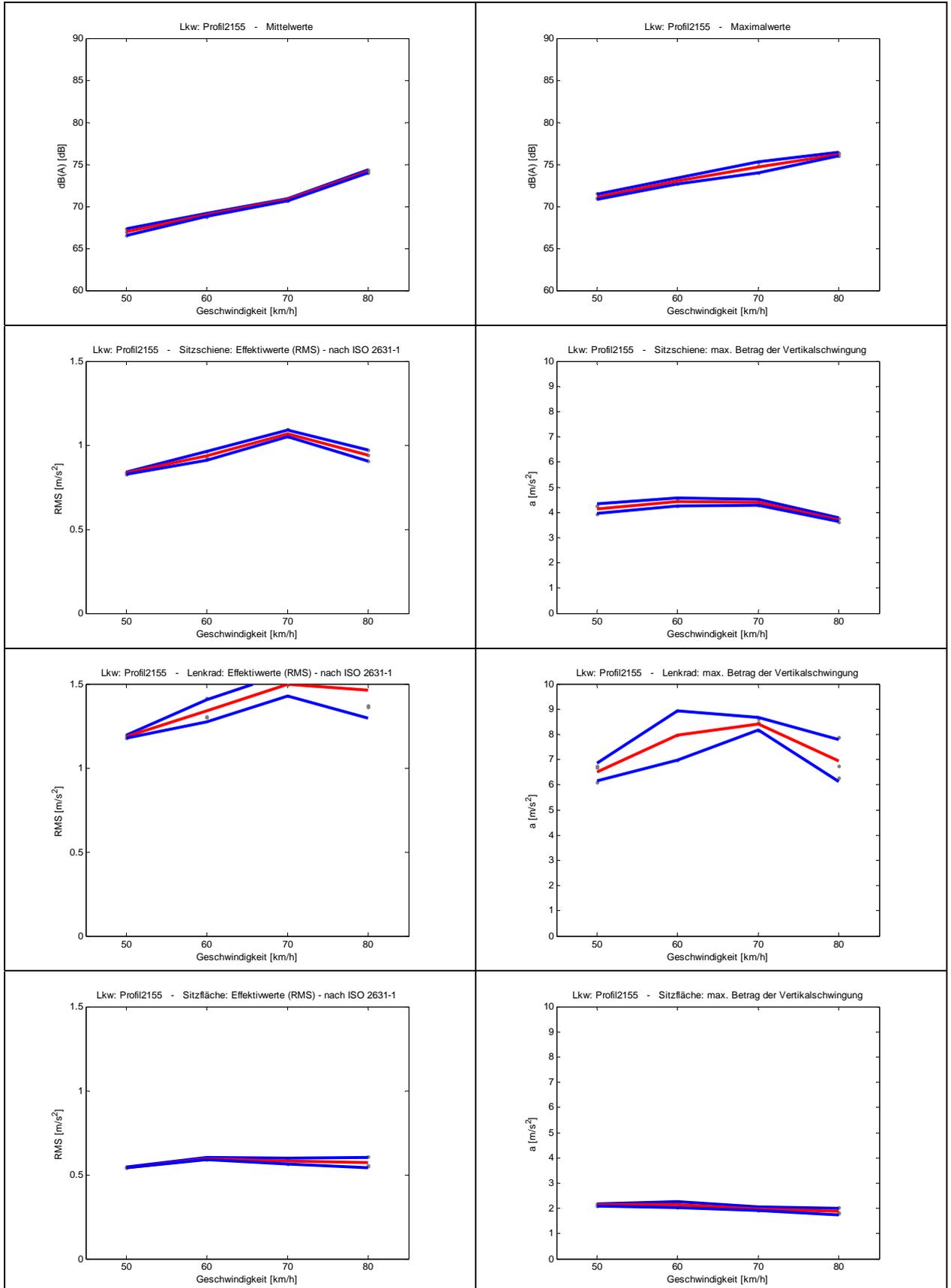
Profil 2155 - Pkw - physikalische Größen:



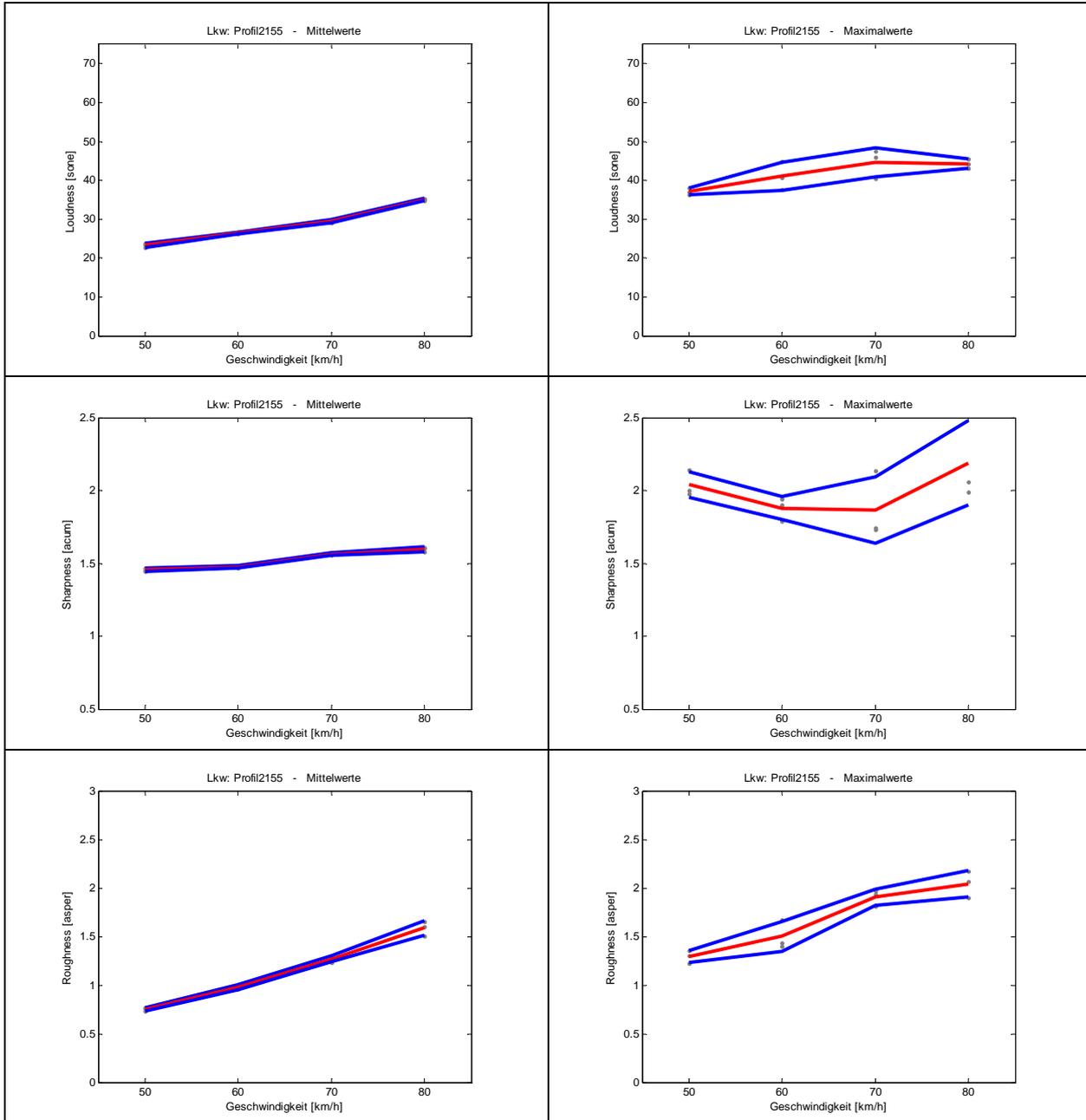
Profil 2155 - Pkw - psychoakustische Größen:



Profil 2155 - Lkw - physikalische Größen:



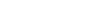
Profil 2155 - Lkw - psychoakustische Größen:

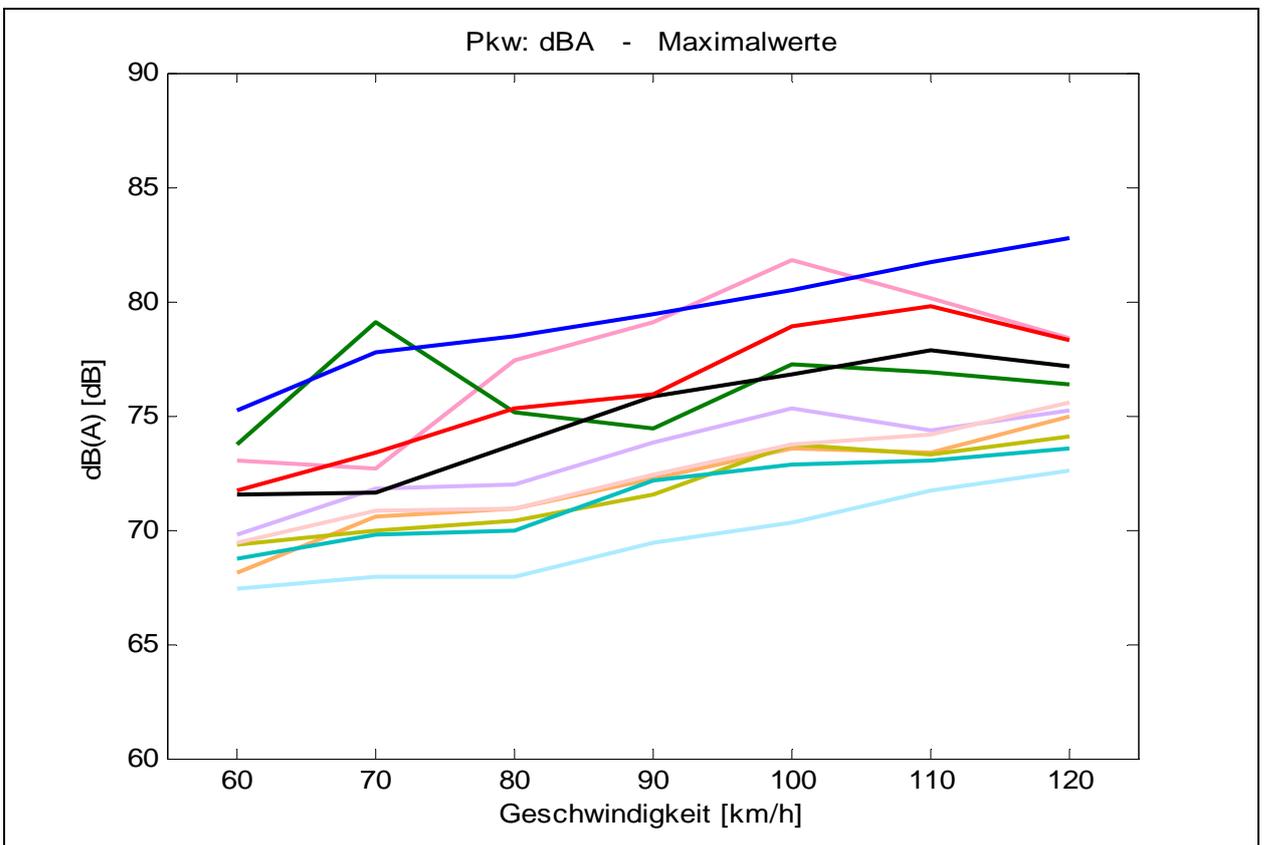
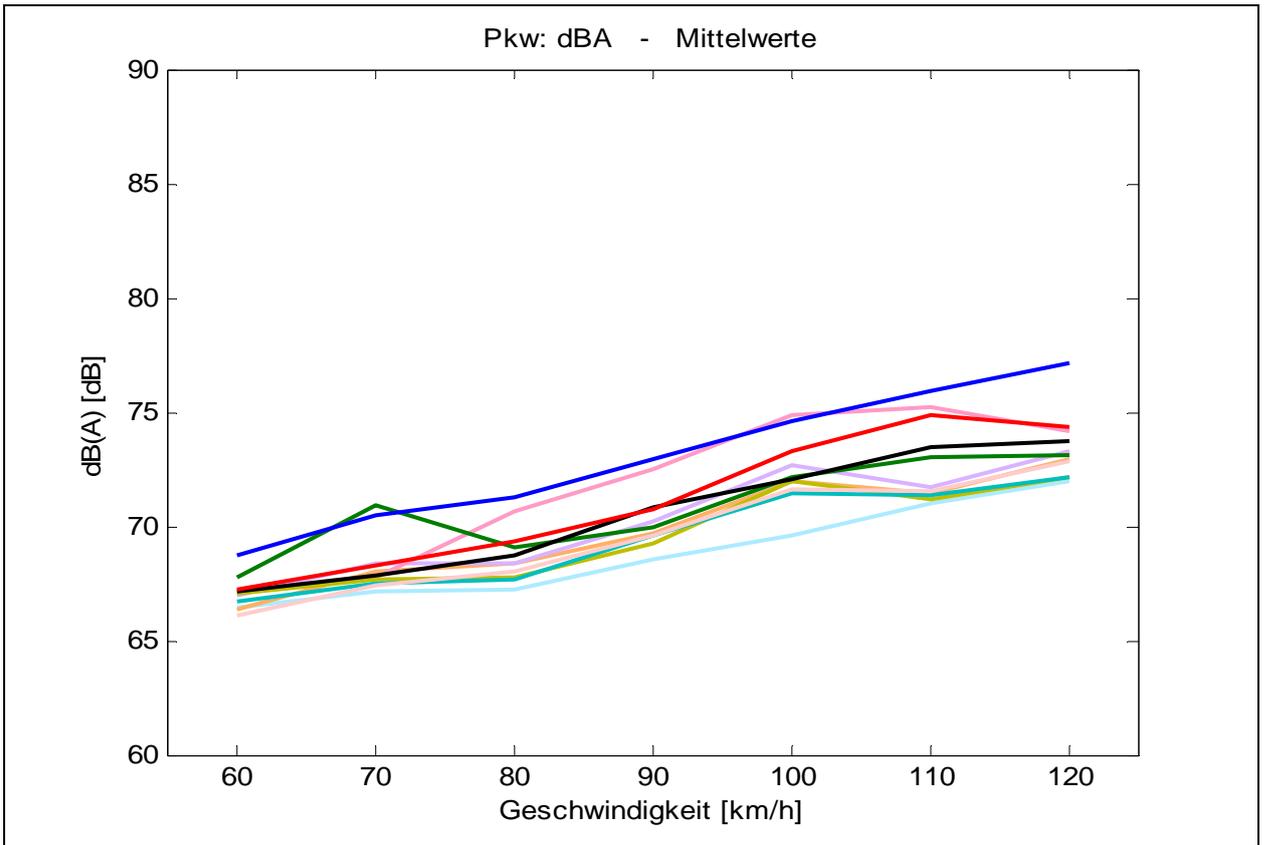


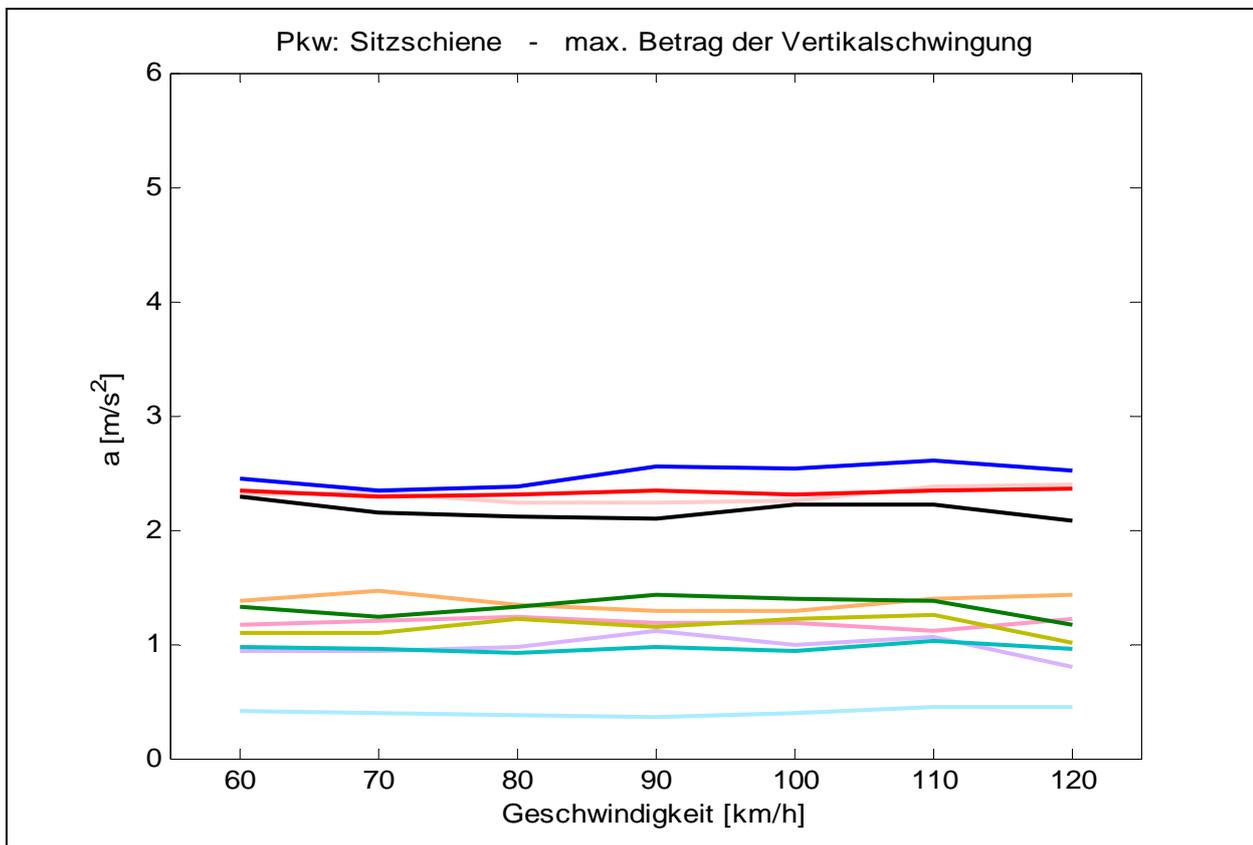
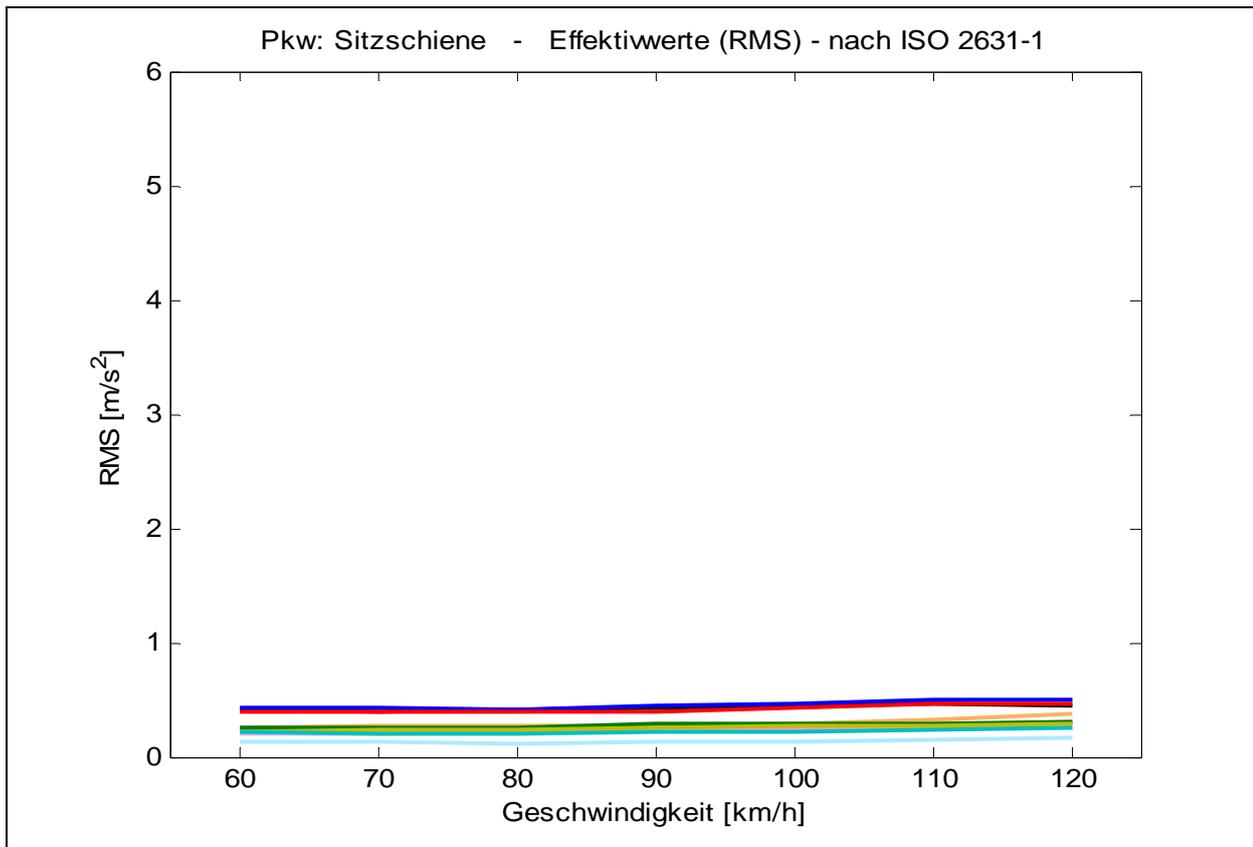
6 Anhang F: Zusammenfassung aller Auswertungen der Vorversuche

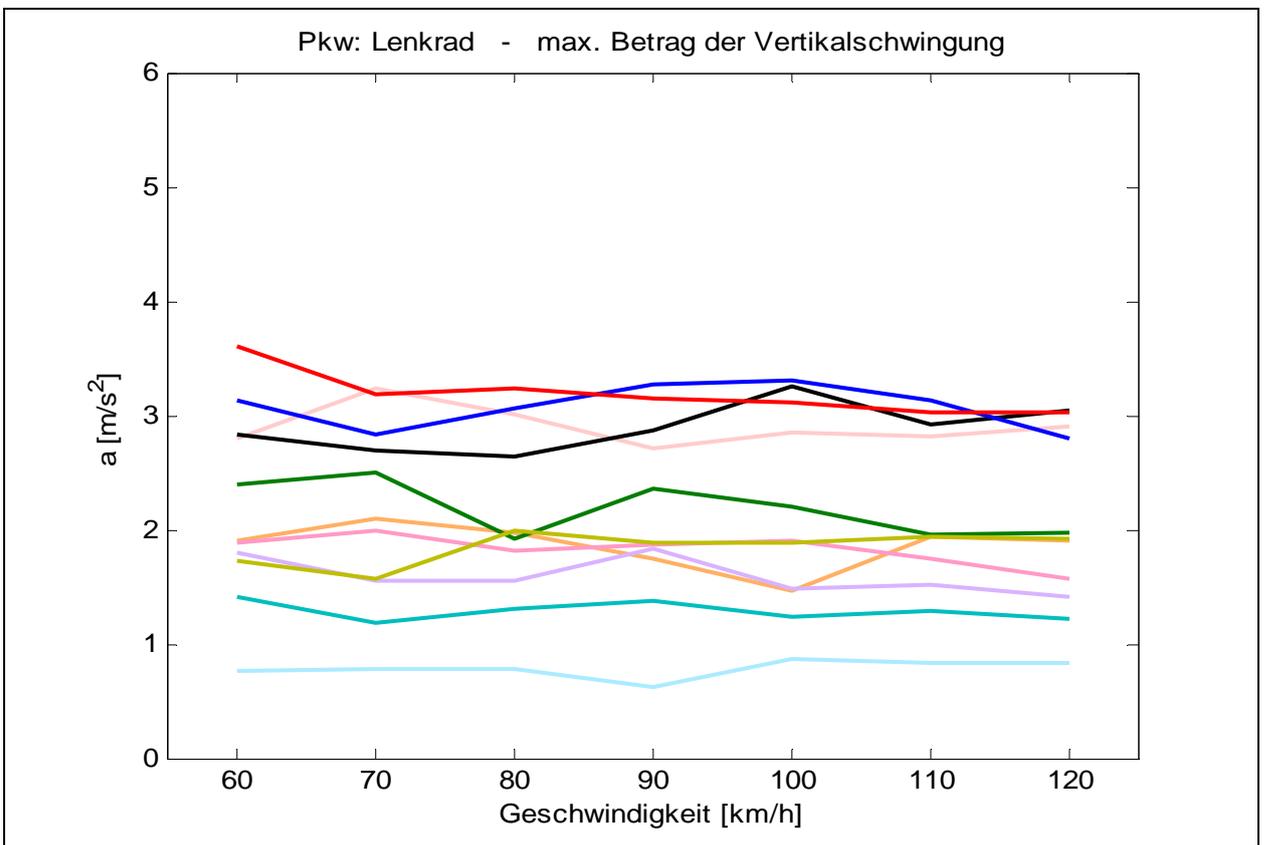
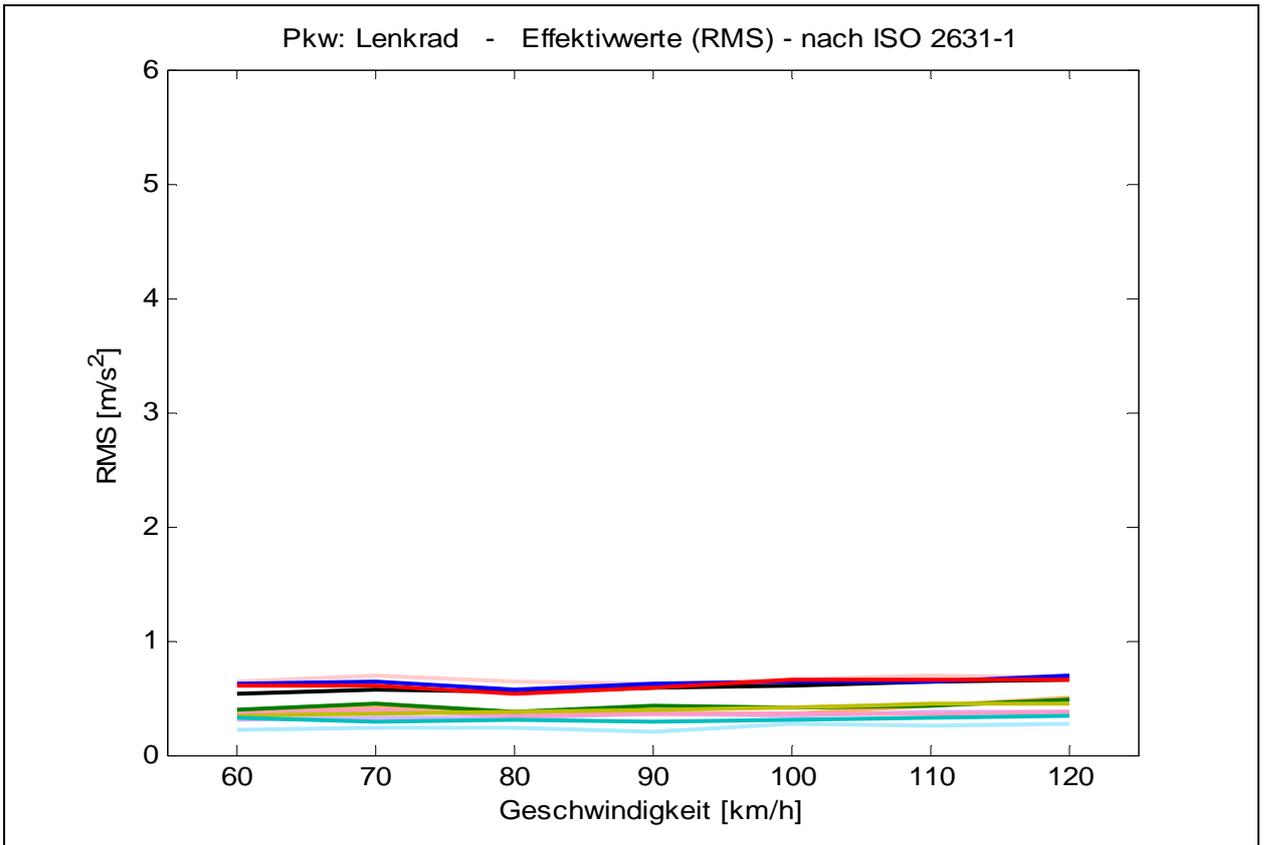
6.1 Einzelelemente (unterschiedliche Formen)

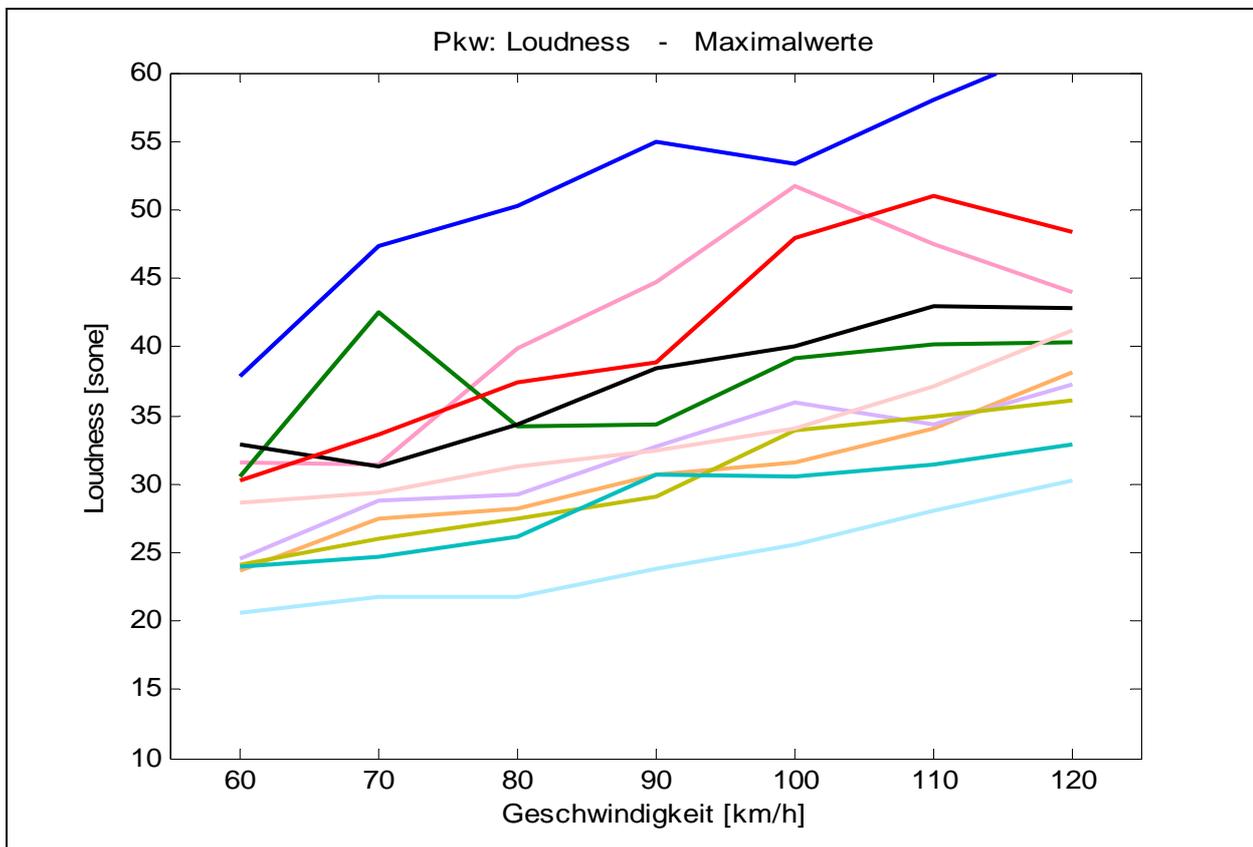
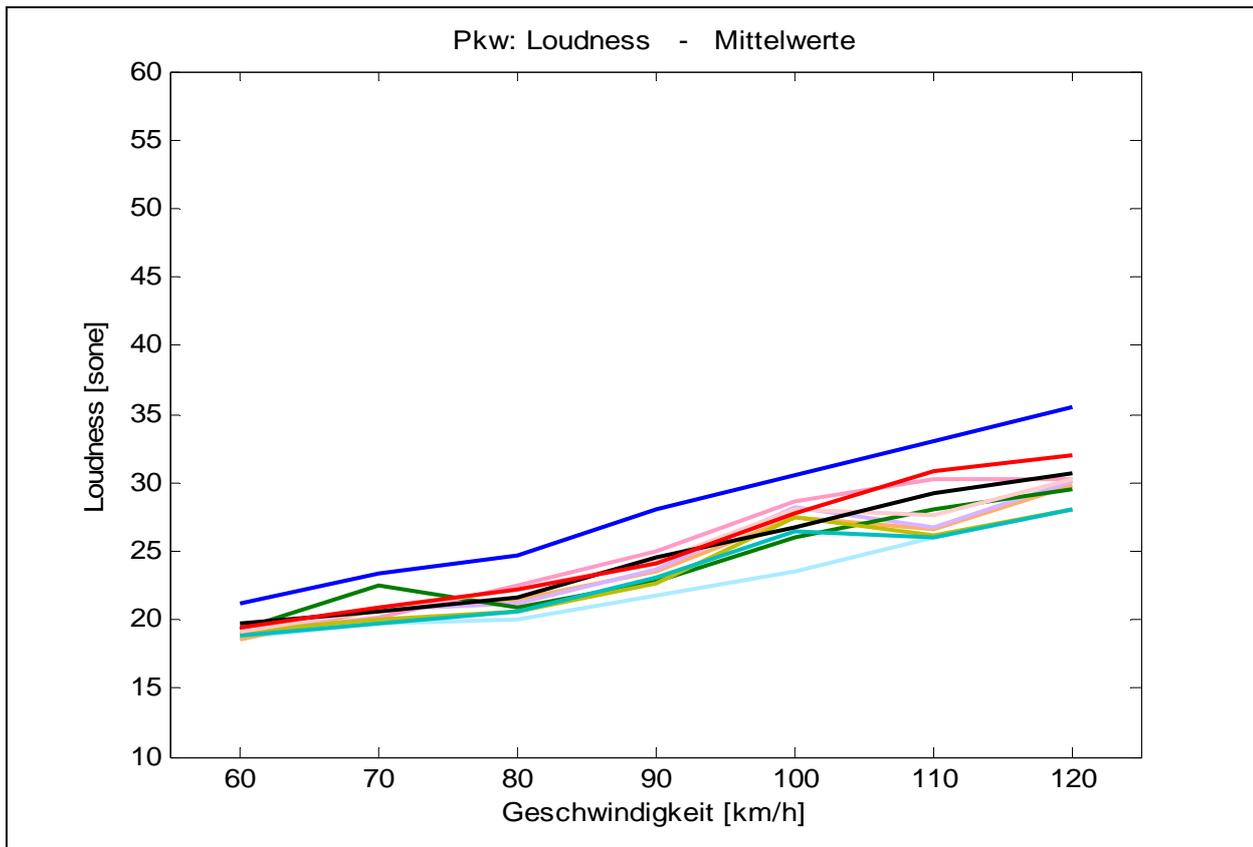
Legende:

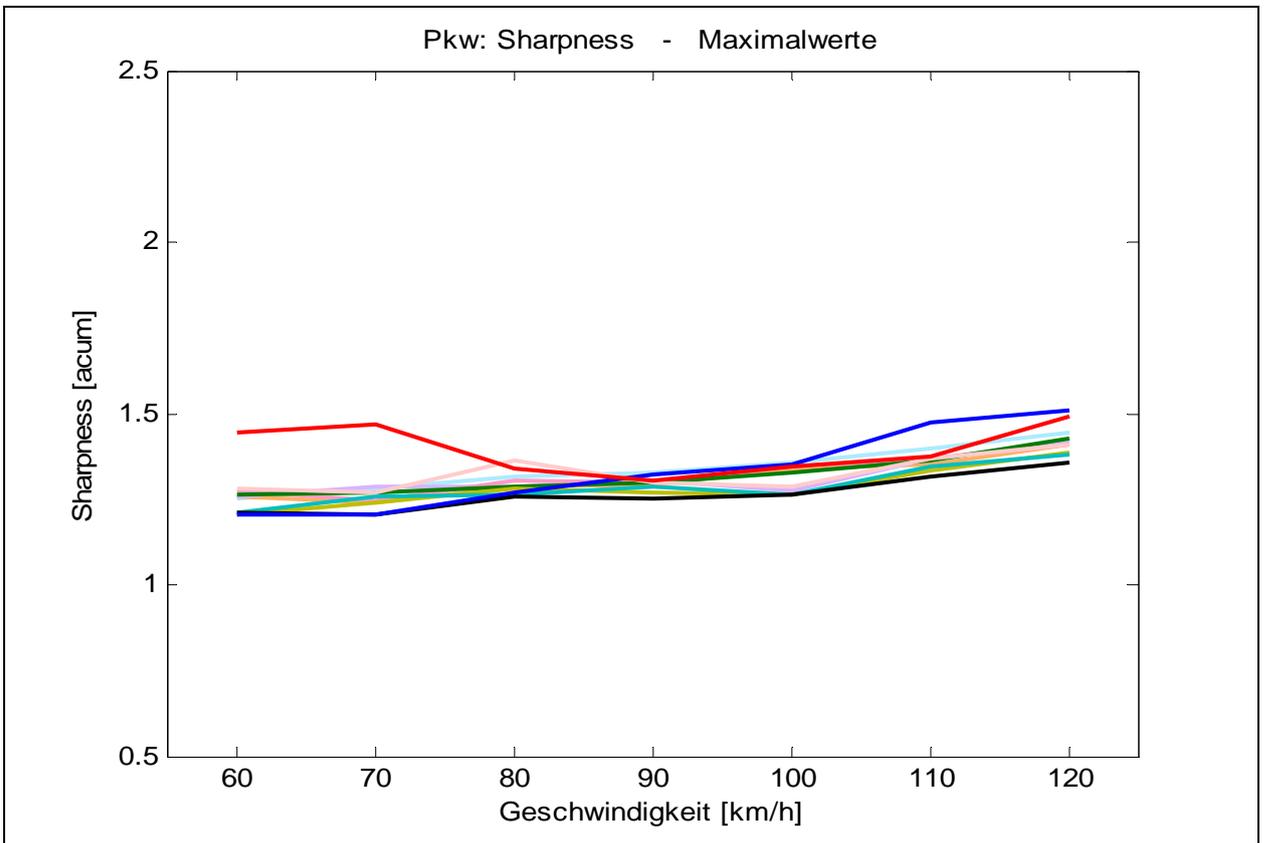
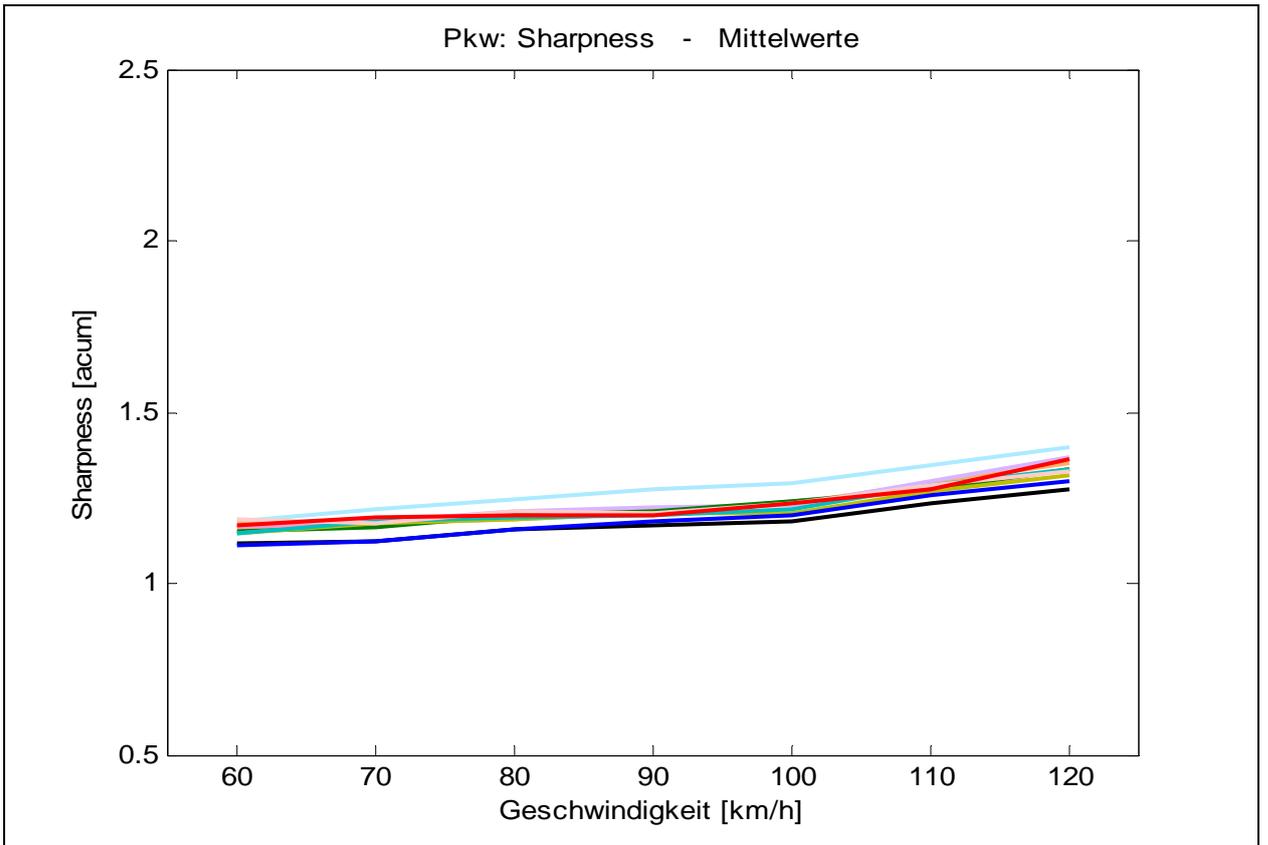
	Nullmessung	
	Profil 02-025	Rillenprofil mit d= 25mm
	Profil 03-050	Rillenprofil mit d= 50mm
	Profil 04-075	Rillenprofil mit d= 75mm
	Profil 05-100	Rillenprofil mit d=100mm
	Profil 06	Sinusprofil mit d= 10mm
	Profil 07	Sägezahnprofil mit d= 25mm
	Profil 10	Kreissegmentprofil
	Profil 11	Keilprofil
	Profil 12	Sinusprofil mit d=125mm
	Profil 20	Kombinationsprofil

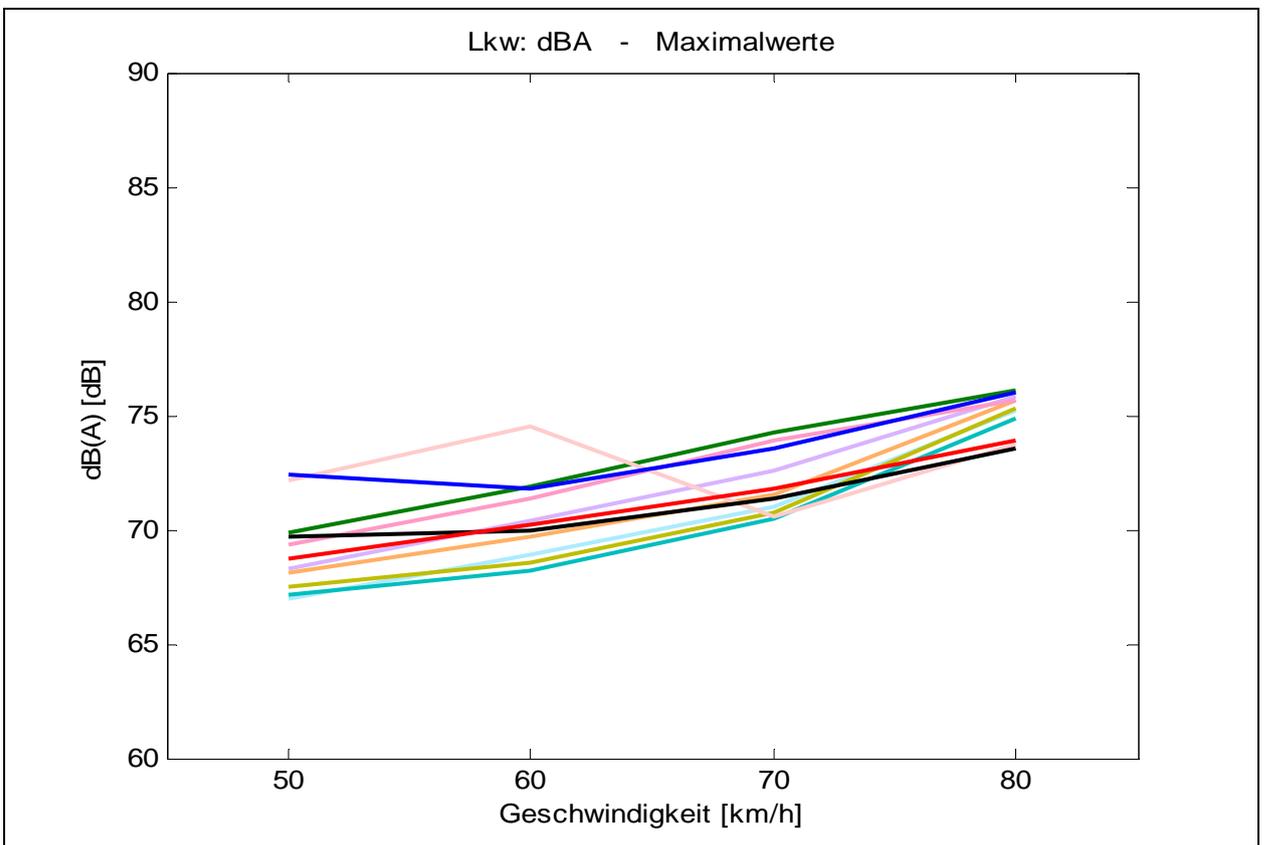
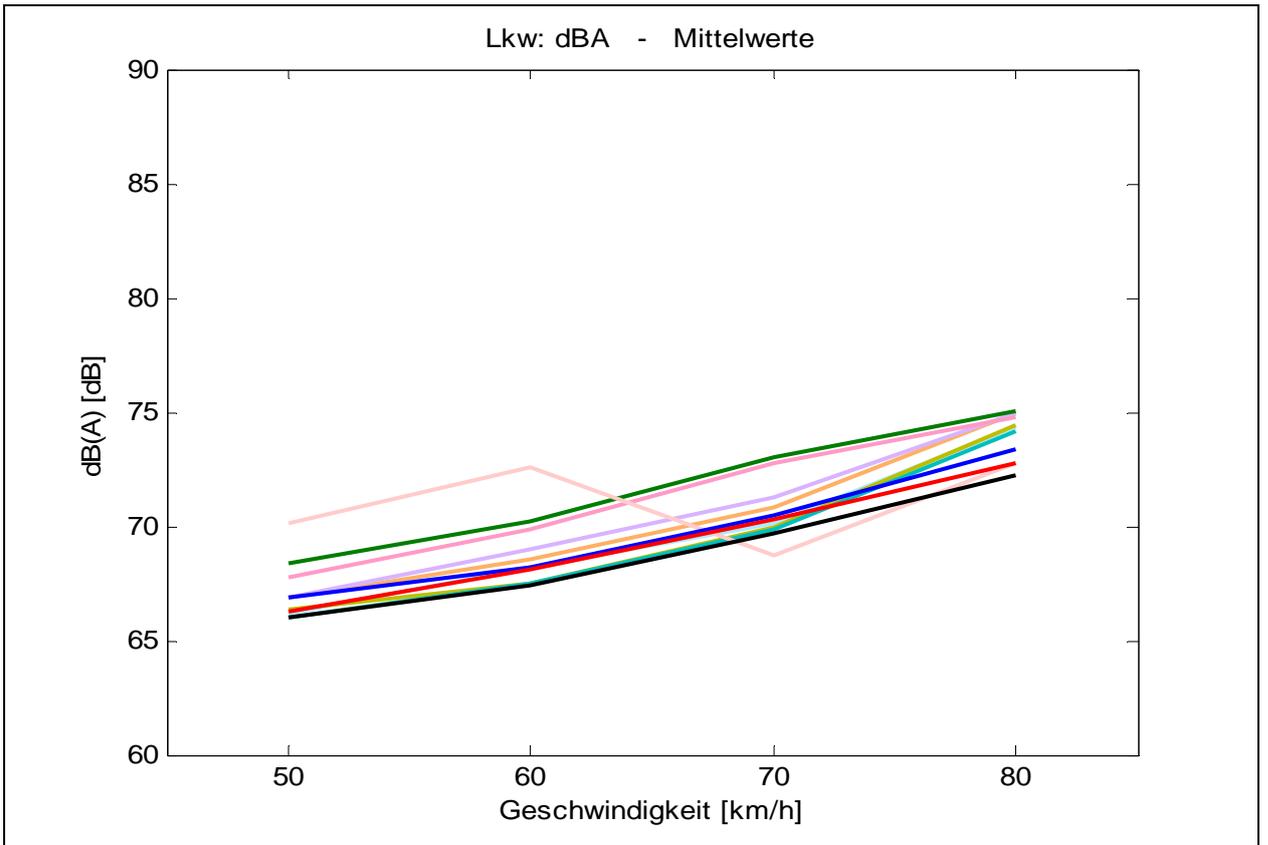


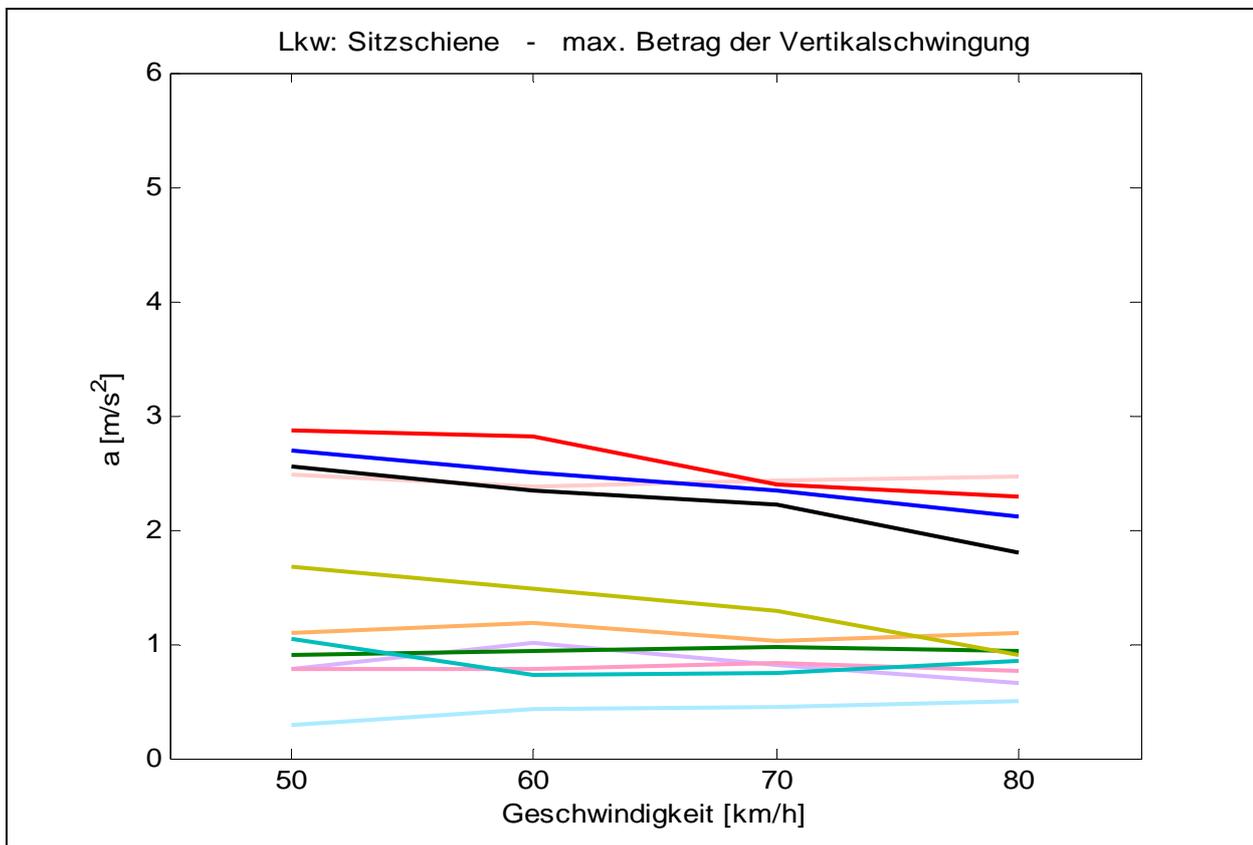
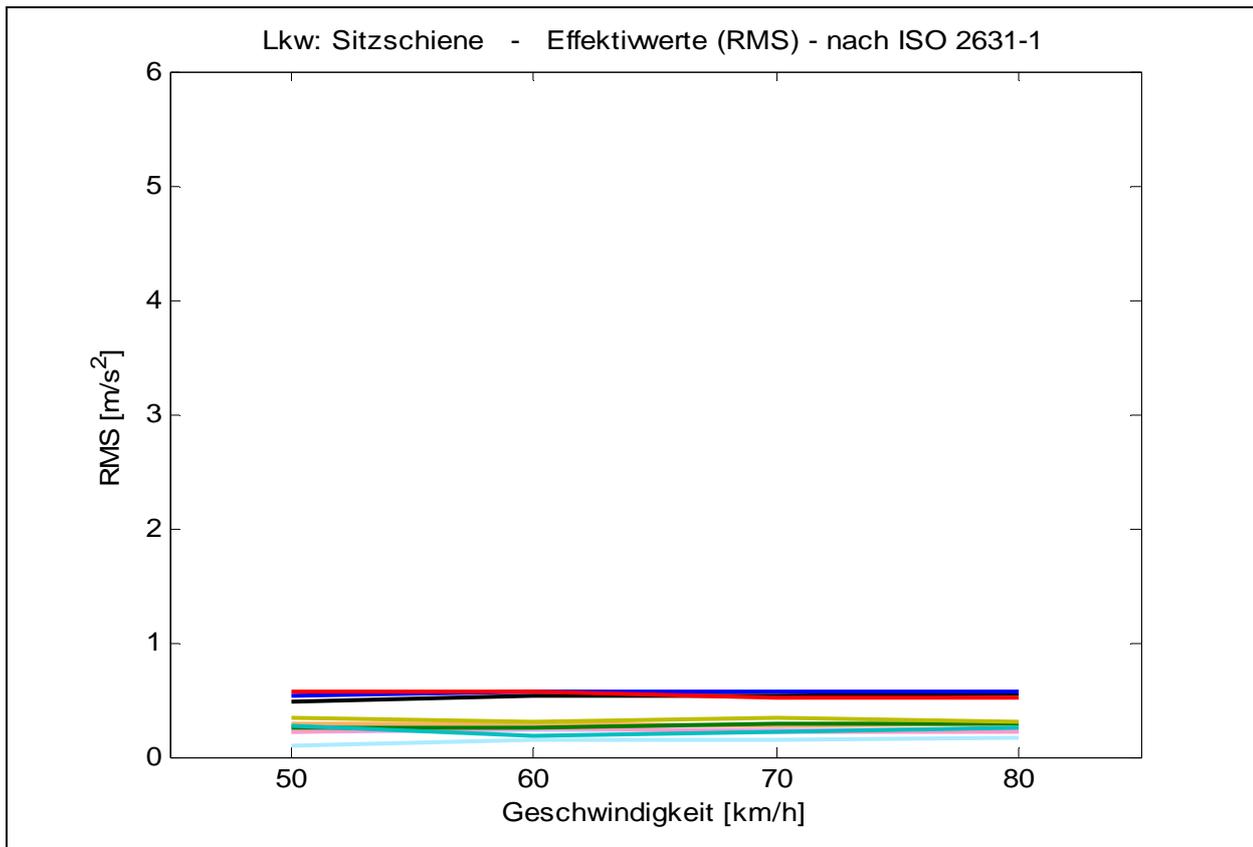


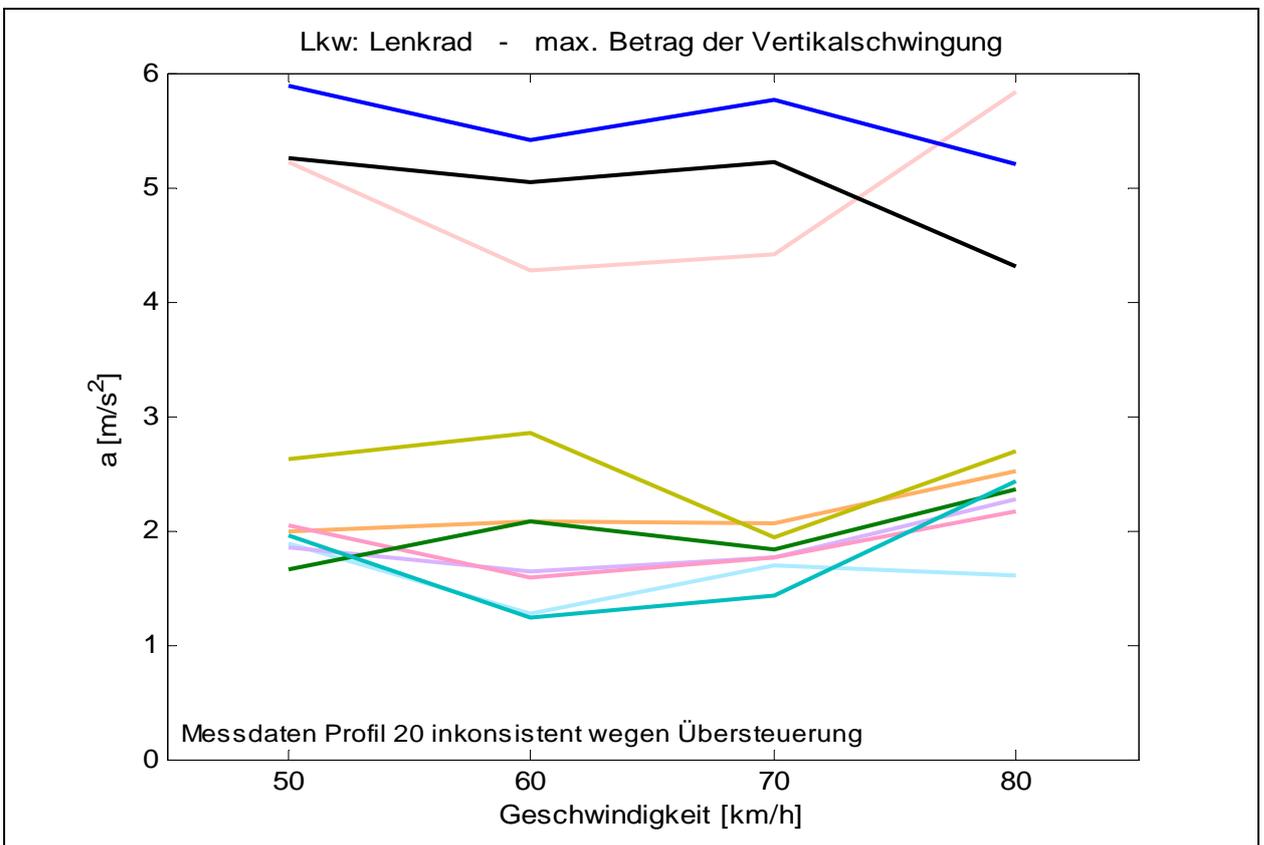
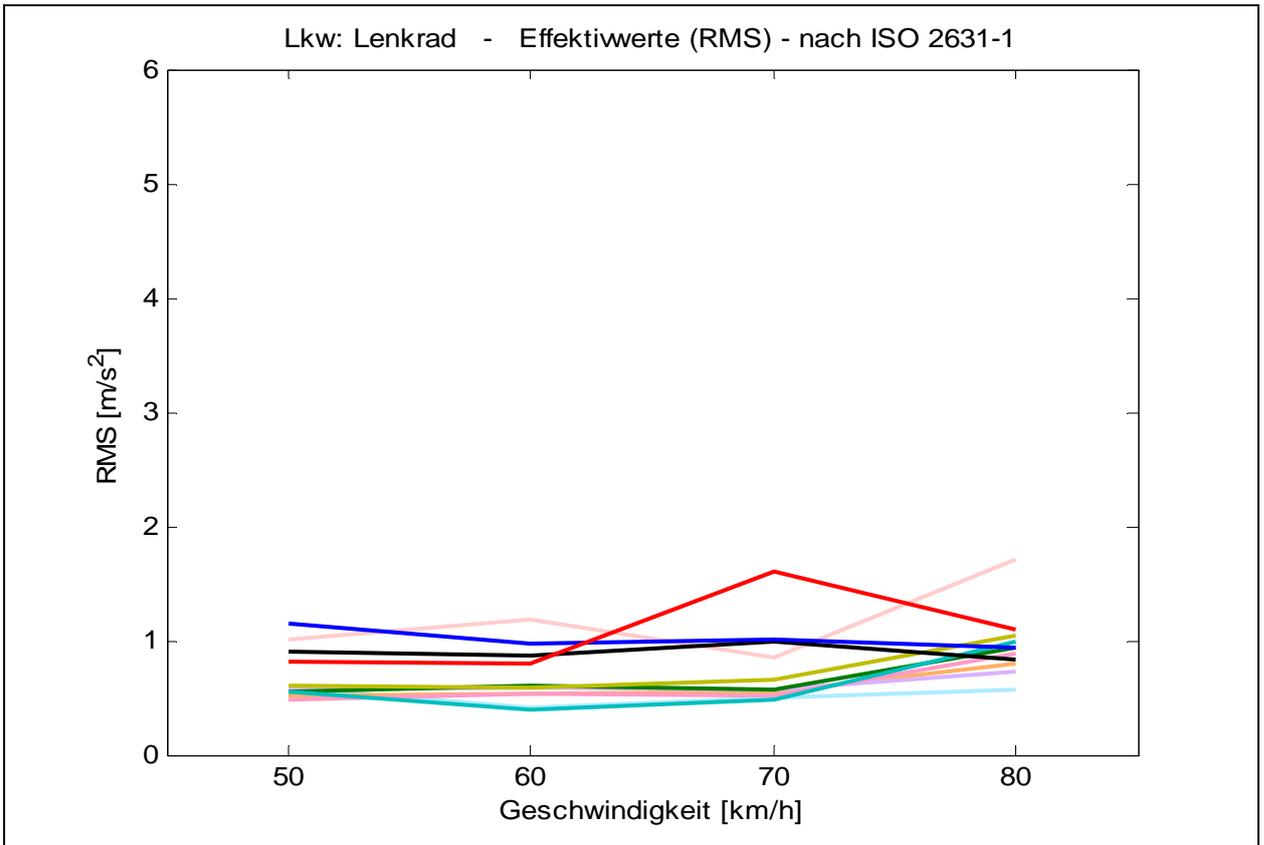


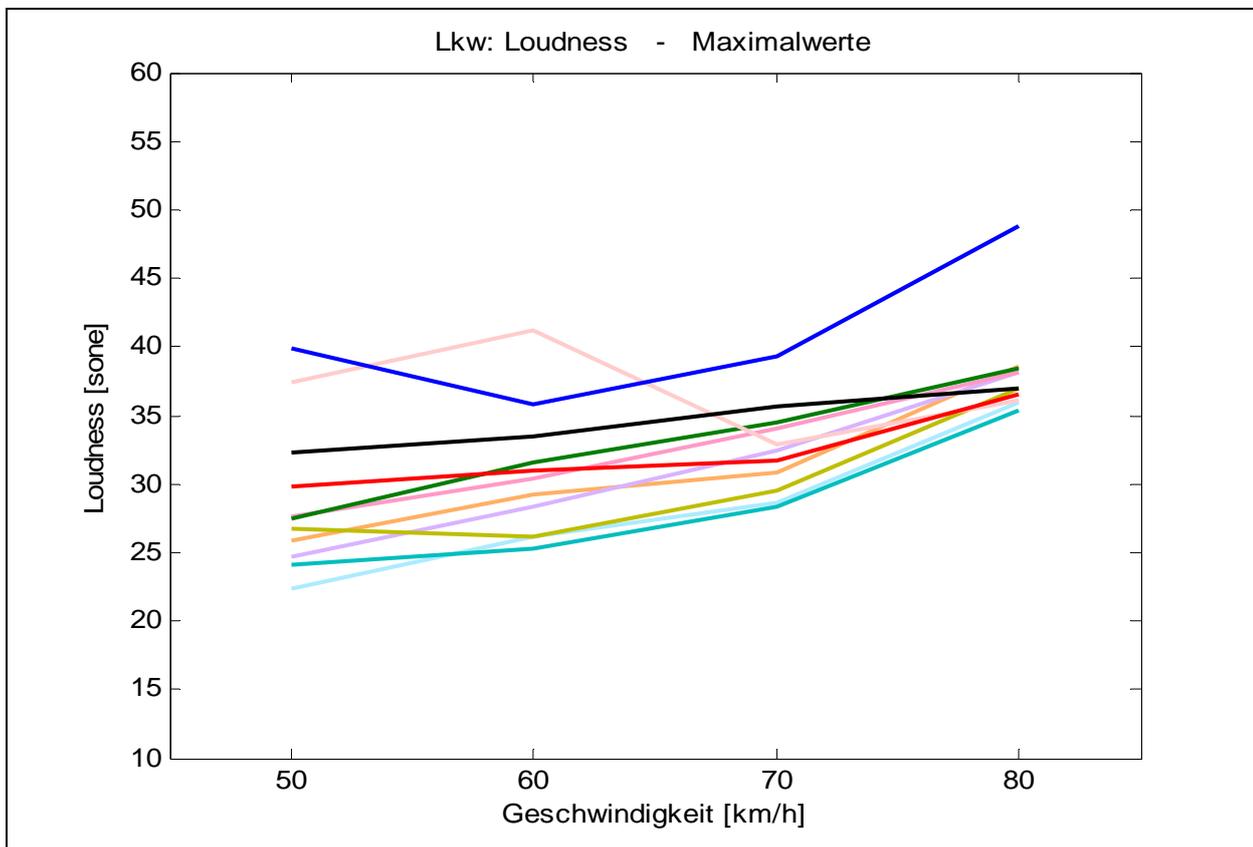
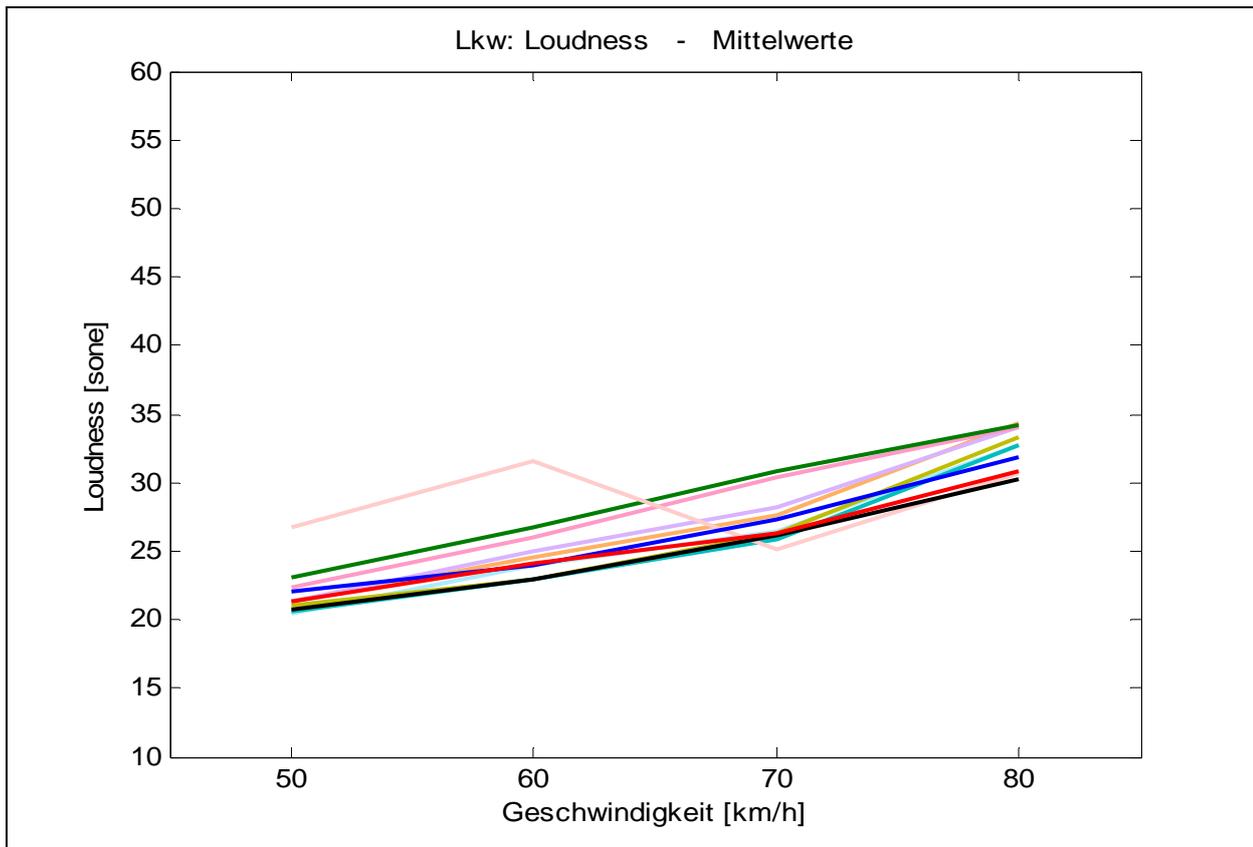


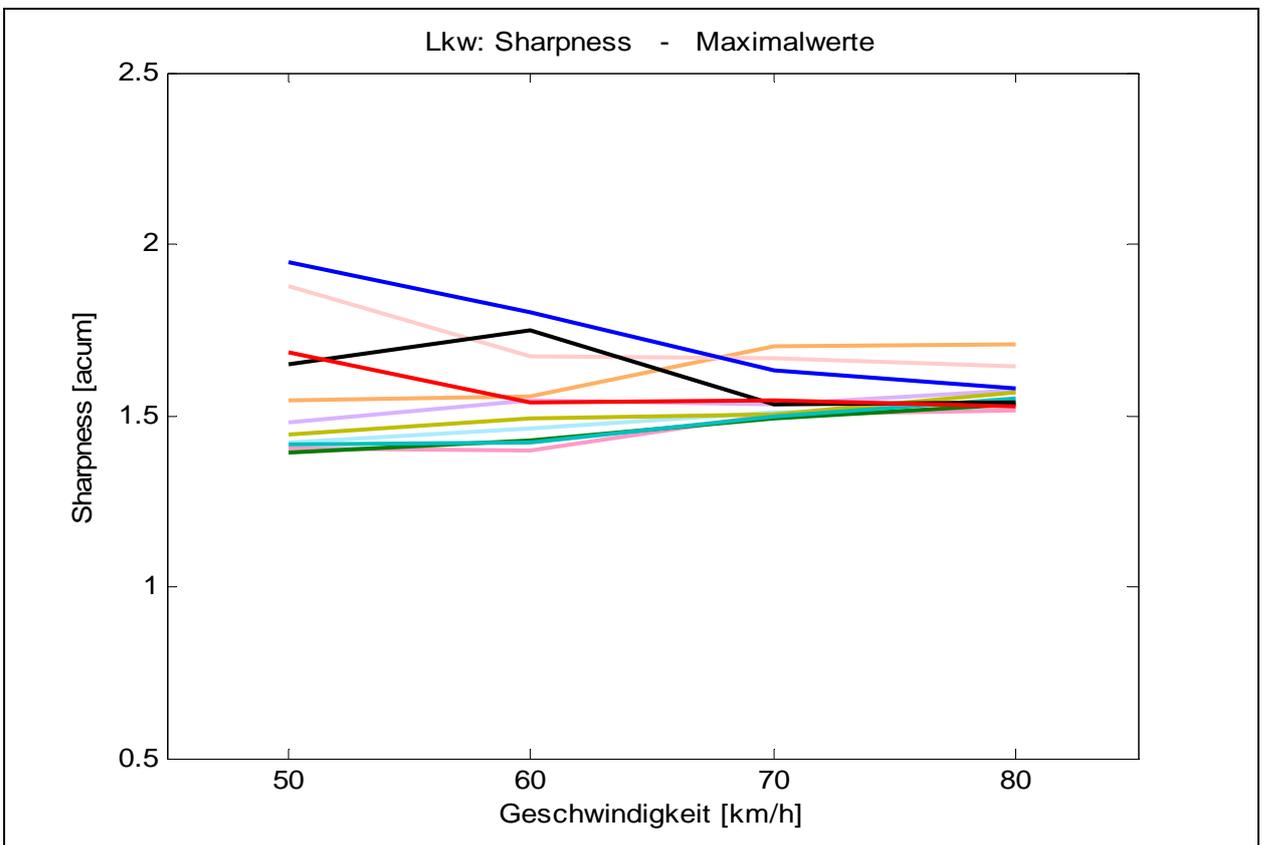
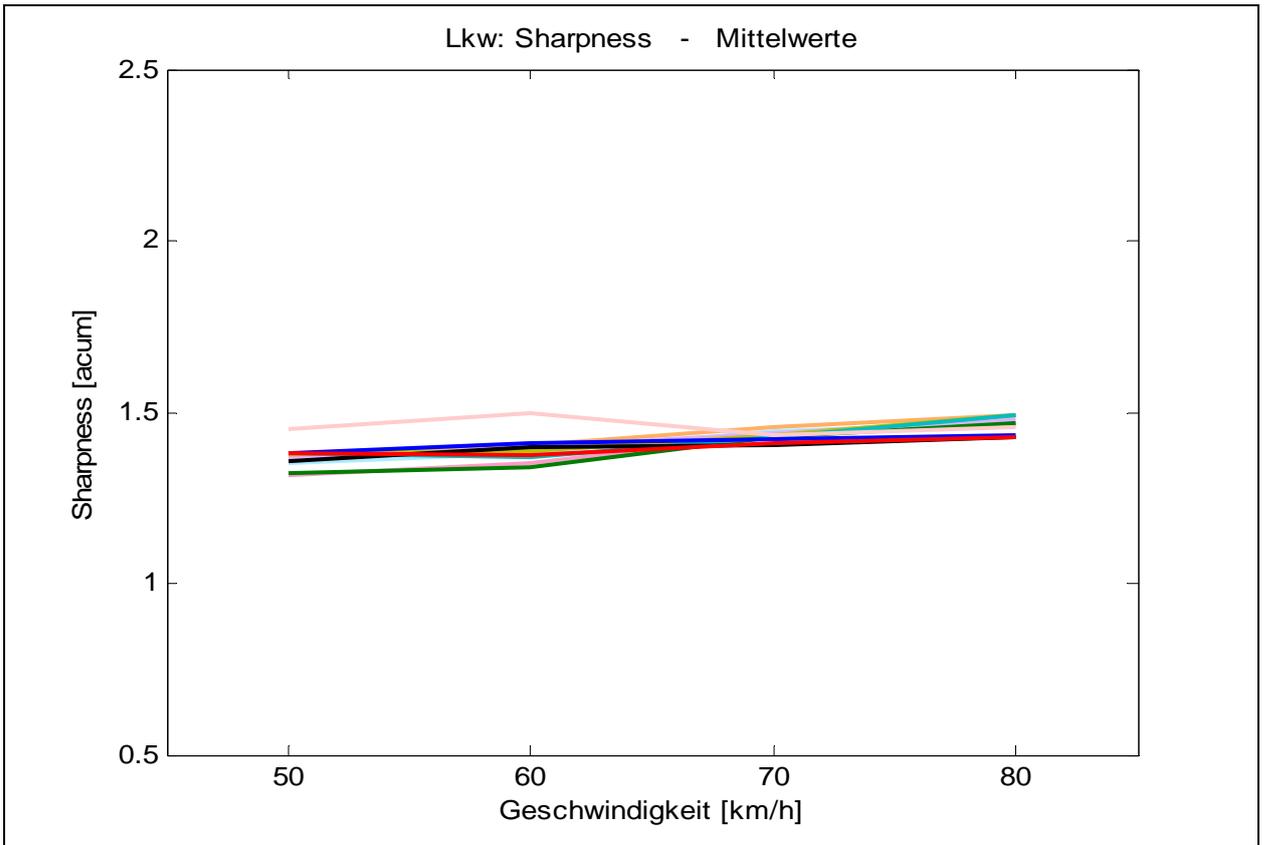


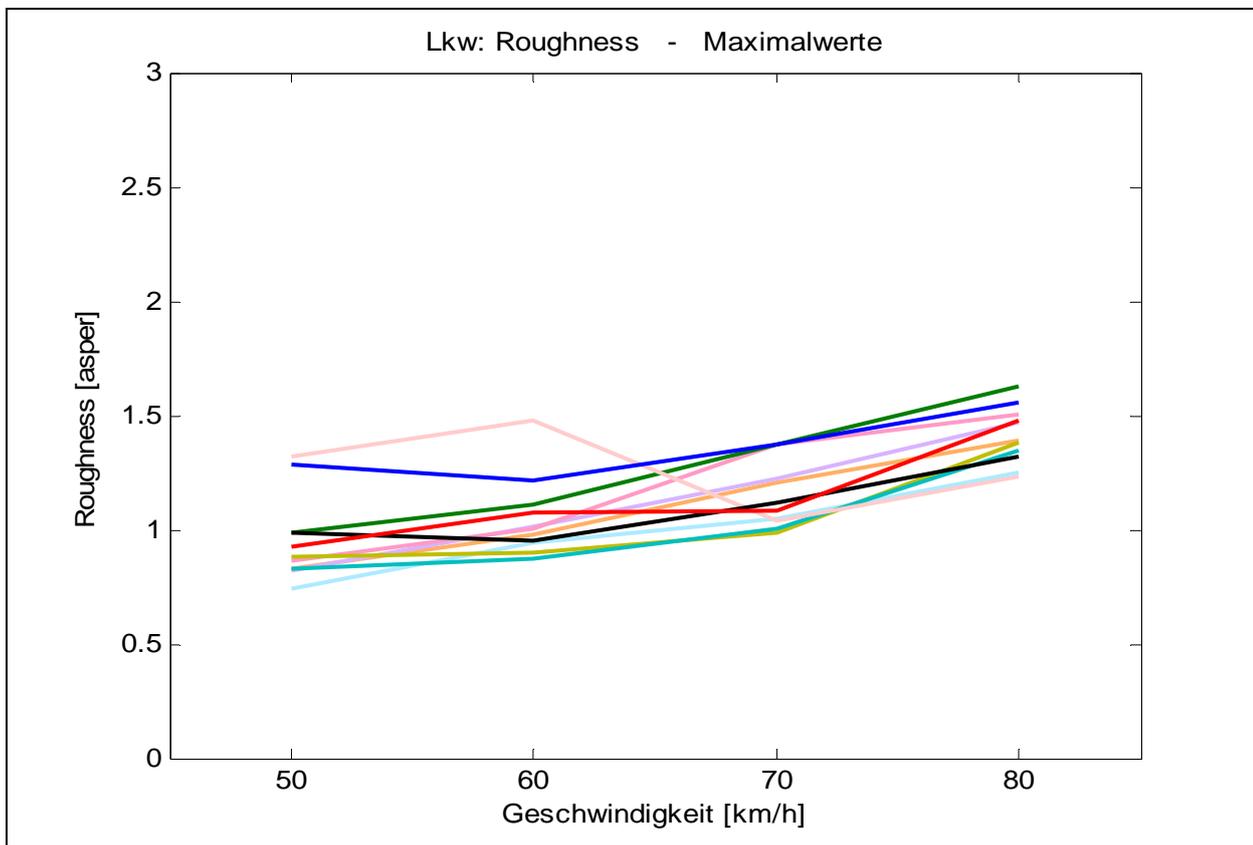
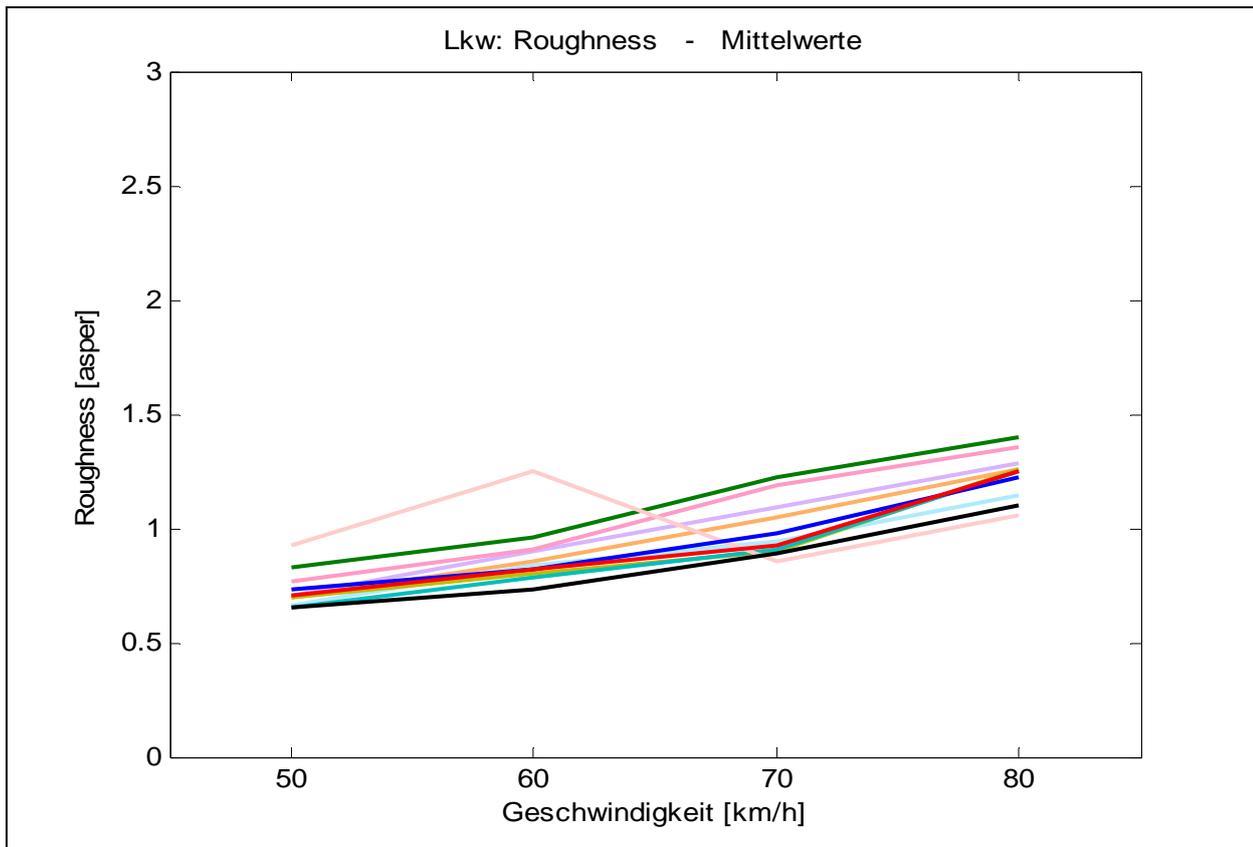






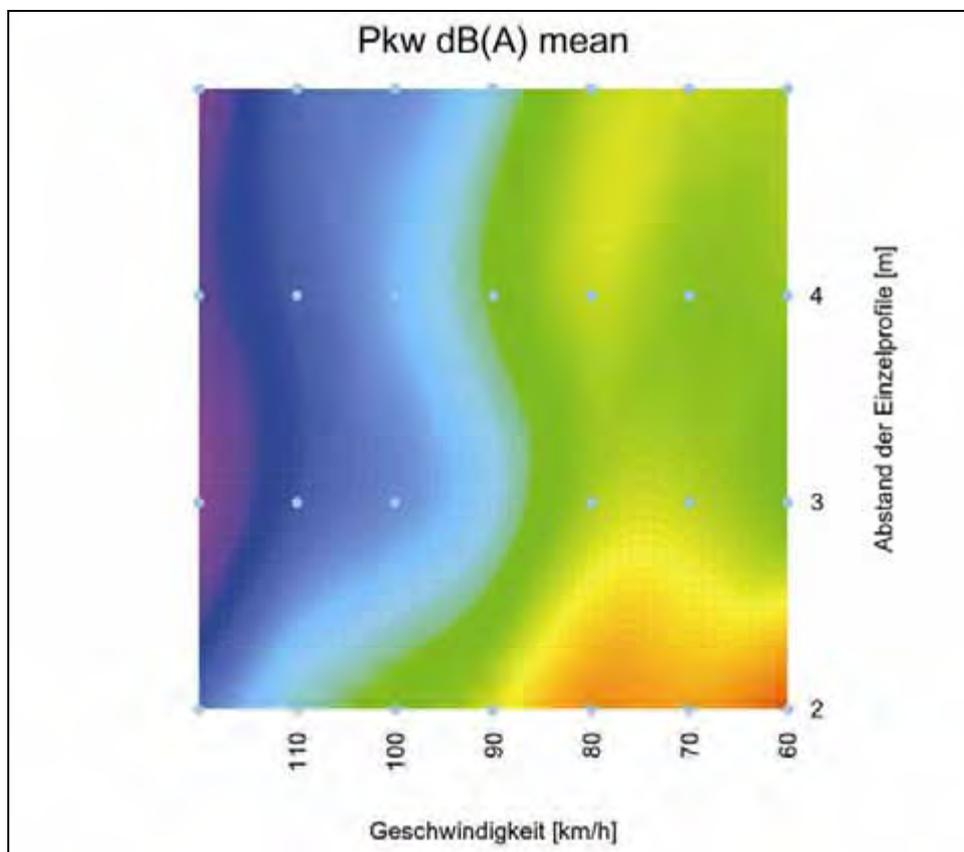
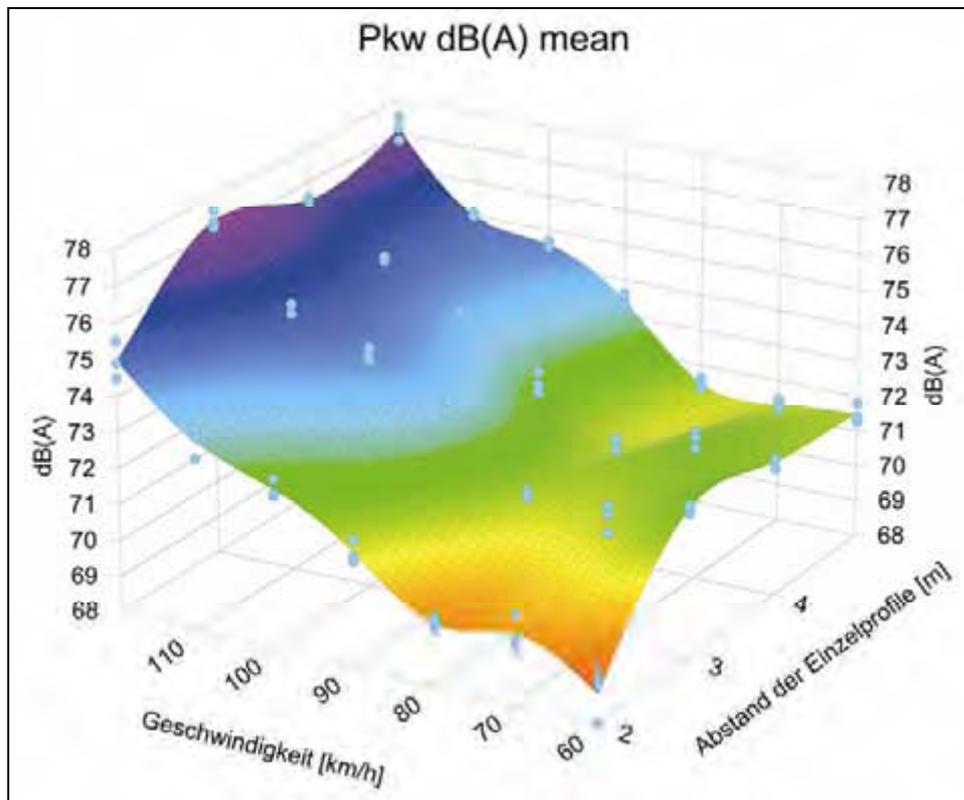


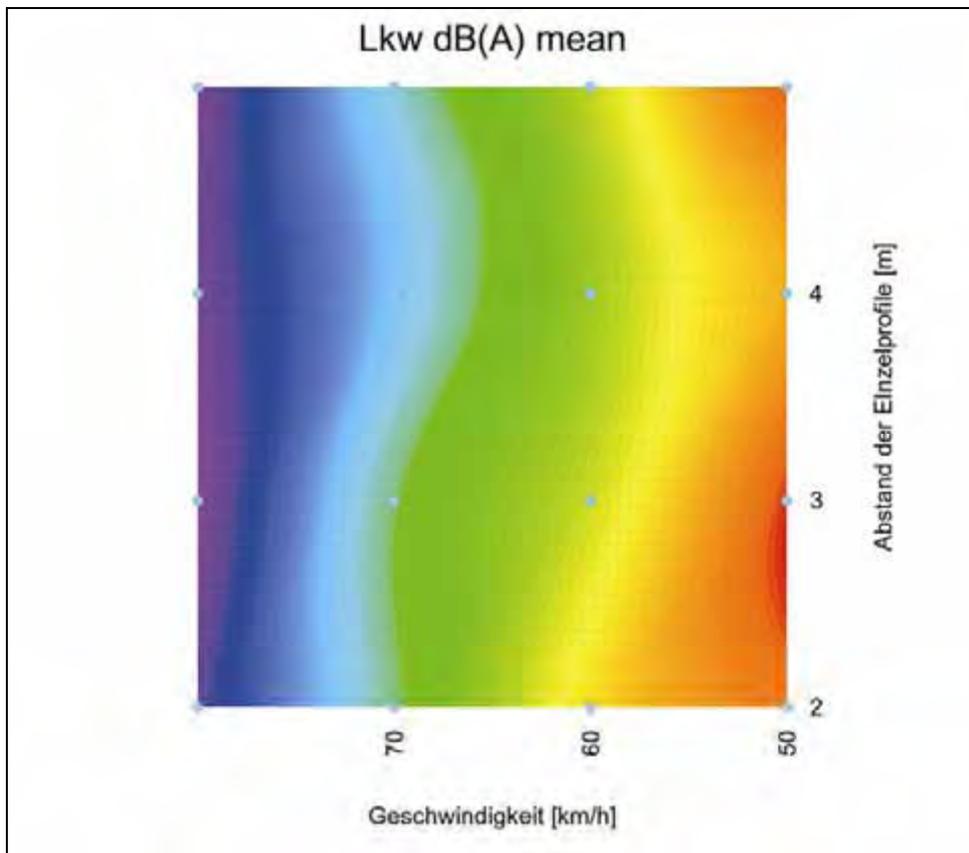
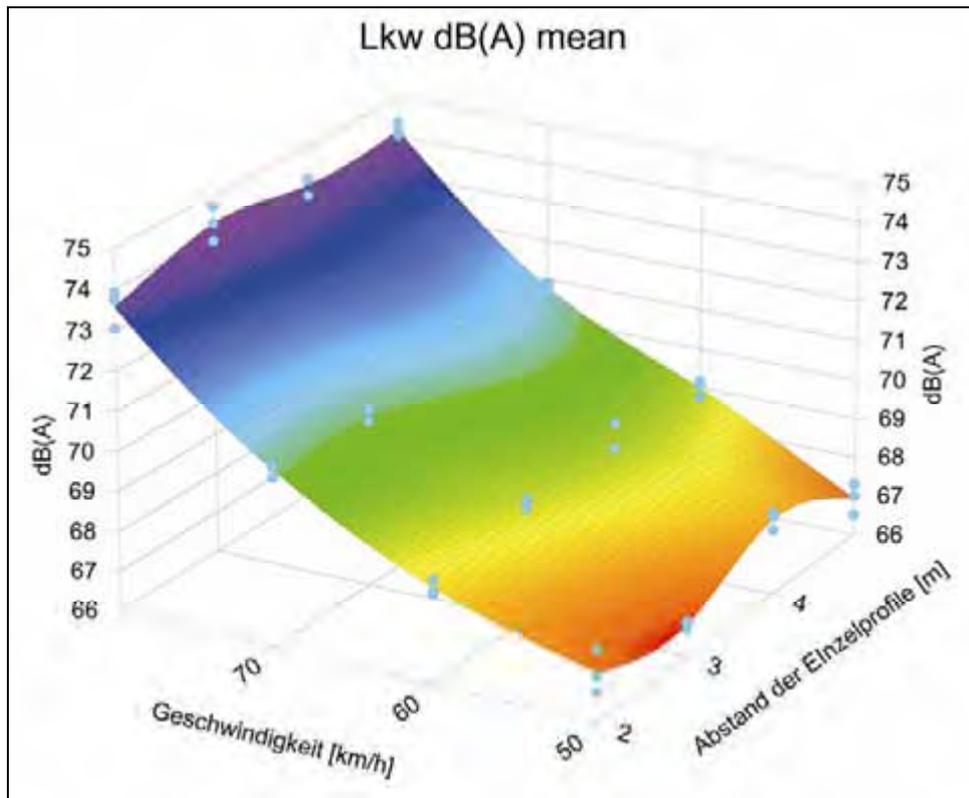


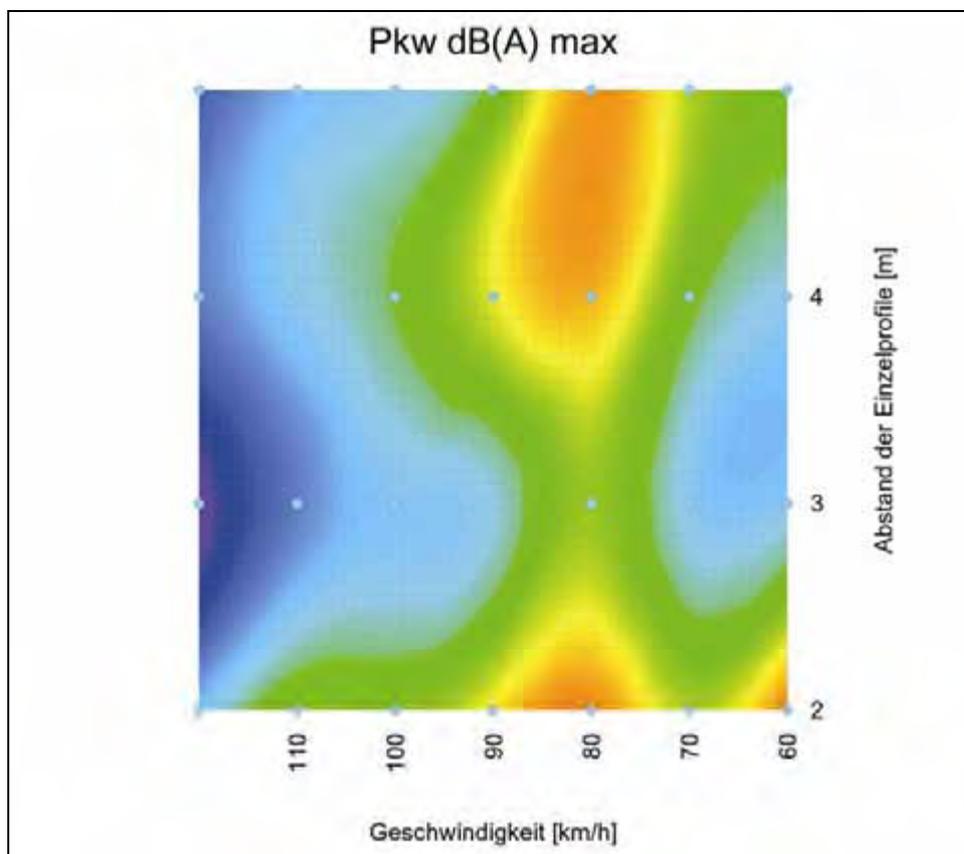
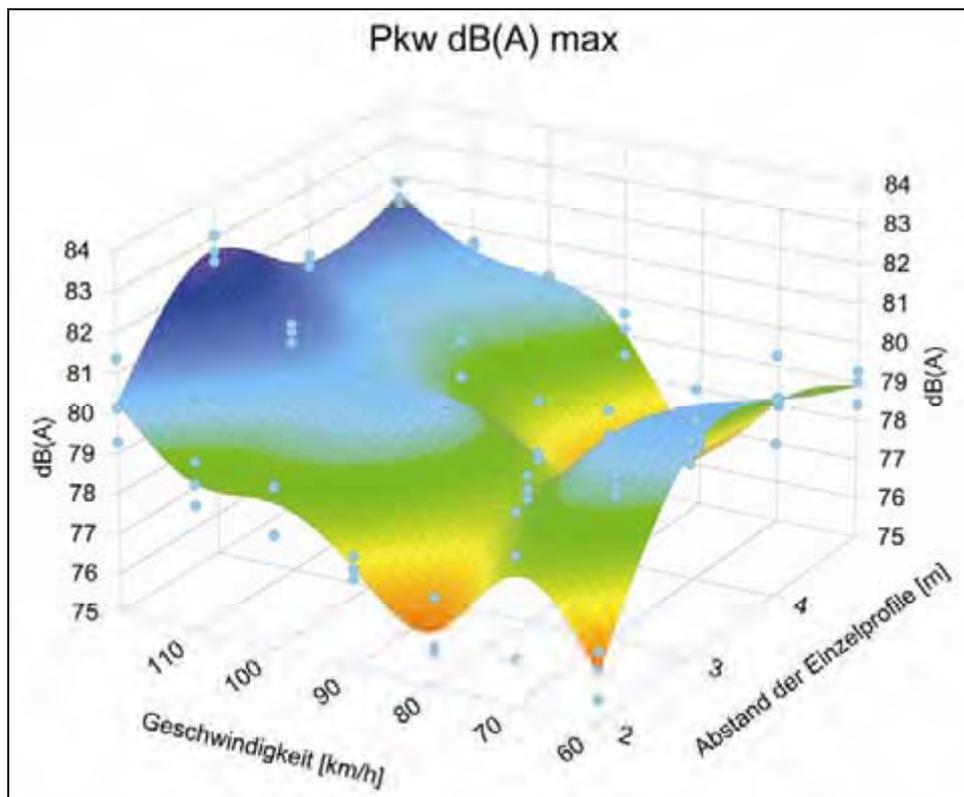


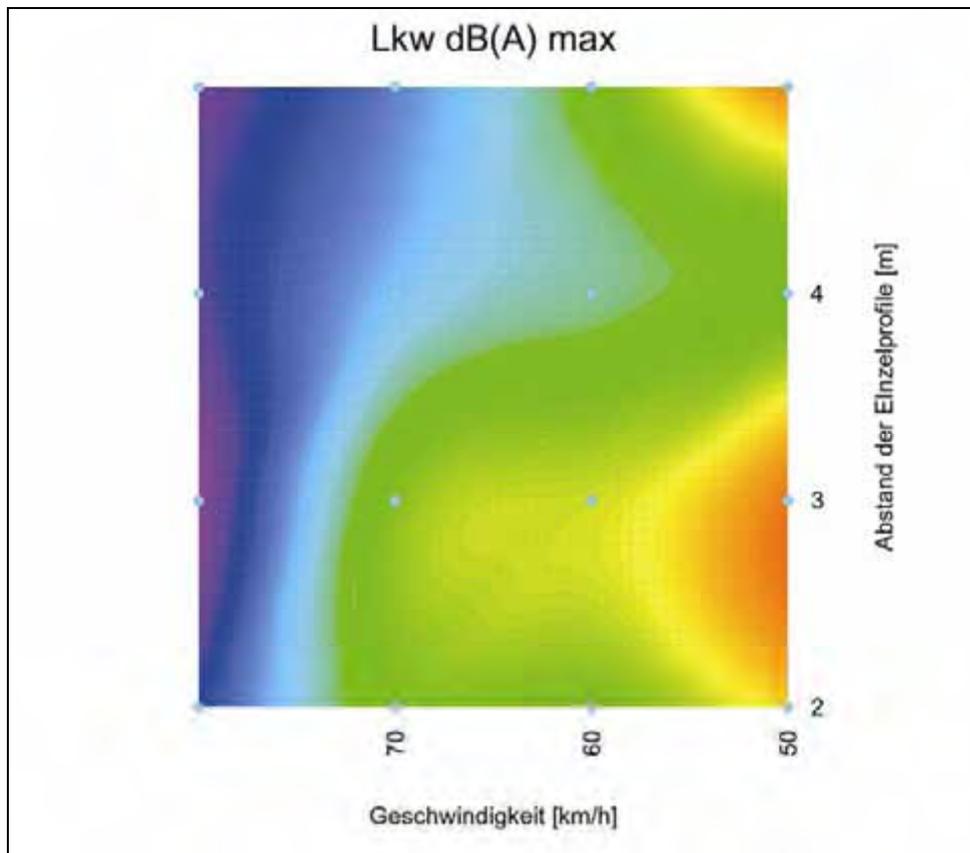
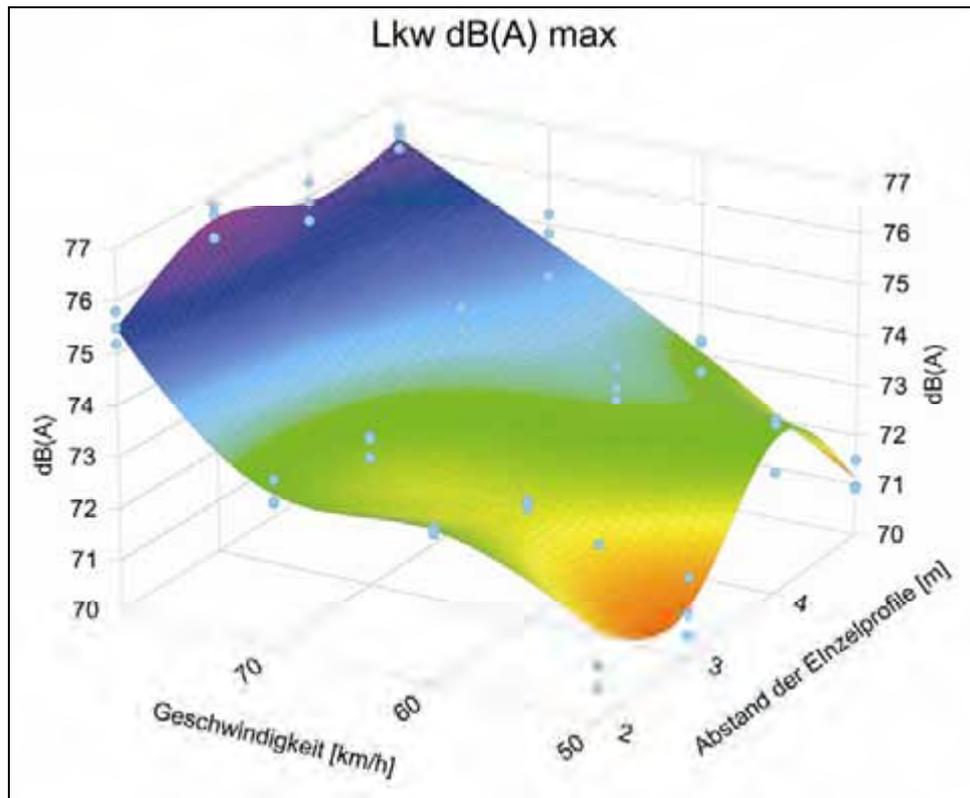
6.2 Streifenpakete (5 Streifen, Profil 21, unterschiedliche Abstände)

Zusammenfassung dB(A):

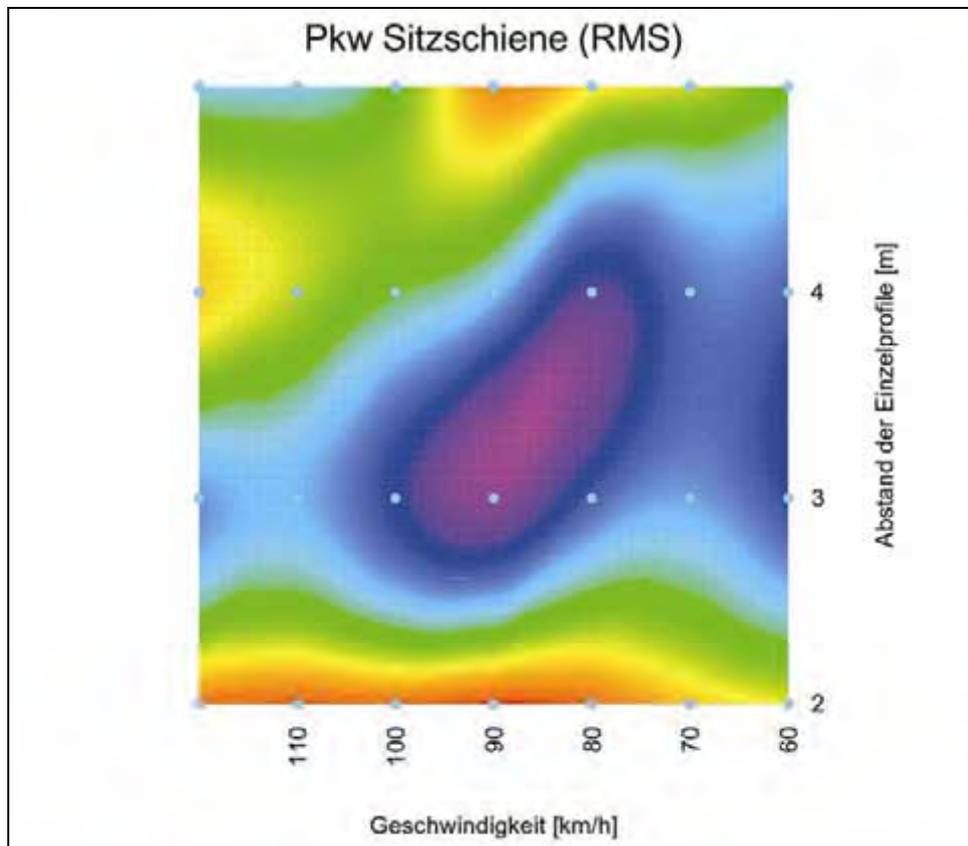
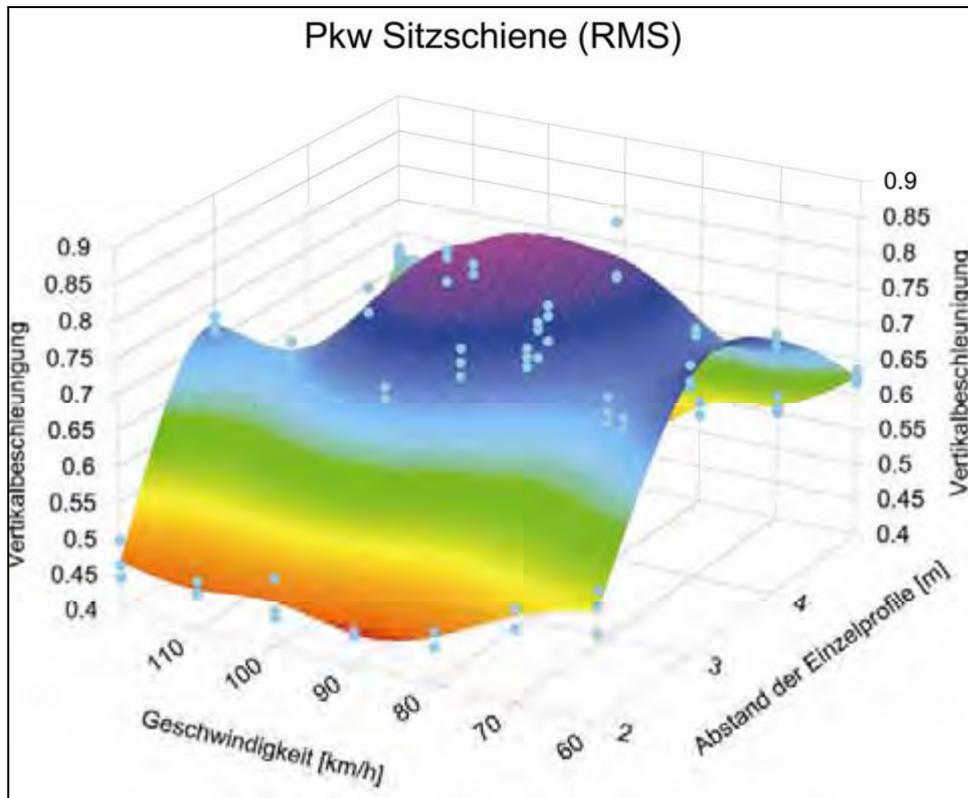


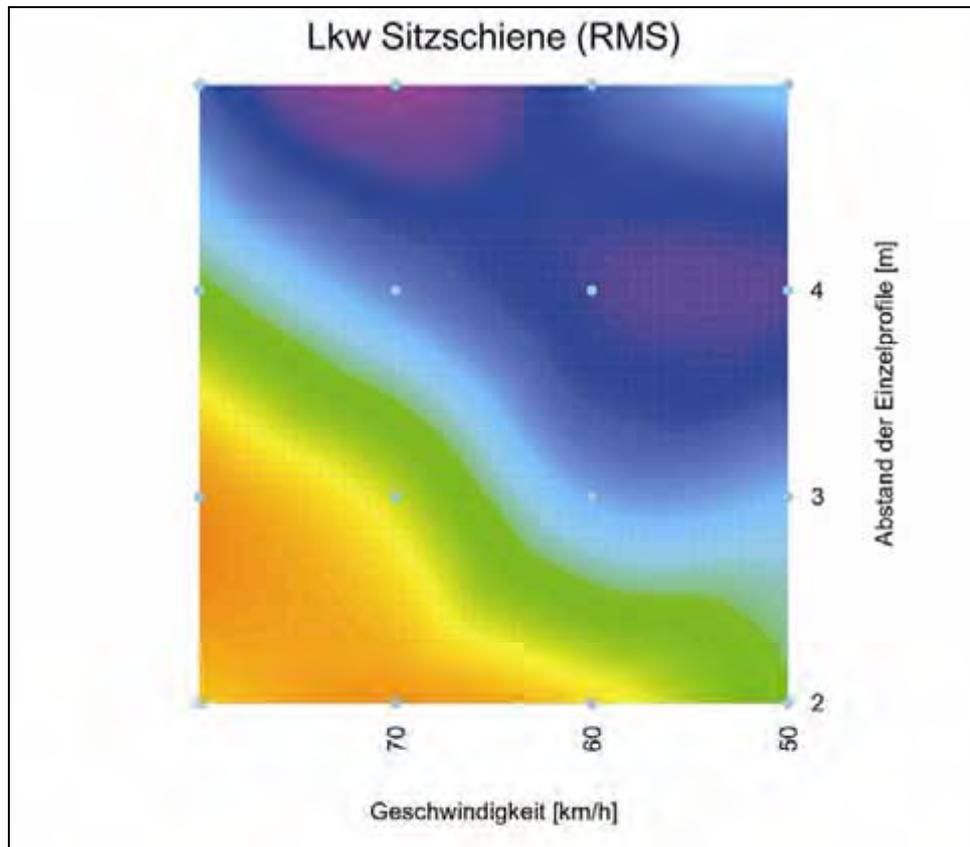
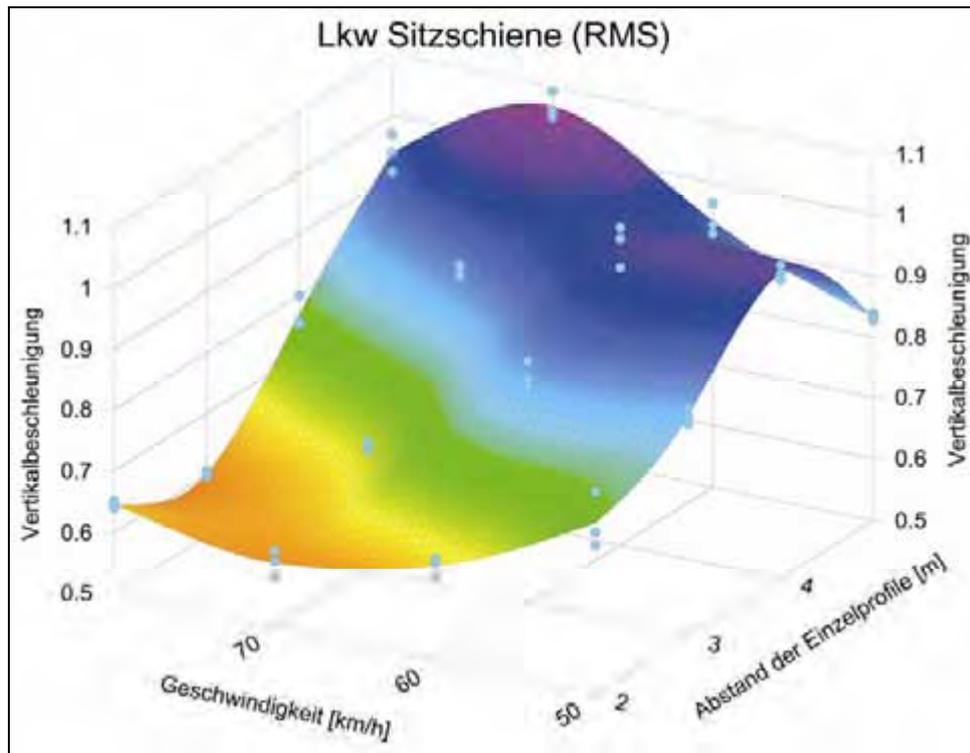


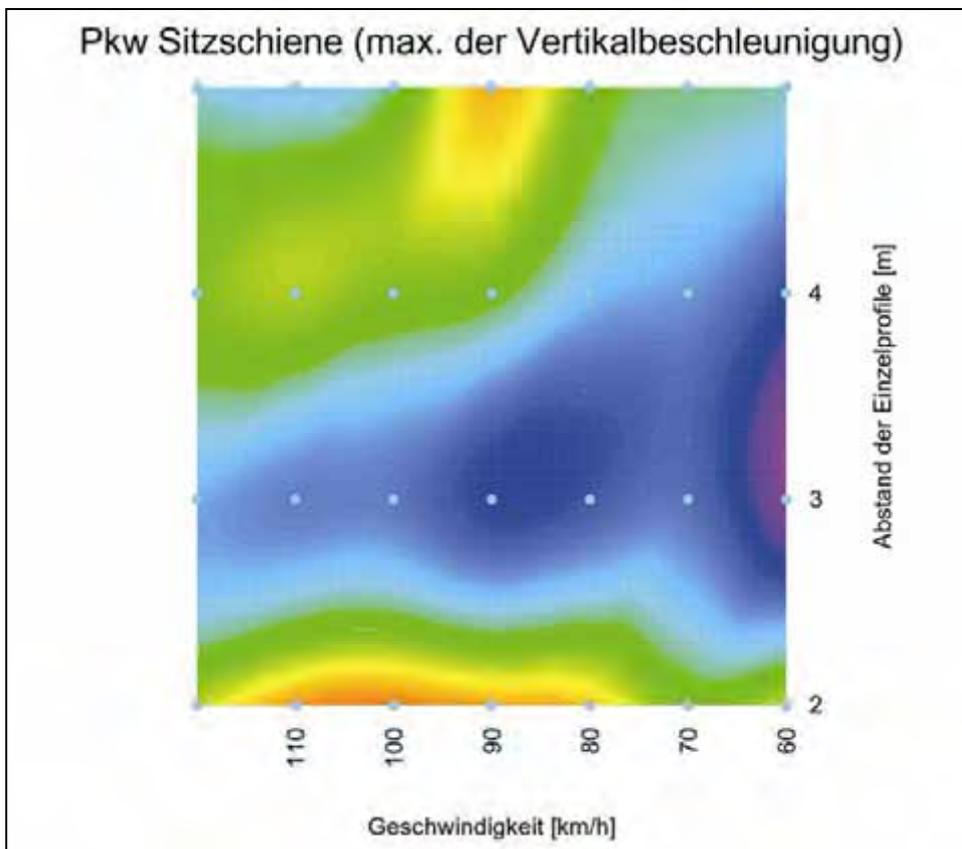
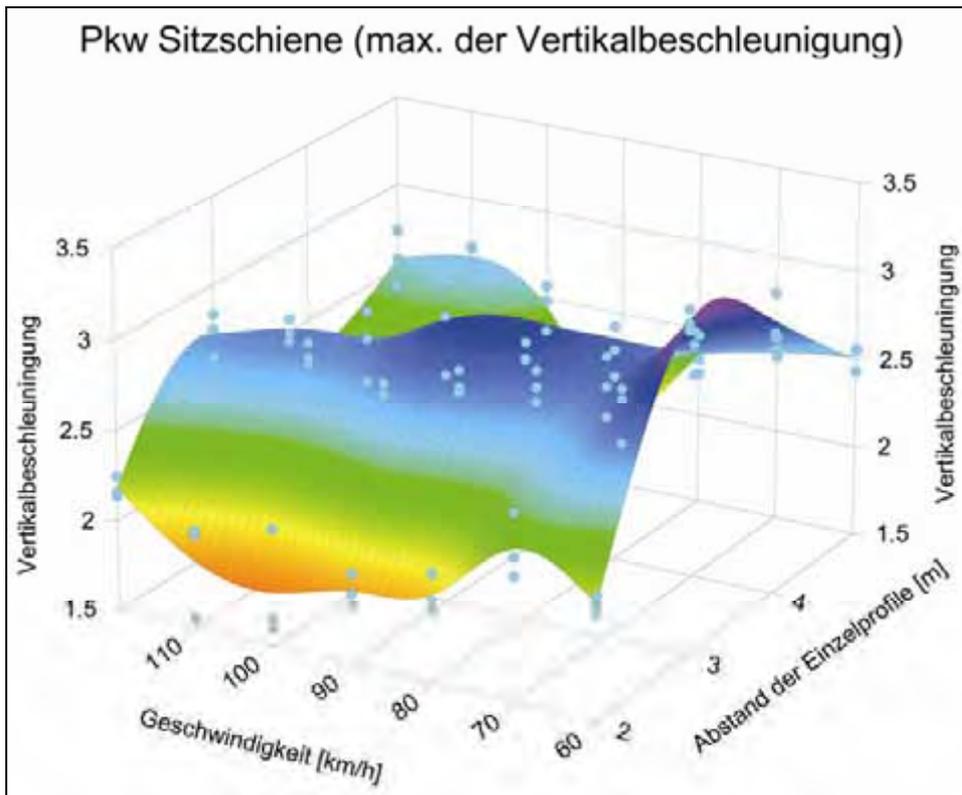


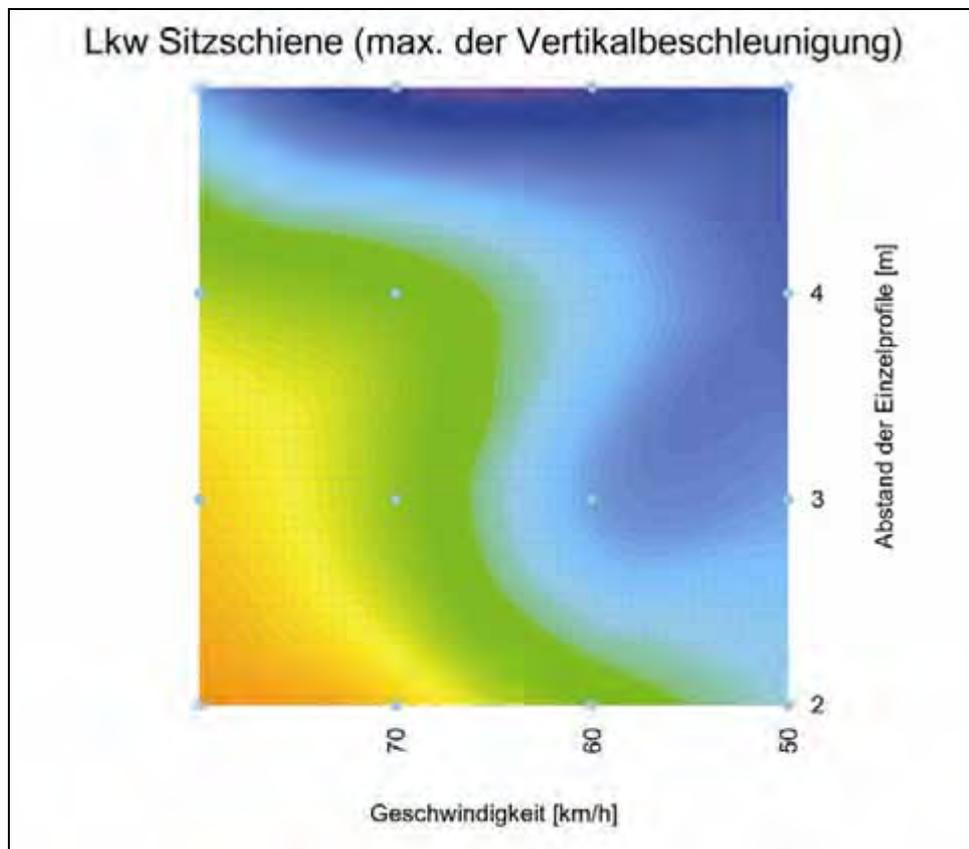
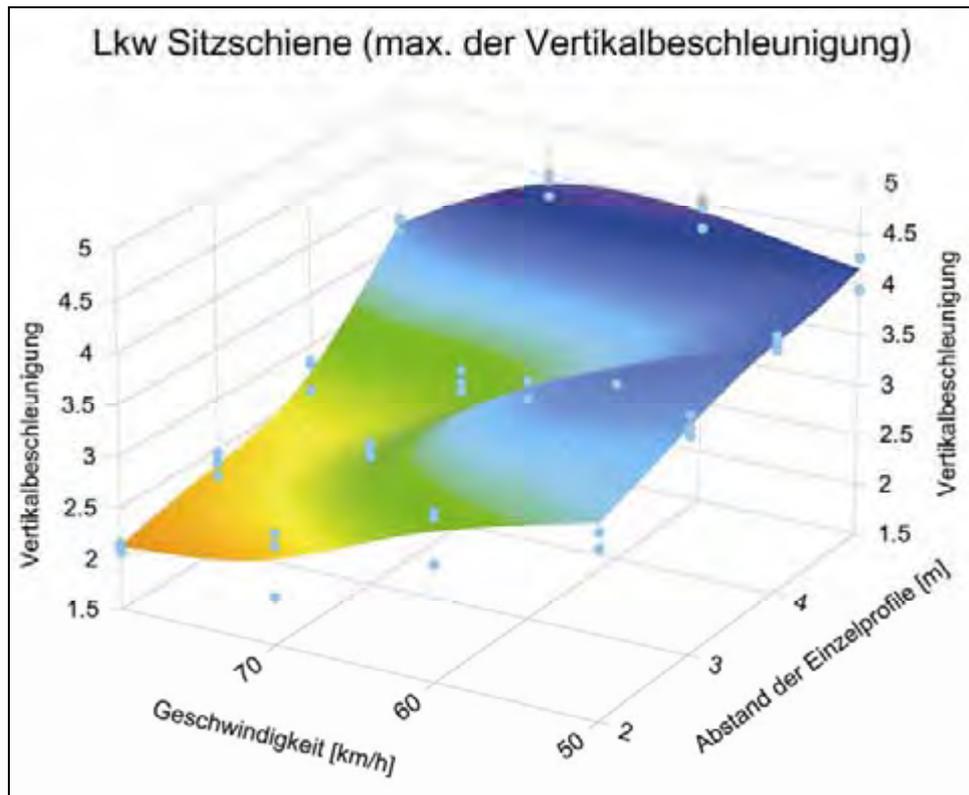


Zusammenfassung Vertikalschwingungen in der Sitzschiene:

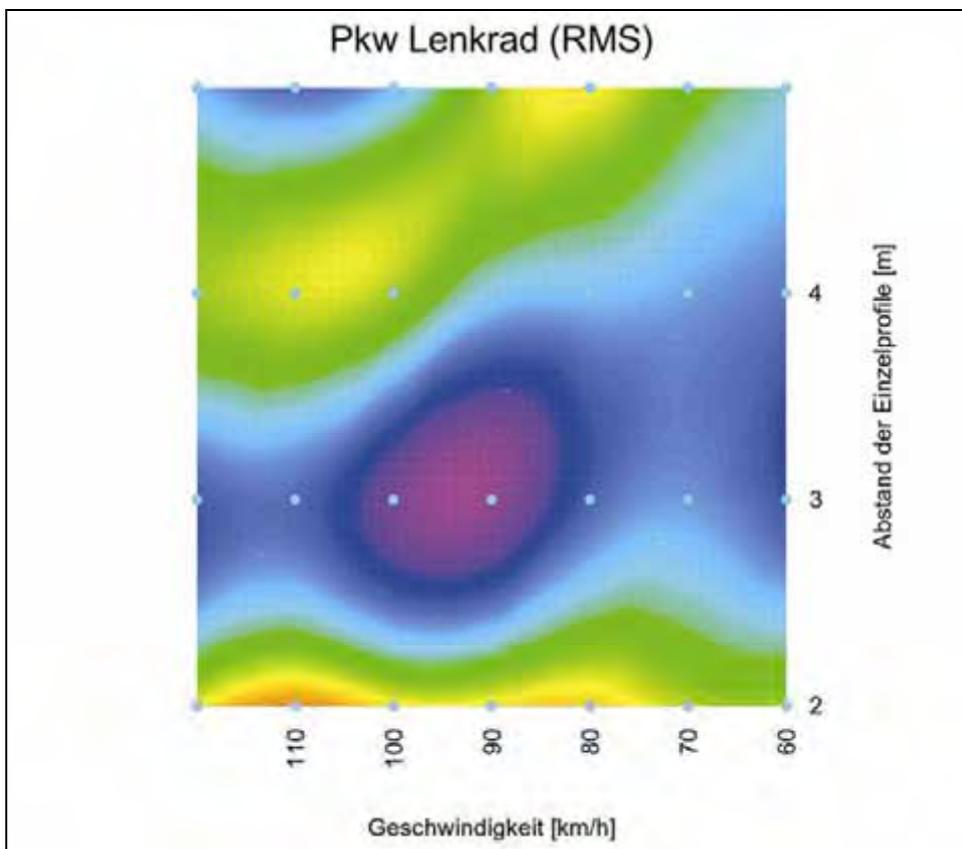
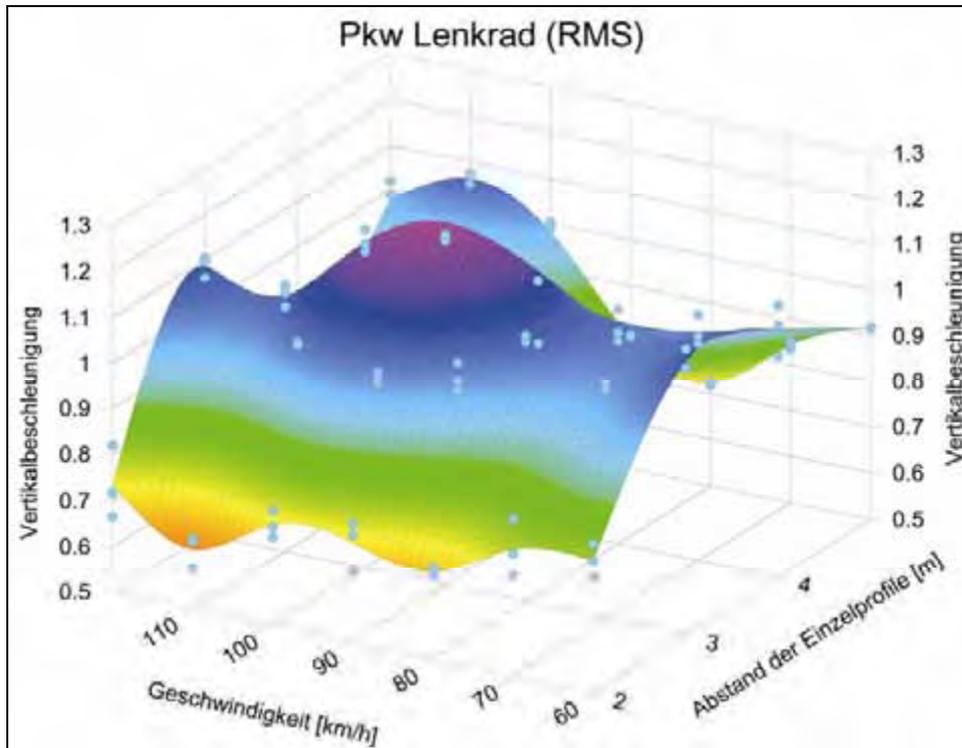


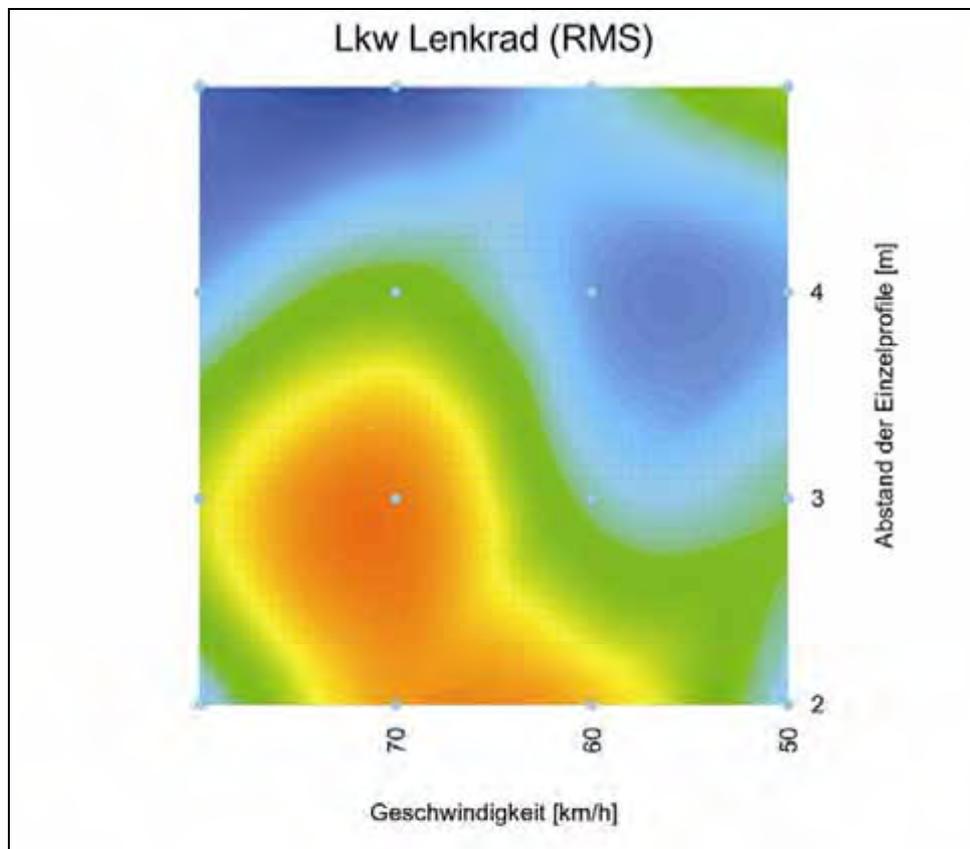
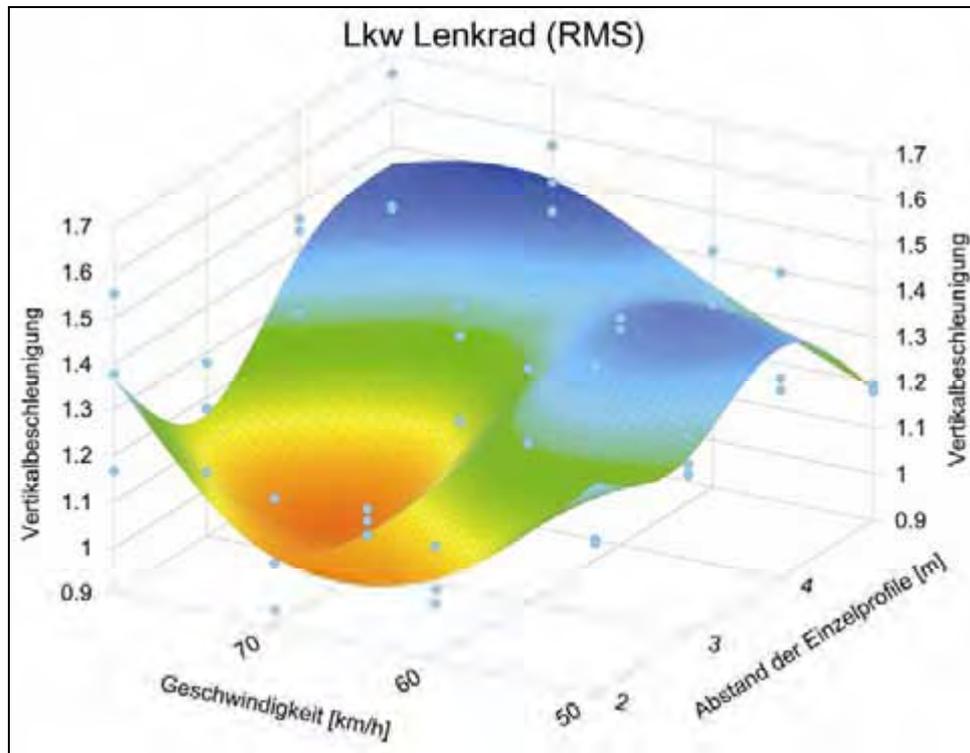


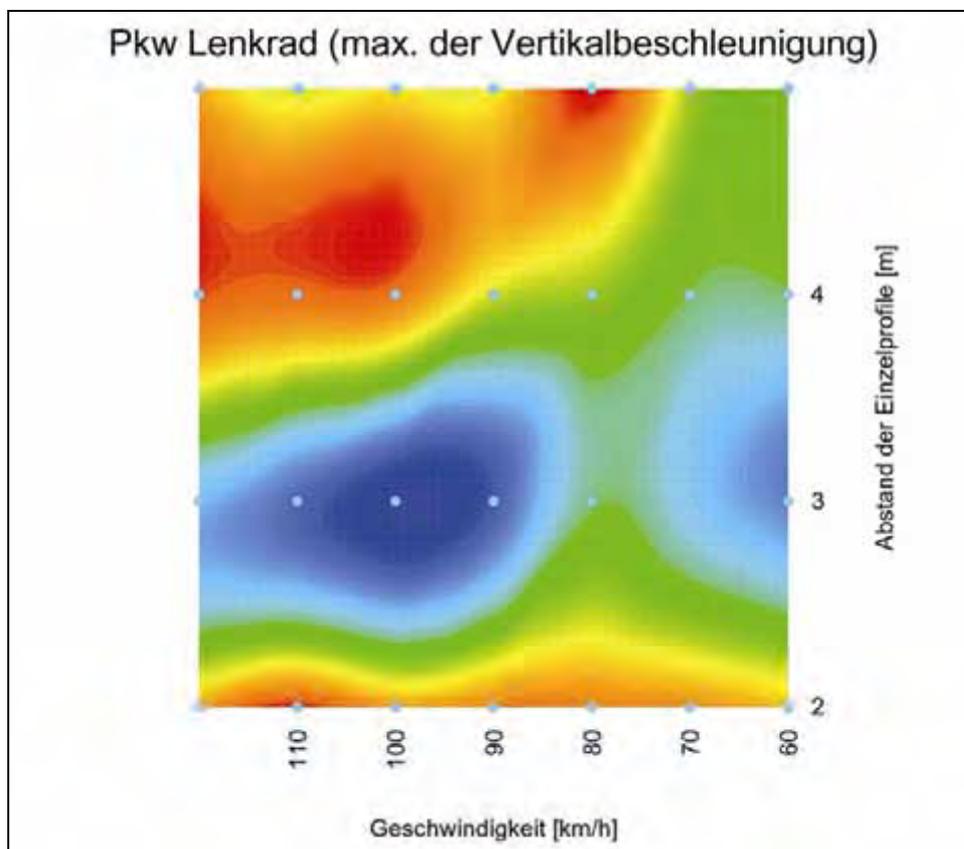
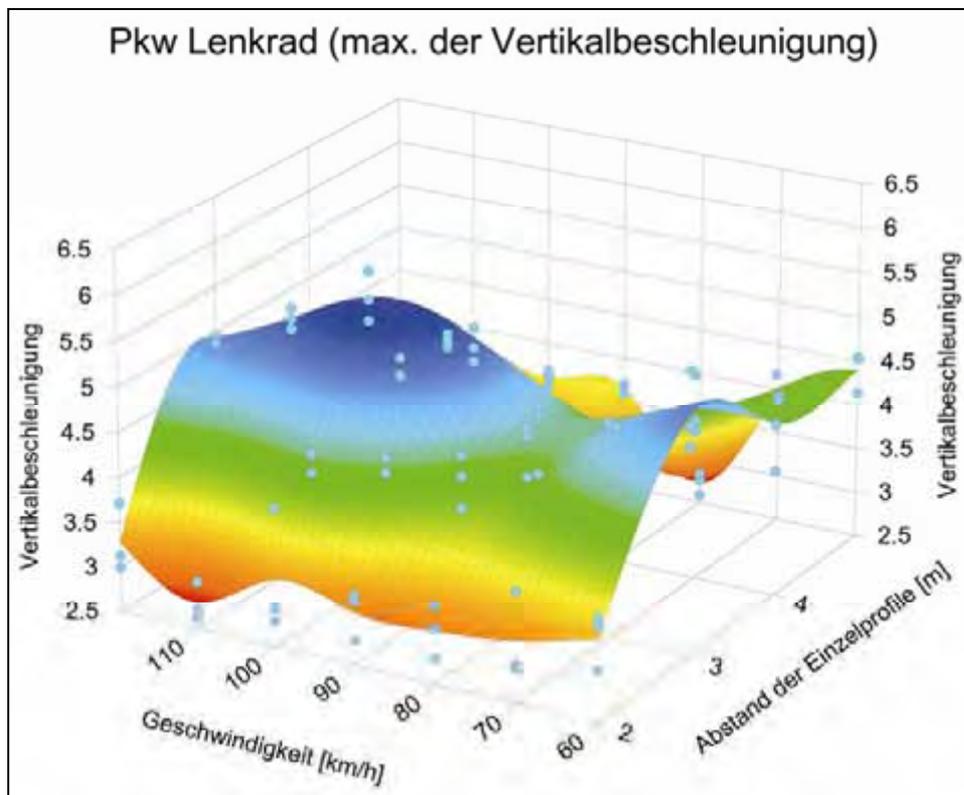


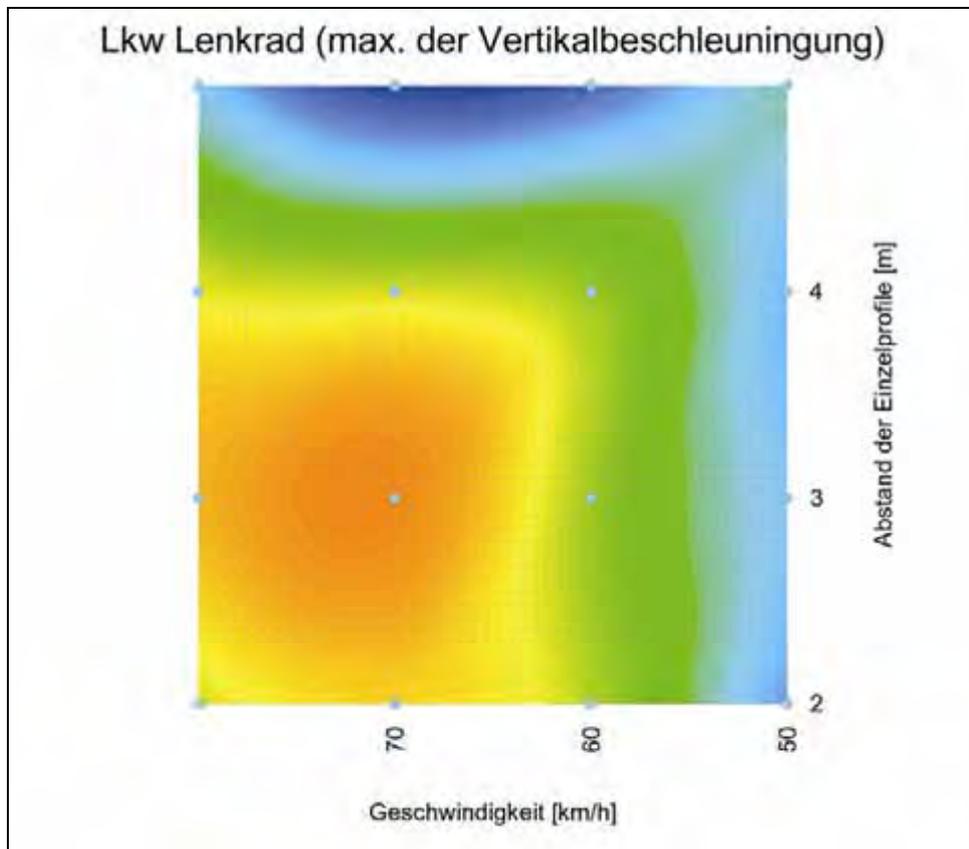
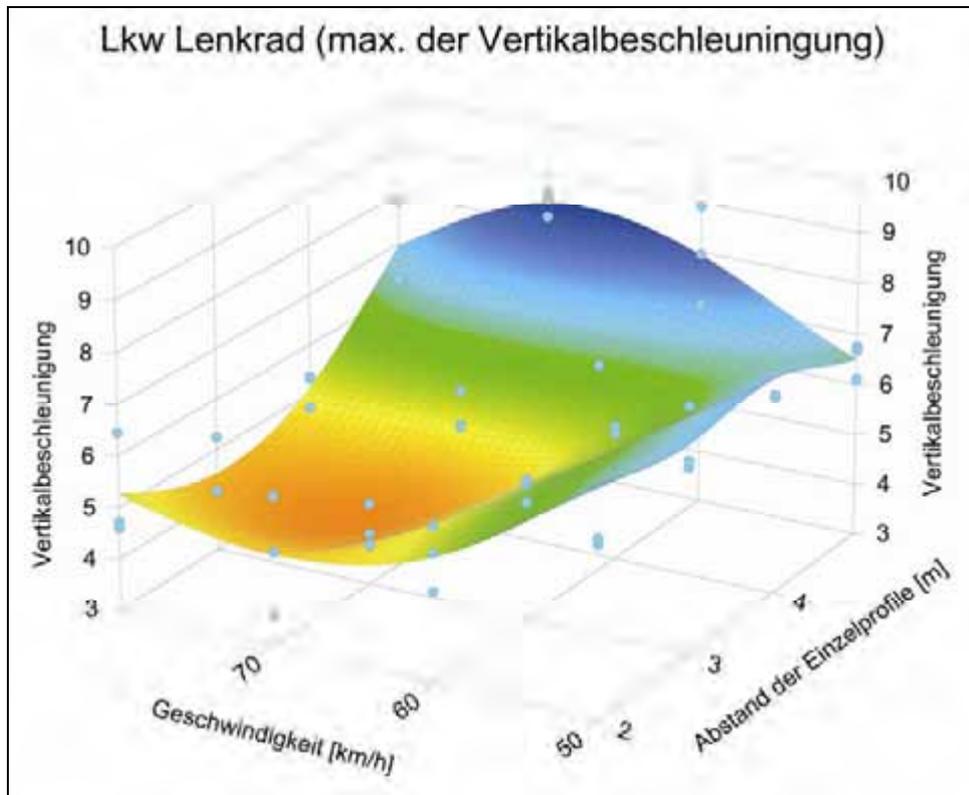


Zusammenfassung Vertikalschwingungen im Lenkrad:

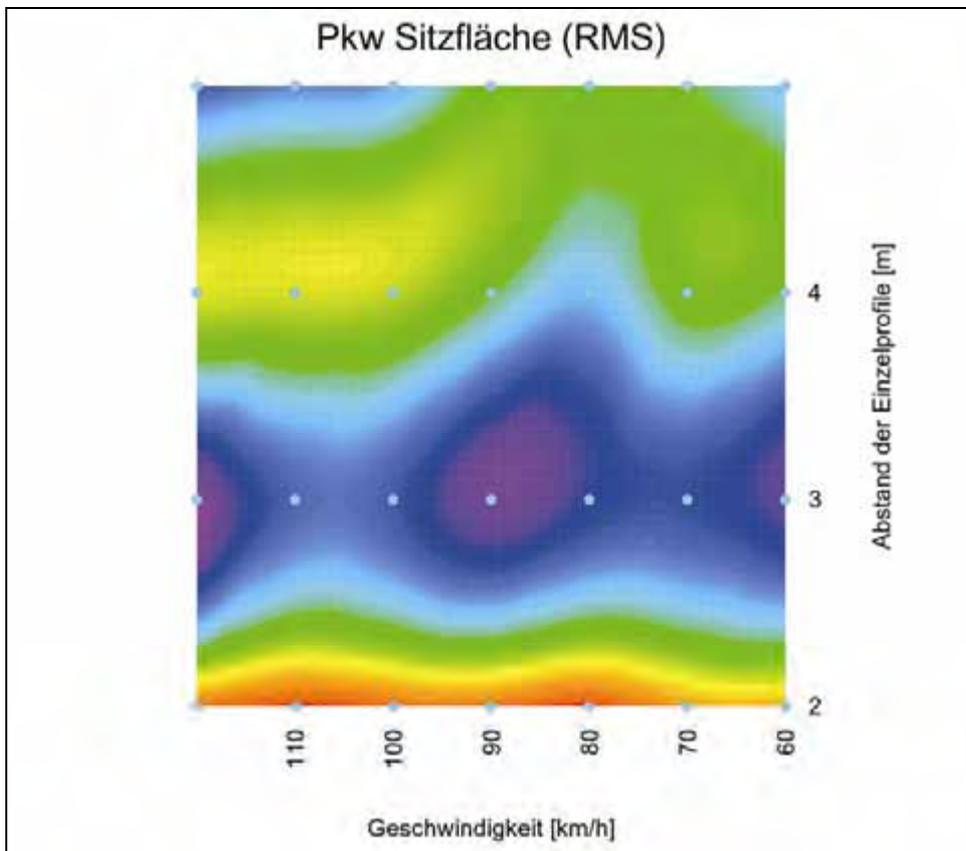
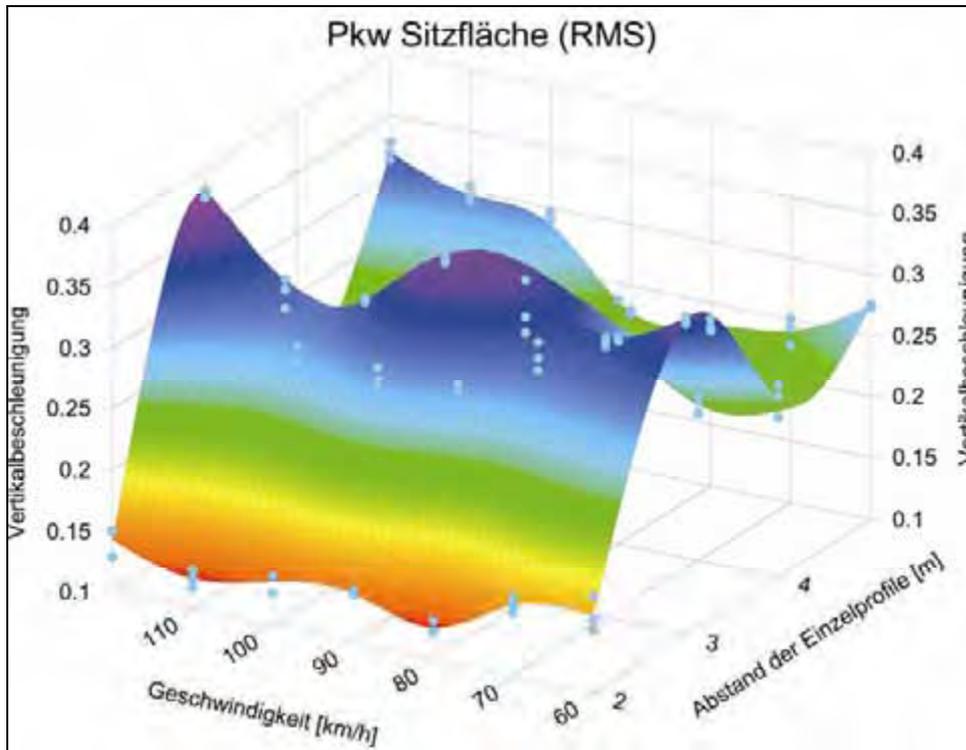


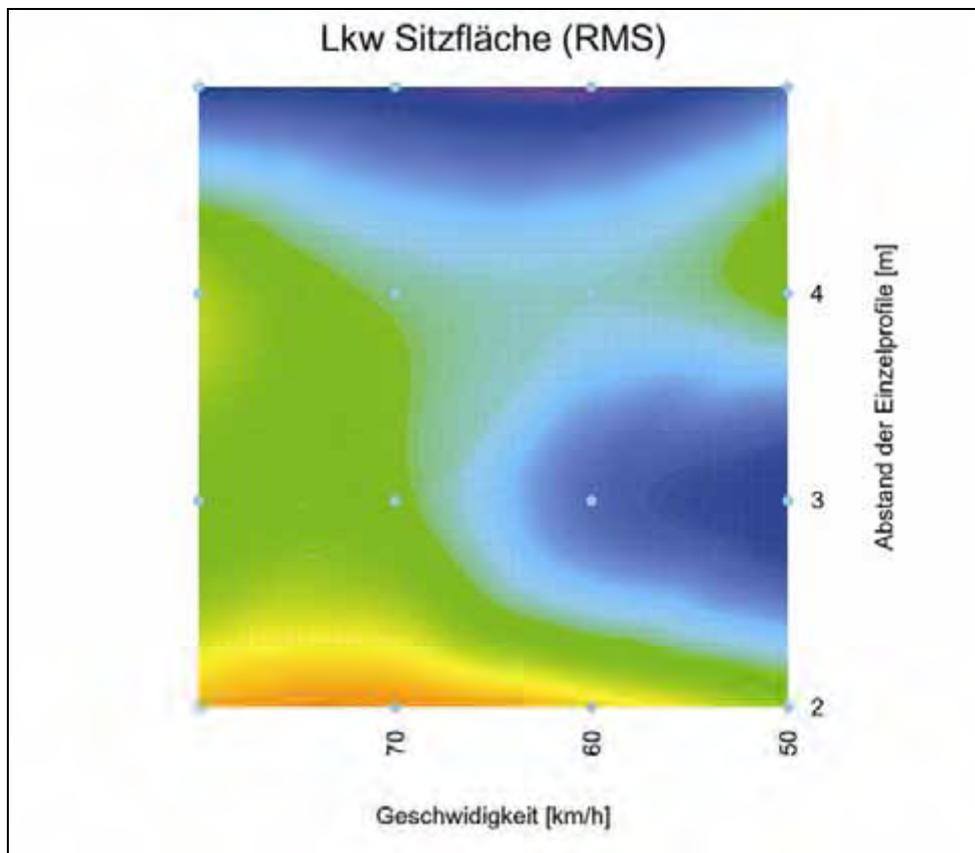
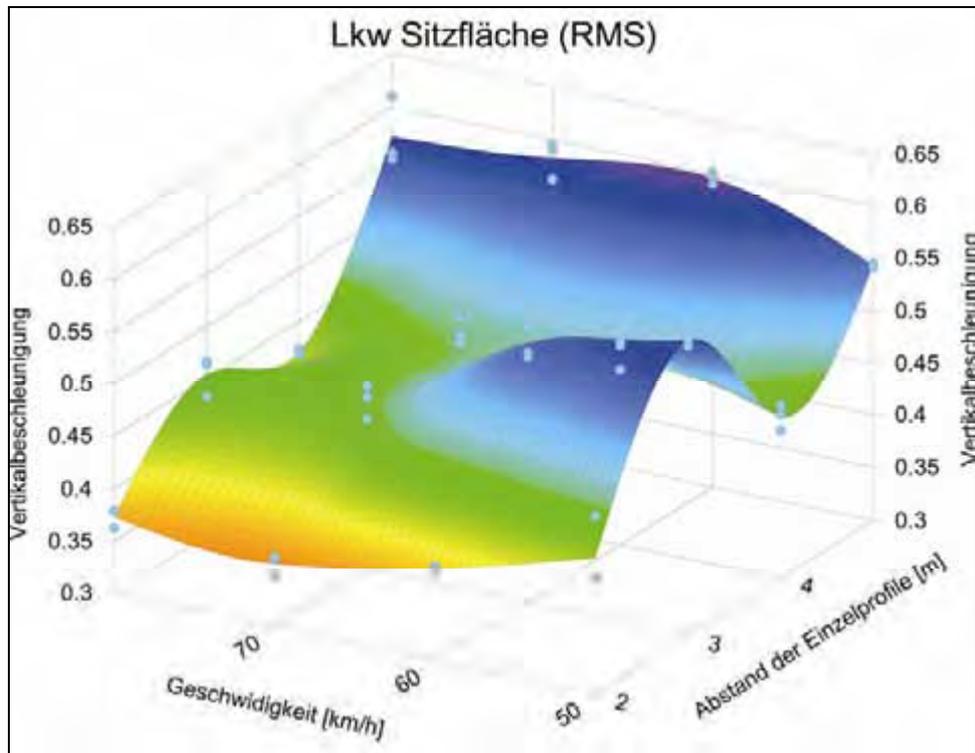


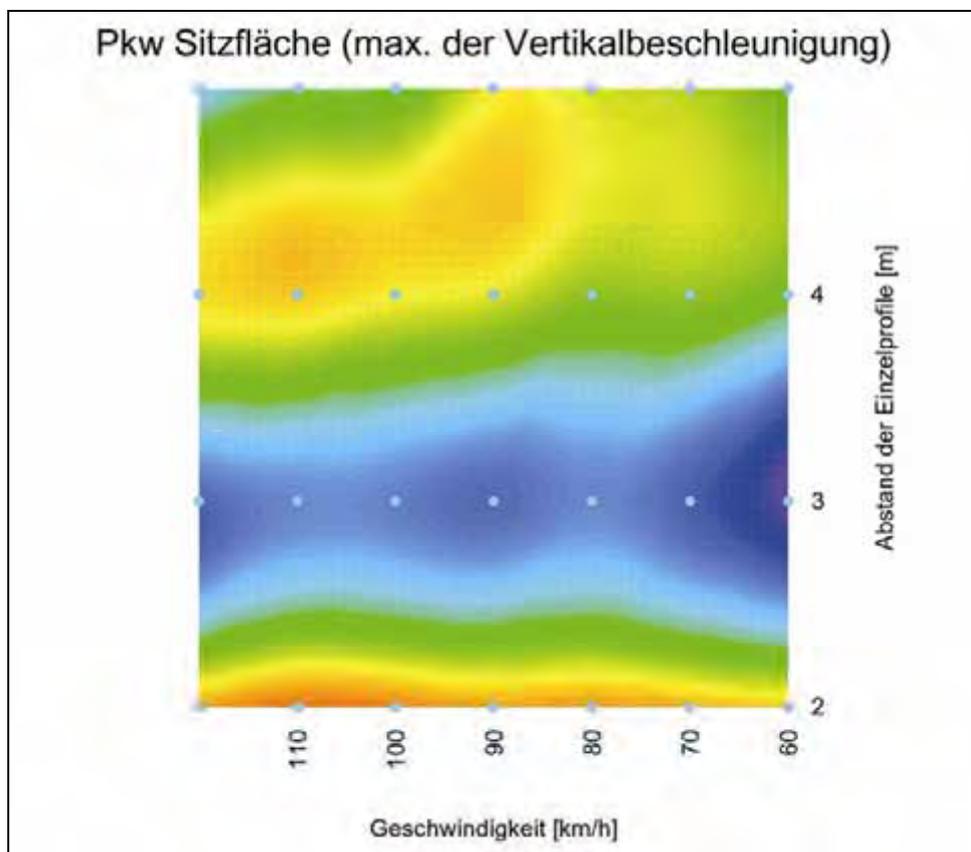
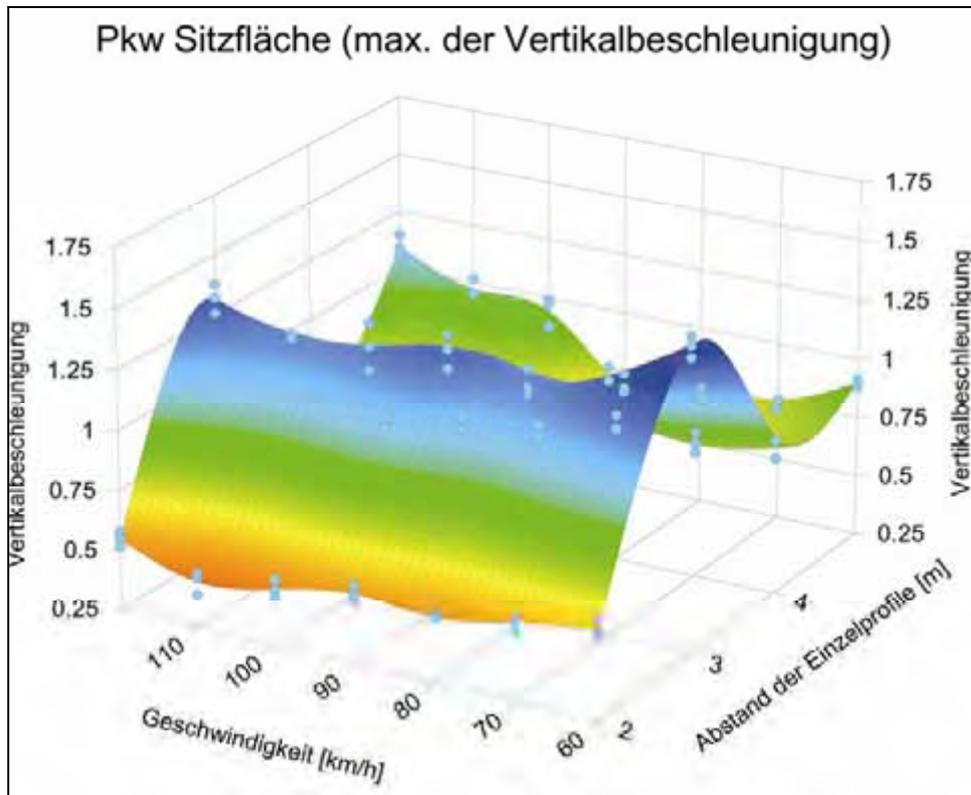


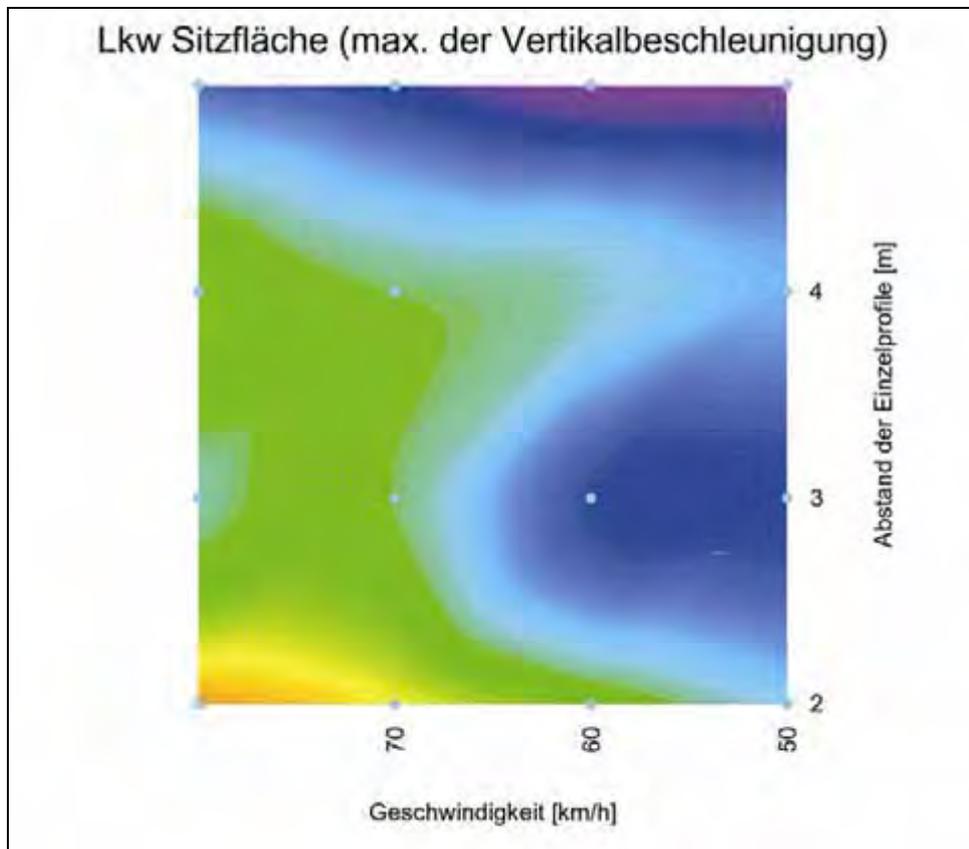
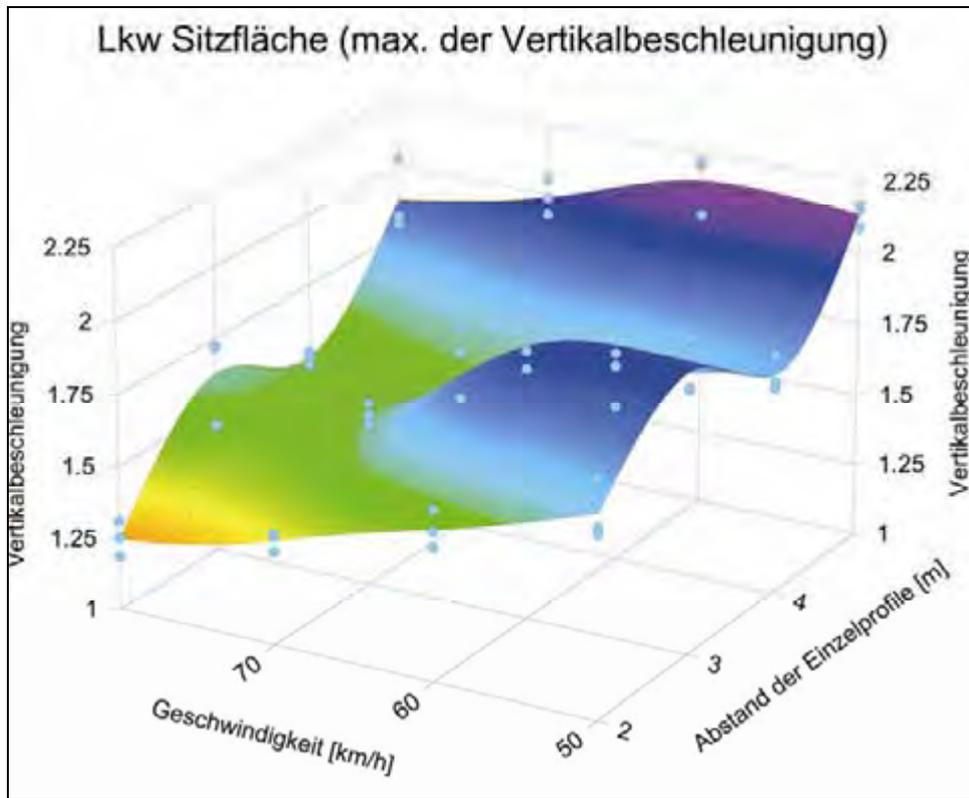


Zusammenfassung Vertikalschwingungen in der Sitzfläche:

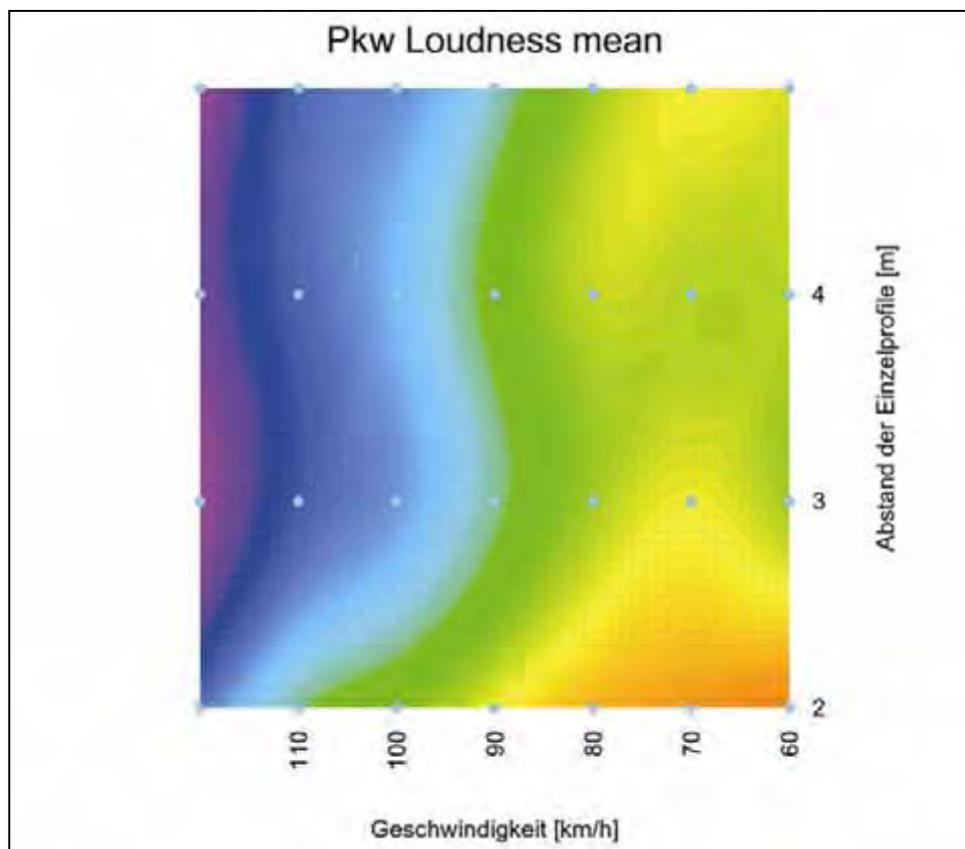
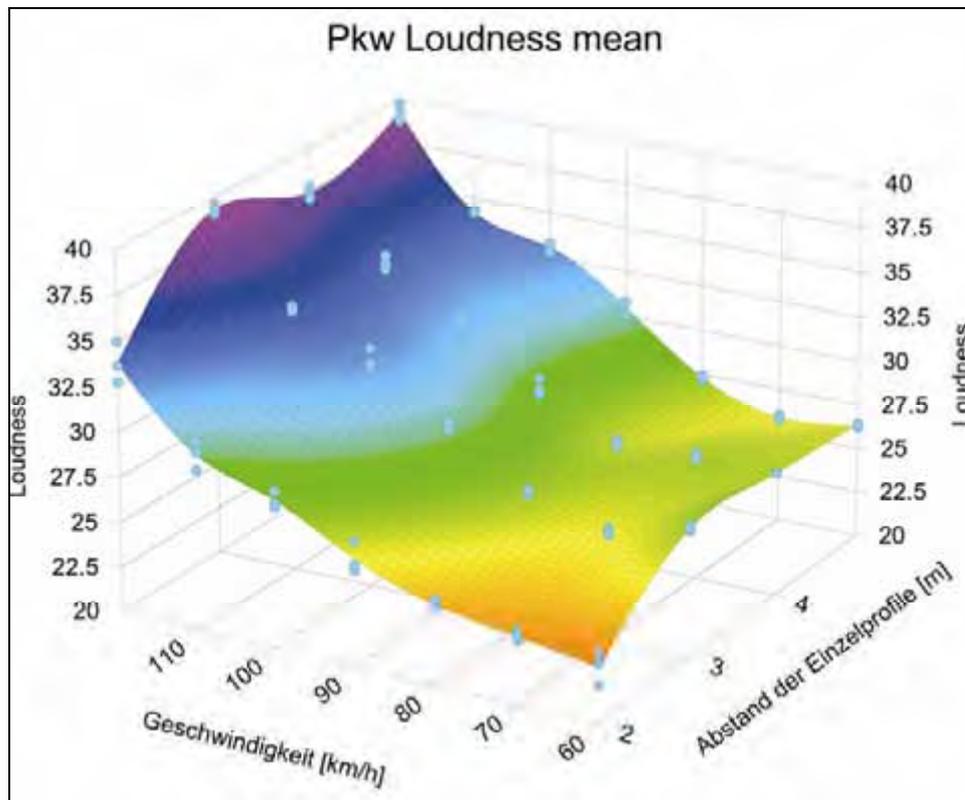


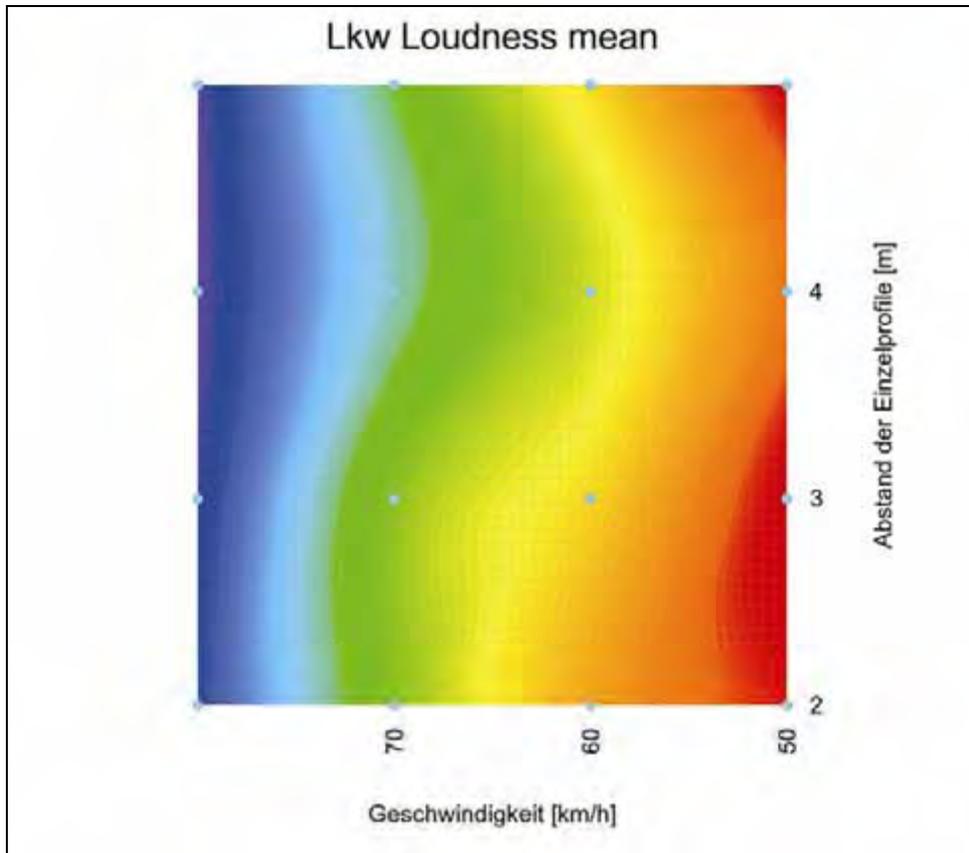
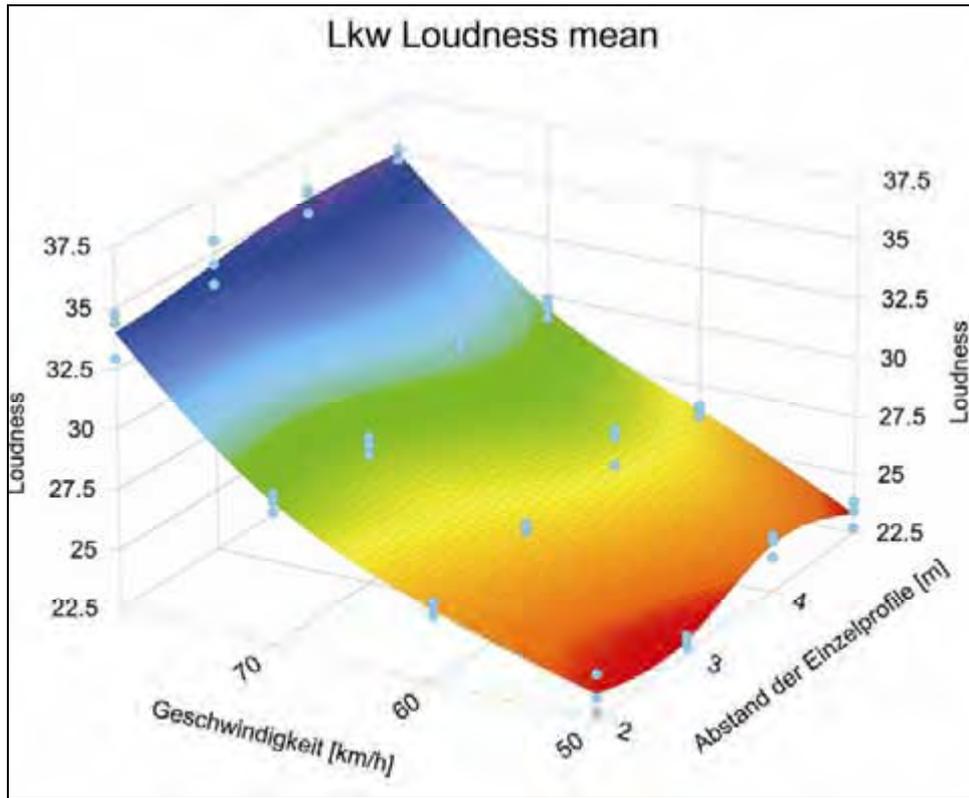


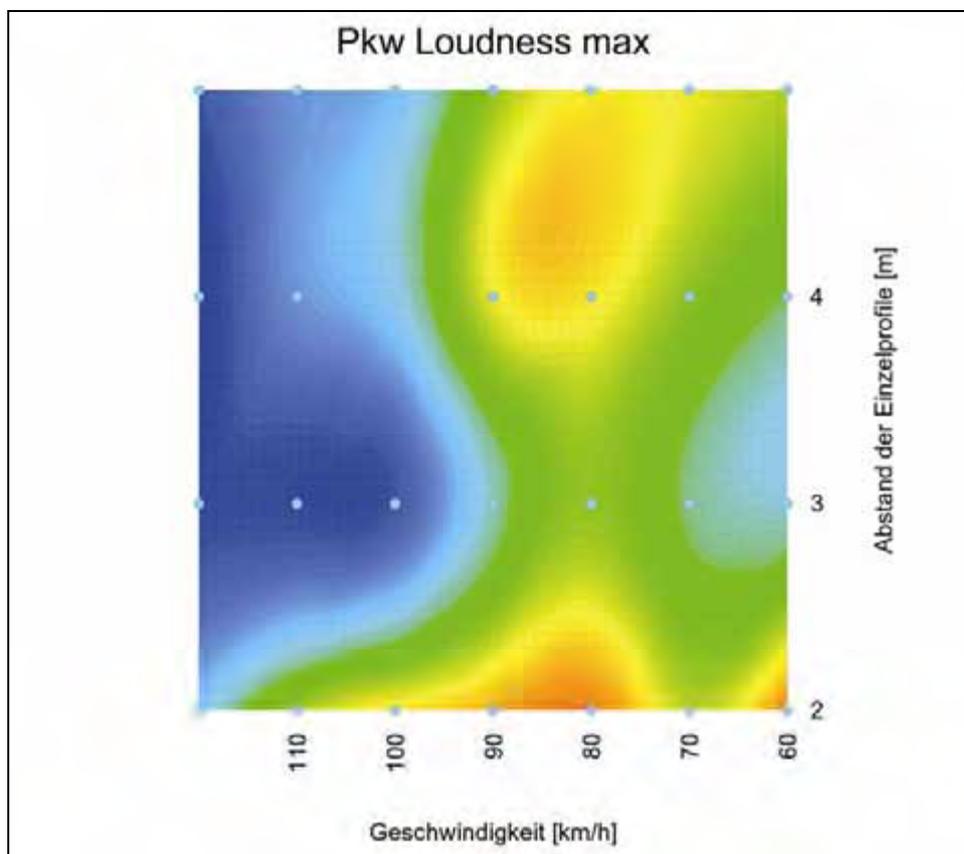
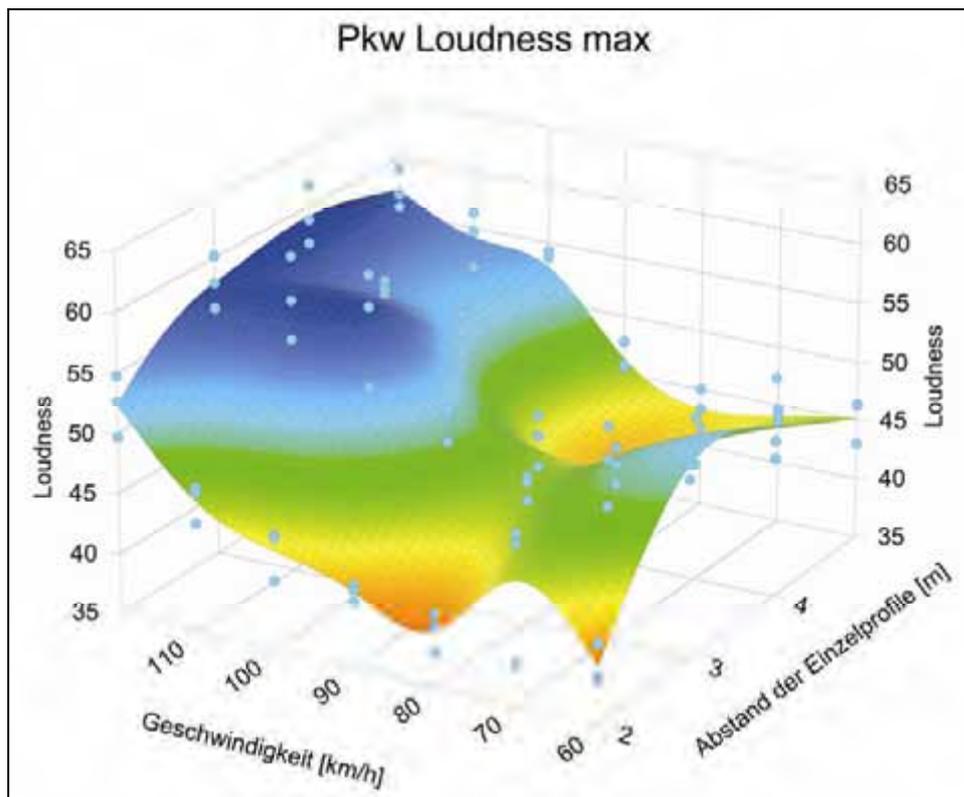


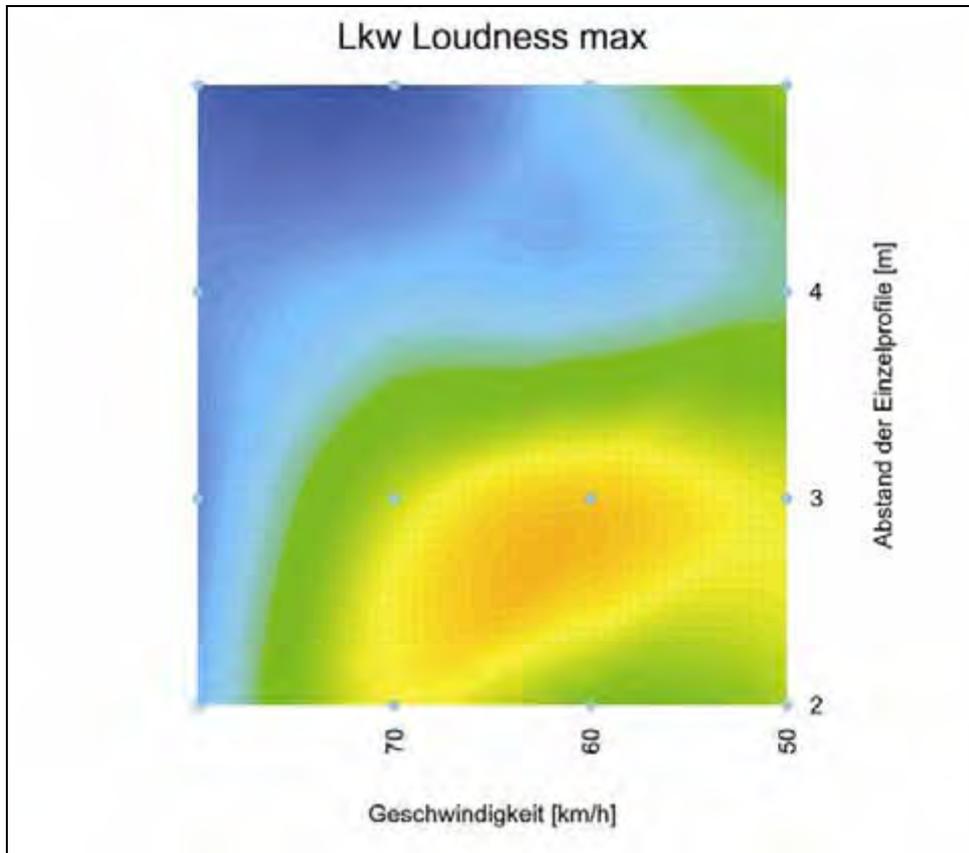
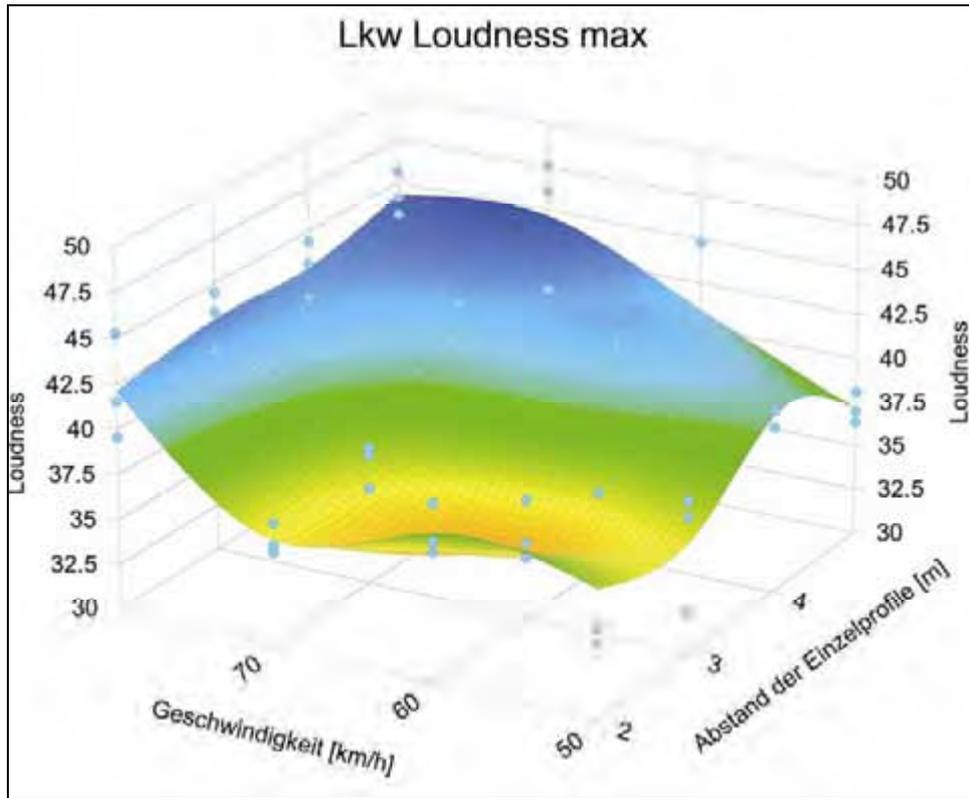


Zusammenfassung Lautheit:

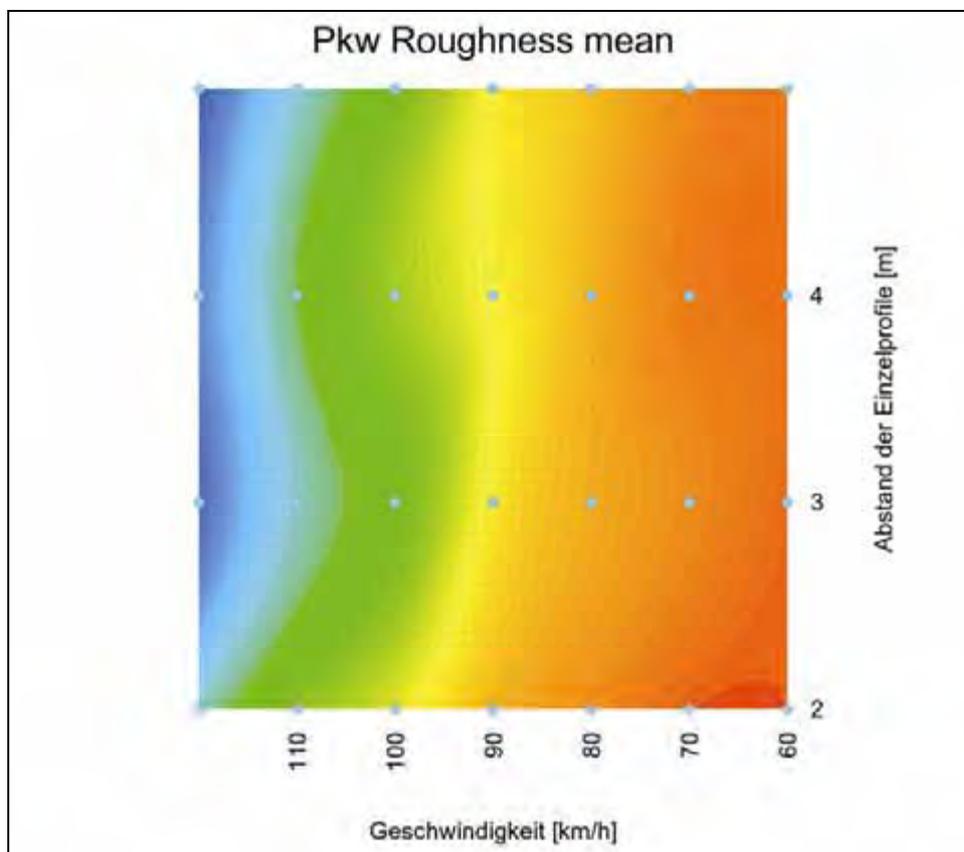
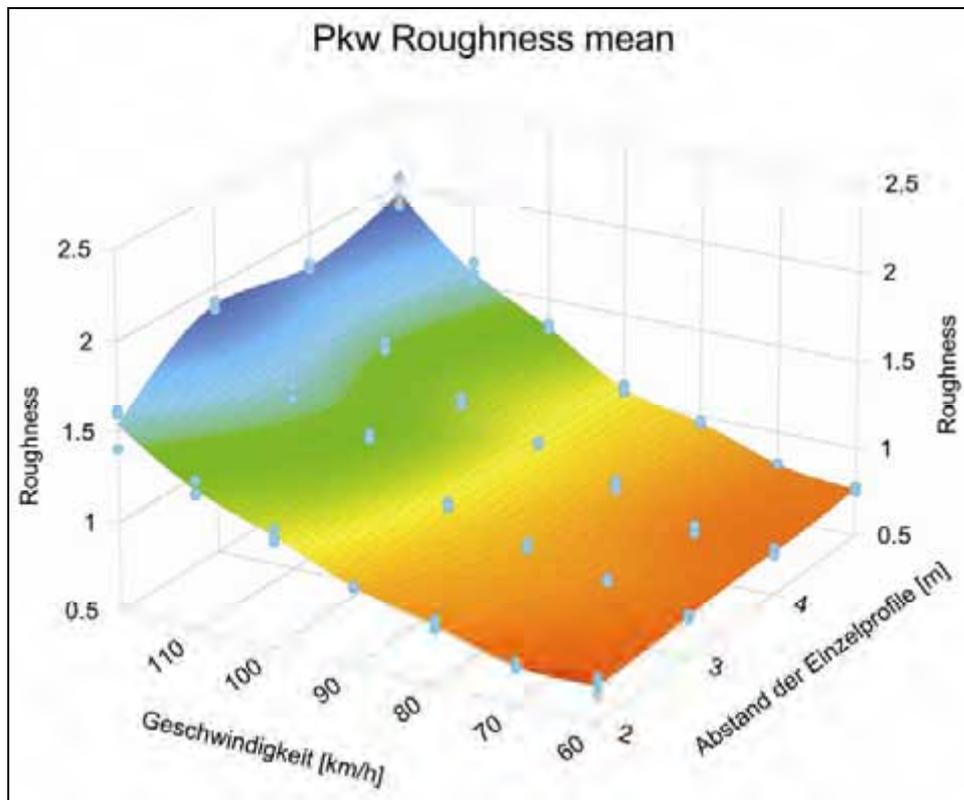


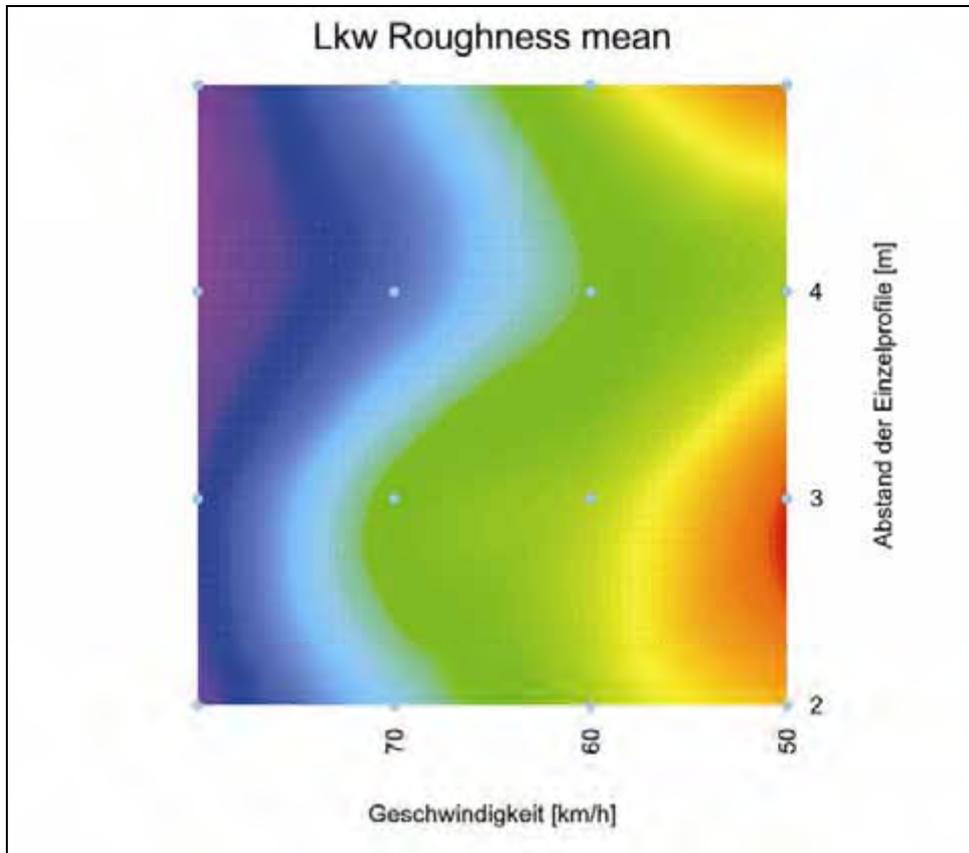
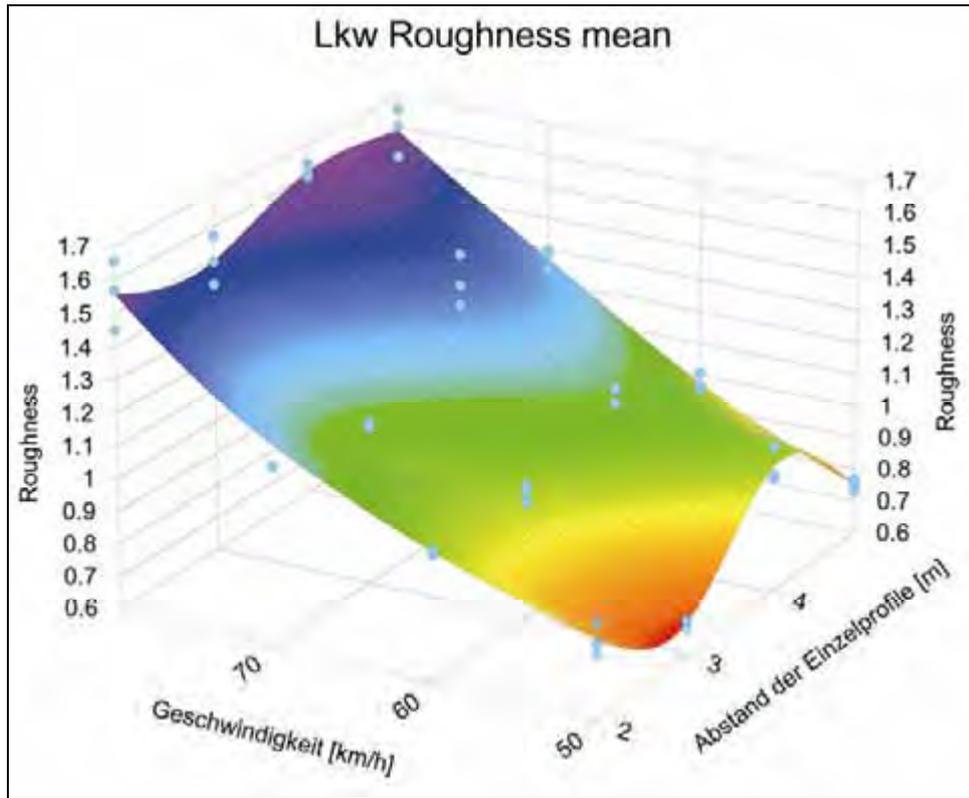


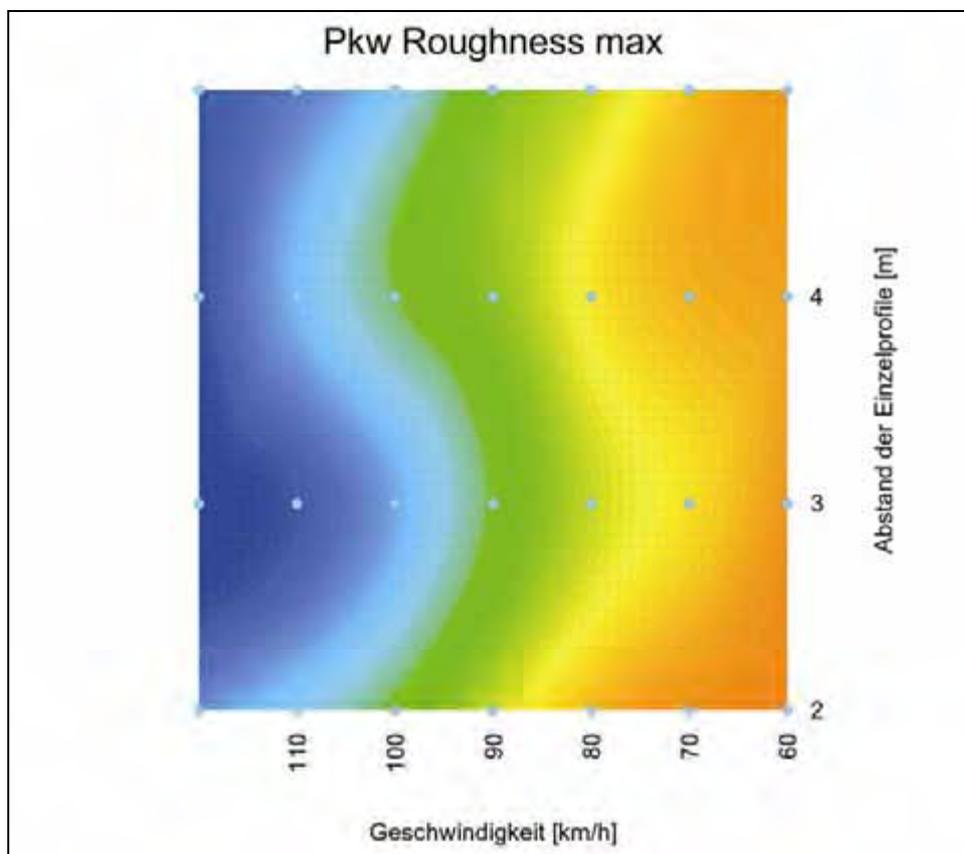
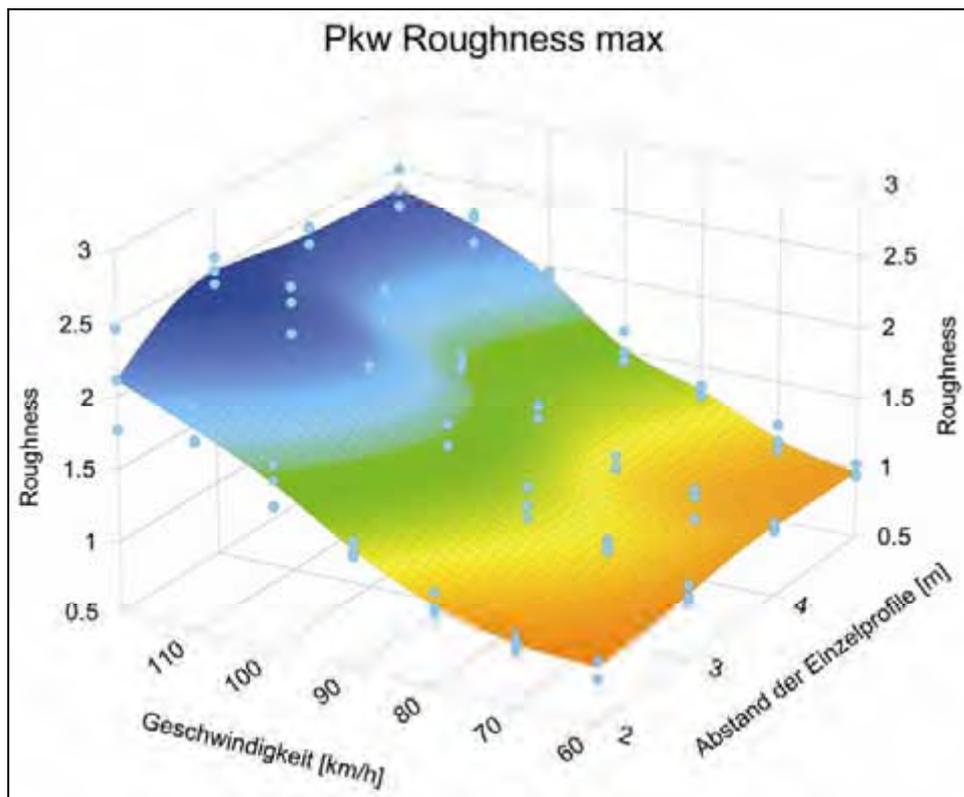


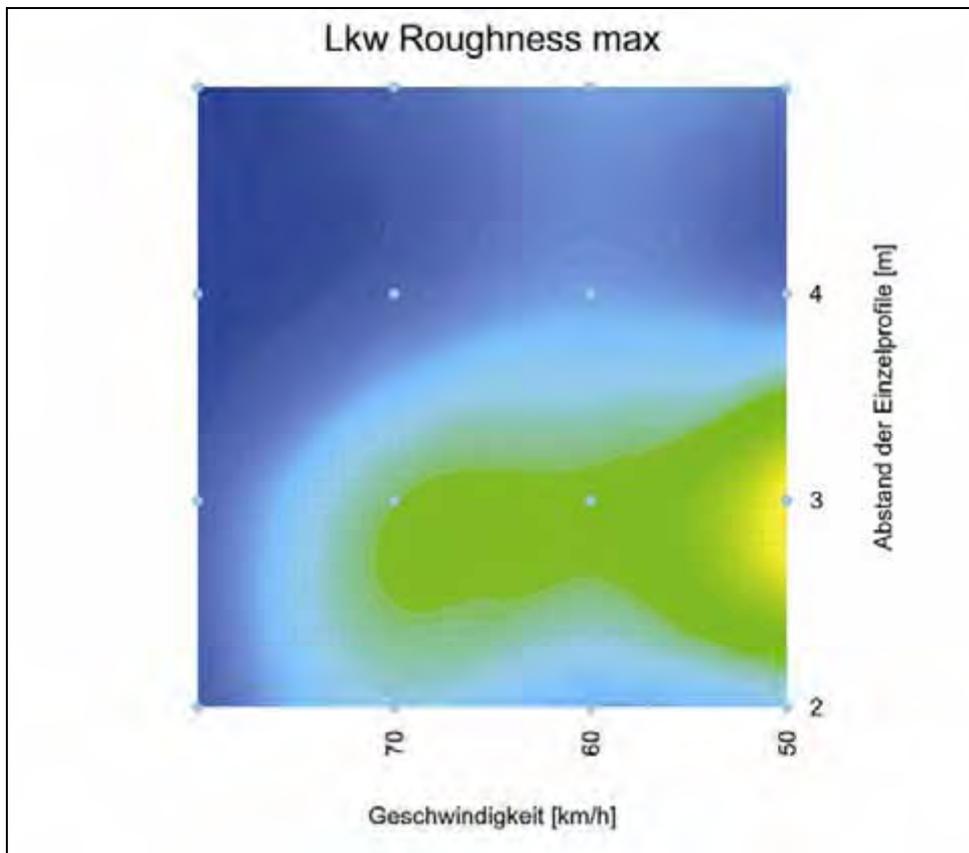
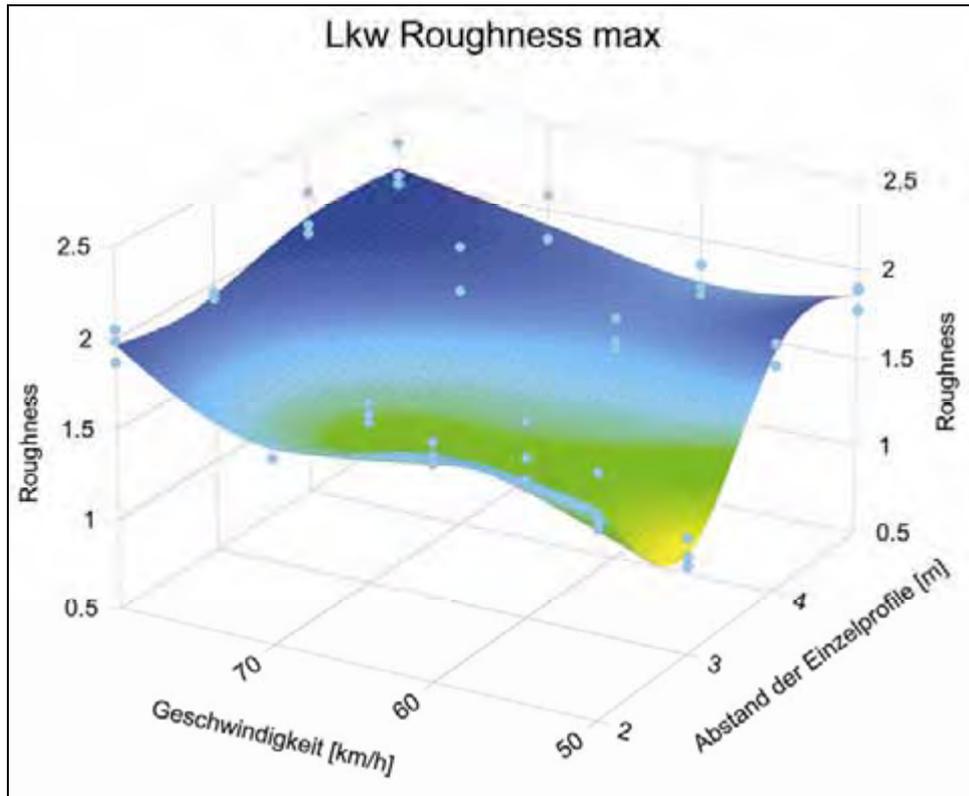


Zusammenfassung Rauheit:

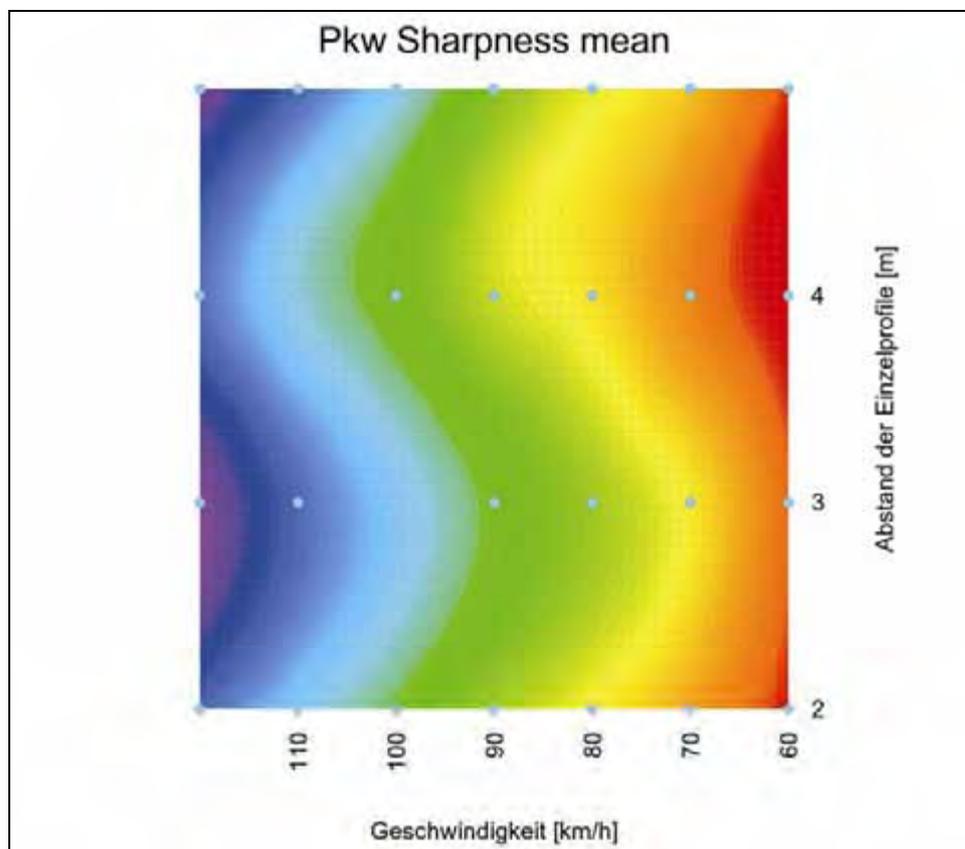
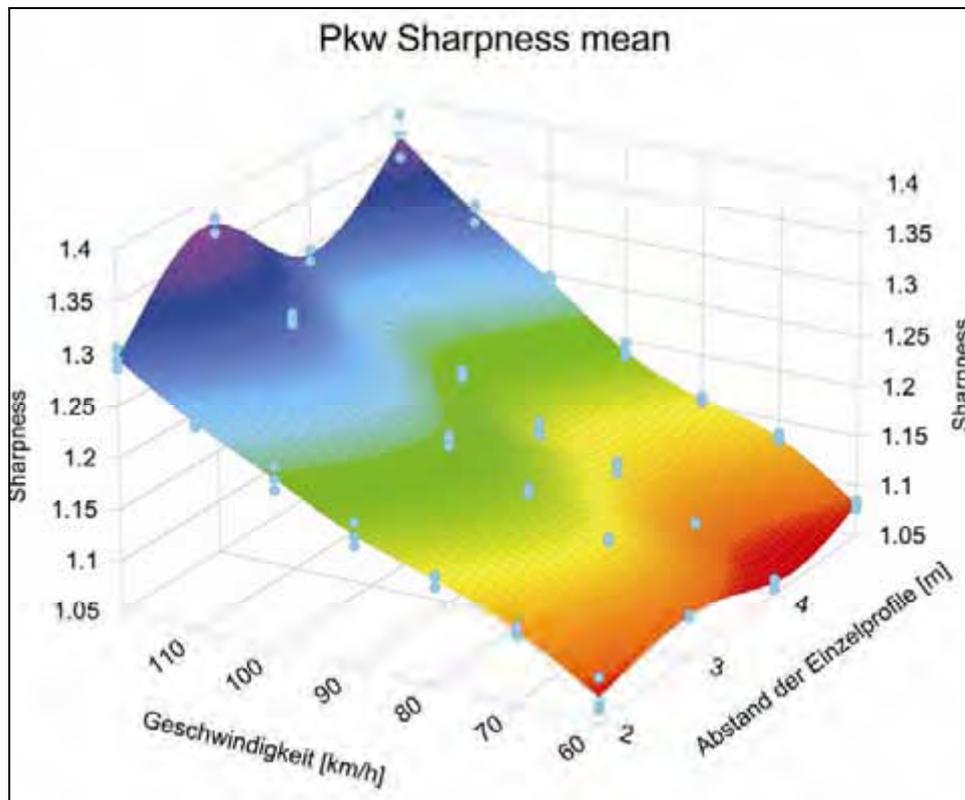


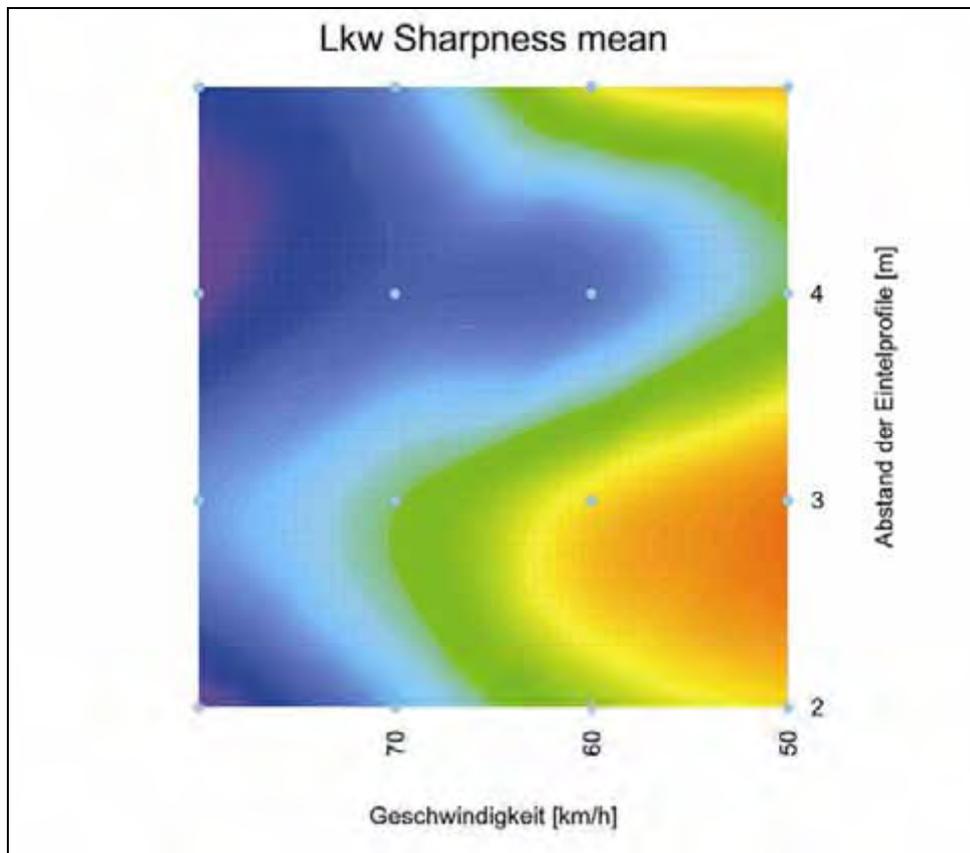
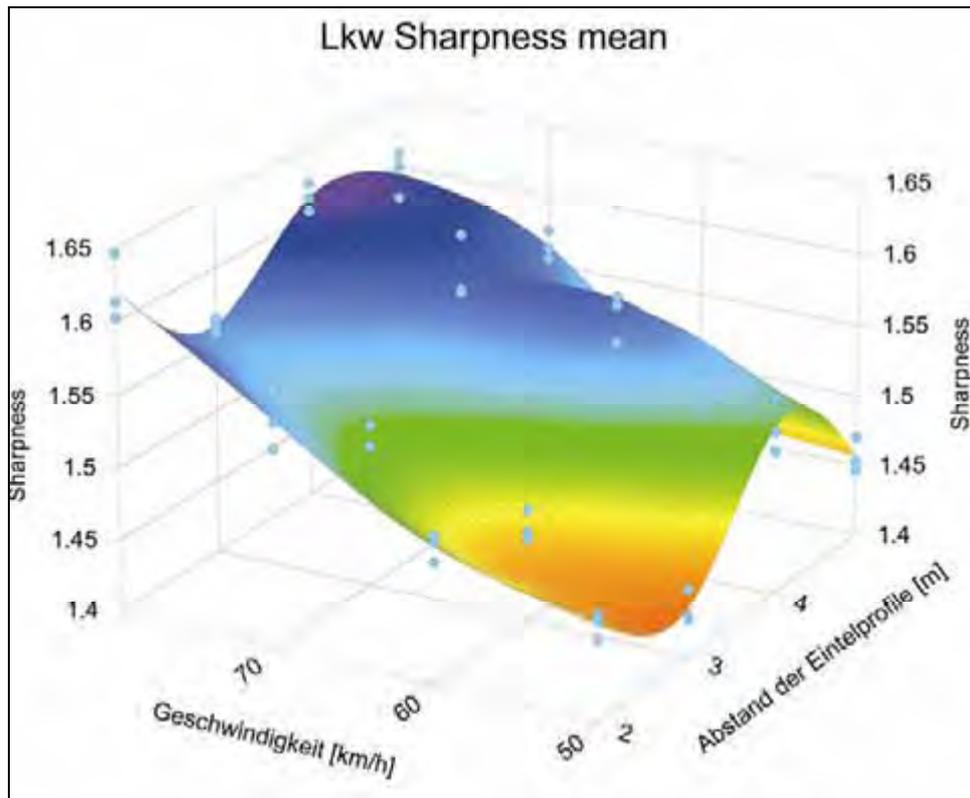


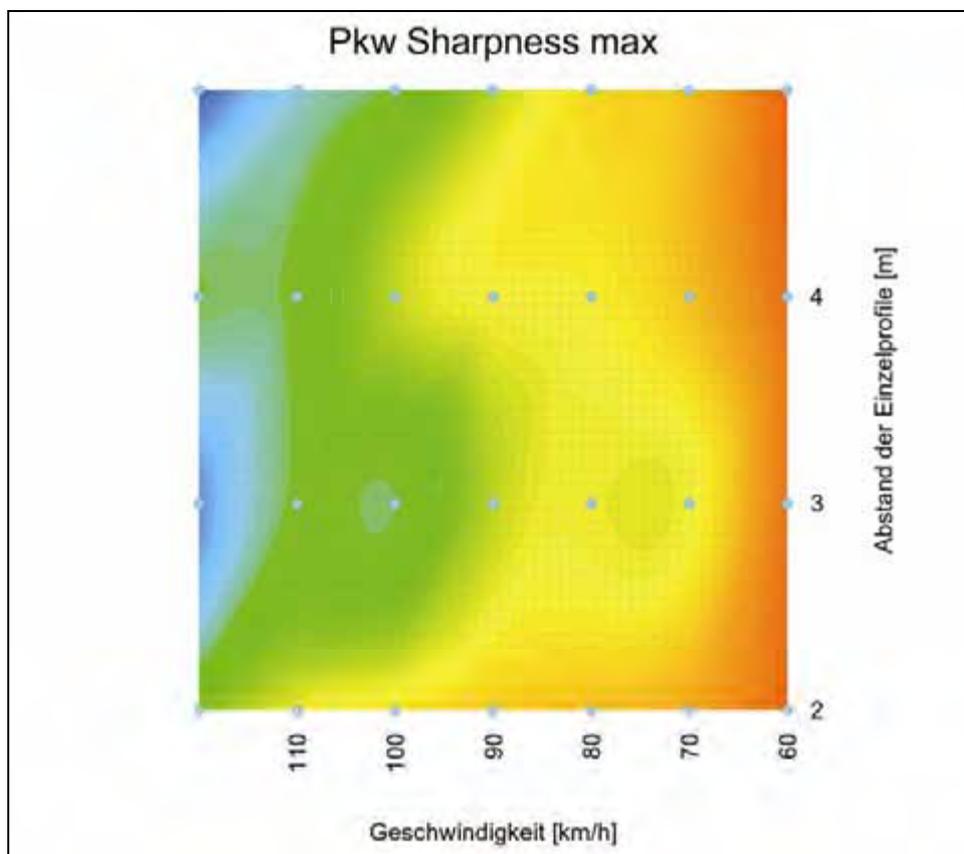
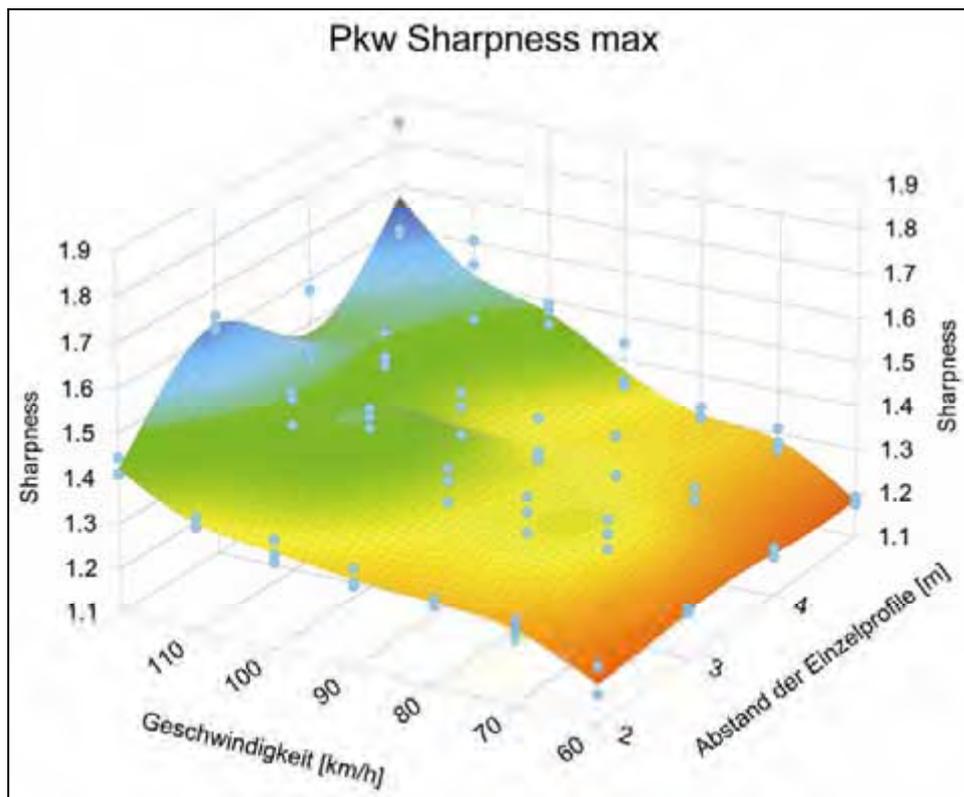


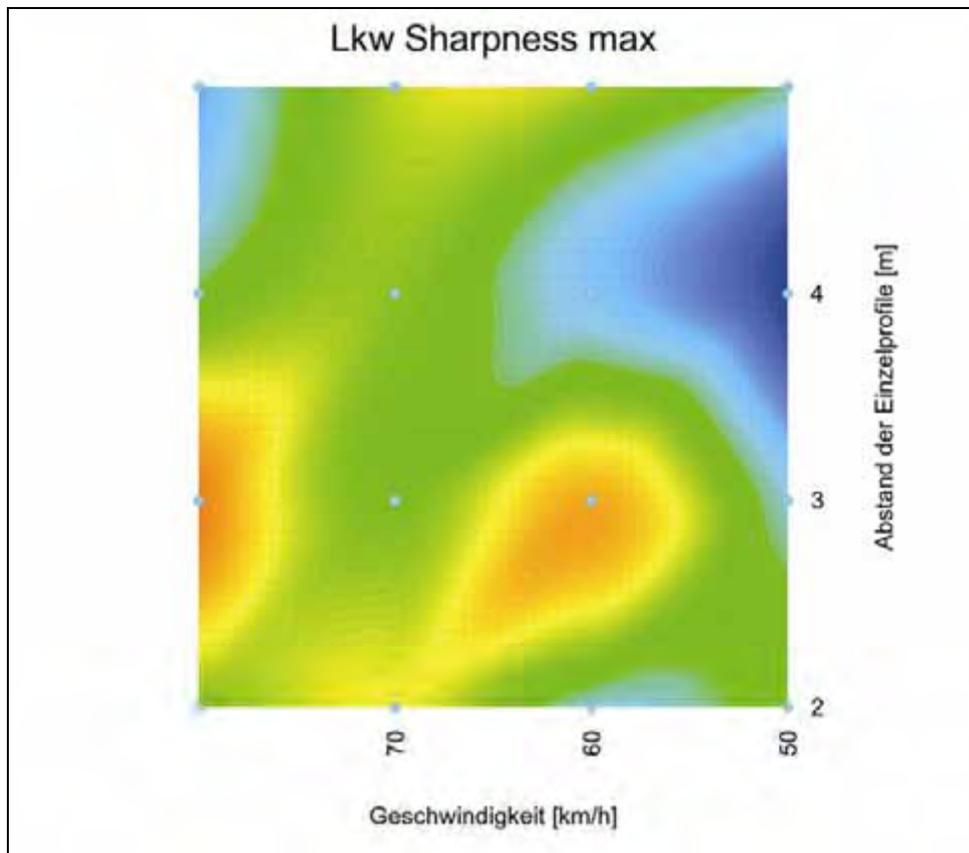
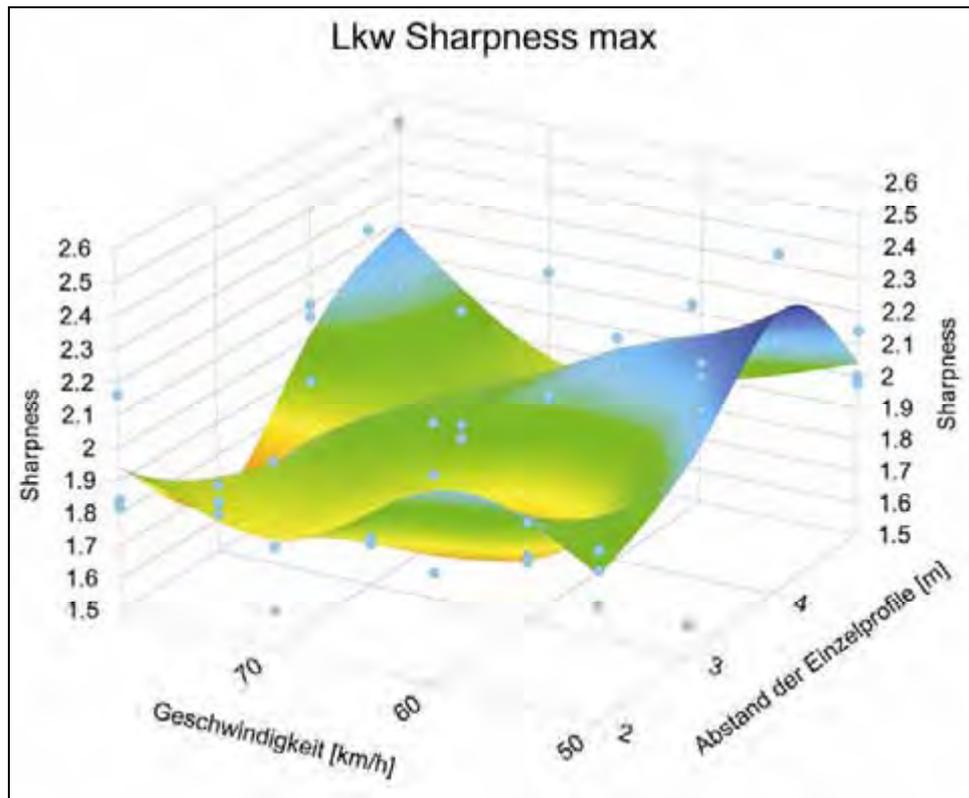


Zusammenfassung Schärfe:



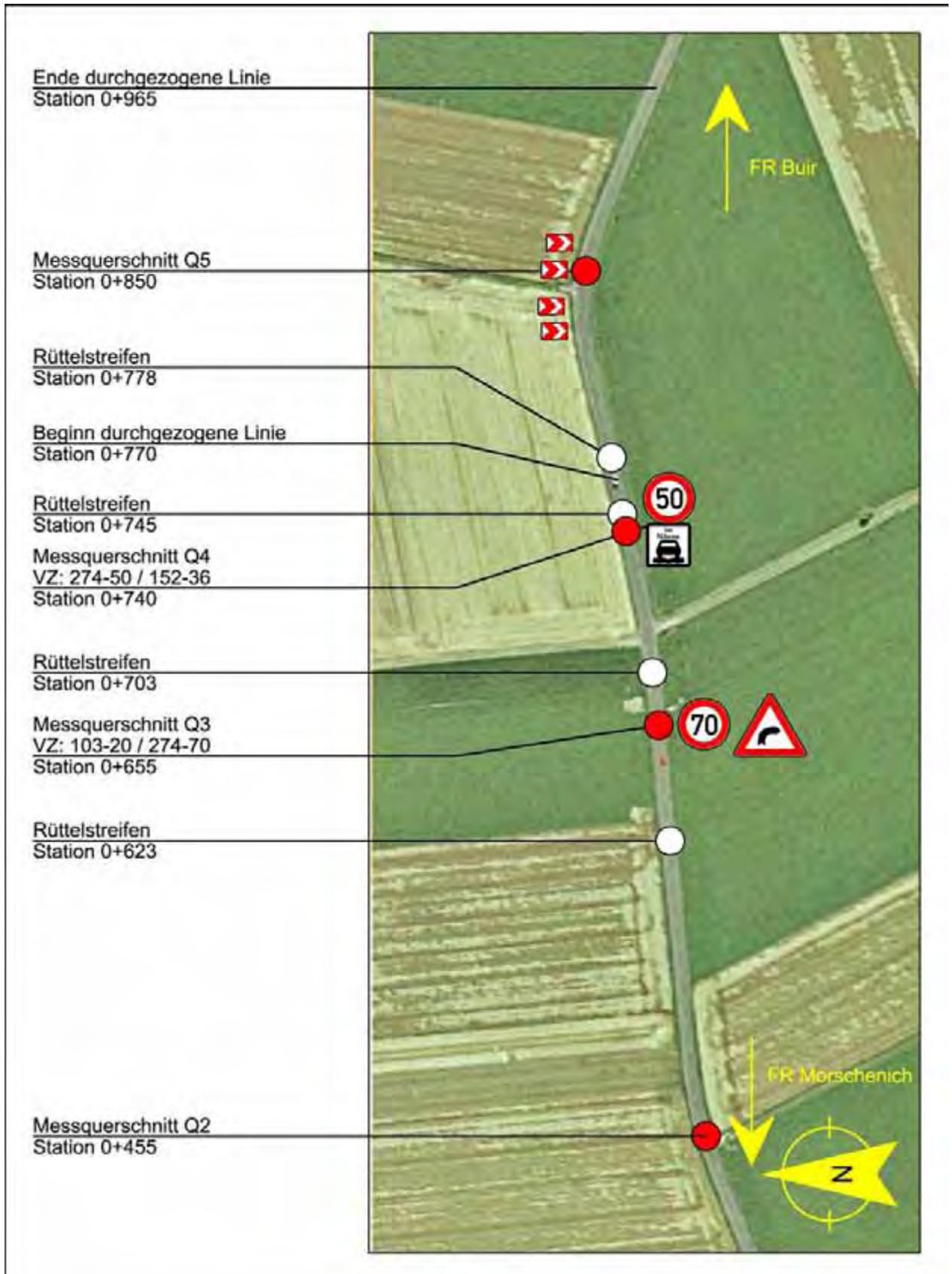




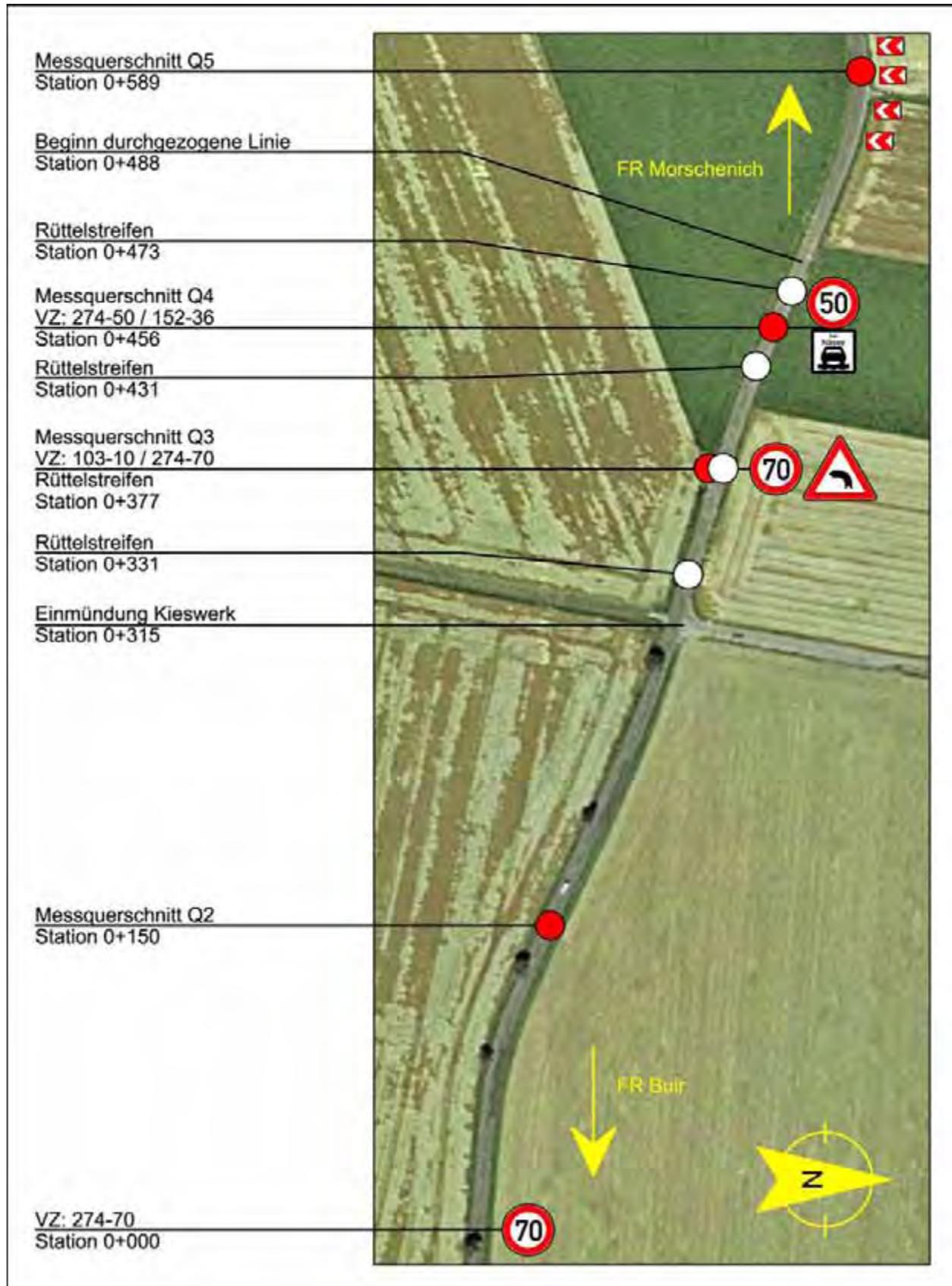


7 Anhang G: Übersichtslagepläne und Ausführungspläne

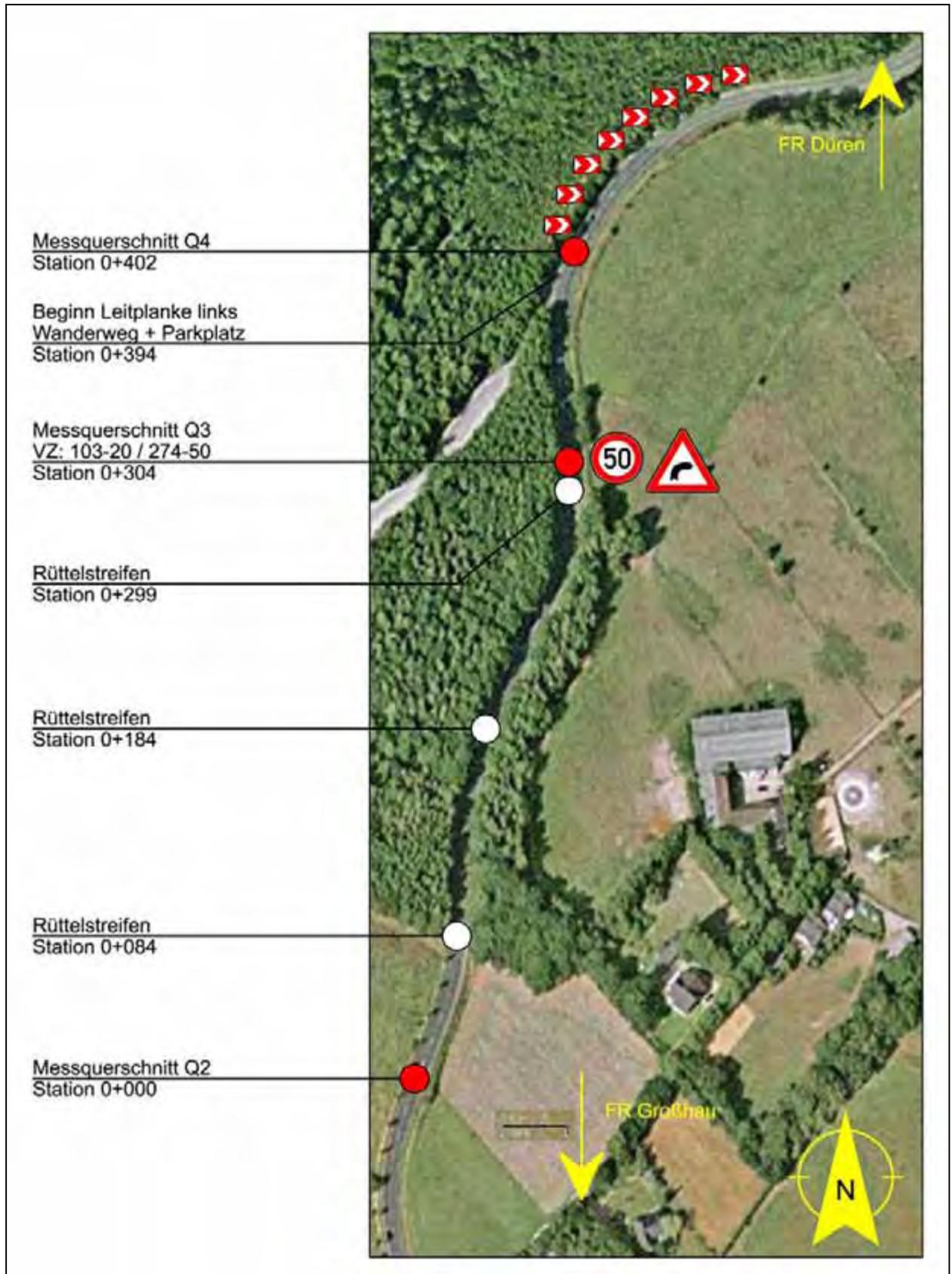
Übersichtslageplan L257 Fahrtrichtung Buir [Quelle: maps.google.de]:



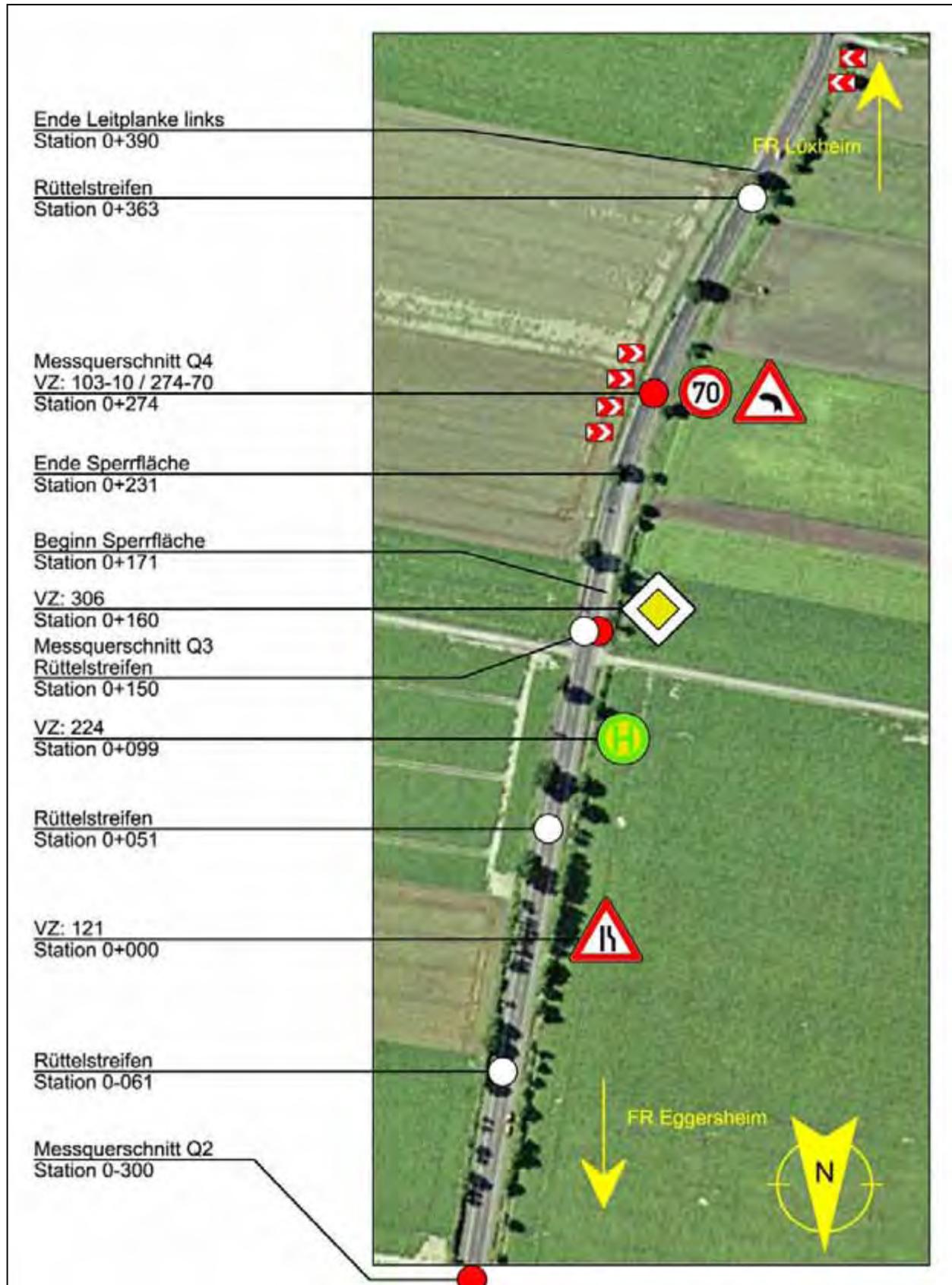
Übersichtslageplan L257 Fahrtrichtung Morschenich [Quelle: maps.google.de]:



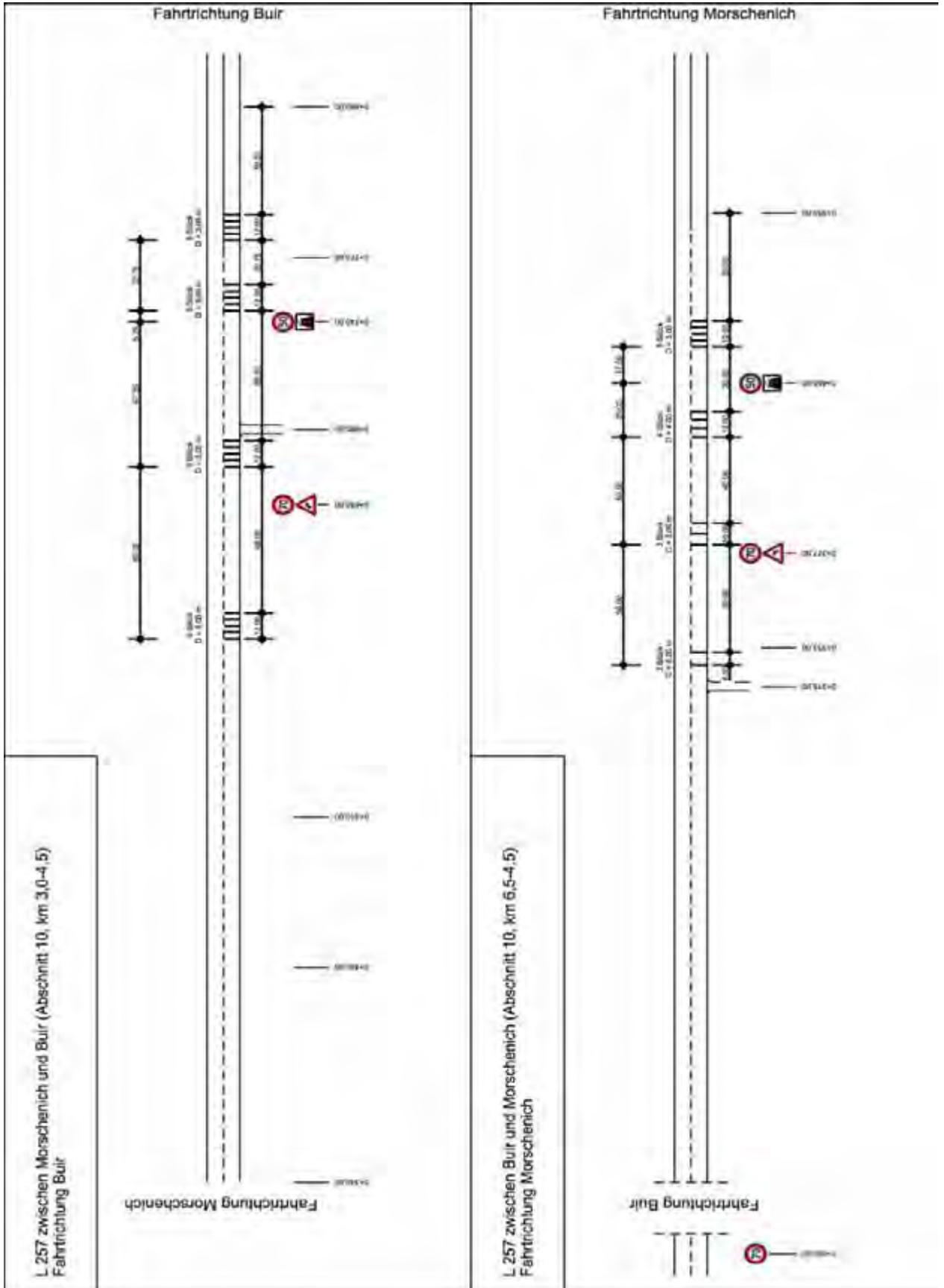
Übersichtslageplan B399 Fahrtrichtung Gey [Quelle: maps.google.de]:



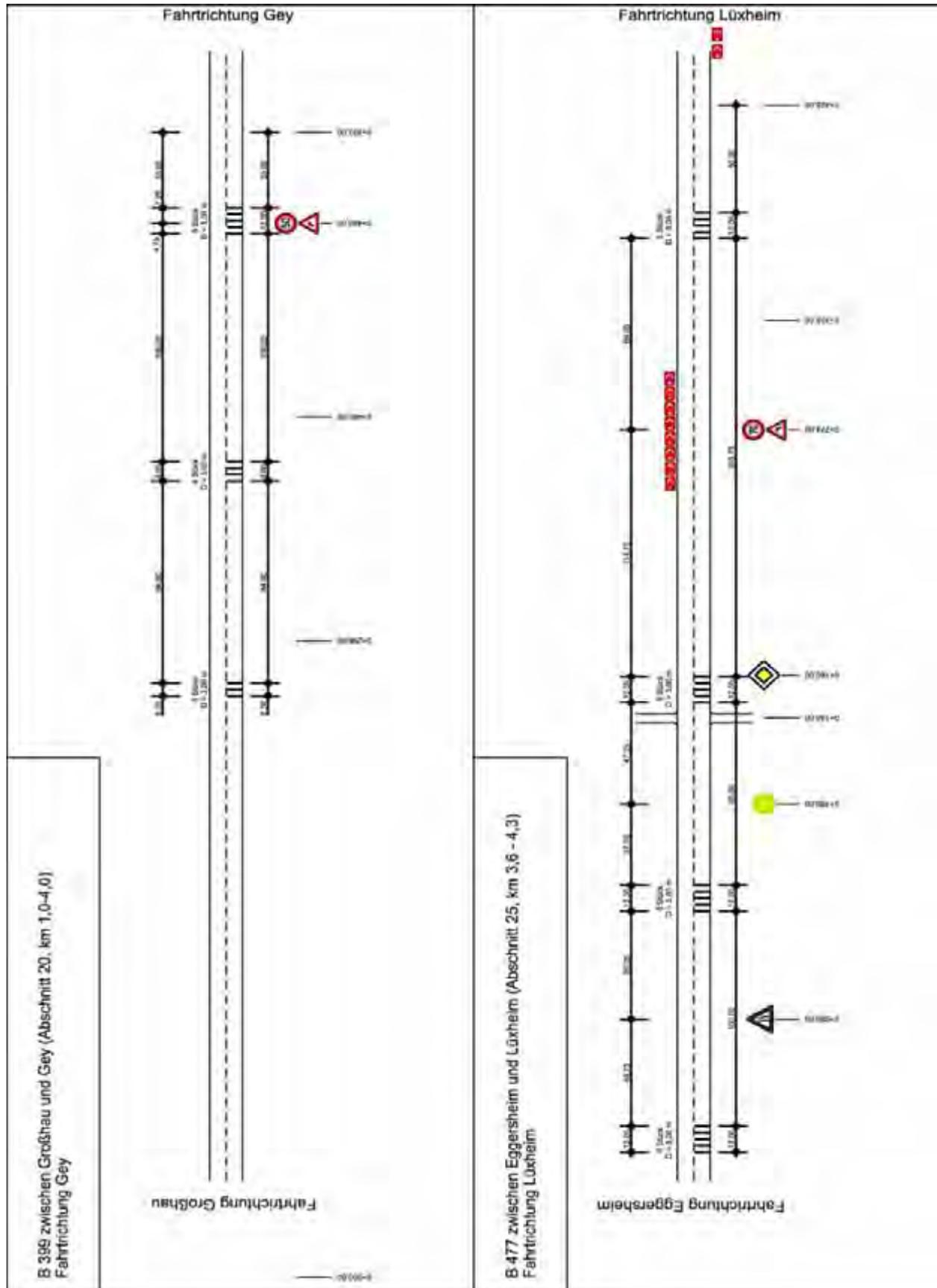
Übersichtslageplan B477 Fahrtrichtung LUXHEIM [Quelle: maps.google.de]:



Ausführungspläne L257:



Ausführungspläne B399 und B477:

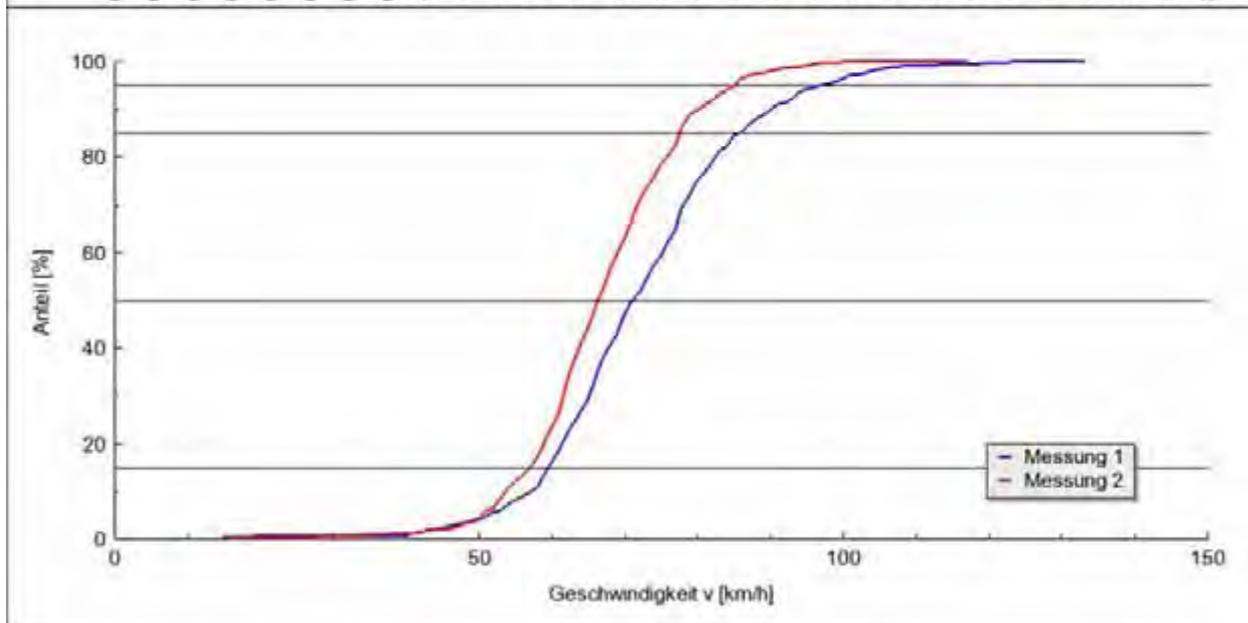
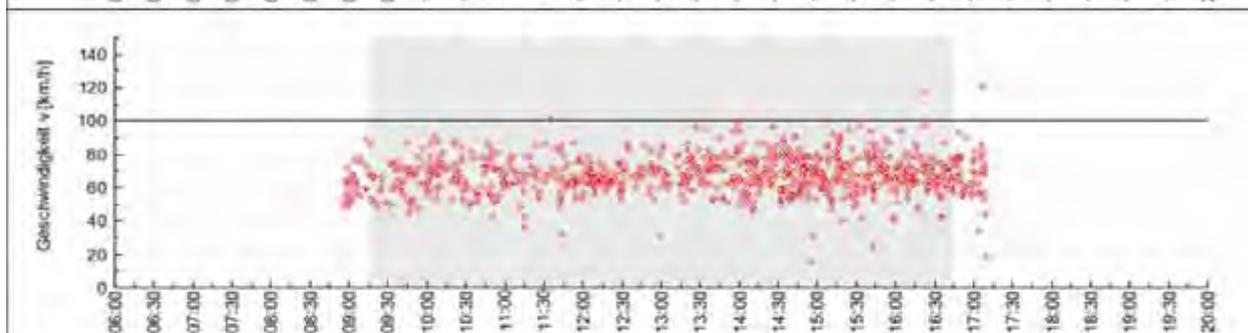
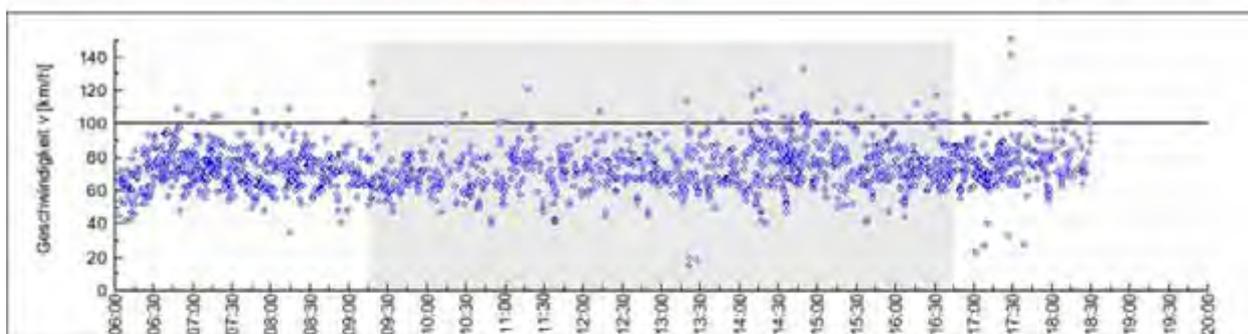


8 Anhang H: Auswertung der Hauptversuche (Geschwindigkeitsanalyse)

8.1 L257 Fahrtrichtung Buir (gesamtes Fahrzeugkollektiv)

Station	Datum		Kfz		V _m		Statistik		
	v	n	v	n	v	n	D _{max}	D _{krit}	Sign.
455	06.09.07	22.11.07	964	886	72,88	67,46	0,197	0,063	ja
455	06.09.07	27.08.08	964	903	72,88	68,09	0,161	0,063	ja
455	12.09.07	22.11.07	868	886	72,23	67,46	0,167	0,065	ja
455	12.09.07	27.08.08	868	903	72,23	68,09	0,153	0,065	ja
655	06.09.07	22.11.07	969	877	70,66	58,95	0,423	0,063	ja
655	06.09.07	27.08.08	969	901	70,66	64,60	0,230	0,063	ja
655	12.09.07	22.11.07	878	877	66,74	58,95	0,289	0,065	ja
655	12.09.07	27.08.08	878	901	66,74	64,60	0,084	0,065	ja
740	06.09.07	22.11.07	971	894	68,80	57,70	0,420	0,063	ja
740	06.09.07	27.08.08	971	860	68,80	65,21	0,135	0,064	ja
740	12.09.07	22.11.07	881	894	66,73	57,70	0,347	0,065	ja
740	12.09.07	27.08.08	881	860	66,73	65,21	0,057	0,065	nein
850	06.09.07	22.11.07	982	891	59,99	53,03	0,342	0,063	ja
850	06.09.07	27.08.08	982	905	59,99	54,59	0,262	0,063	ja
850	12.09.07	22.11.07	888	891	56,98	53,03	0,213	0,065	ja
850	12.09.07	27.08.08	888	905	56,98	54,59	0,140	0,064	ja
KG	12.09.07	22.11.07	1493	1521	80,48	81,70	0,074	0,050	Ja
KG	12.09.07	27.08.08	1493	1625	80,48	80,37	0,027	0,049	nein
KG	22.11.07	27.08.08	1521	1625	81,70	80,37	0,069	0,049	ja

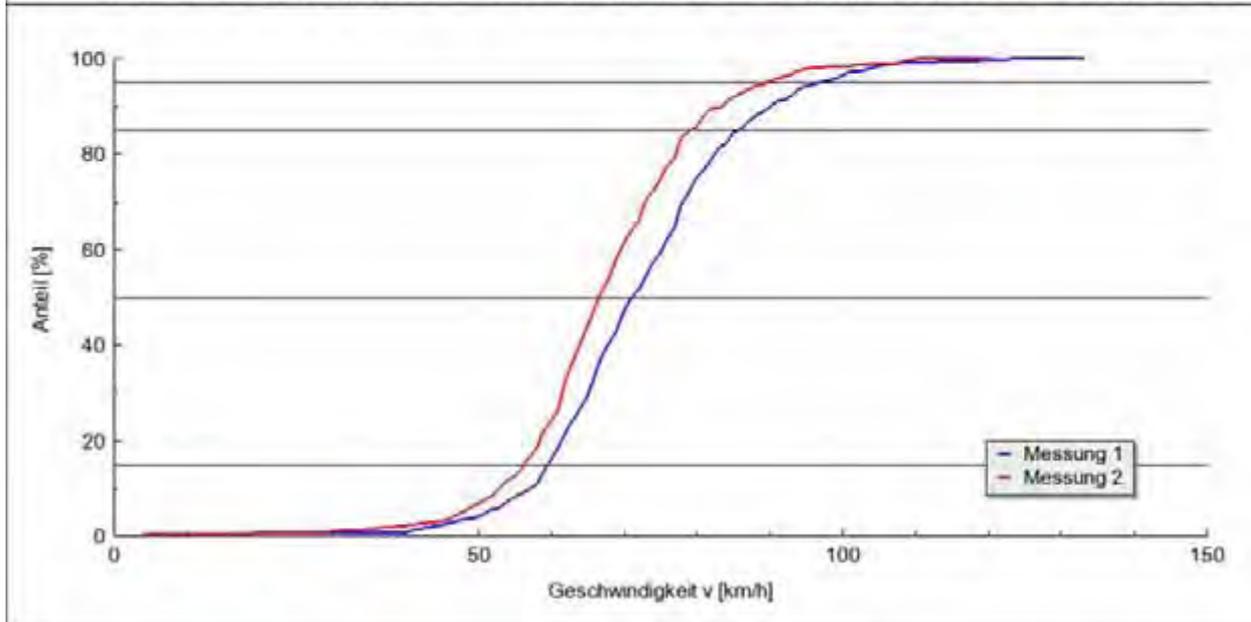
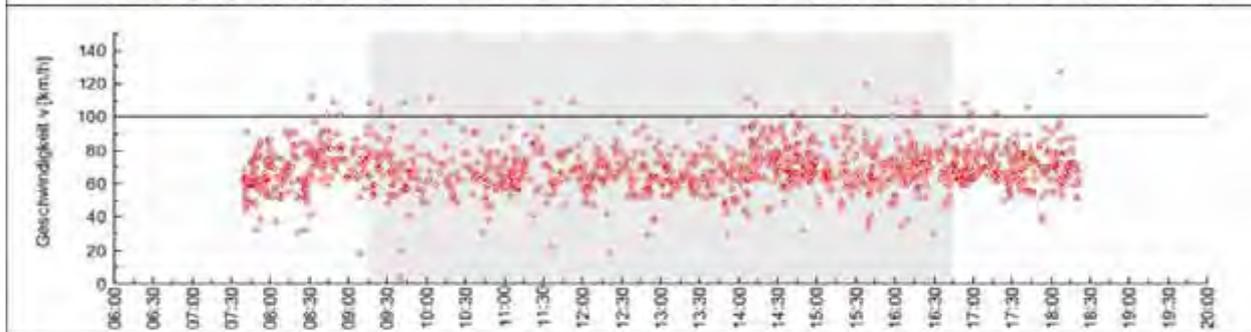
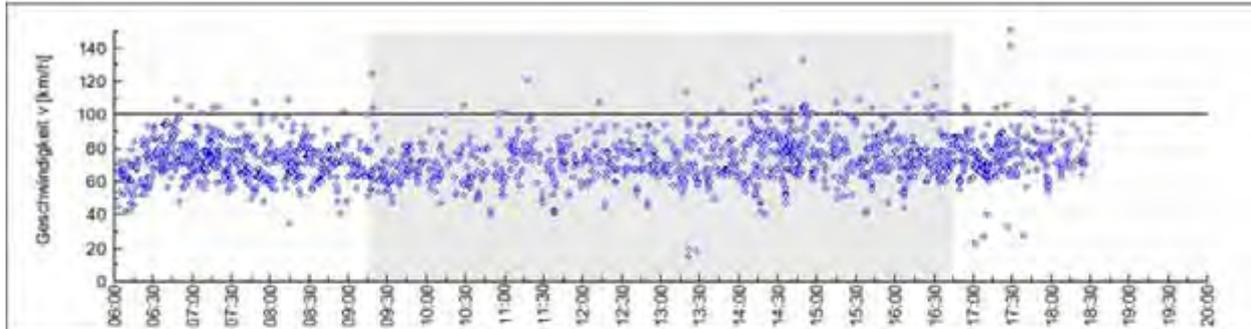
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 455.00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 964 Kfz)	58,63	70,12	84,90	95,95
Messung 2 (Q = 886 Kfz)	56,15	65,43	76,65	84,18
Änderung (M1 - M2)	-2,48	-4,69	-8,25	-11,77

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	3,63	107,69	0,83	120,00
Messung 2	0,23	109,50	0,11	117,00
Änderung (M1 - M2)	-3,40	1,81	-0,72	-3,00

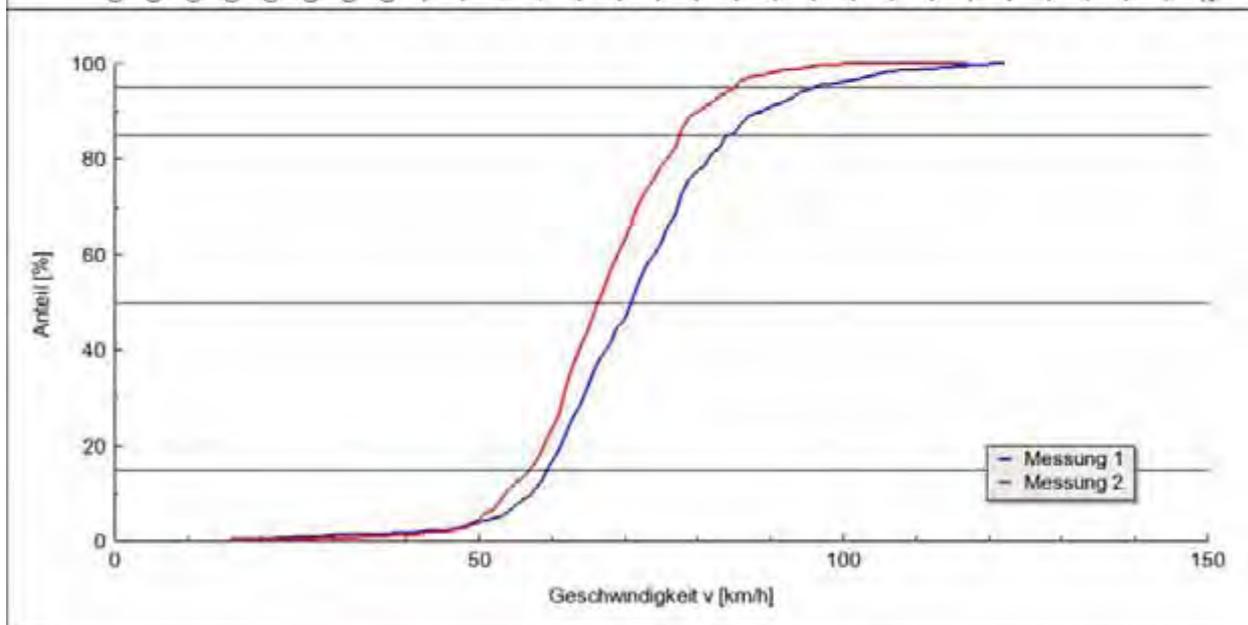
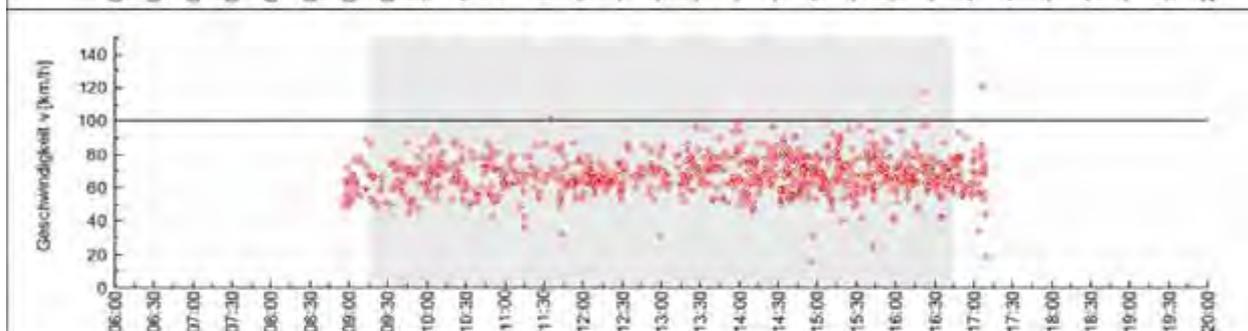
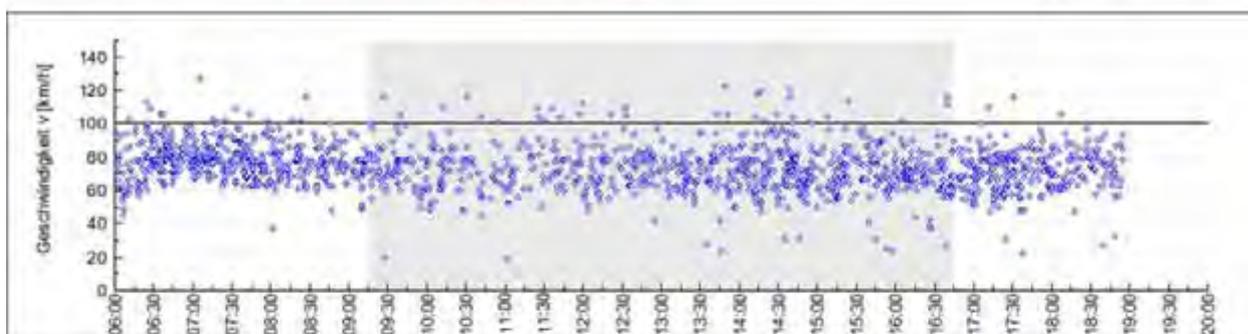
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 455.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 964 Kfz)	58,63	70,12	84,90	95,95
Messung 2 (Q = 903 Kfz)	55,41	65,62	78,28	89,09
Änderung (M1 - M2)	-3,22	-4,50	-6,62	-6,86

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	3,63	107,69	0,83	120,00
Messung 2	1,66	107,73	0,33	114,00
Änderung (M1 - M2)	-1,97	0,04	-0,50	-6,00

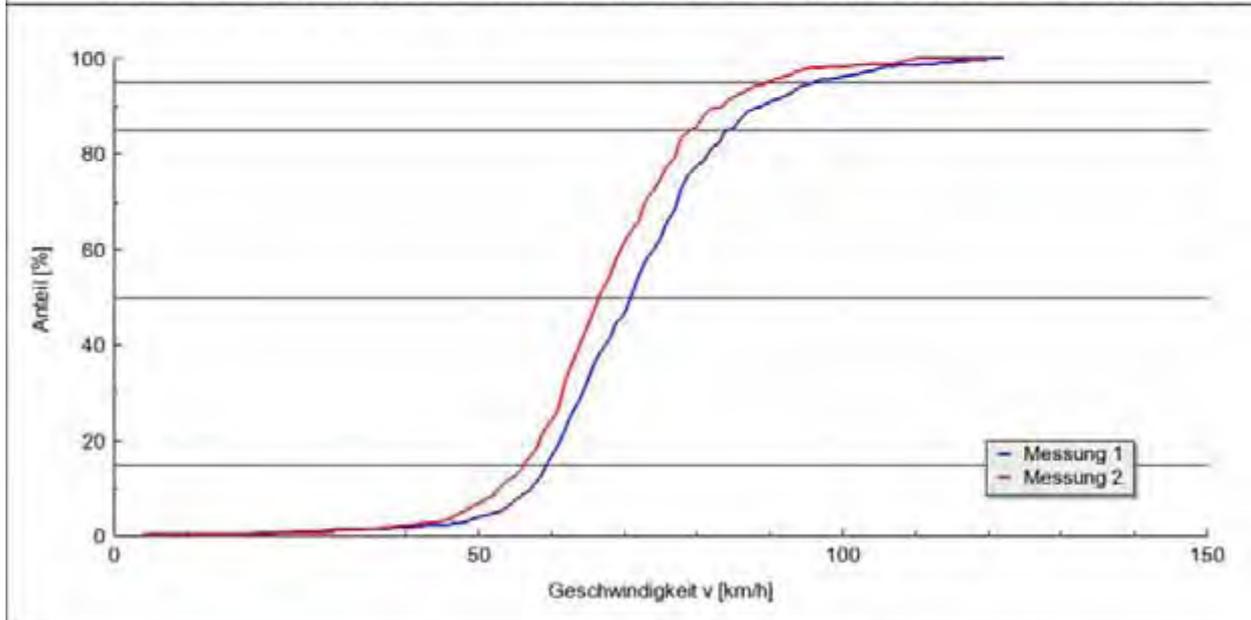
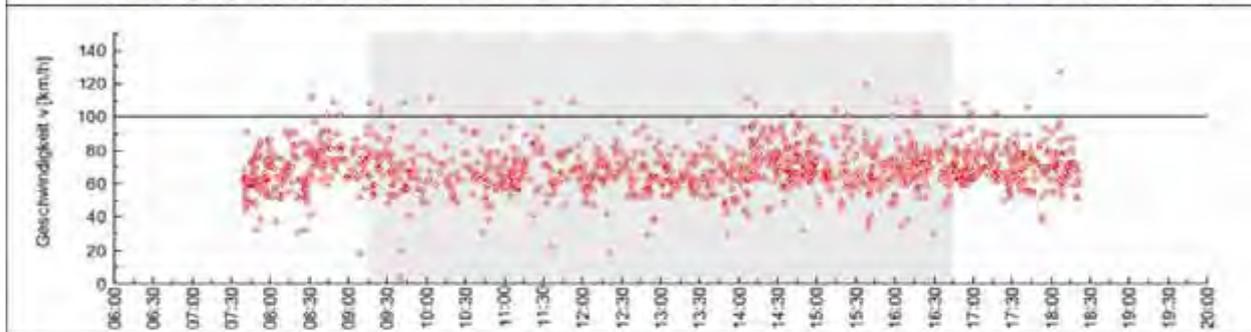
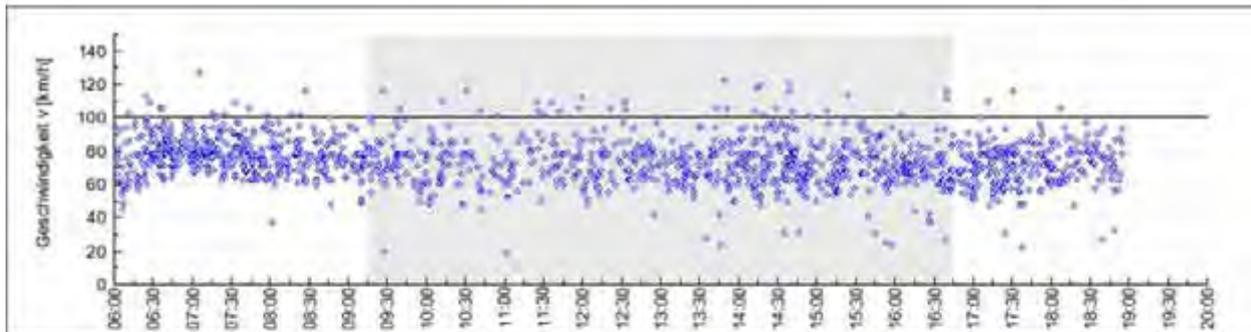
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 455.00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 868 Kfz)	58,52	70,00	83,40	95,37
Messung 2 (Q = 886 Kfz)	56,15	65,43	76,65	84,18
Änderung (M1 - M2)	-2,37	-4,57	-6,75	-11,19

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	3,92	108,62	1,27	116,45
Messung 2	0,23	109,50	0,11	117,00
Änderung (M1 - M2)	-3,69	0,88	-1,16	0,55

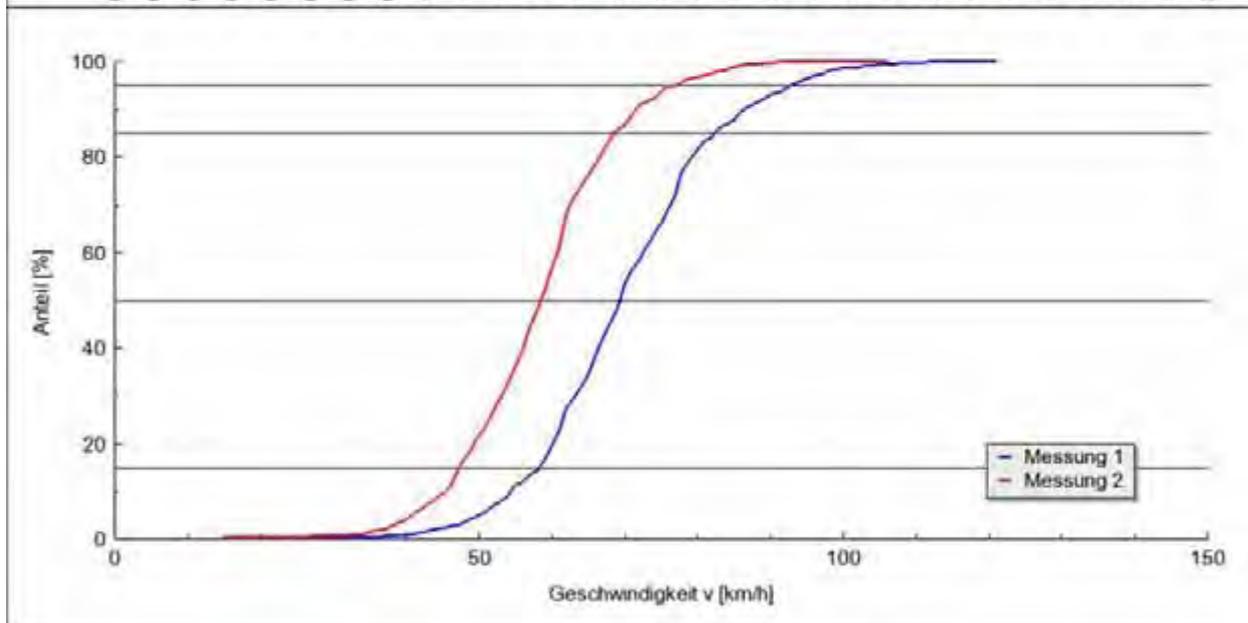
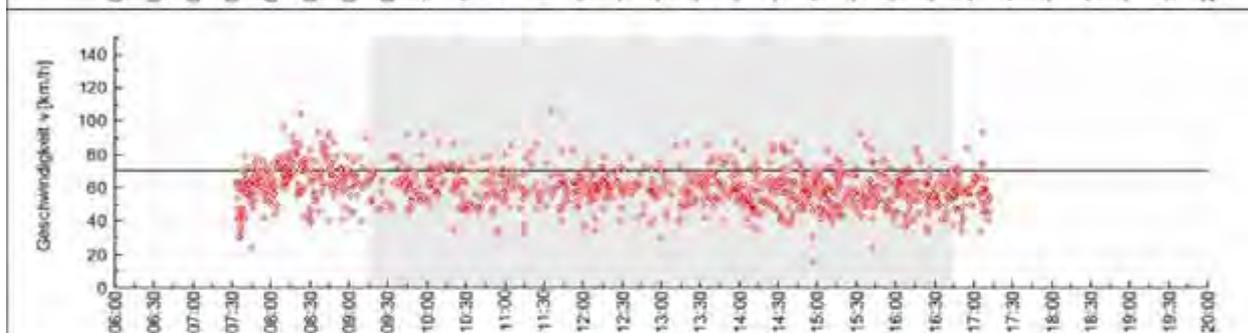
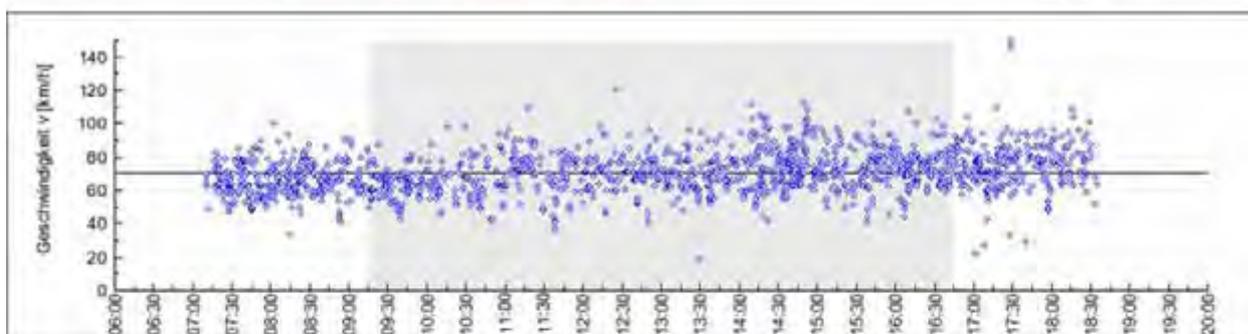
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 455.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 868 Kfz)	58,52	70,00	83,40	95,37
Messung 2 (Q = 903 Kfz)	55,41	65,62	78,28	89,09
Änderung (M1 - M2)	-3,11	-4,38	-5,12	-6,28

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	3,92	108,62	1,27	116,45
Messung 2	1,66	107,73	0,33	114,00
Änderung (M1 - M2)	-2,26	-0,89	-0,94	-2,45

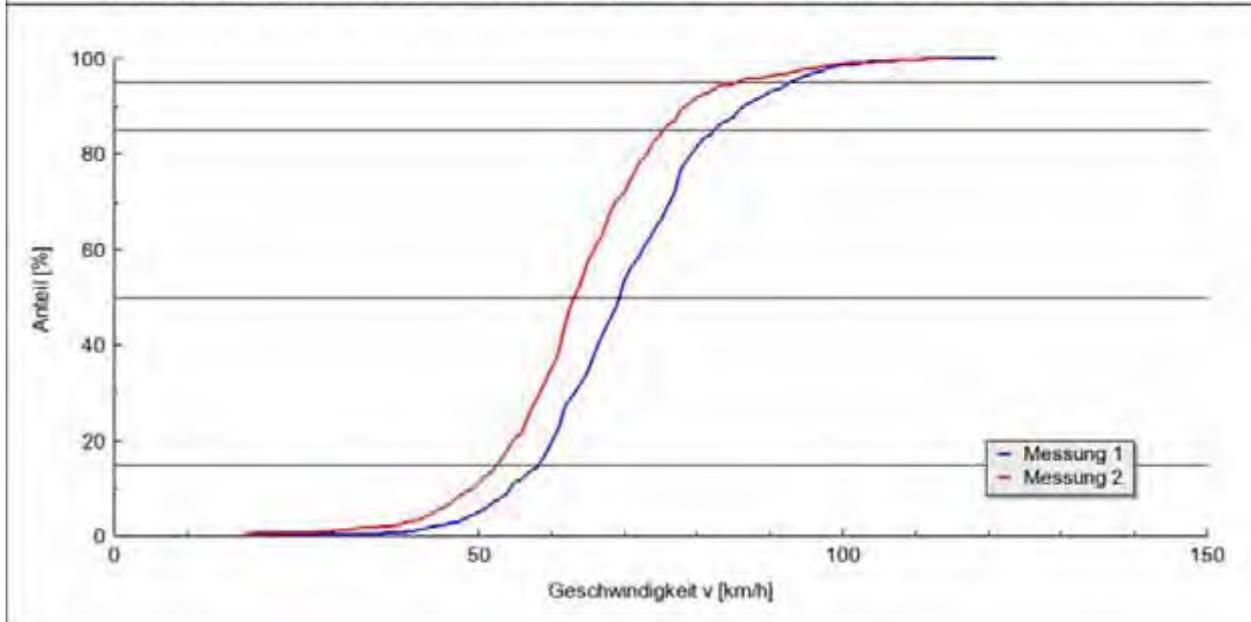
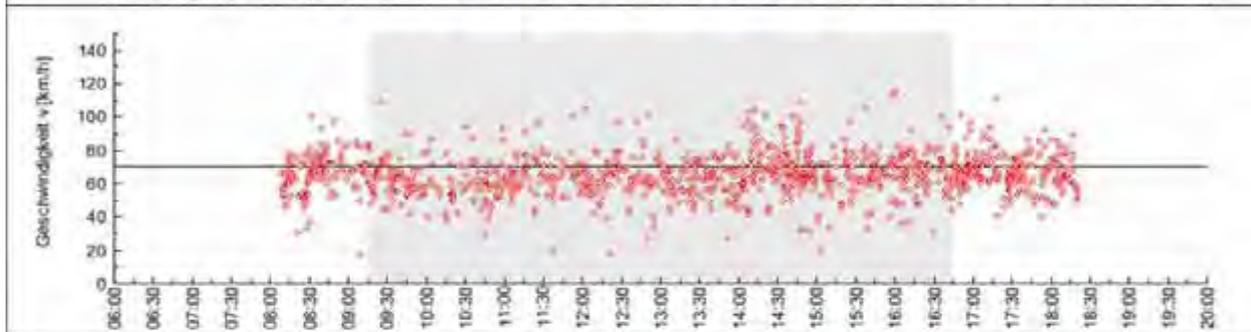
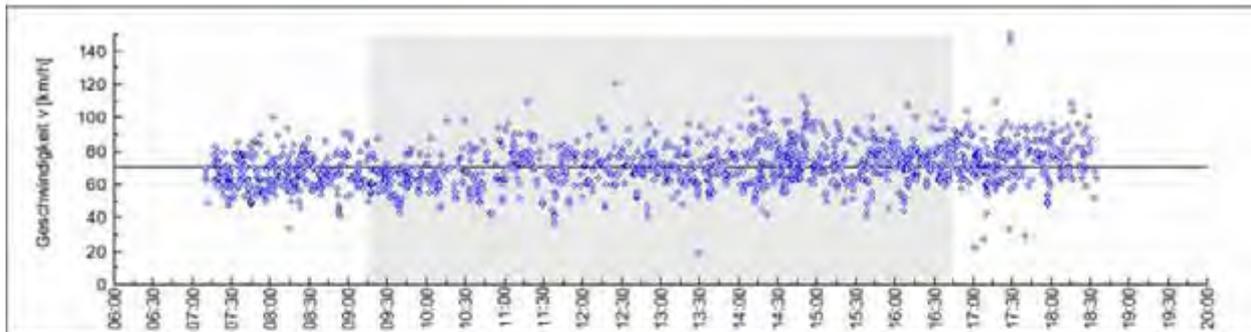
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 655.00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 969 Kfz)	57,42	68,41	81,48	91,82
Messung 2 (Q = 877 Kfz)	46,40	57,62	67,72	76,22
Änderung (M1 - M2)	-11,02	-10,79	-13,76	-15,60

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	46,75	81,18	18,68	89,56
Messung 2	13,23	77,06	3,42	85,53
Änderung (M1 - M2)	-33,52	-4,12	-15,26	-4,03

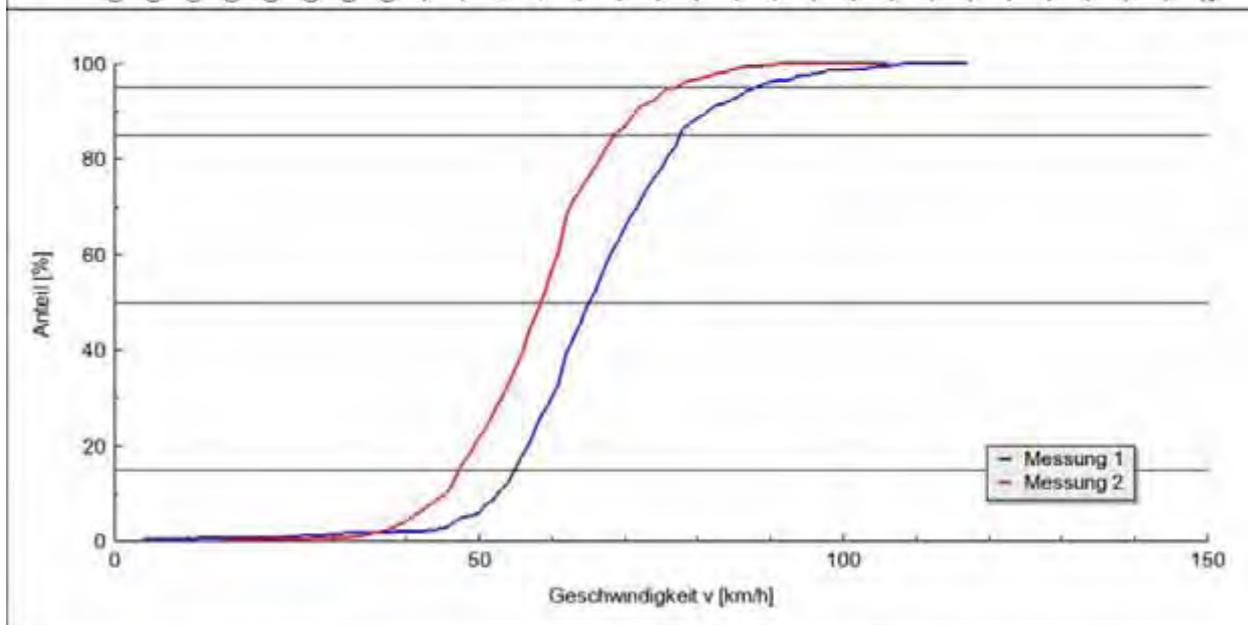
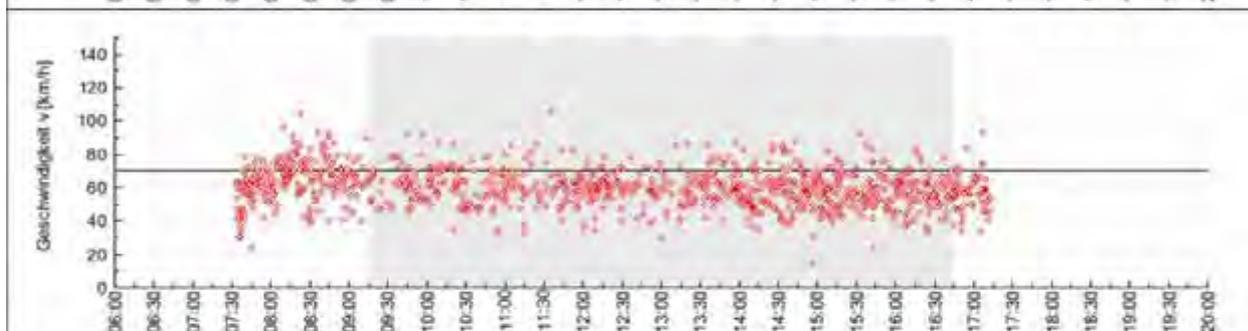
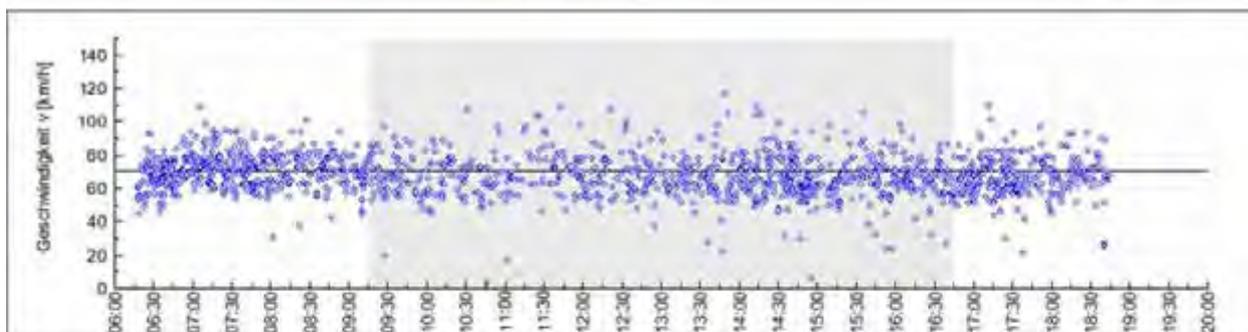
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 655.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 969 Kfz)	57,42	68,41	81,48	91,82
Messung 2 (Q = 901 Kfz)	51,79	62,23	74,55	84,56
Änderung (M1 - M2)	-5,63	-6,18	-6,93	-7,26

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	46,75	81,18	18,68	89,56
Messung 2	28,08	79,43	8,21	90,80
Änderung (M1 - M2)	-18,67	-1,75	-10,47	1,24

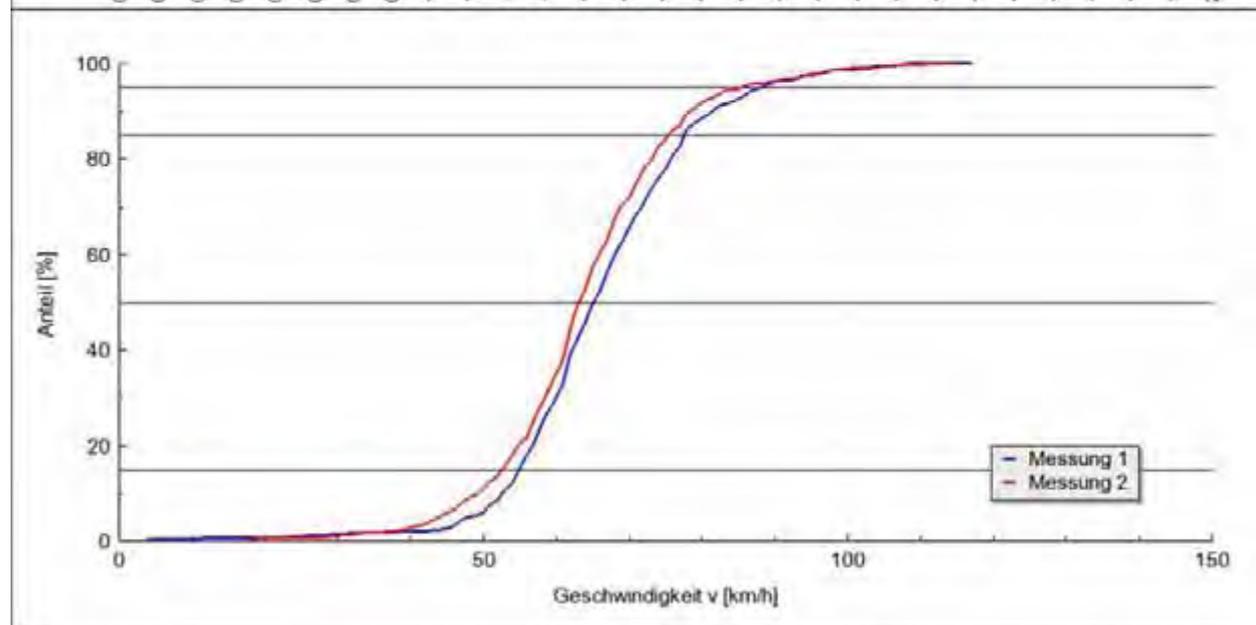
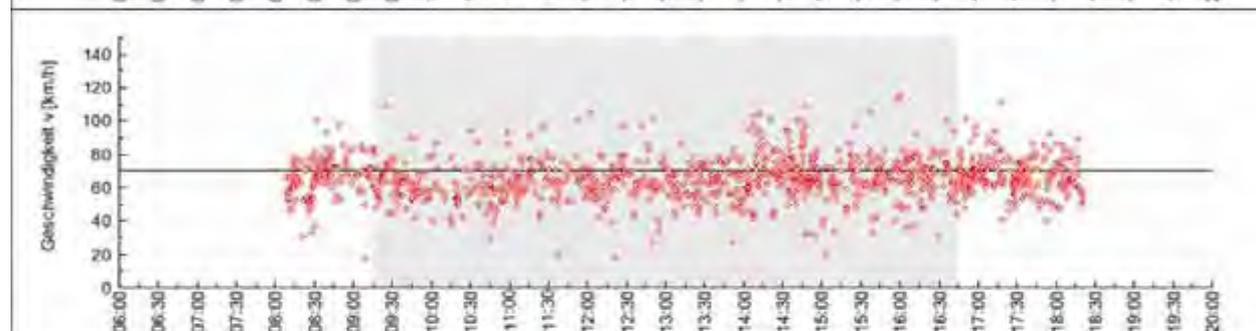
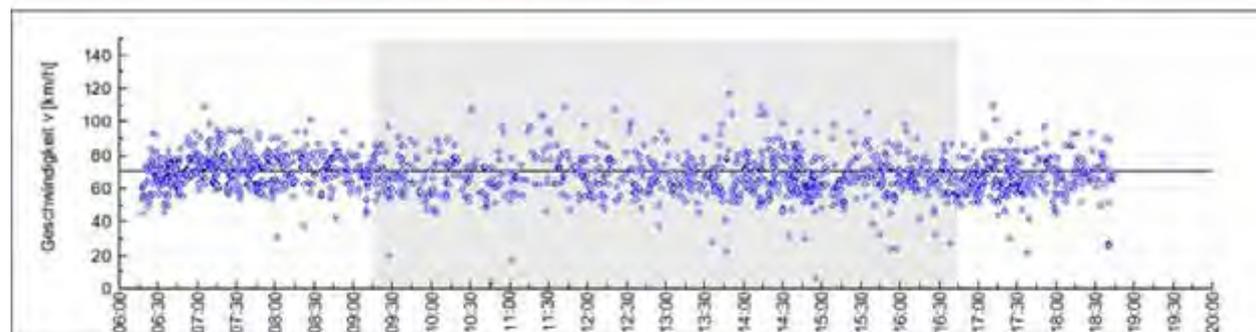
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 655.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 878 Kfz)	54,13	64,24	76,68	87,26
Messung 2 (Q = 877 Kfz)	46,40	57,62	67,72	76,22
Änderung (M1 - M2)	-7,73	-6,62	-8,96	-11,04

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	34,40	80,00	11,73	89,60
Messung 2	13,23	77,06	3,42	85,53
Änderung (M1 - M2)	-21,17	-2,94	-8,31	-4,07

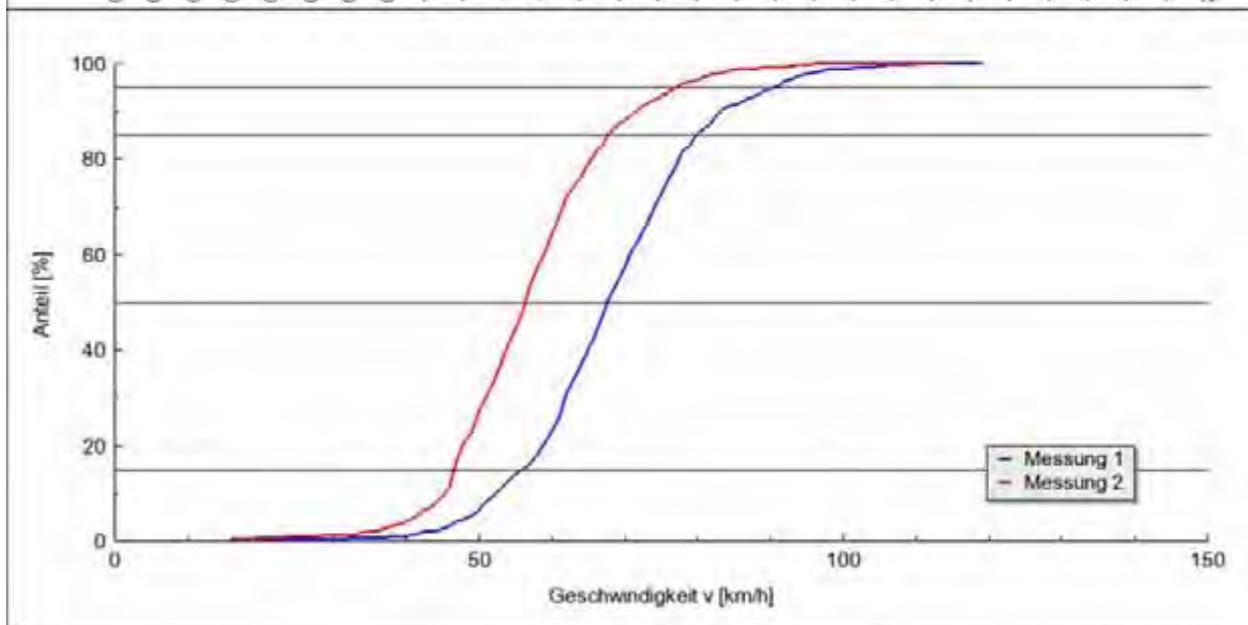
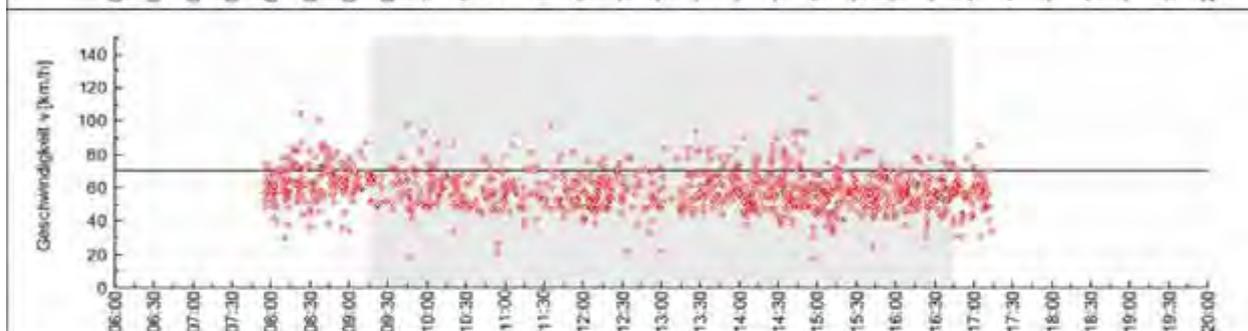
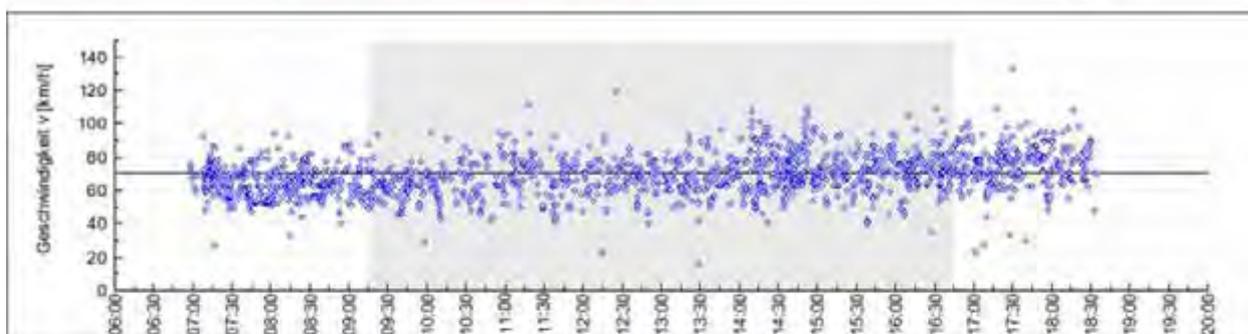
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 655.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 878 Kfz)	54,13	64,24	76,68	87,26
Messung 2 (Q = 901 Kfz)	51,79	62,23	74,55	84,56
Änderung (M1 - M2)	-2,34	-2,01	-2,13	-2,70

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	34,40	80,00	11,73	89,60
Messung 2	28,08	79,43	8,21	90,80
Änderung (M1 - M2)	-6,32	-0,57	-3,52	1,20

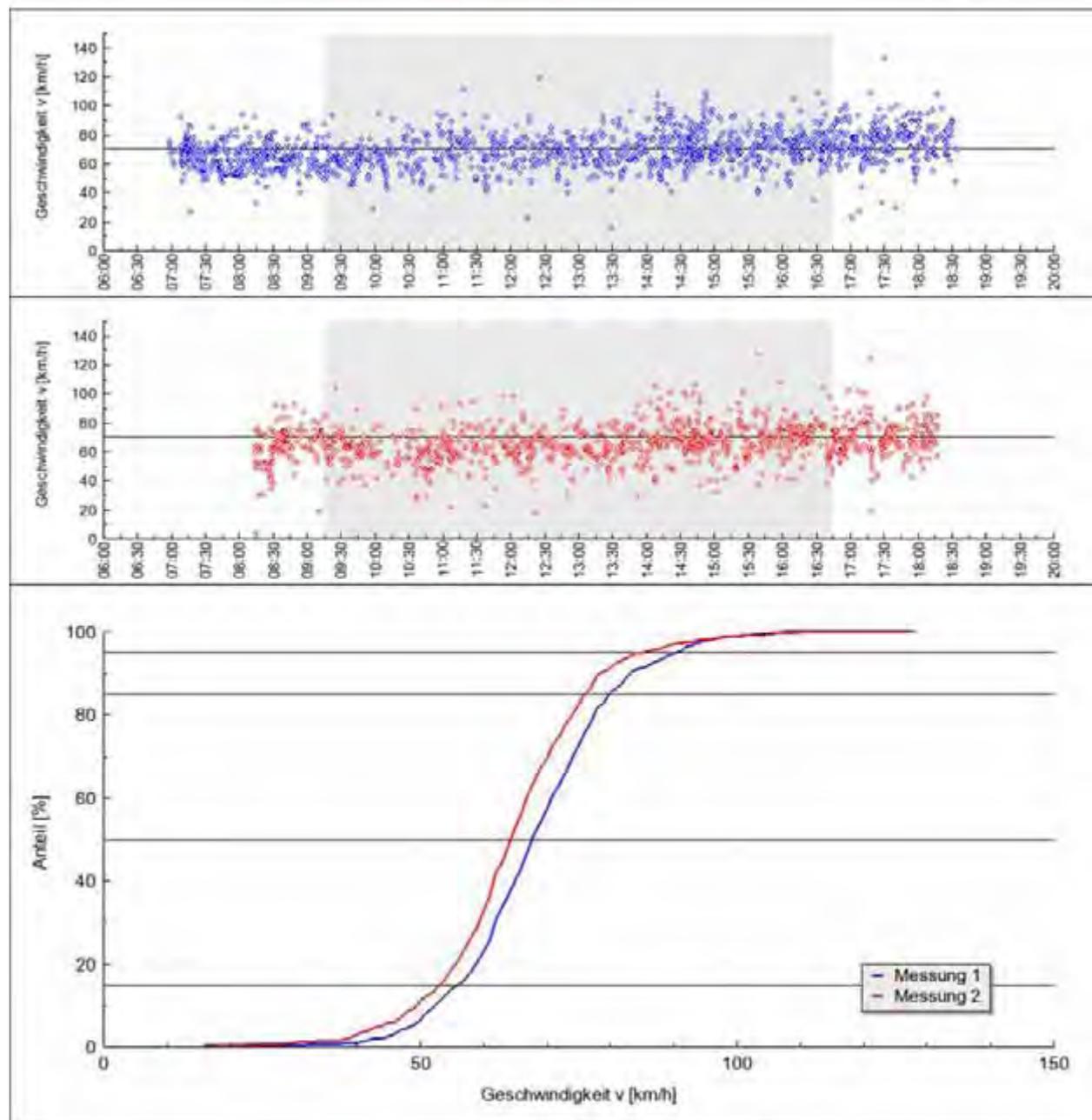
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 740,00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 971 Kfz)	55,15	66,69	79,02	89,69
Messung 2 (Q = 894 Kfz)	45,64	55,45	66,76	76,30
Änderung (M1 - M2)	-9,51	-11,24	-12,26	-13,39

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	42,74	79,96	15,04	88,86
Messung 2	11,74	78,44	3,47	87,06
Änderung (M1 - M2)	-31,00	-1,52	-11,57	-1,80

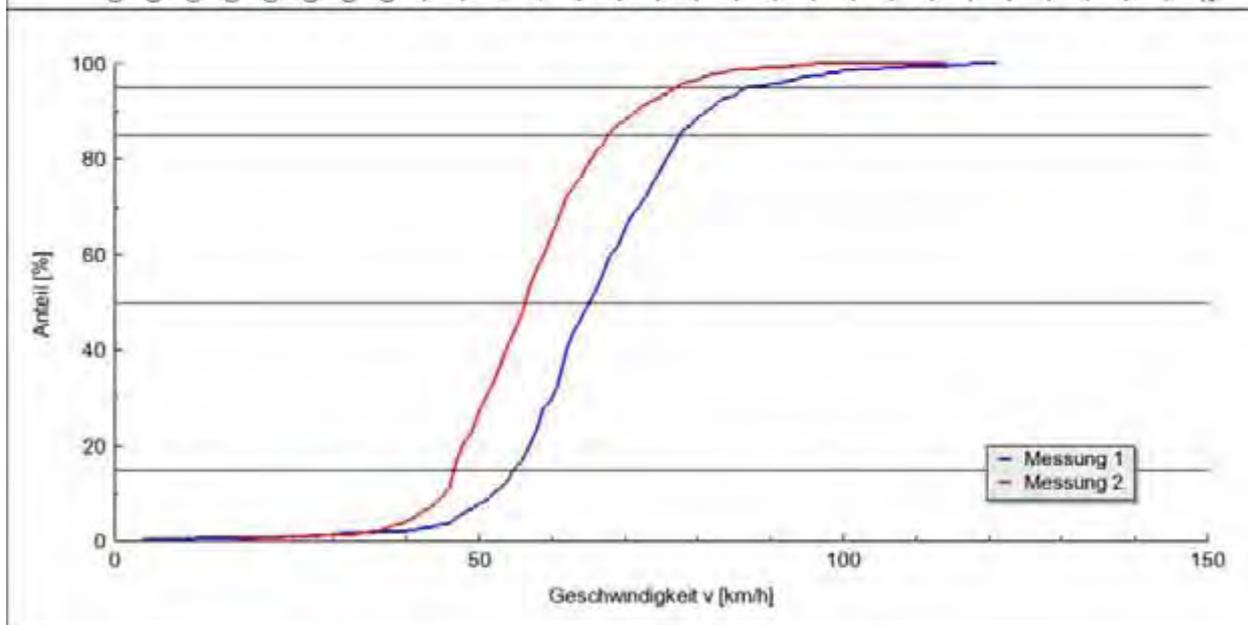
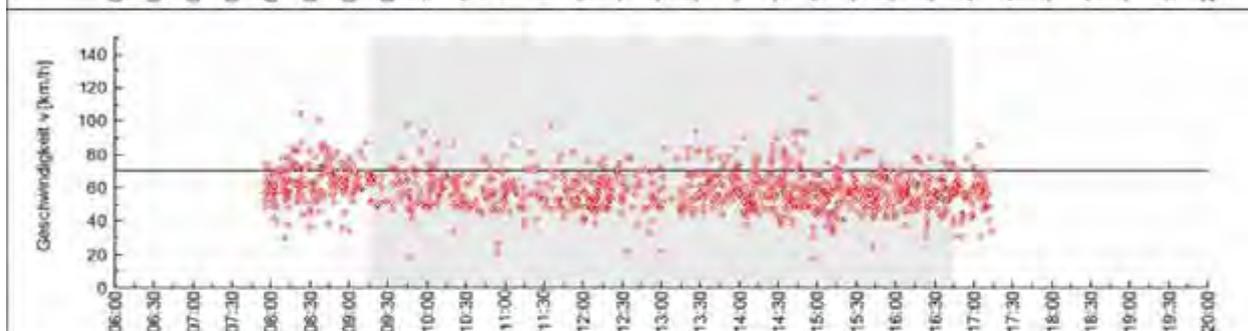
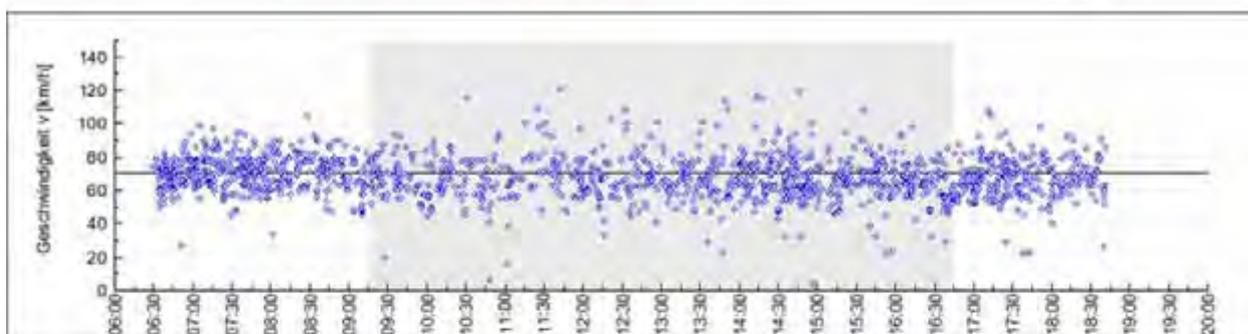
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 740.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 971 Kfz)	55,15	66,69	79,02	89,69
Messung 2 (Q = 860 Kfz)	52,23	63,36	75,08	84,40
Änderung (M1 - M2)	-2,92	-3,33	-3,94	-5,29

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	42,74	79,96	15,04	88,86
Messung 2	30,58	79,00	8,72	89,59
Änderung (M1 - M2)	-12,16	-0,96	-6,32	0,73

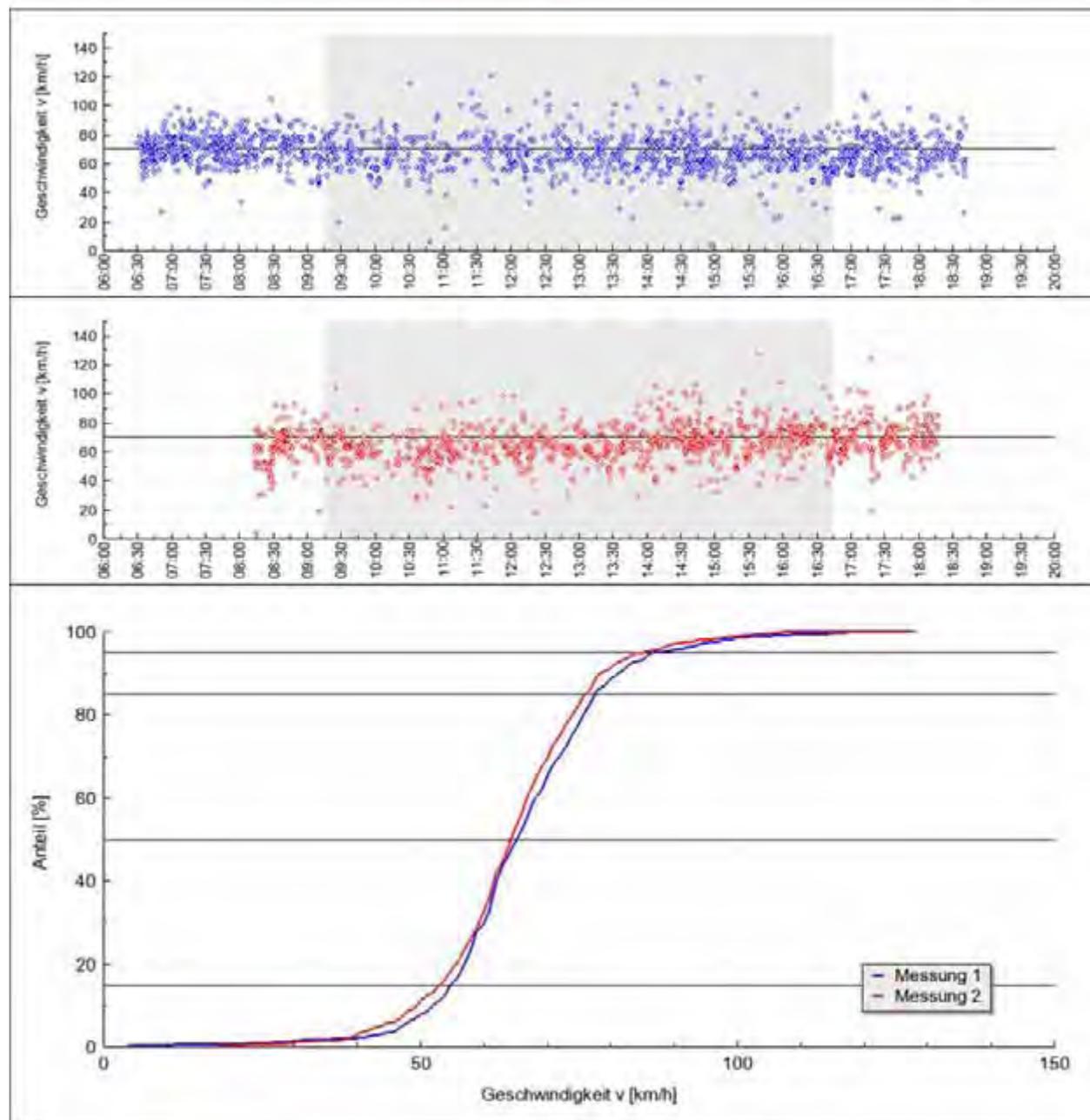
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 740.00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 881 Kfz)	53,91	64,26	76,65	86,95
Messung 2 (Q = 894 Kfz)	45,64	55,45	66,76	76,30
Änderung (M1 - M2)	-8,27	-8,81	-9,89	-10,65

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	34,85	80,17	11,58	90,36
Messung 2	11,74	78,44	3,47	87,06
Änderung (M1 - M2)	-23,11	-1,73	-8,11	-3,30

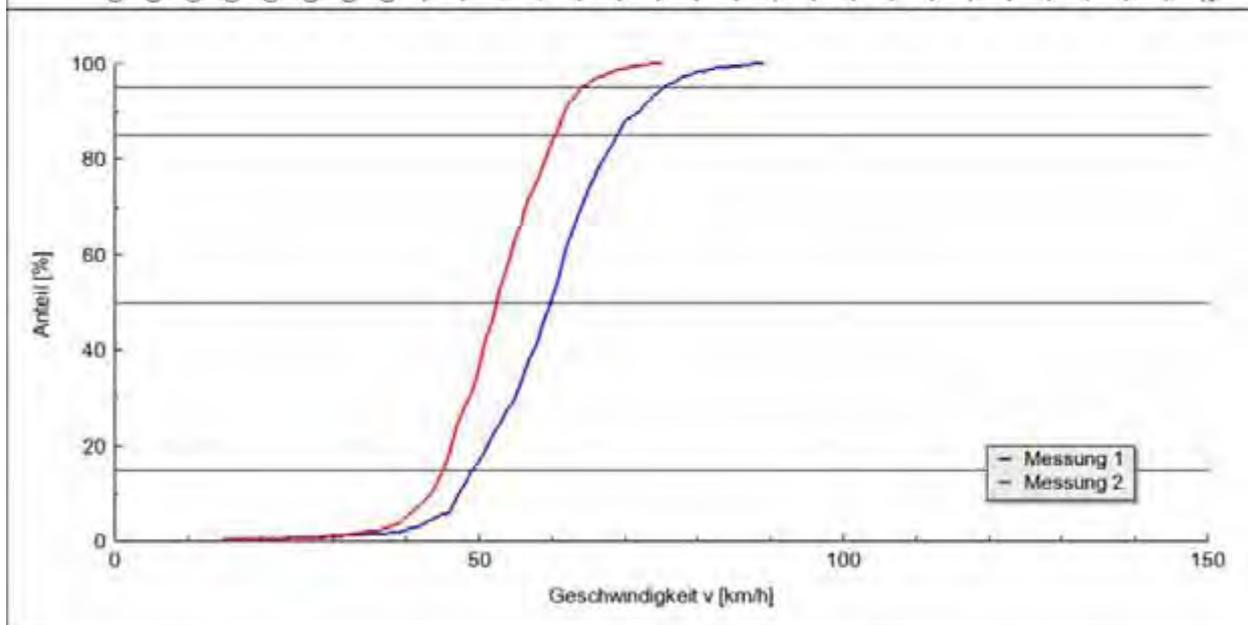
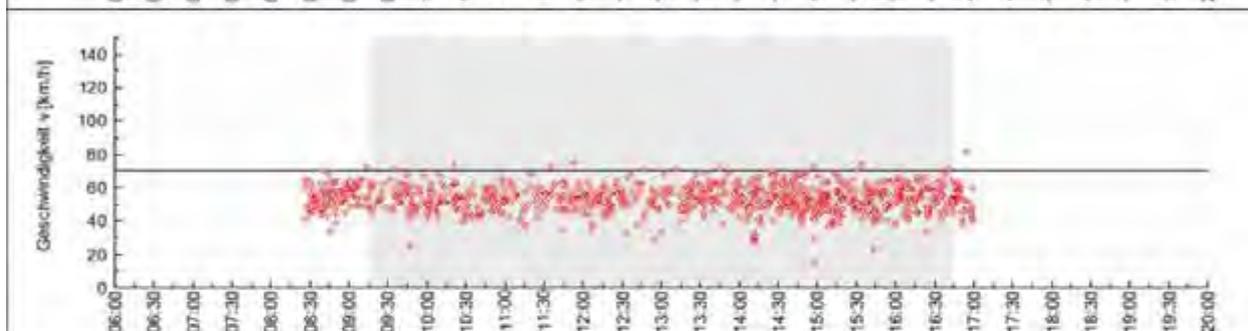
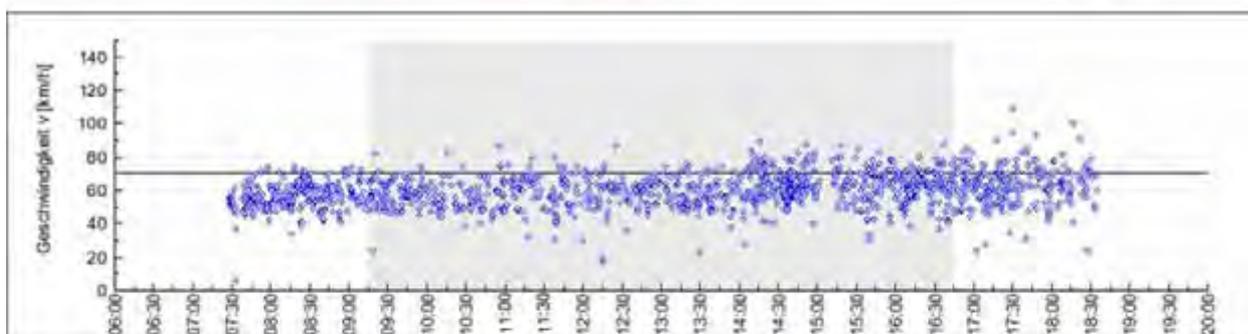
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 740.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 881 Kfz)	53,91	64,26	76,65	86,95
Messung 2 (Q = 860 Kfz)	52,23	63,36	75,08	84,40
Änderung (M1 - M2)	-1,68	-0,90	-1,57	-2,55

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	34,85	80,17	11,58	90,36
Messung 2	30,58	79,00	8,72	89,59
Änderung (M1 - M2)	-4,27	-1,17	-2,86	-0,77

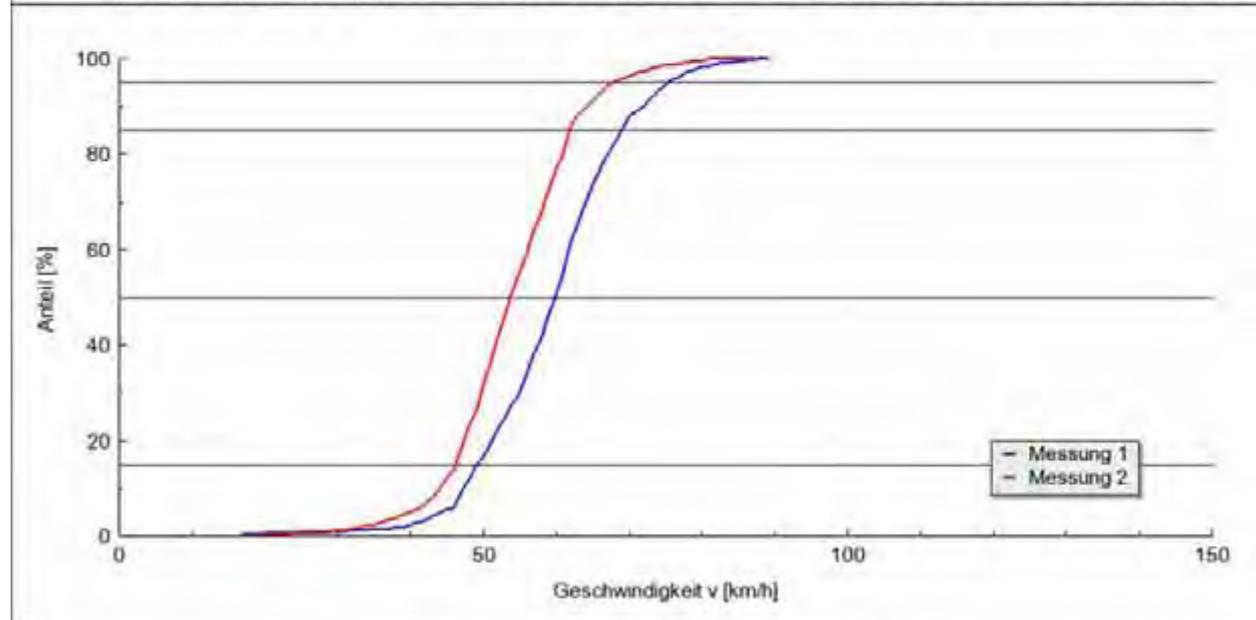
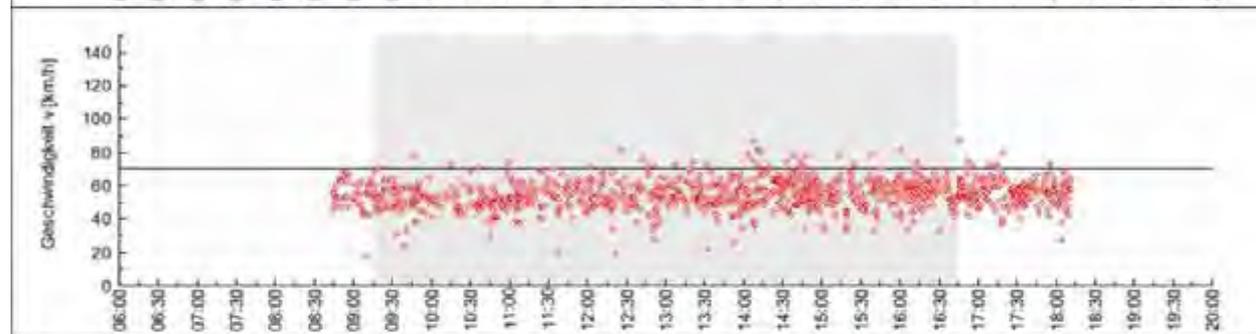
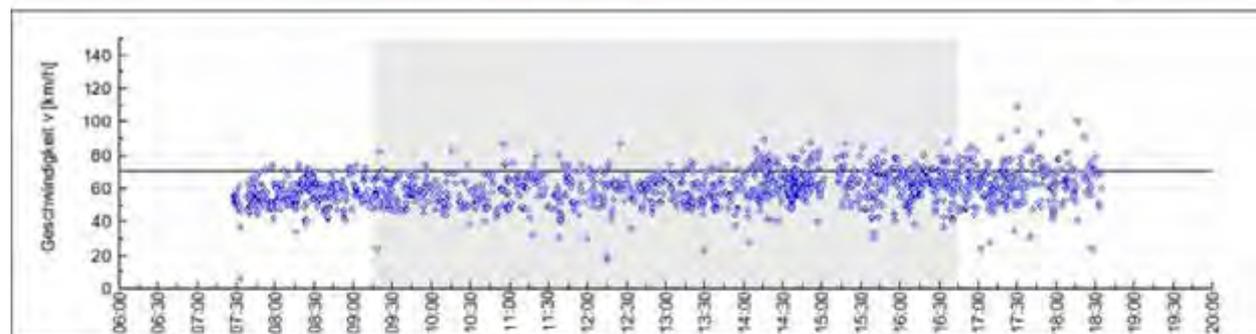
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 850,00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 982 Kfz)	48,23	58,87	68,09	74,43
Messung 2 (Q = 891 Kfz)	44,17	51,58	59,56	63,35
Änderung (M1 - M2)	-4,06	-7,29	-8,53	-11,08

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	12,12	76,15	1,63	84,63
Messung 2	1,23	72,27	-	-
Änderung (M1 - M2)	-10,89	-3,88	-1,63	-

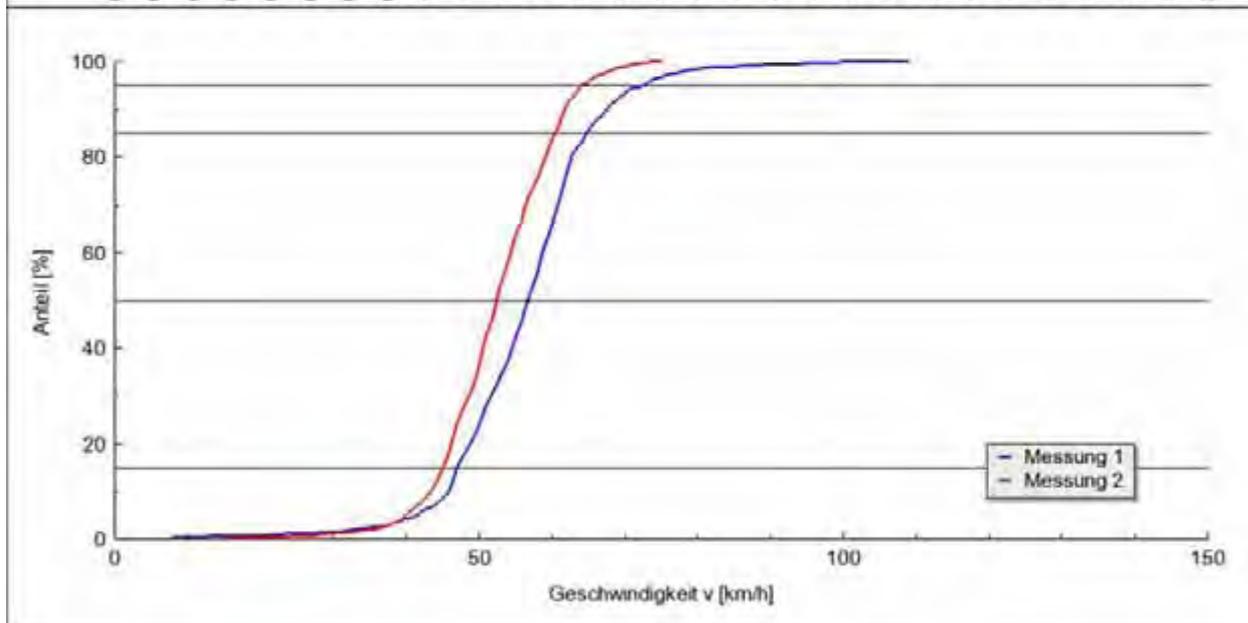
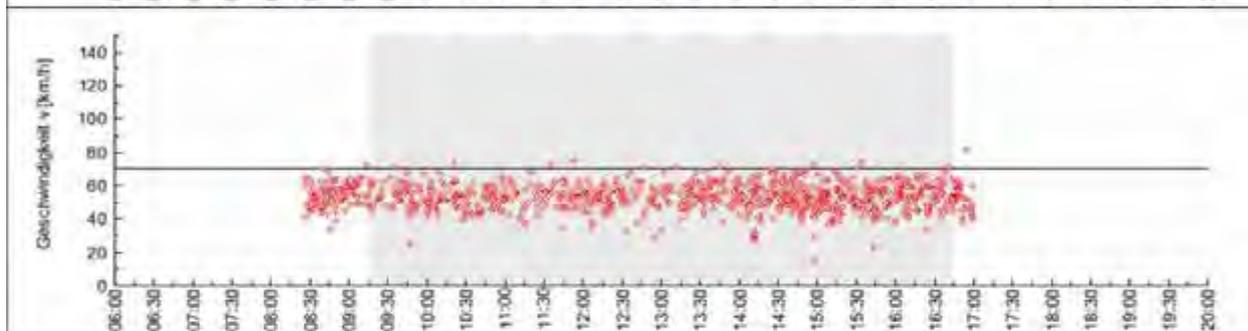
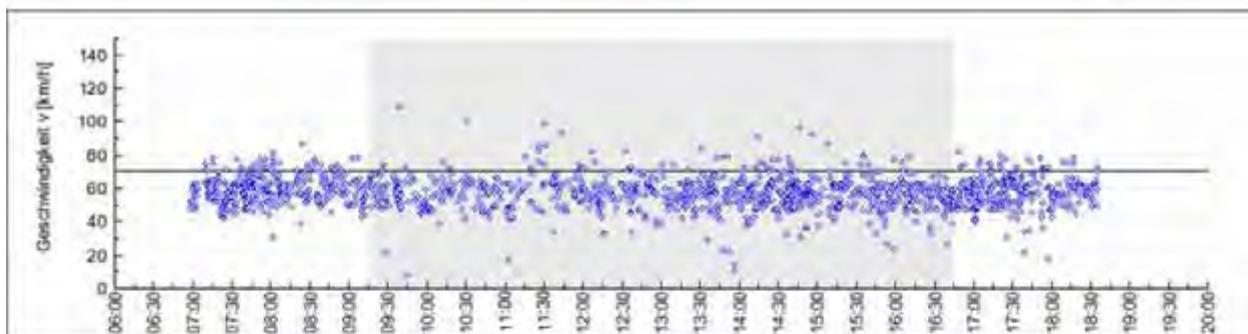
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 850.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 982 Kfz)	48,23	58,87	68,09	74,43
Messung 2 (Q = 906 Kfz)	45,24	52,80	60,84	67,09
Änderung (M1 - M2)	-2,99	-6,07	-7,25	-7,34

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	12,12	76,15	1,63	84,63
Messung 2	3,75	75,26	0,55	82,20
Änderung (M1 - M2)	-8,37	-0,89	-1,08	-2,43

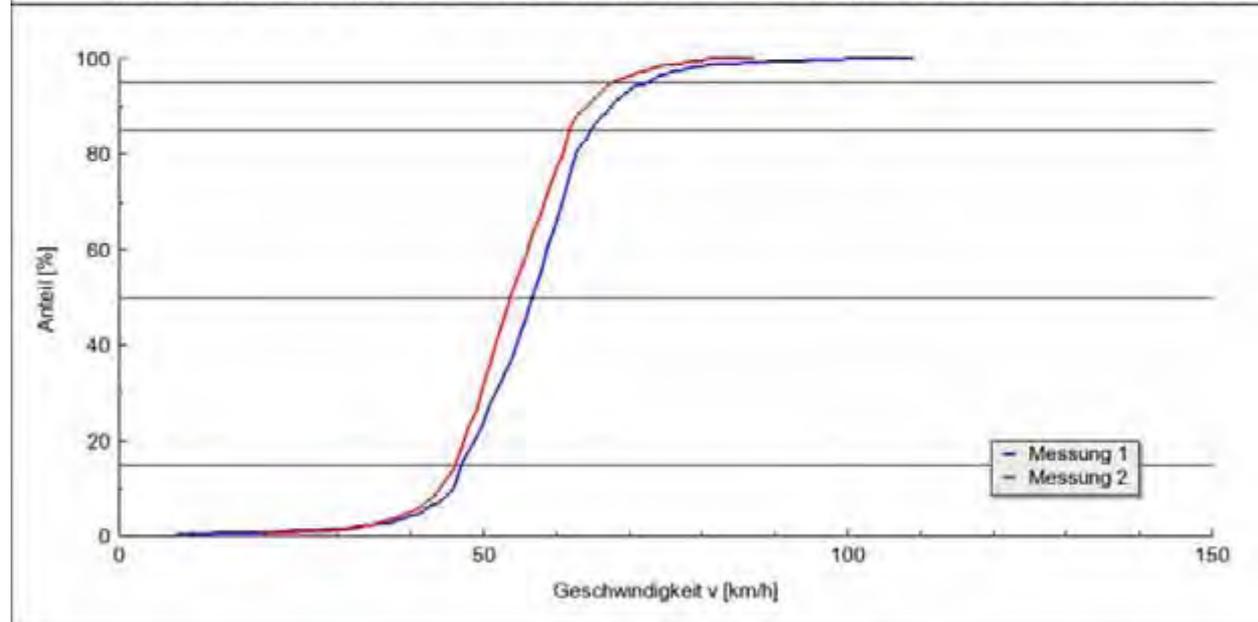
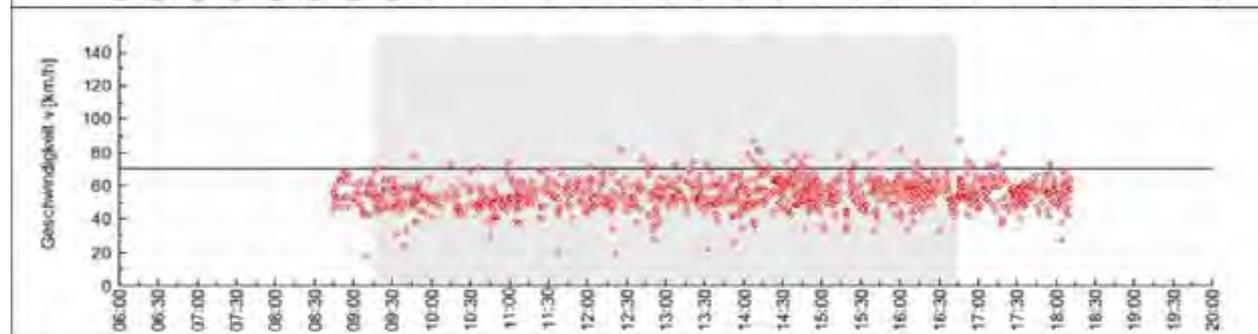
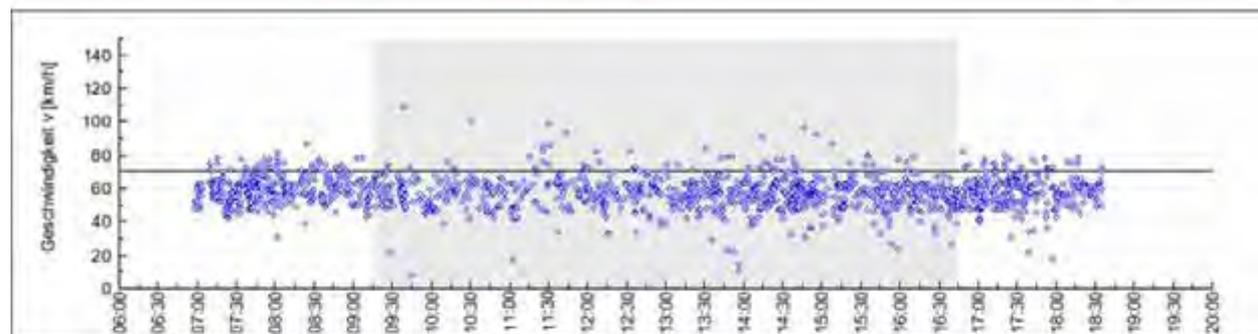
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 850,00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 888 Kfz)	46,05	55,81	63,85	71,51
Messung 2 (Q = 891 Kfz)	44,17	51,58	59,56	63,35
Änderung (M1 - M2)	-1,88	-4,23	-4,29	-8,16

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	6,64	78,29	1,58	90,57
Messung 2	1,23	72,27	-	-
Änderung (M1 - M2)	-5,41	-6,02	-1,58	-

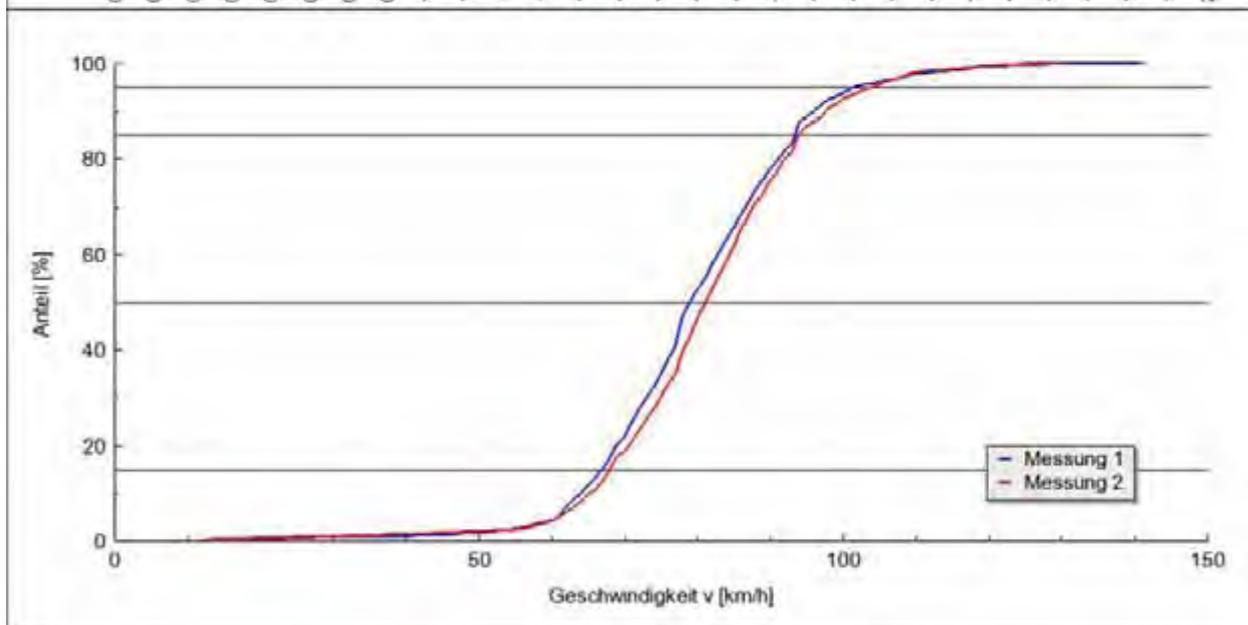
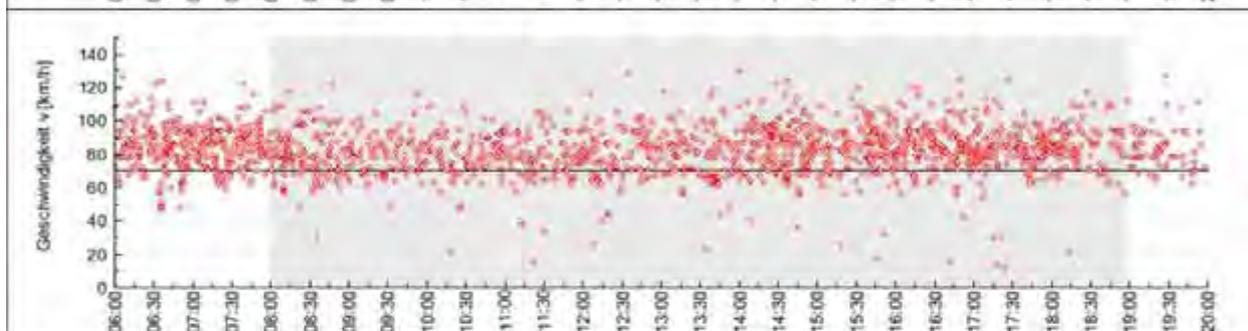
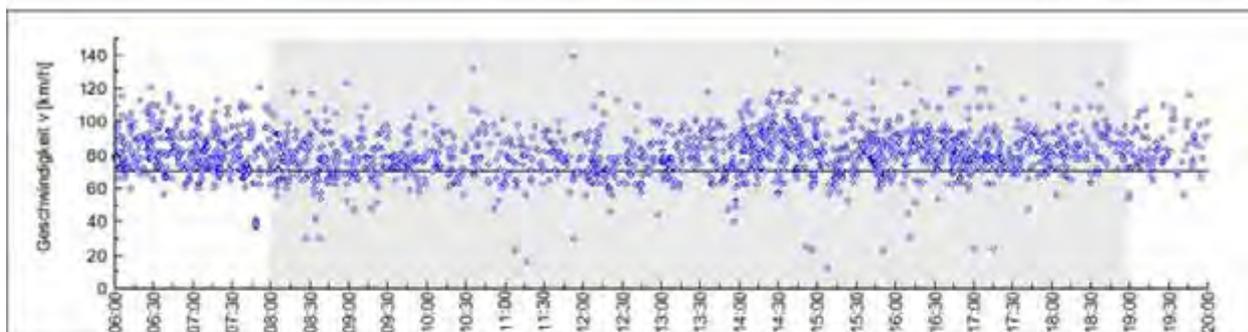
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 850.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 888 Kfz)	46,05	55,81	63,85	71,51
Messung 2 (Q = 906 Kfz)	45,24	52,80	60,84	67,09
Änderung (M1 - M2)	-0,81	-3,01	-3,01	-4,42

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	6,64	78,29	1,58	90,57
Messung 2	3,75	75,26	0,55	82,20
Änderung (M1 - M2)	-2,89	-3,03	-1,03	-8,37

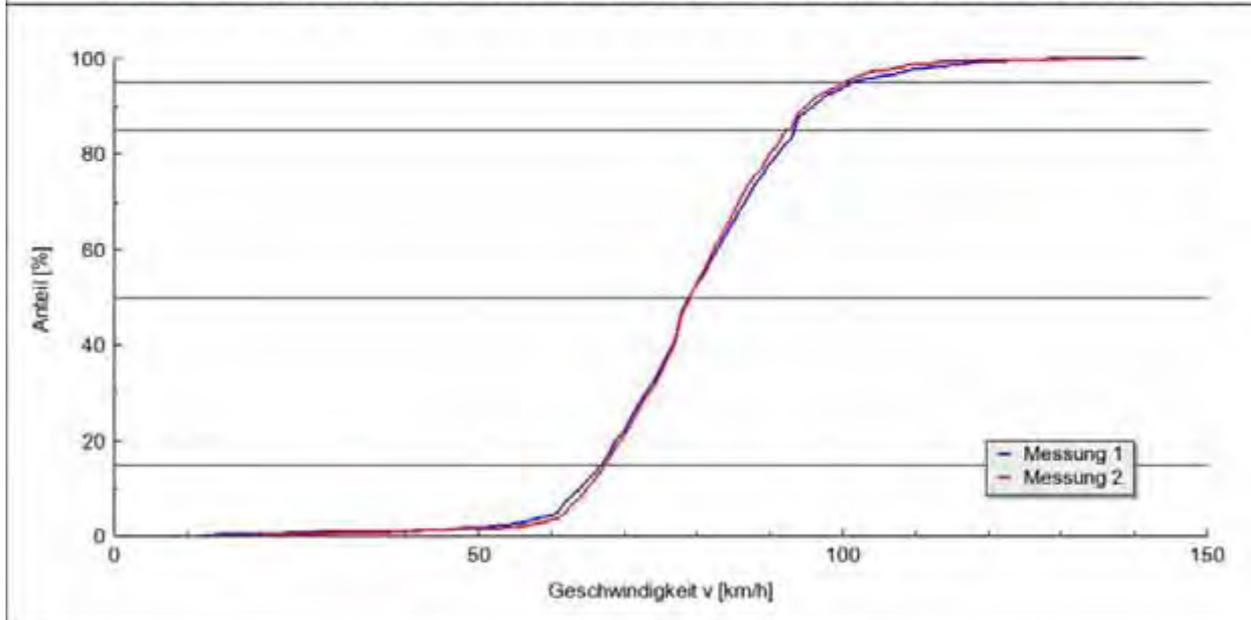
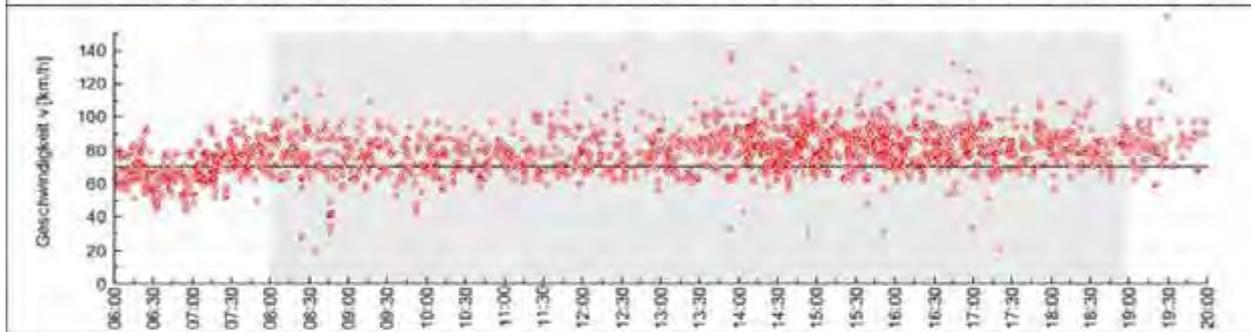
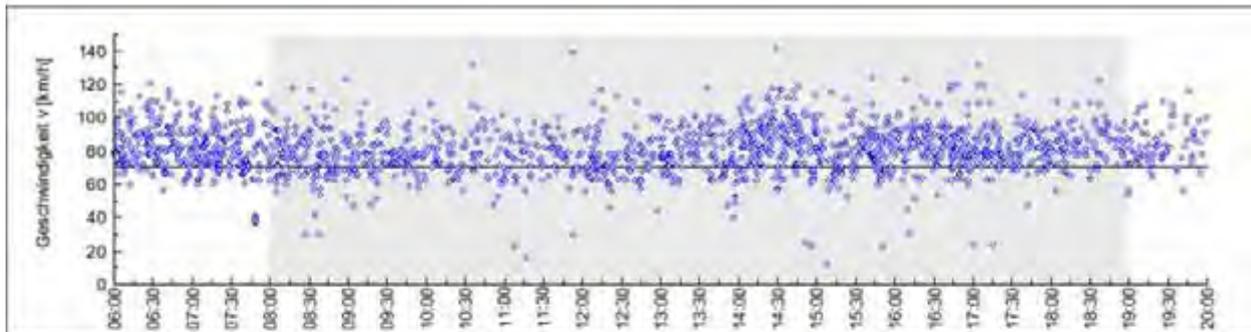
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1493 Kfz)	66,03	77,97	92,37	100,71
Messung 2 (Q = 1521 Kfz)	67,05	80,18	92,88	102,77
Änderung (M1 - M2)	1,02	2,21	0,51	2,06

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	78,23	85,41	47,56	91,60
Messung 2	81,26	86,25	53,91	91,43
Änderung (M1 - M2)	3,03	0,84	6,35	-0,17

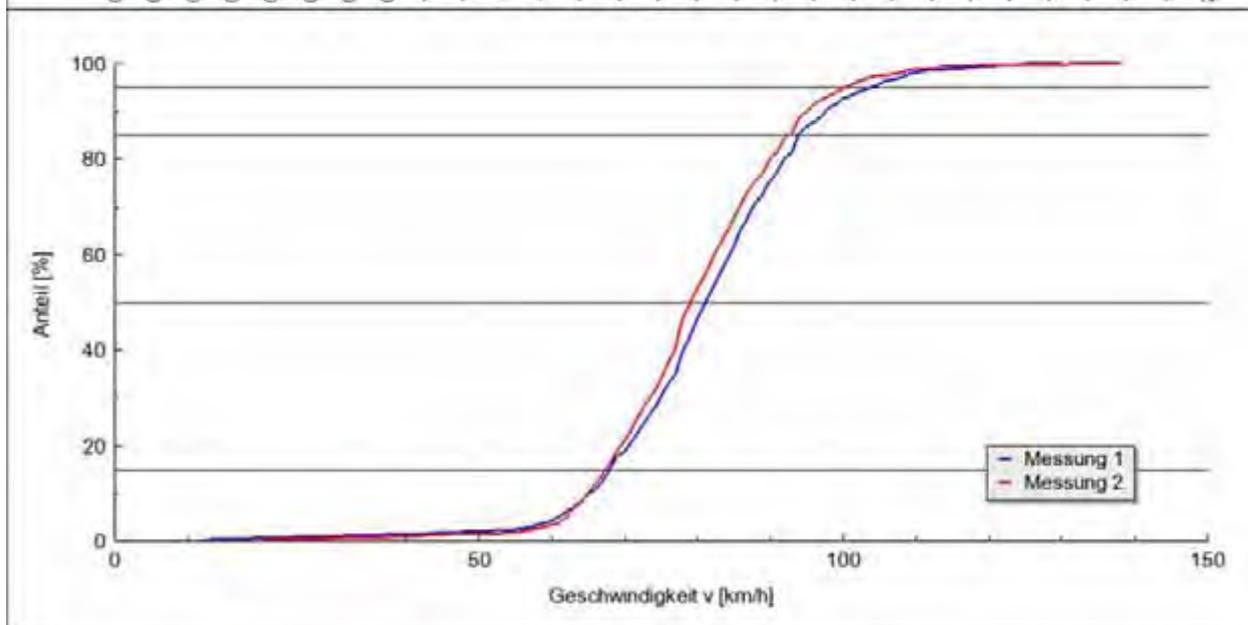
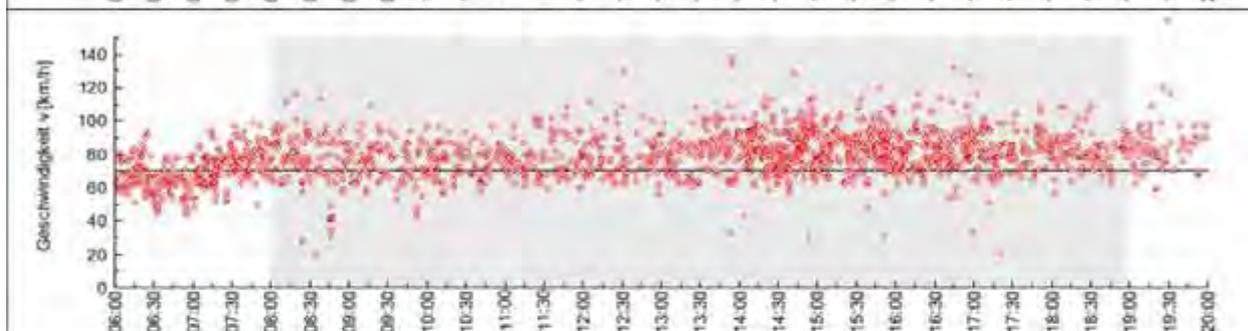
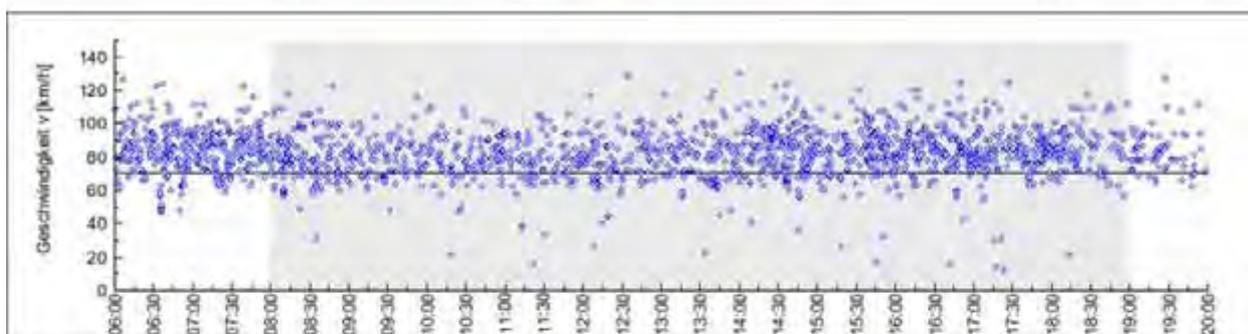
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1493 Kfz)	66,03	77,97	92,37	100,71
Messung 2 (Q = 1625 Kfz)	66,48	78,09	91,56	99,42
Änderung (M1 - M2)	0,45	0,12	-0,81	-1,29

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	78,23	85,41	47,56	91,60
Messung 2	79,14	84,75	47,20	90,68
Änderung (M1 - M2)	0,91	-0,66	-0,36	-0,92

Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



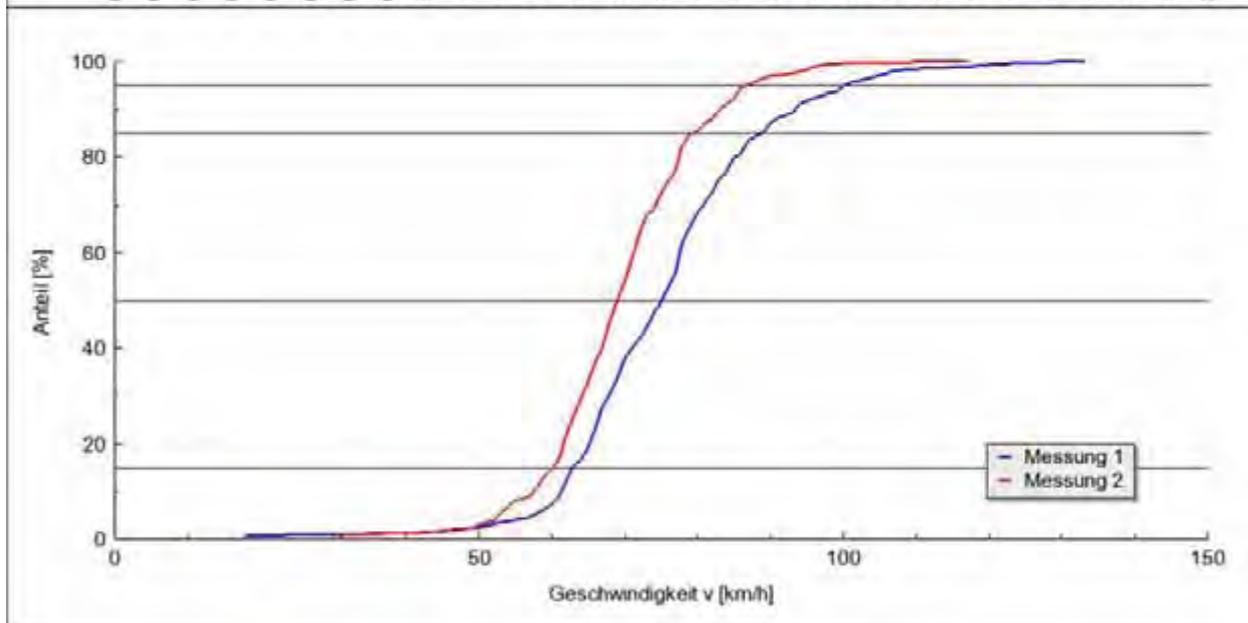
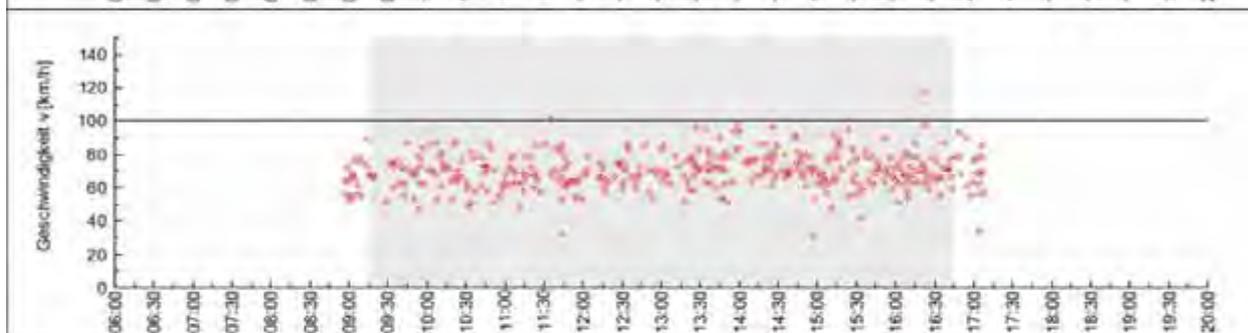
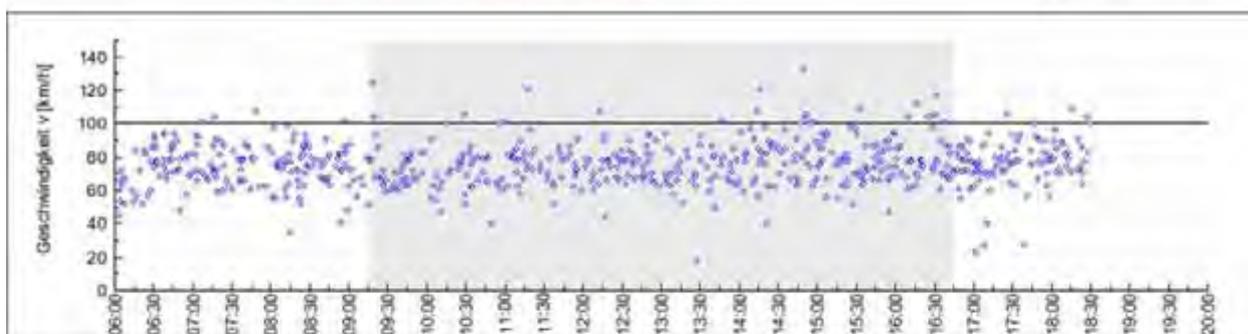
Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1521 Kfz)	67,05	80,18	92,88	102,77
Messung 2 (Q = 1625 Kfz)	66,48	78,09	91,56	99,42
Änderung (M1 - M2)	-0,57	-2,09	-1,32	-3,35

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	81,26	86,25	53,91	91,43
Messung 2	79,14	84,75	47,20	90,68
Änderung (M1 - M2)	-2,12	-1,50	-6,71	-0,75

8.2 L257 Fahrtrichtung Buir (frei Fahrende)

Station	Datum		Kfz		v _m		Statistik		
	V	n	v	n	v	n	D _{max}	D _{krit}	Sign.
455	06.09.07	22.11.07	375	379	76,32	70,11	0,238	0,099	ja
455	06.09.07	27.08.08	375	401	76,32	69,19	0,214	0,098	ja
455	12.09.07	22.11.07	396	379	75,17	70,11	0,221	0,098	ja
455	12.09.07	27.08.08	396	401	75,17	69,19	0,218	0,096	ja
655	06.09.07	22.11.07	365	363	73,91	61,96	0,442	0,101	ja
655	06.09.07	27.08.08	365	398	73,91	66,37	0,287	0,099	ja
655	12.09.07	22.11.07	411	363	69,68	61,96	0,289	0,098	ja
655	12.09.07	27.08.08	411	398	69,68	66,37	0,140	0,096	ja
740	06.09.07	22.11.07	376	370	71,49	60,56	0,413	0,100	ja
740	06.09.07	27.08.08	376	377	71,49	67,32	0,174	0,099	ja
740	12.09.07	22.11.07	412	370	69,24	60,56	0,311	0,097	ja
740	12.09.07	27.08.08	412	377	69,24	67,32	0,091	0,097	nein
850	06.09.07	22.11.07	354	382	61,73	54,56	0,341	0,100	ja
850	06.09.07	27.08.08	354	399	61,73	55,32	0,292	0,099	ja
850	12.09.07	22.11.07	391	382	58,67	54,56	0,193	0,098	ja
850	12.09.07	27.08.08	391	399	58,67	55,32	0,167	0,097	ja
KG	12.09.07	22.11.07	590	614	82,40	84,12	0,078	0,078	nein
KG	12.09.07	27.08.08	590	621	82,40	82,75	0,055	0,078	nein
KG	22.11.07	27.08.08	614	621	84,12	82,75	0,088	0,077	ja

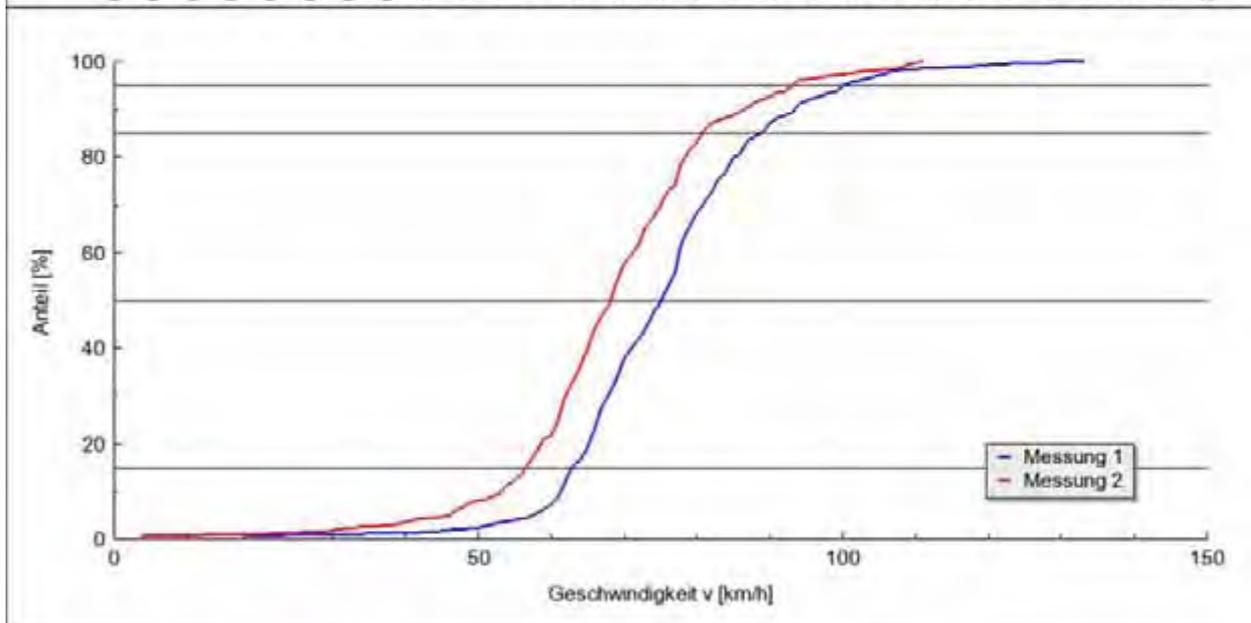
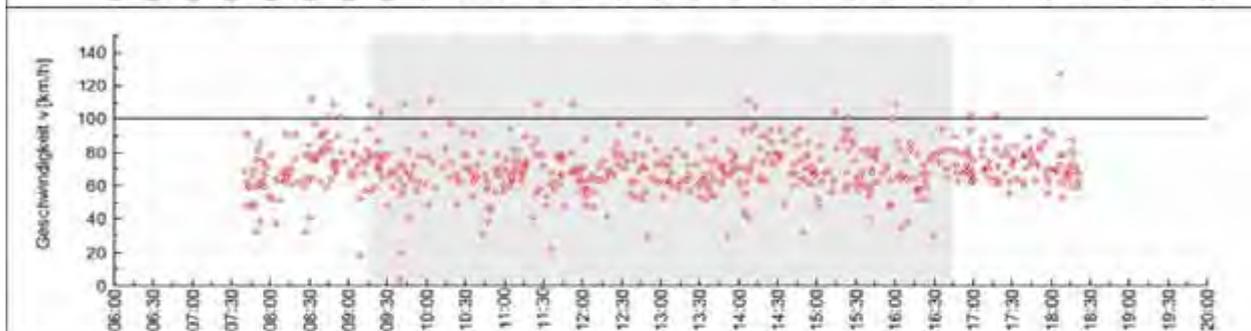
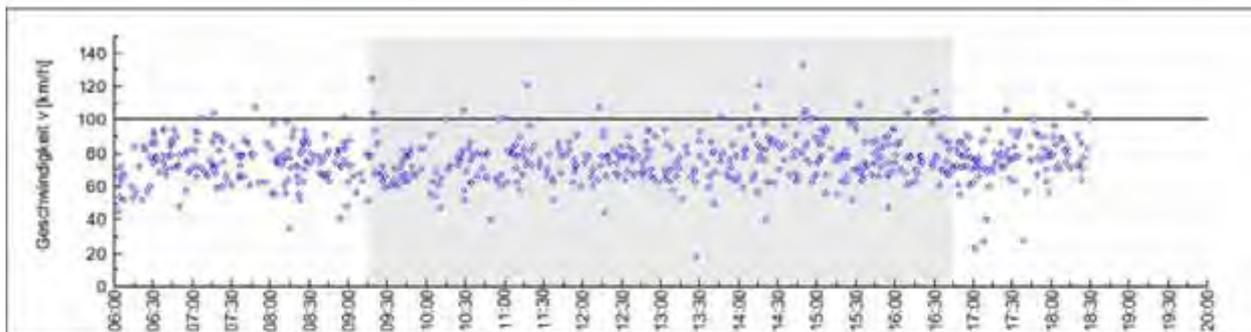
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 455.00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 375 Kfz)	61,93	74,21	87,92	99,42
Messung 2 (Q = 379 Kfz)	59,14	68,09	78,38	86,02
Änderung (M1 - M2)	-2,79	-6,12	-9,54	-13,40

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	5,33	109,55	1,60	121,50
Messung 2	0,53	109,50	0,26	117,00
Änderung (M1 - M2)	-4,80	-0,05	-1,34	-4,50

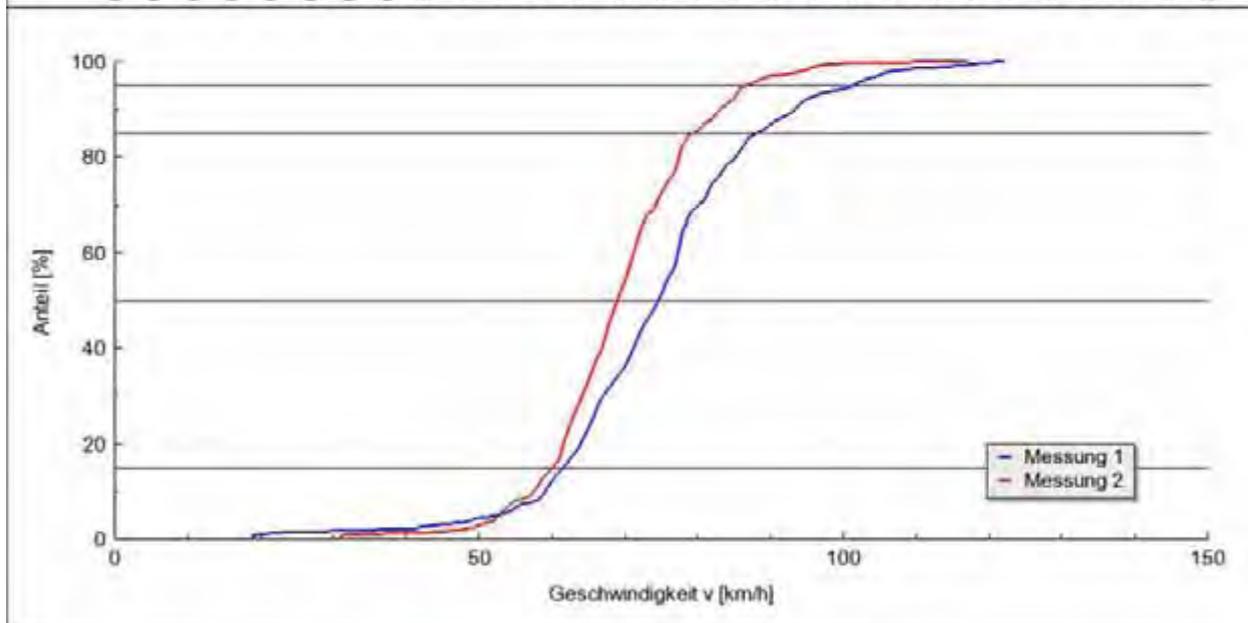
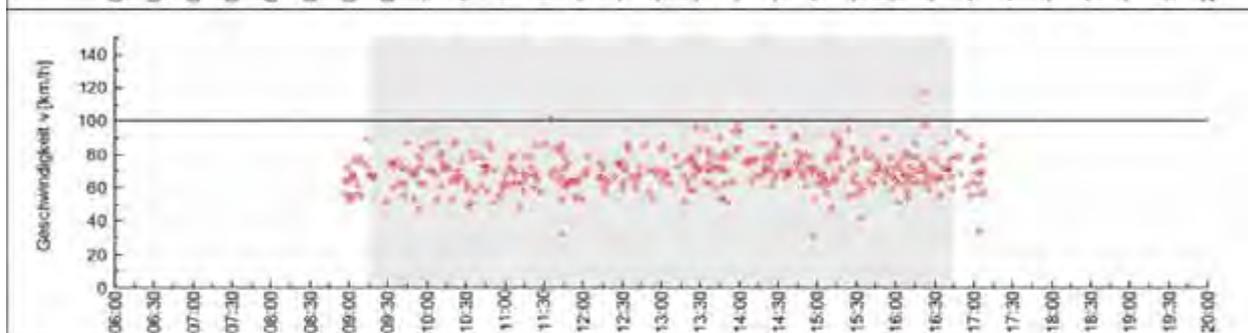
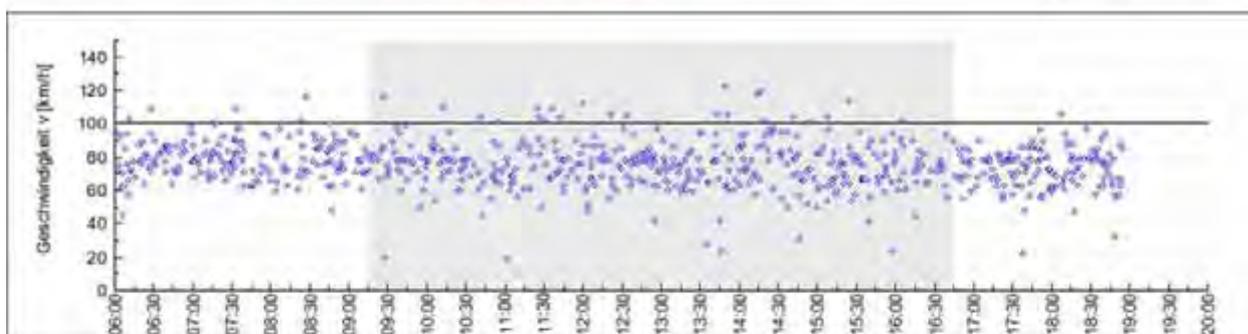
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 455.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 375 Kfz)	61,93	74,21	87,92	99,42
Messung 2 (Q = 401 Kfz)	55,68	67,19	79,80	92,19
Änderung (M1 - M2)	-6,25	-7,02	-8,12	-7,23

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	5,33	109,55	1,60	121,50
Messung 2	2,74	107,45	0,50	111,00
Änderung (M1 - M2)	-2,59	-2,10	-1,10	-10,50

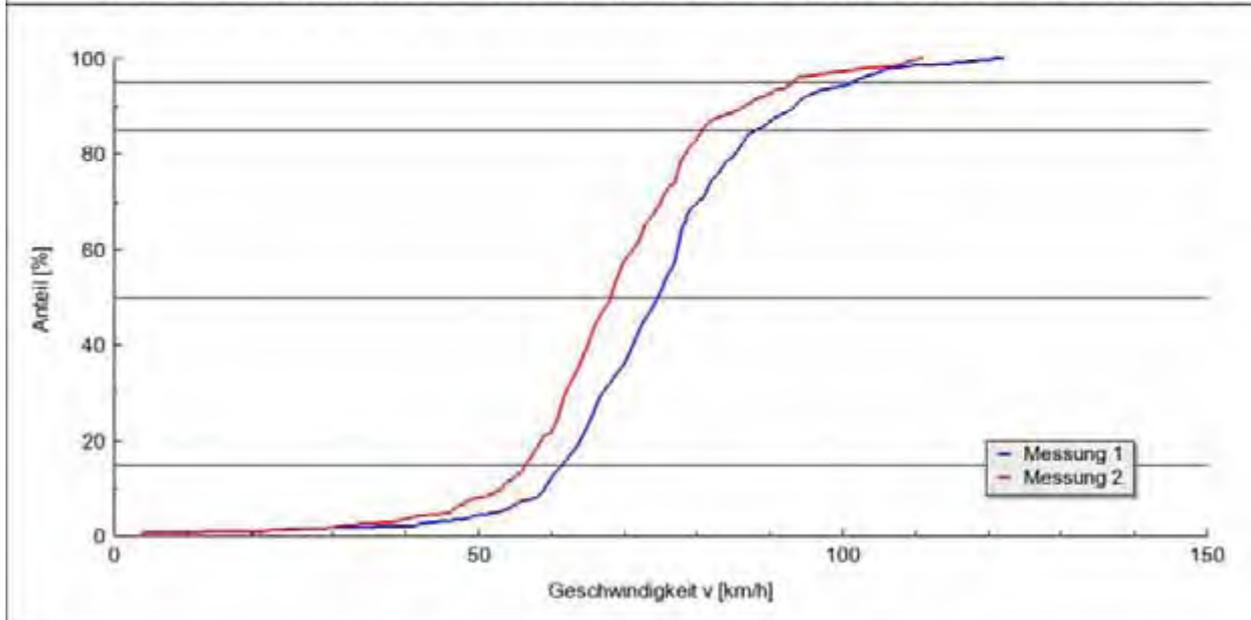
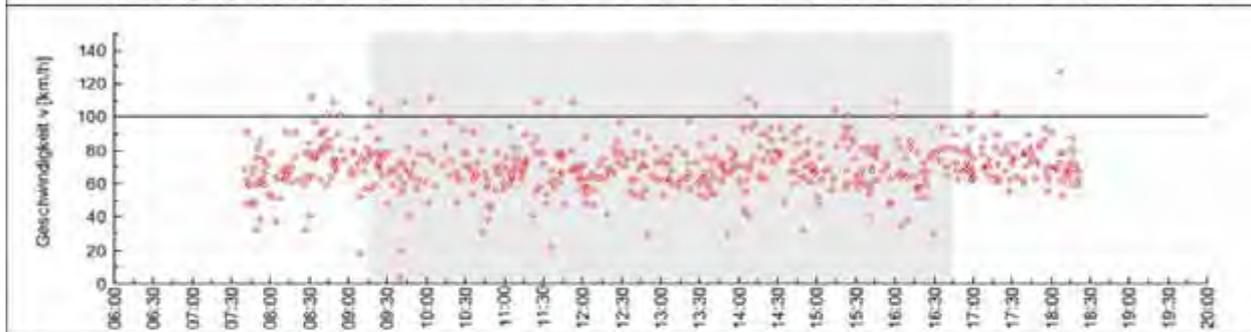
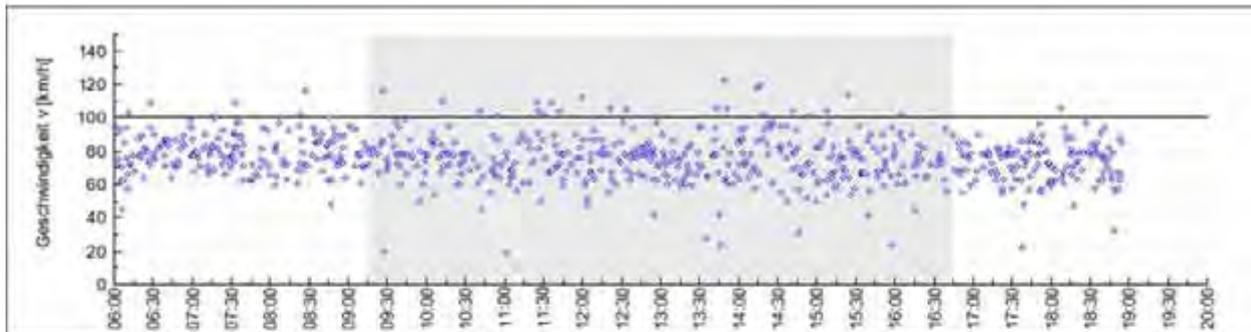
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 455.00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 396 Kfz)	60,63	73,73	87,20	100,55
Messung 2 (Q = 379 Kfz)	59,14	68,09	78,38	86,02
Änderung (M1 - M2)	-1,49	-5,64	-8,82	-14,53

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	6,06	107,58	1,52	116,83
Messung 2	0,53	109,50	0,26	117,00
Änderung (M1 - M2)	-5,53	1,92	-1,26	0,17

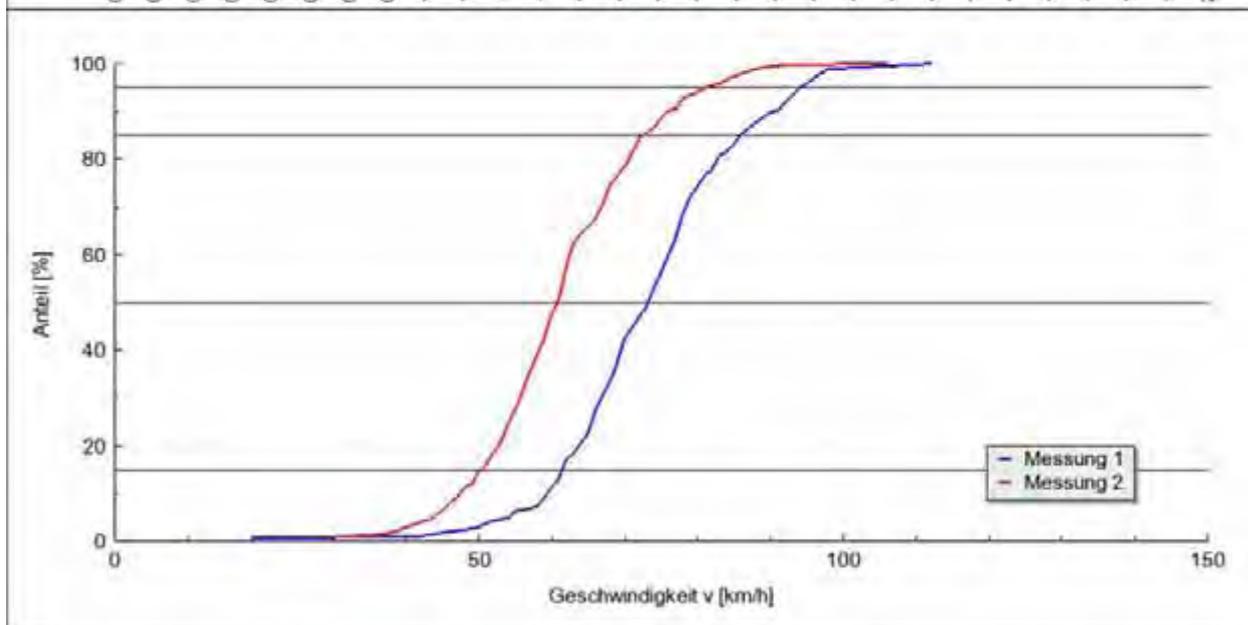
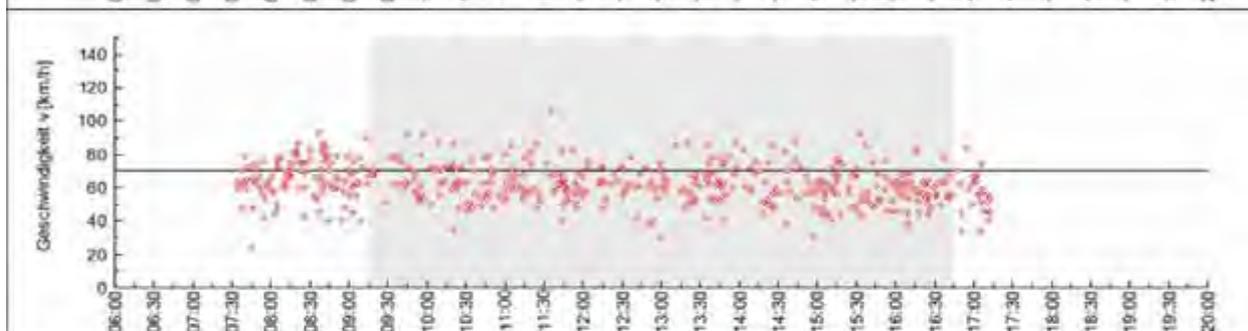
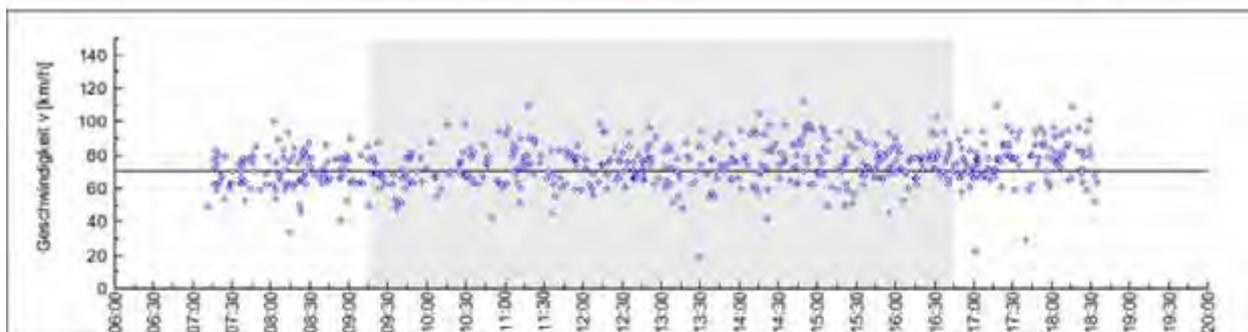
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 455.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 396 Kfz)	60,63	73,73	87,20	100,55
Messung 2 (Q = 401 Kfz)	55,68	67,19	79,80	92,19
Änderung (M1 - M2)	-4,95	-6,54	-7,40	-8,36

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	6,06	107,58	1,52	116,83
Messung 2	2,74	107,45	0,50	111,00
Änderung (M1 - M2)	-3,32	-0,13	-1,02	-5,83

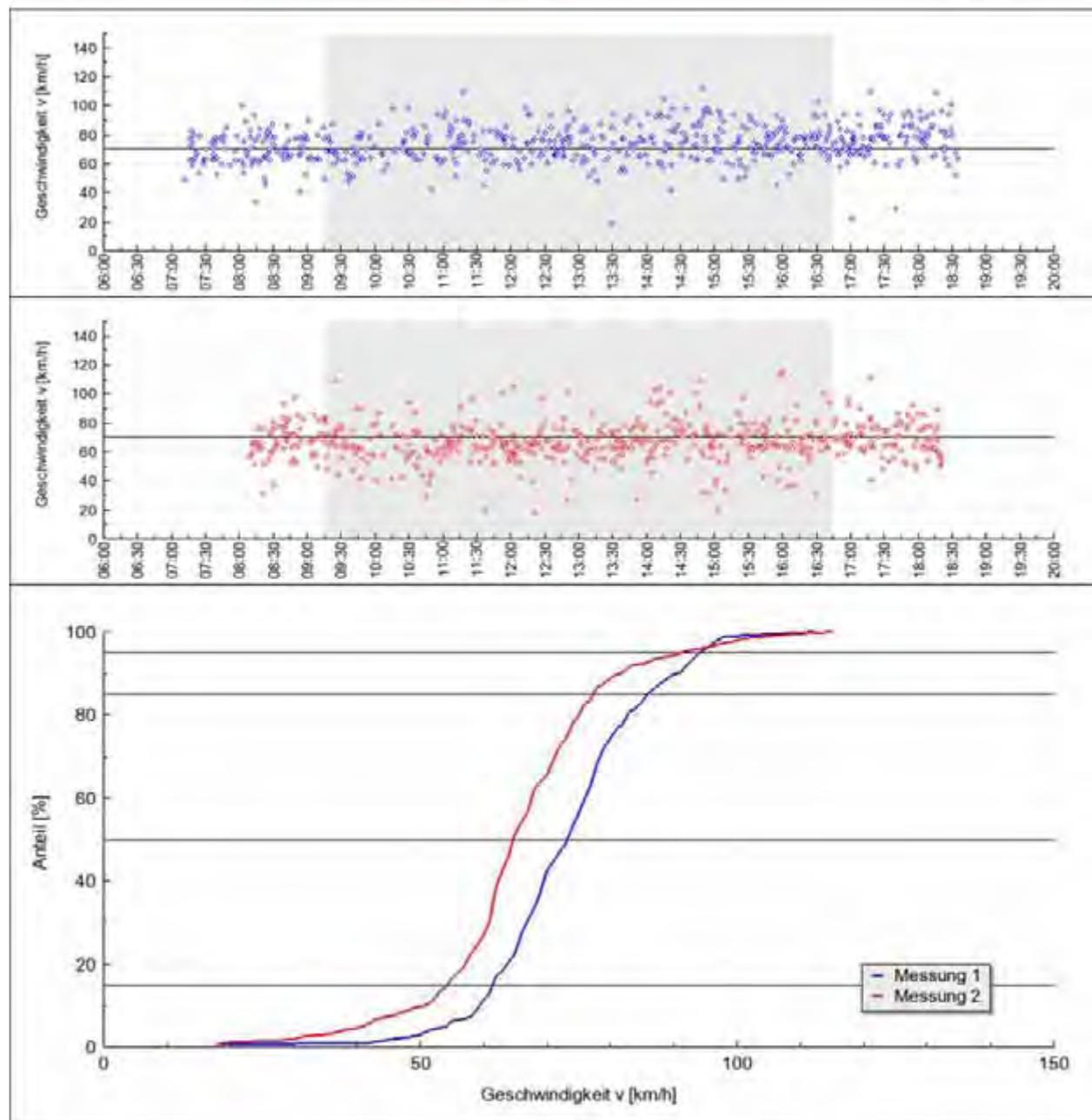
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 655.00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 365 Kfz)	60,51	72,28	84,91	93,19
Messung 2 (Q = 363 Kfz)	49,49	60,02	71,52	80,43
Änderung (M1 - M2)	-11,02	-12,26	-13,39	-12,76

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	57,53	81,90	26,03	89,20
Messung 2	21,49	77,82	6,06	86,45
Änderung (M1 - M2)	-36,04	-4,08	-19,97	-2,75

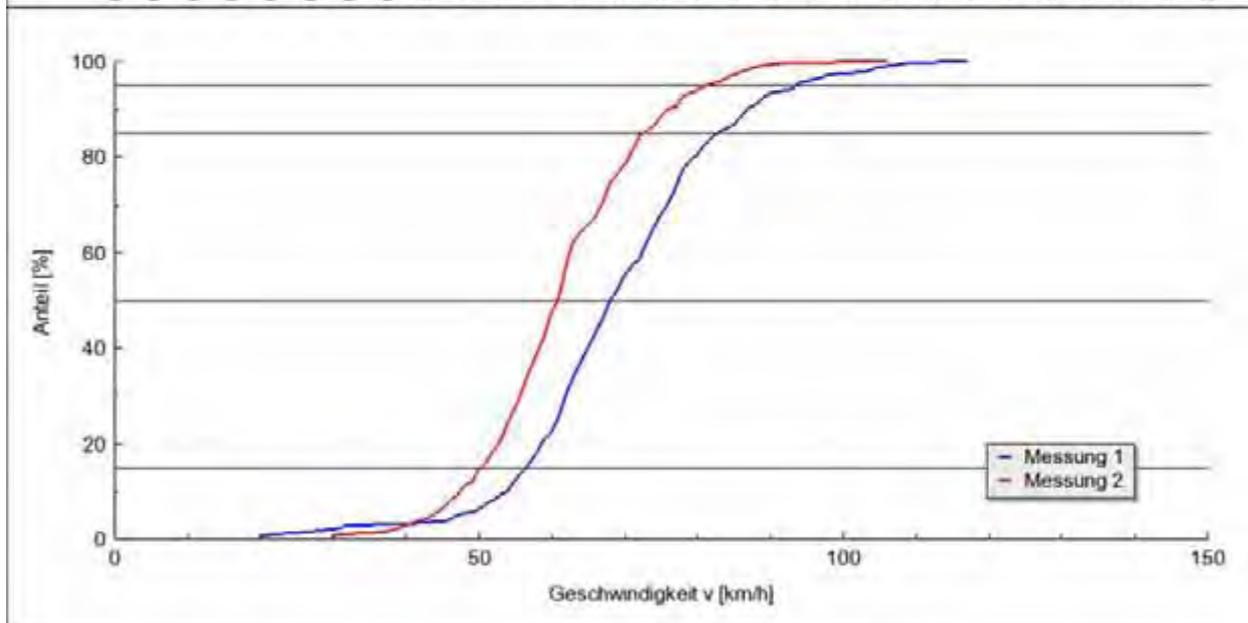
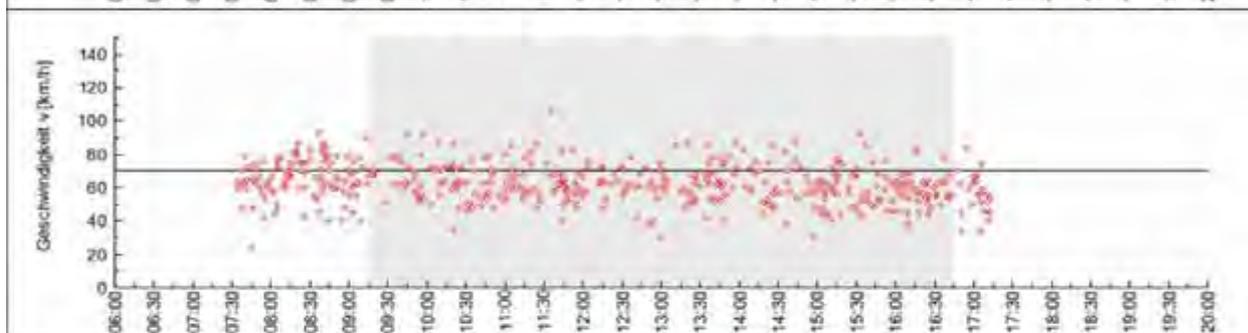
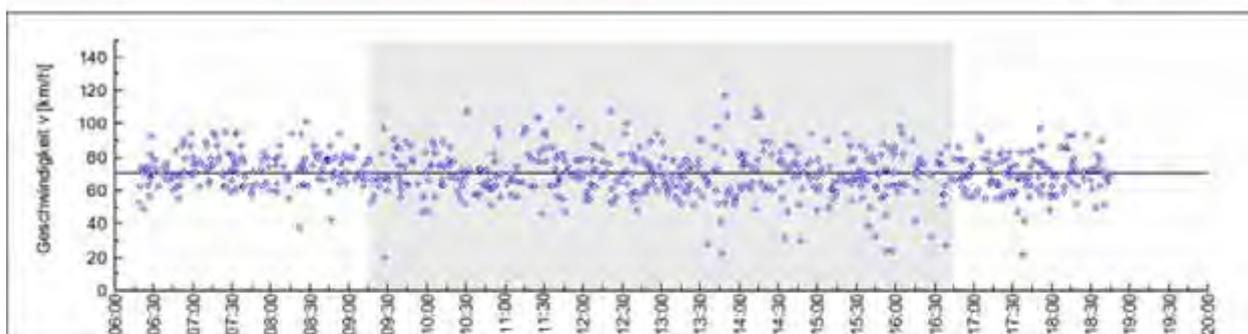
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 655.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 365 Kfz)	60,51	72,28	84,91	93,19
Messung 2 (Q = 398 Kfz)	53,34	63,79	76,48	90,55
Änderung (M1 - M2)	-7,17	-8,49	-8,43	-2,64

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	57,53	81,90	26,03	89,20
Messung 2	34,42	80,48	11,31	92,33
Änderung (M1 - M2)	-23,11	-1,42	-14,72	3,13

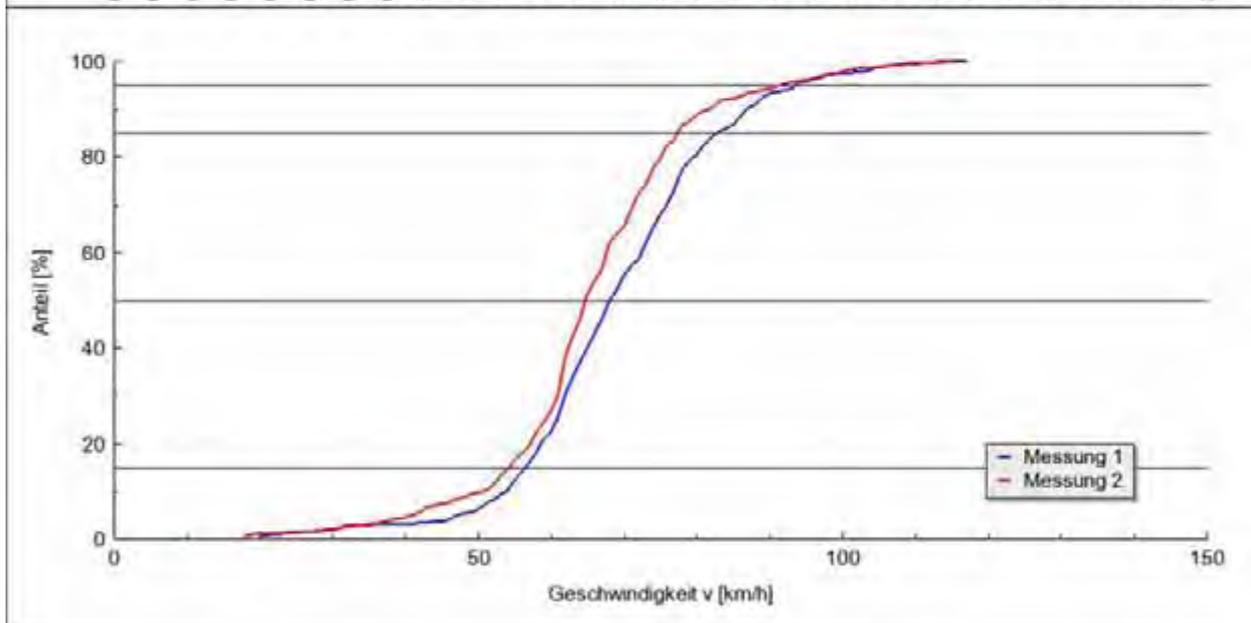
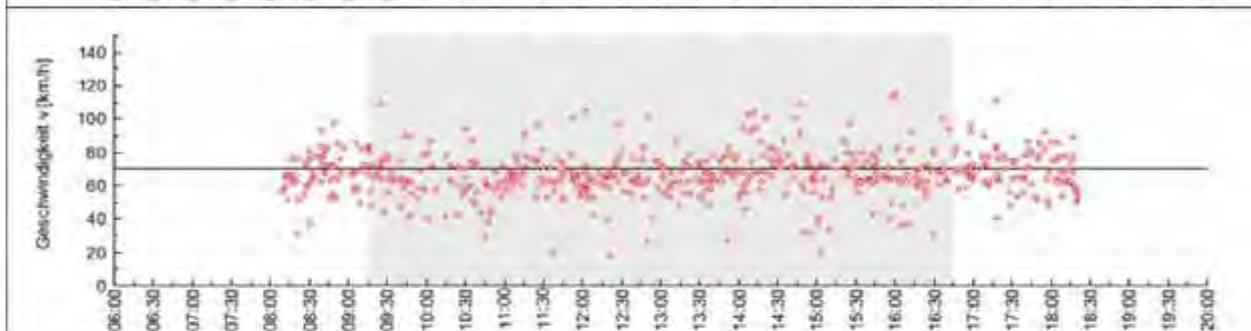
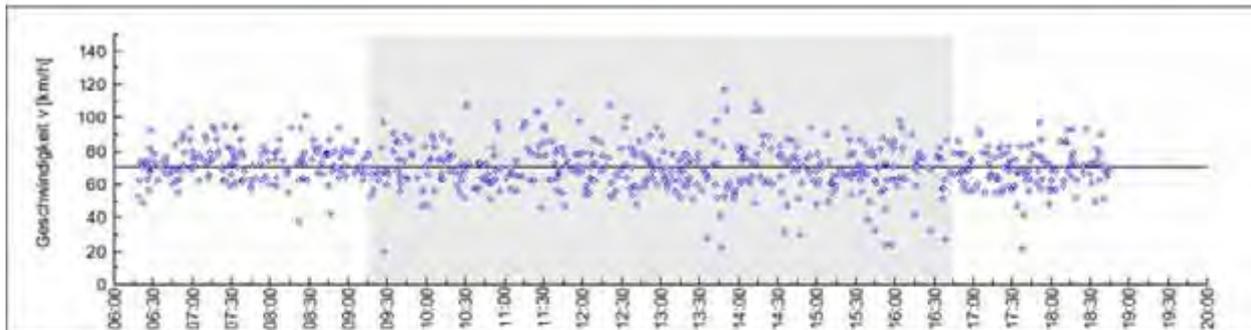
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 655.00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 411 Kfz)	55,52	67,06	81,73	92,58
Messung 2 (Q = 363 Kfz)	49,49	60,02	71,52	80,43
Änderung (M1 - M2)	-6,03	-7,04	-10,21	-12,15

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	44,77	81,86	19,71	89,99
Messung 2	21,49	77,82	6,06	86,45
Änderung (M1 - M2)	-23,28	-4,04	-13,65	-3,54

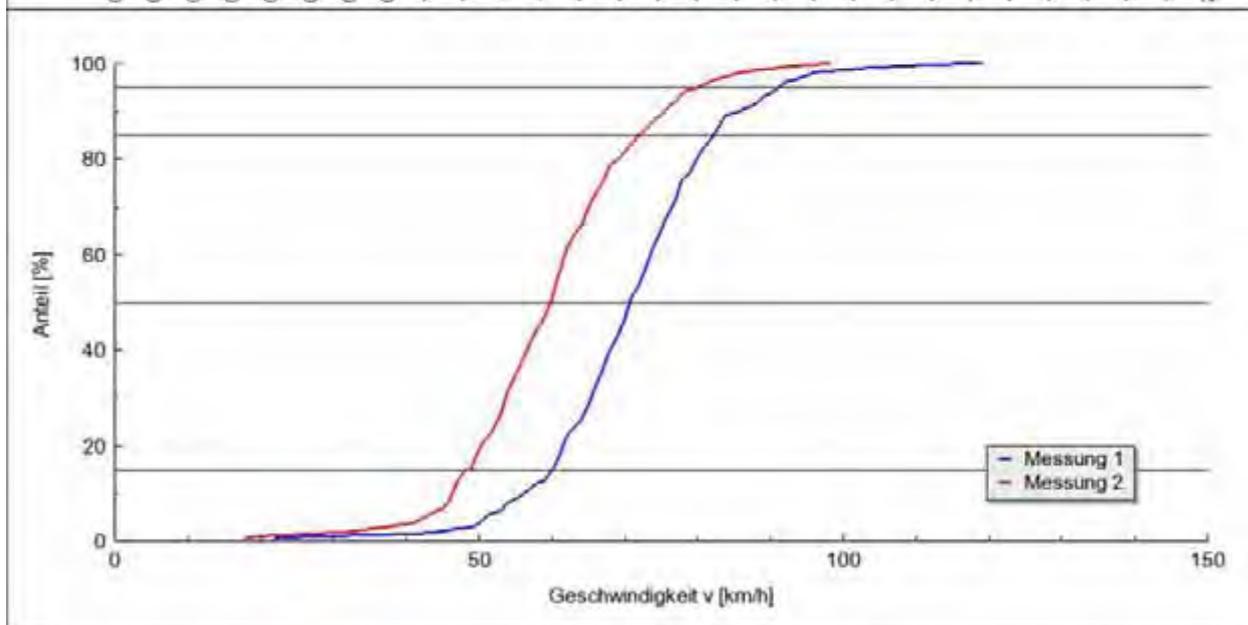
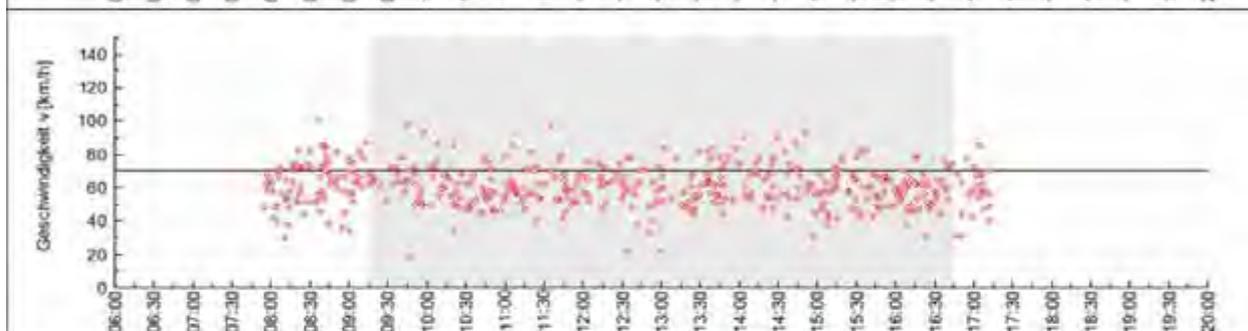
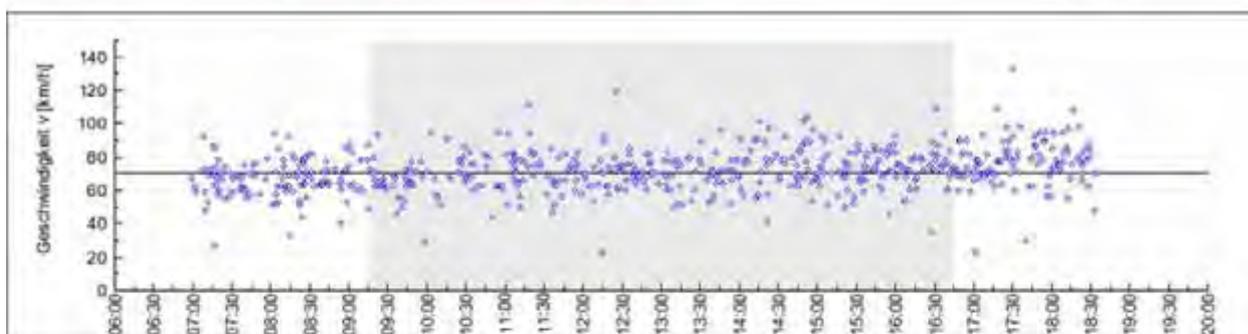
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 655.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 411 Kfz)	55,52	67,06	81,73	92,58
Messung 2 (Q = 398 Kfz)	53,34	63,79	76,48	90,55
Änderung (M1 - M2)	-2,18	-3,27	-5,25	-2,03

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	44,77	81,86	19,71	89,99
Messung 2	34,42	80,48	11,31	92,33
Änderung (M1 - M2)	-10,35	-1,38	-8,40	2,34

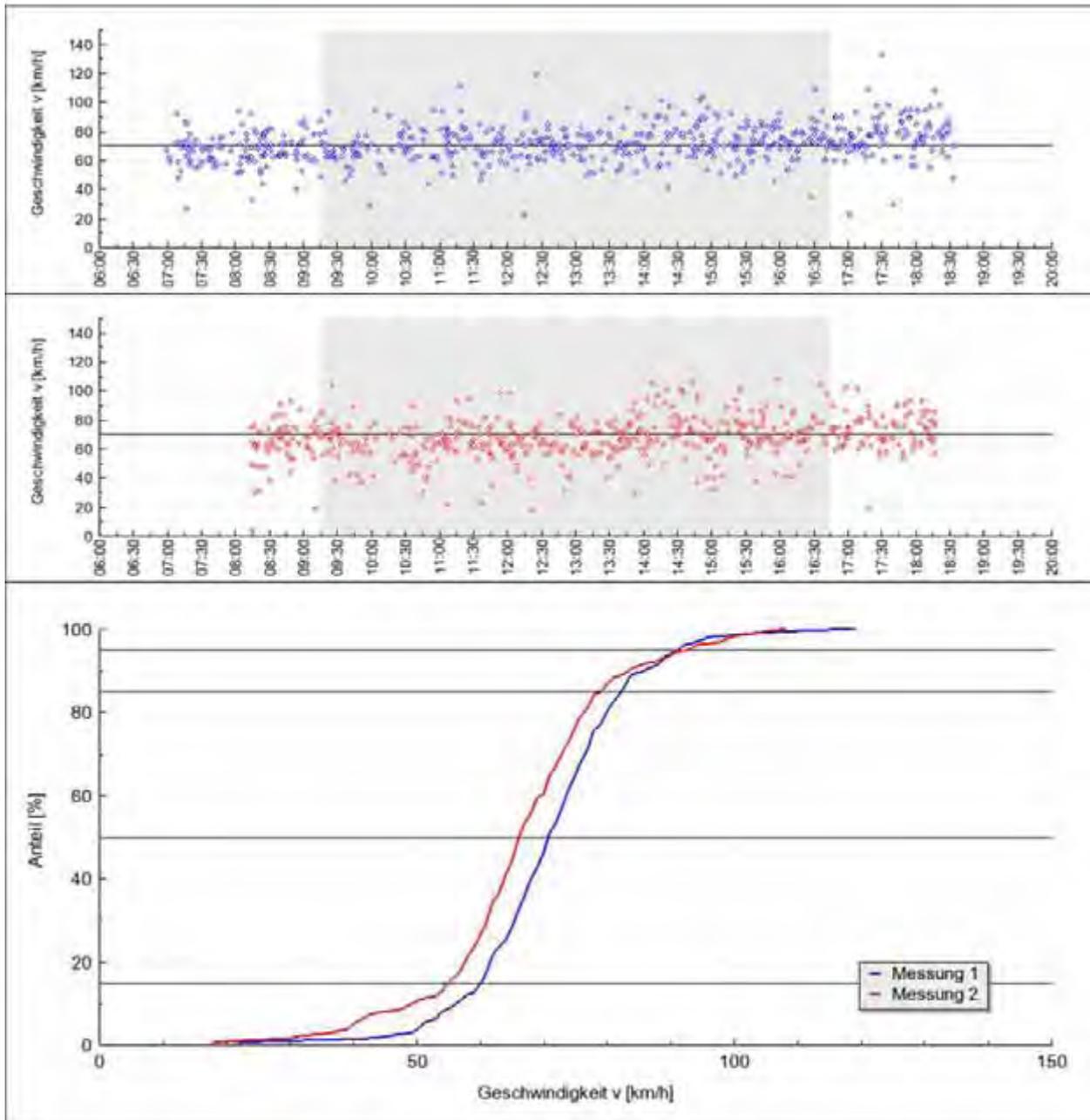
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 740,00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 376 Kfz)	59,16	69,78	81,26	90,24
Messung 2 (Q = 370 Kfz)	47,83	58,87	70,93	79,17
Änderung (M1 - M2)	-11,33	-10,91	-10,33	-11,07

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	53,72	80,00	19,95	88,28
Messung 2	18,38	78,13	5,14	86,63
Änderung (M1 - M2)	-35,34	-1,87	-14,81	-1,65

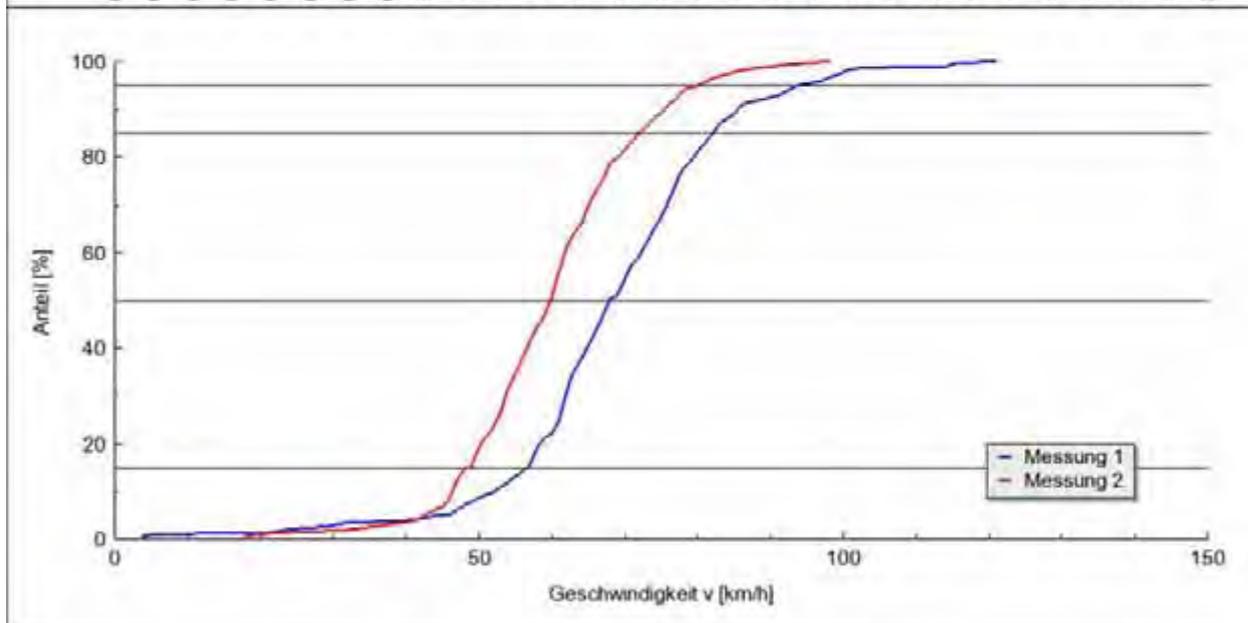
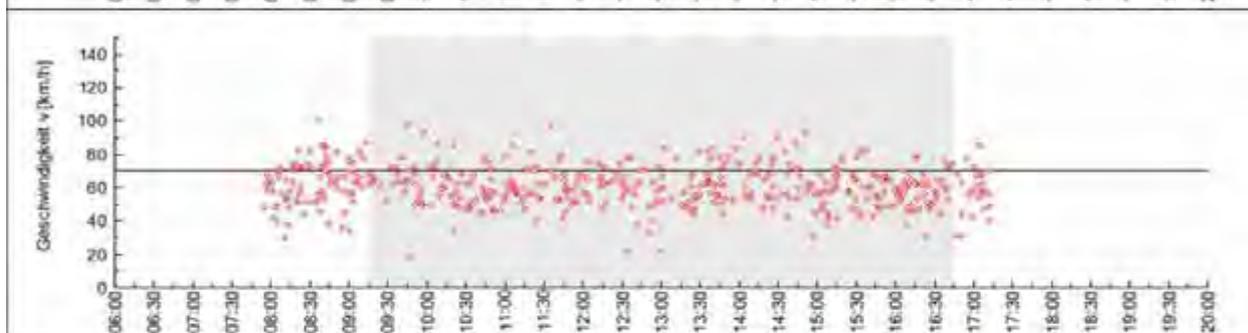
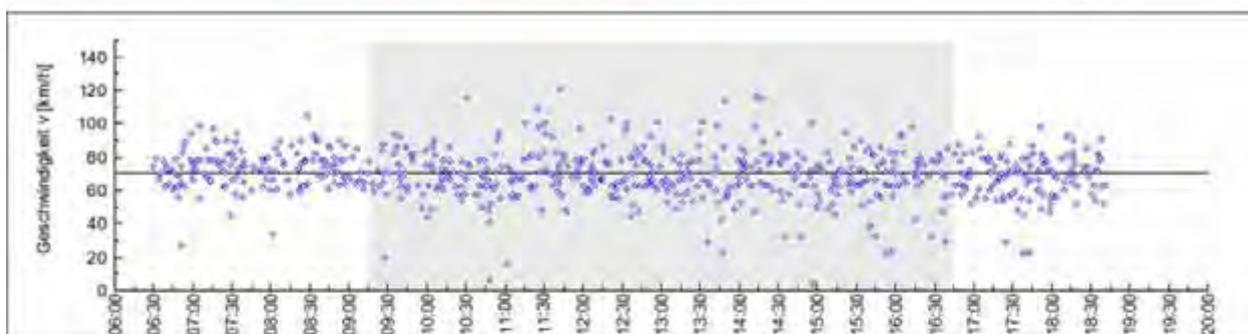
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 740.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 376 Kfz)	59,16	69,78	81,26	90,24
Messung 2 (Q = 377 Kfz)	54,11	65,17	78,06	92,04
Änderung (M1 - M2)	-5,05	-4,61	-3,20	1,80

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	53,72	80,00	19,95	88,28
Messung 2	39,52	80,21	13,26	91,02
Änderung (M1 - M2)	-14,20	0,21	-6,69	2,74

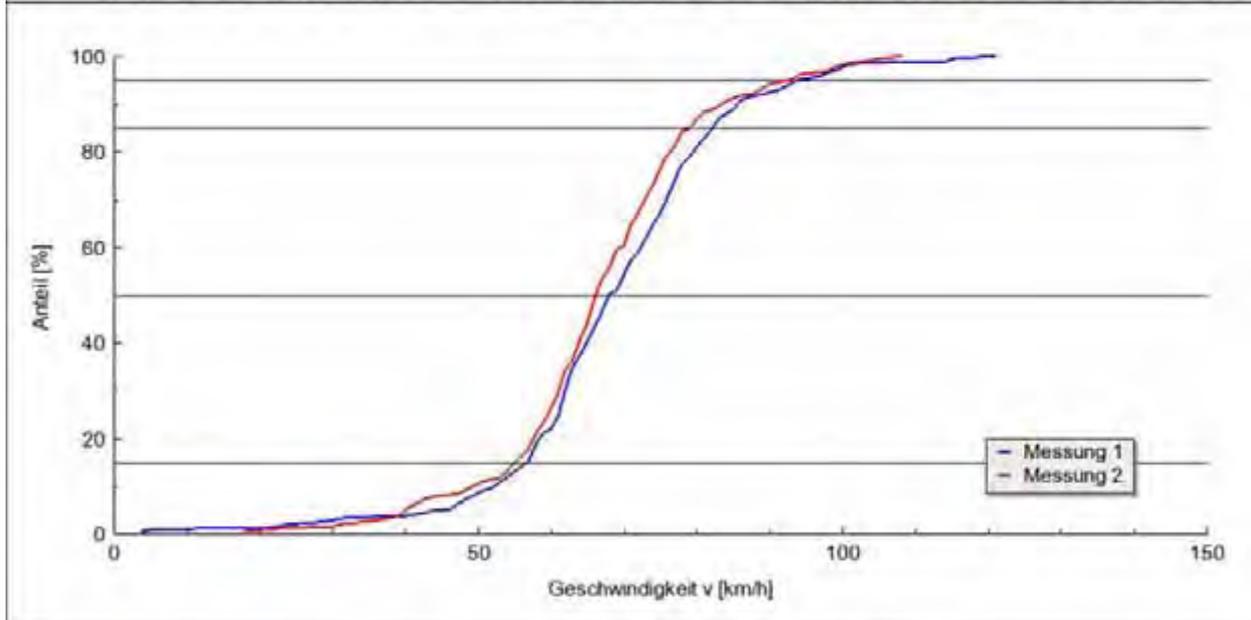
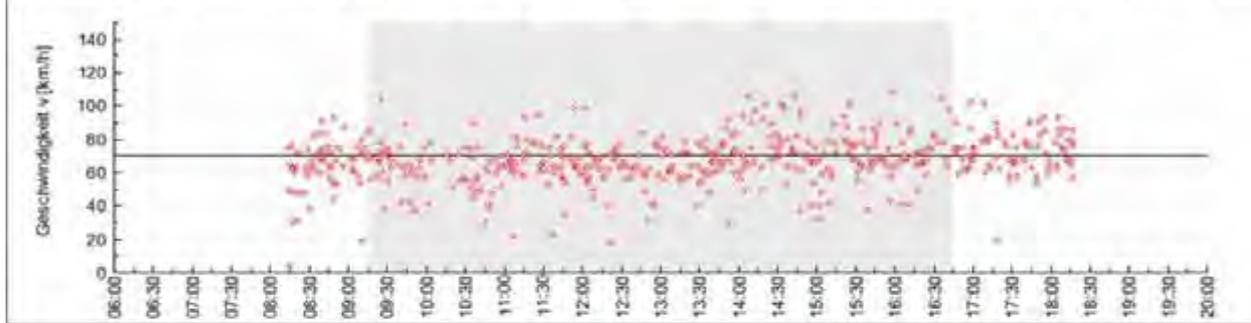
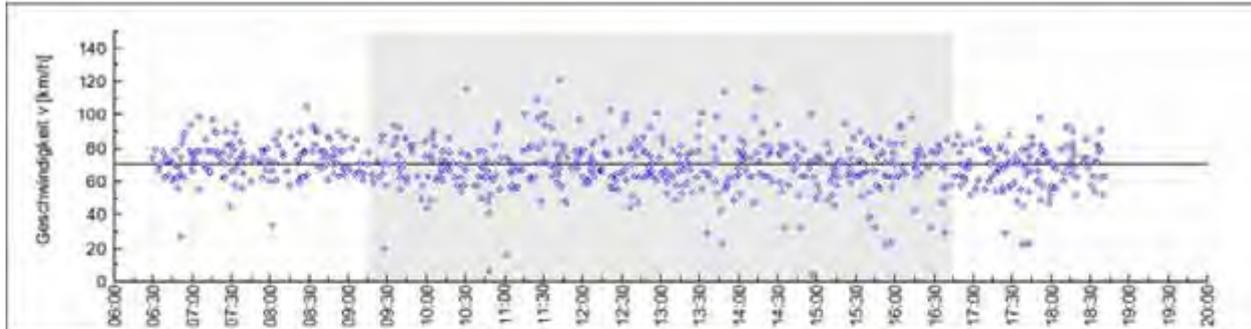
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 740,00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 412 Kfz)	55,76	66,94	81,22	93,20
Messung 2 (Q = 370 Kfz)	47,83	58,87	70,93	79,17
Änderung (M1 - M2)	-7,93	-8,07	-10,29	-14,03

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	45,63	81,65	19,17	90,30
Messung 2	18,38	78,13	5,14	86,63
Änderung (M1 - M2)	-27,25	-3,52	-14,03	-3,67

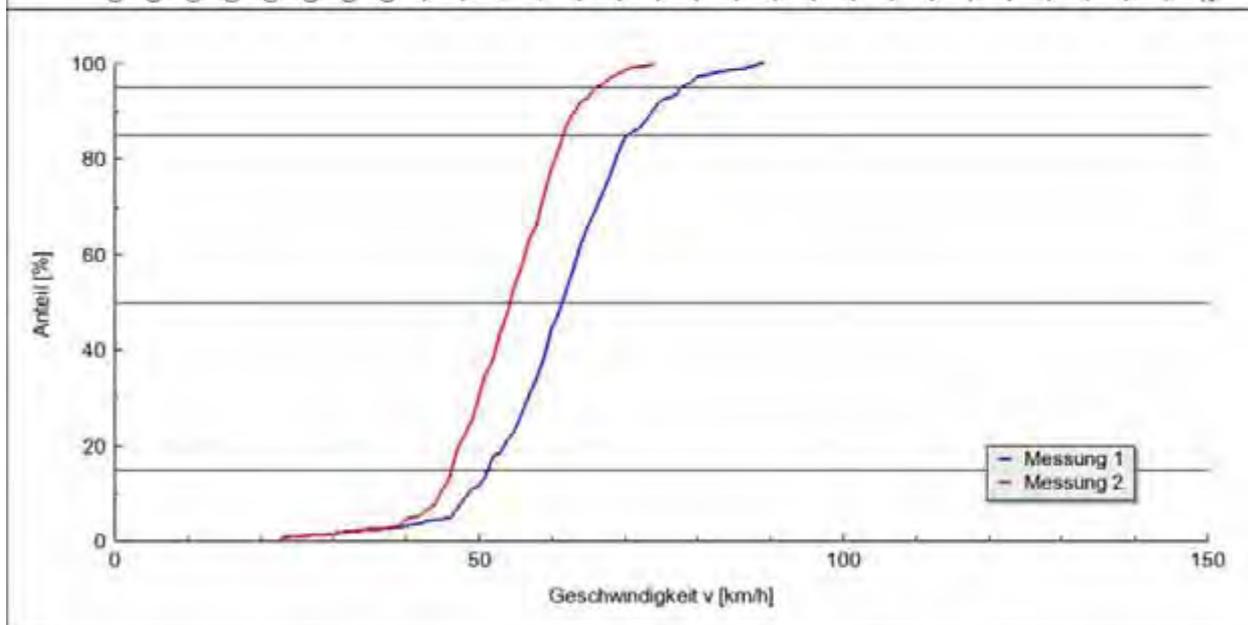
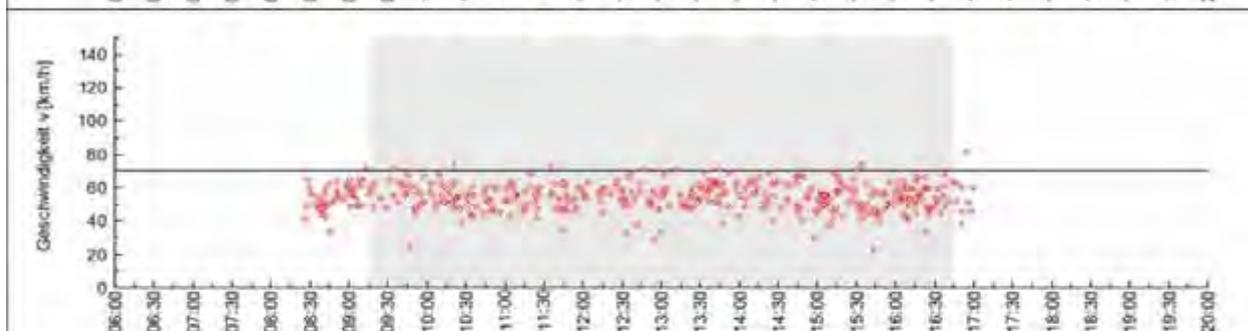
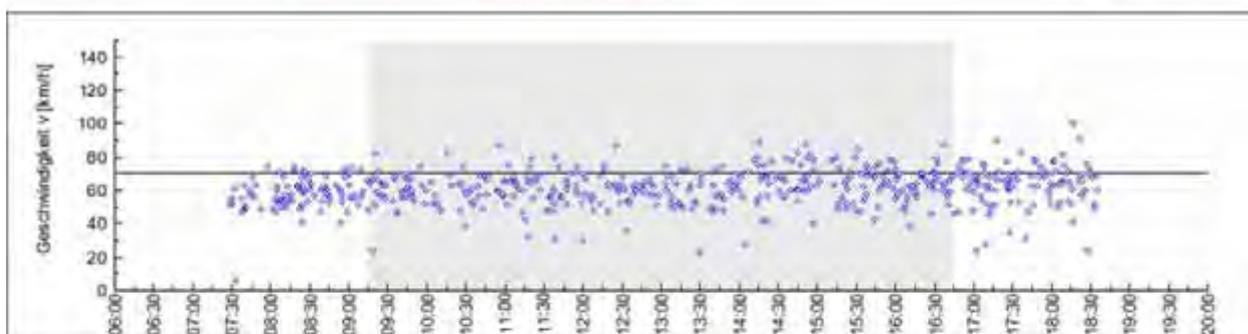
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 740.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 412 Kfz)	55,76	66,94	81,22	93,20
Messung 2 (Q = 377 Kfz)	54,11	65,17	78,06	92,04
Änderung (M1 - M2)	-1,65	-1,77	-3,16	-1,16

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	45,63	81,65	19,17	90,30
Messung 2	39,52	80,21	13,26	91,02
Änderung (M1 - M2)	-6,11	-1,44	-5,91	0,72

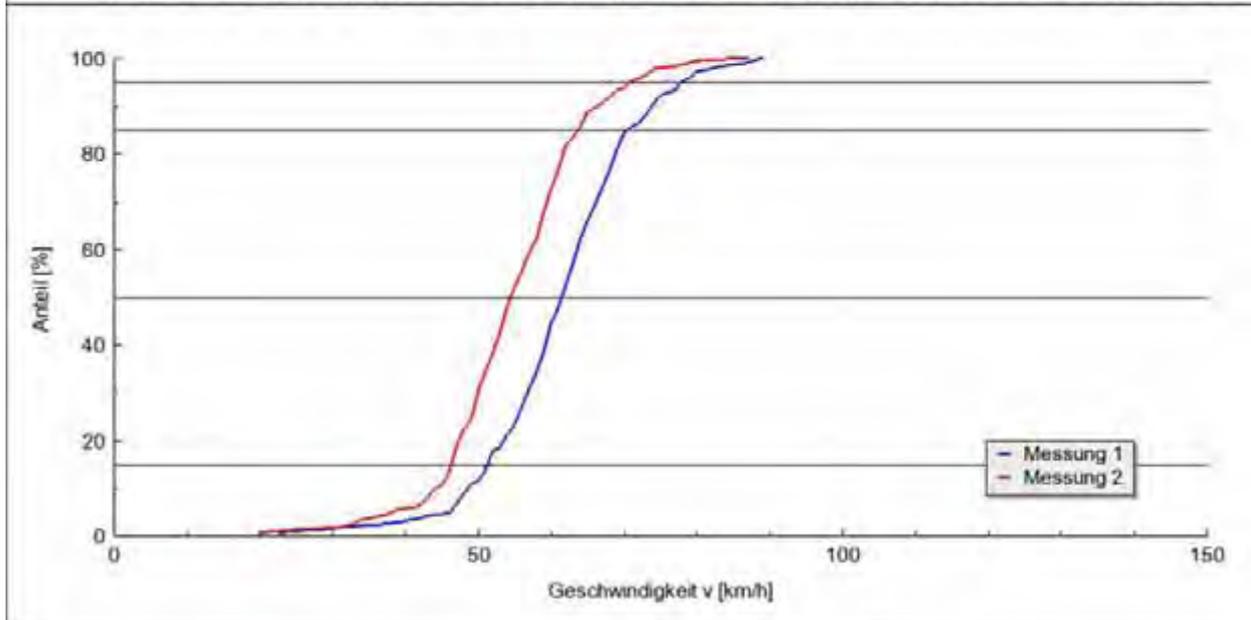
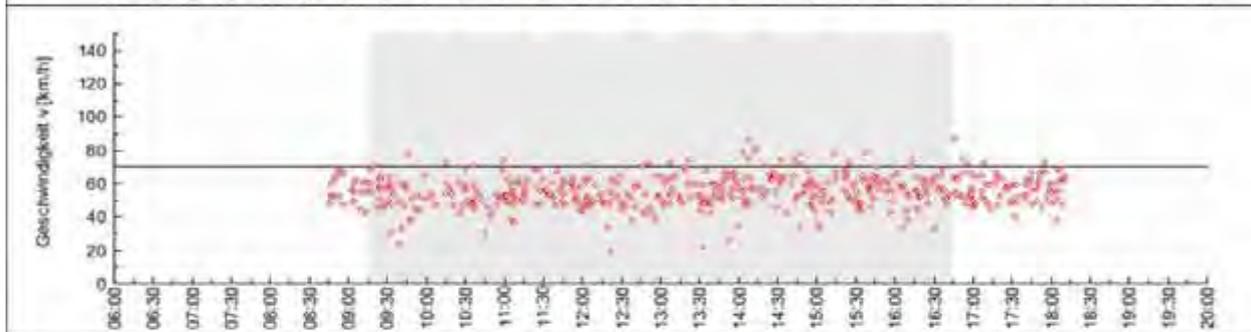
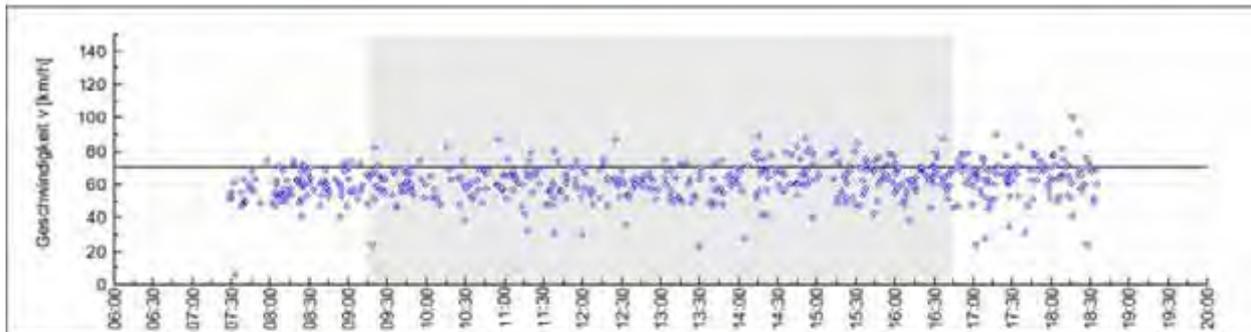
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 850,00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 354 Kfz)	50,38	60,50	69,47	77,10
Messung 2 (Q = 382 Kfz)	45,32	53,38	60,64	64,99
Änderung (M1 - M2)	-5,06	-7,12	-8,83	-12,11

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	15,54	77,09	2,82	85,30
Messung 2	2,09	72,00	-	-
Änderung (M1 - M2)	-13,45	-5,09	-2,82	-

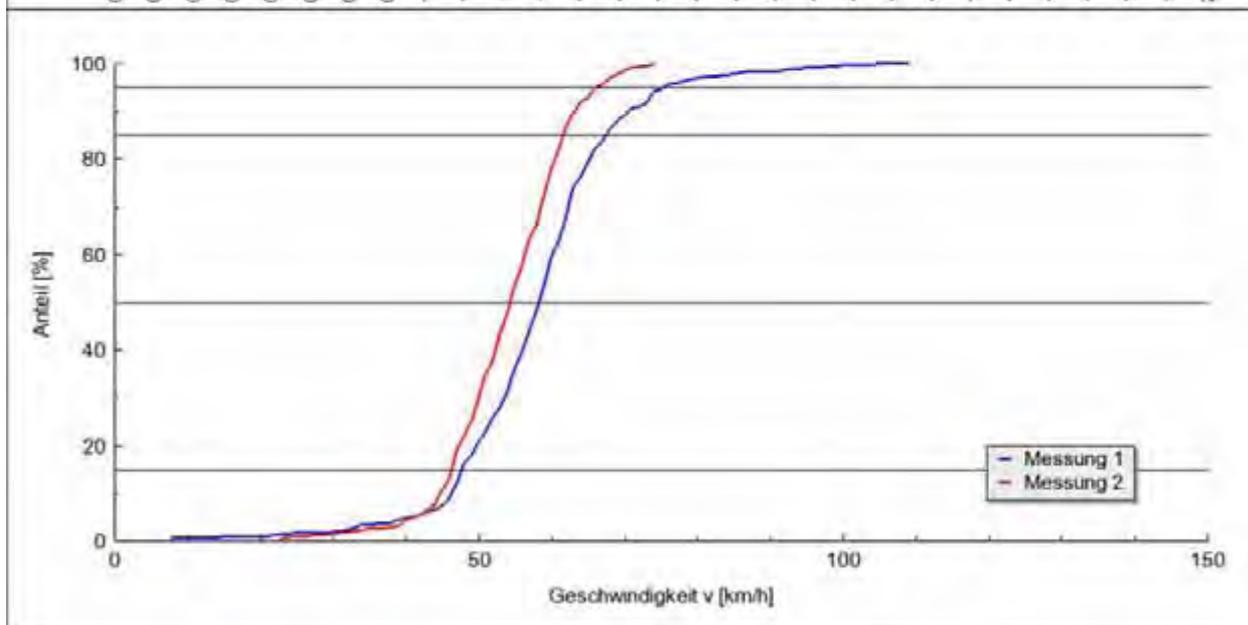
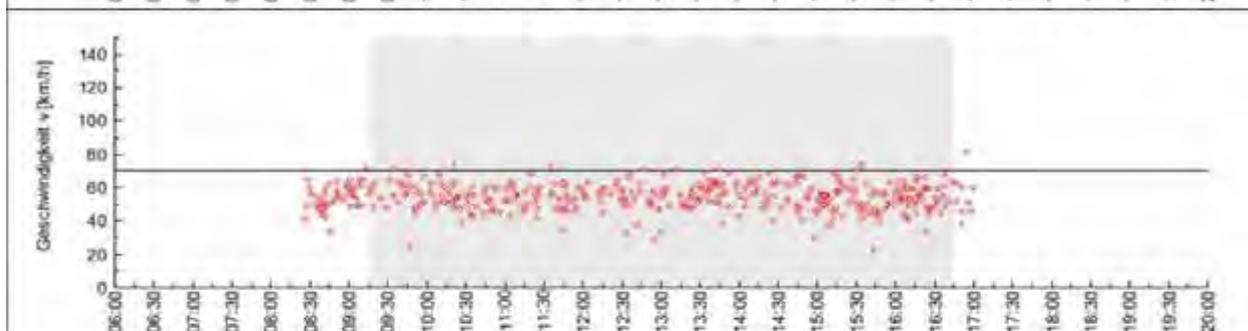
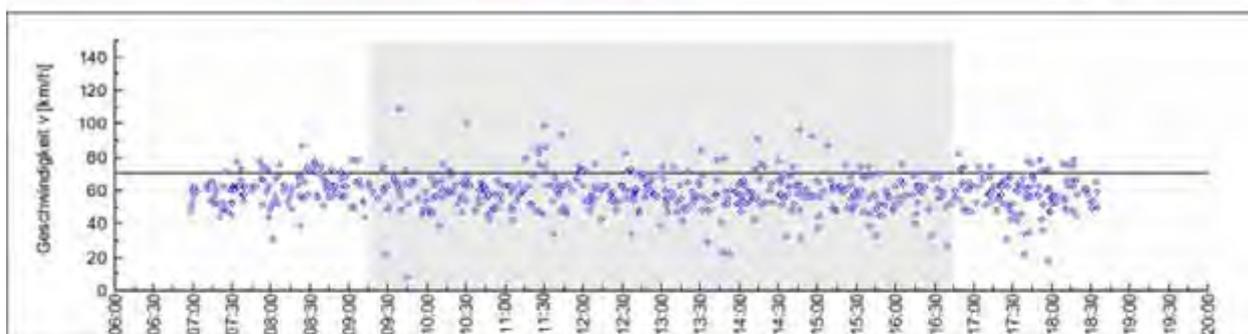
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-06 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 850.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 354 Kfz)	50,38	60,50	69,47	77,10
Messung 2 (Q = 399 Kfz)	45,34	53,54	62,68	69,81
Änderung (M1 - M2)	-5,04	-6,96	-6,79	-7,29

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	15,54	77,09	2,82	85,30
Messung 2	6,02	75,08	0,50	84,00
Änderung (M1 - M2)	-9,52	-2,01	-2,32	-1,30

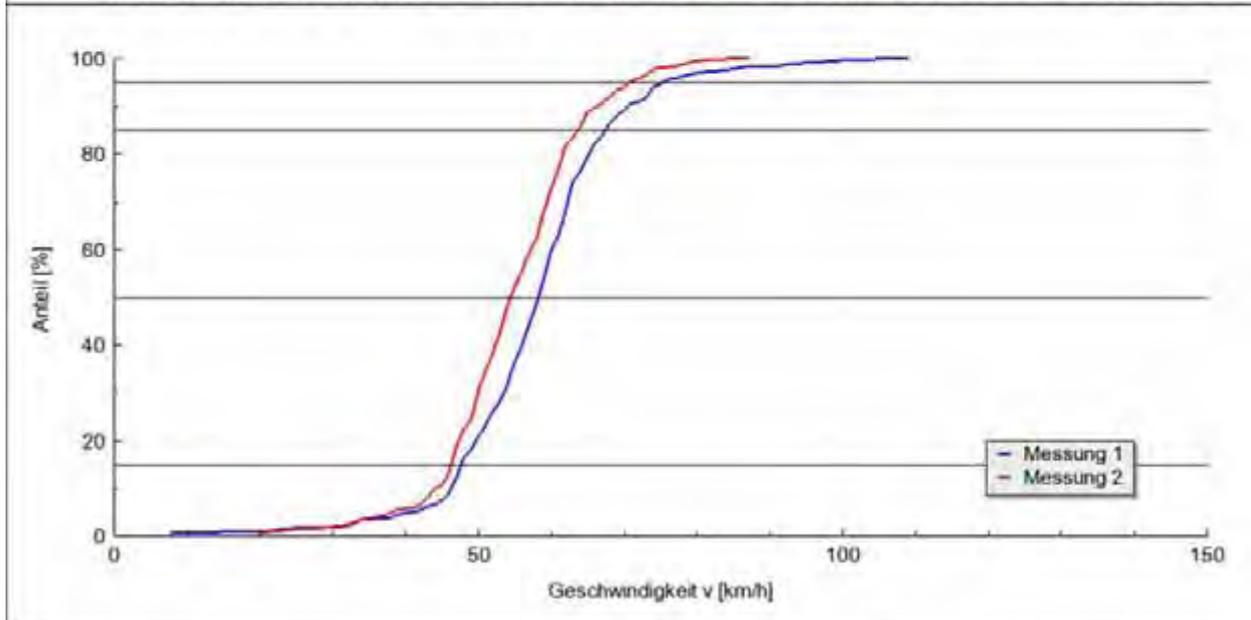
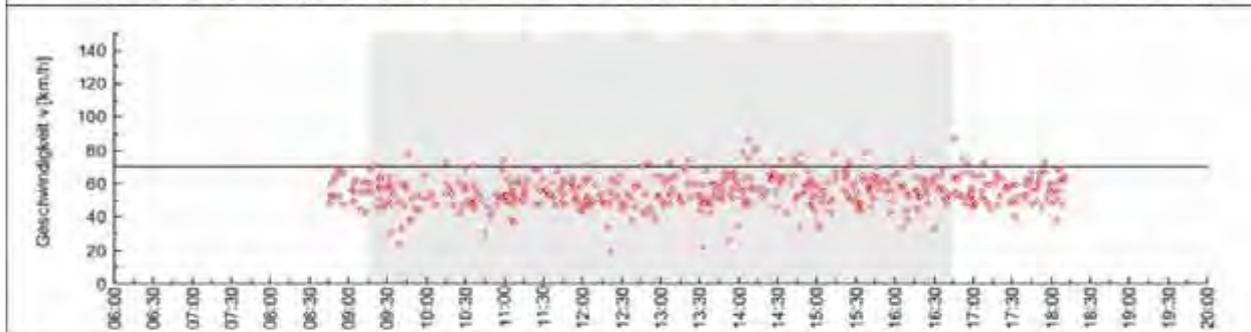
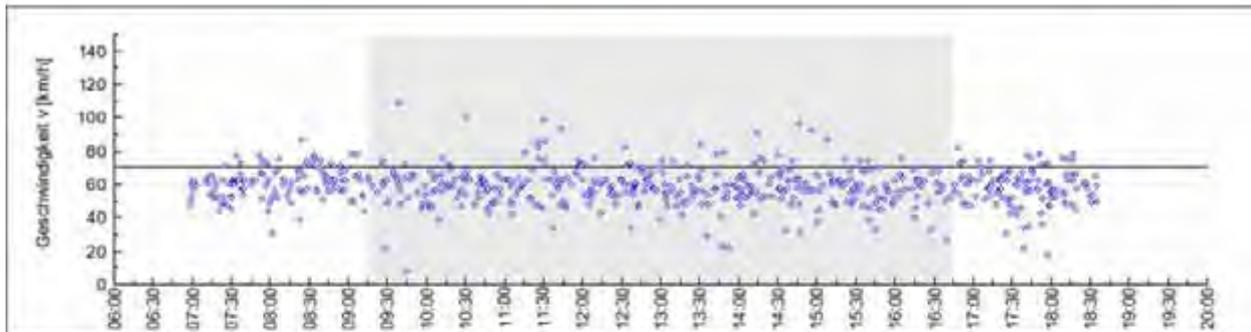
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 850.00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 391 Kfz)	46,67	57,29	66,49	74,49
Messung 2 (Q = 382 Kfz)	45,32	53,38	60,64	64,99
Änderung (M1 - M2)	-1,35	-3,91	-5,85	-9,50

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	10,74	79,50	3,32	91,23
Messung 2	2,09	72,00	-	-
Änderung (M1 - M2)	-8,65	-7,50	-3,32	-

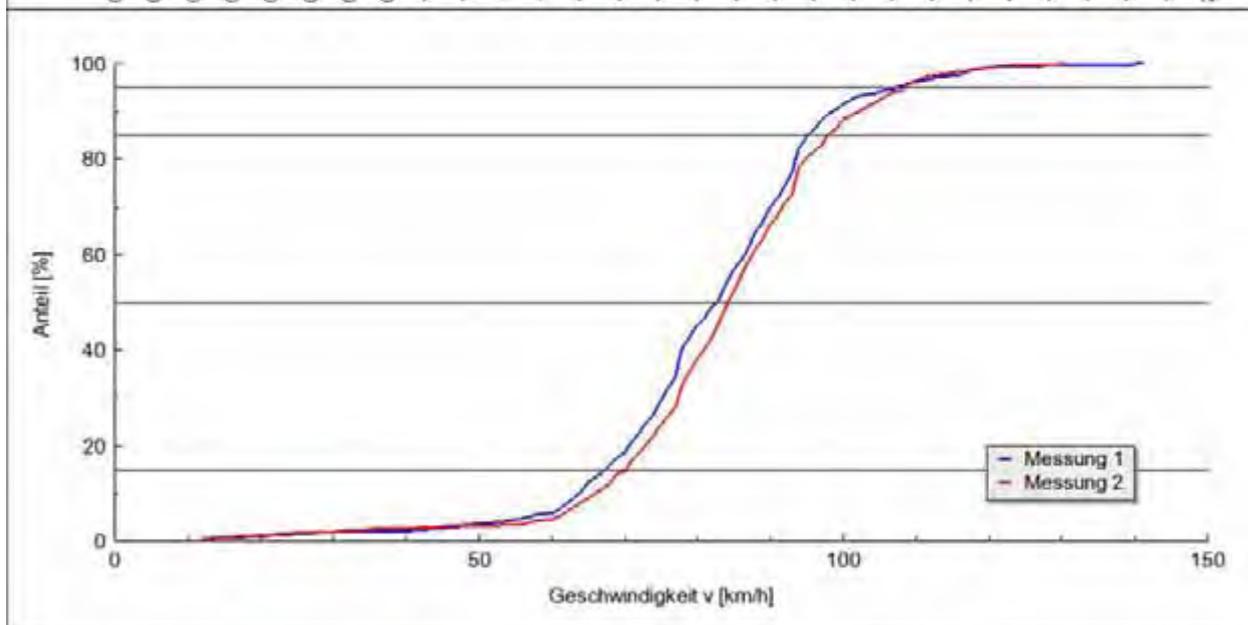
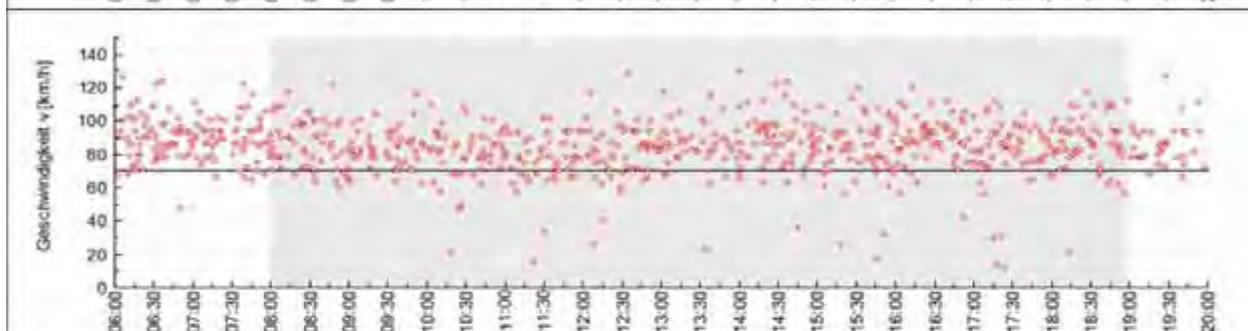
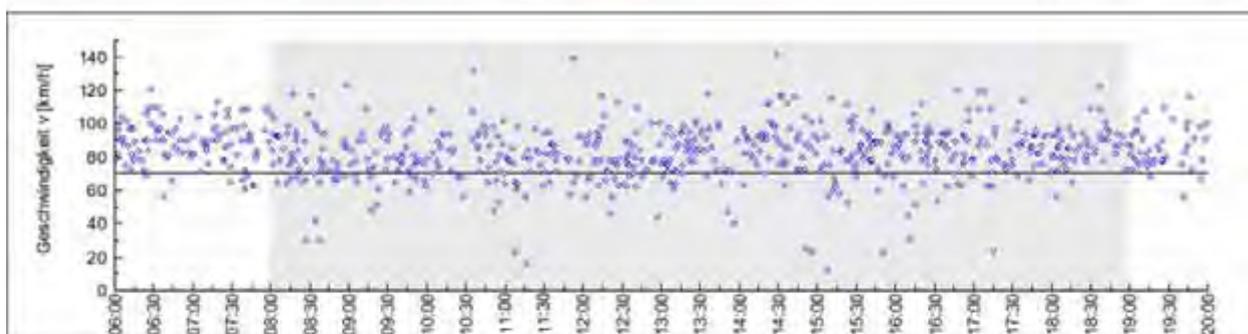
Messung 1	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 850.00
Messung 2	Messung L.257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - mit Streifen Auswertzeitraum: 09:15:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 391 Kfz)	46,67	57,29	66,49	74,49
Messung 2 (Q = 399 Kfz)	45,34	53,54	62,68	69,81
Änderung (M1 - M2)	-1,33	-3,75	-3,81	-4,68

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	10,74	79,50	3,32	91,23
Messung 2	6,02	75,08	0,50	84,00
Änderung (M1 - M2)	-4,72	-4,42	-2,82	-7,23

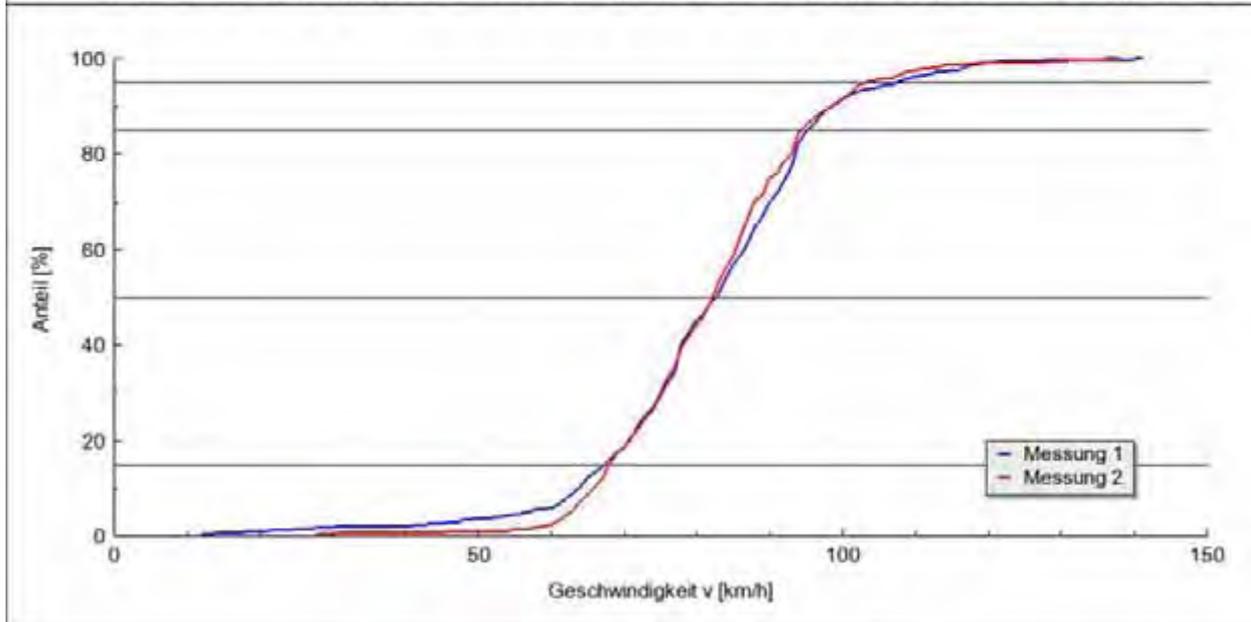
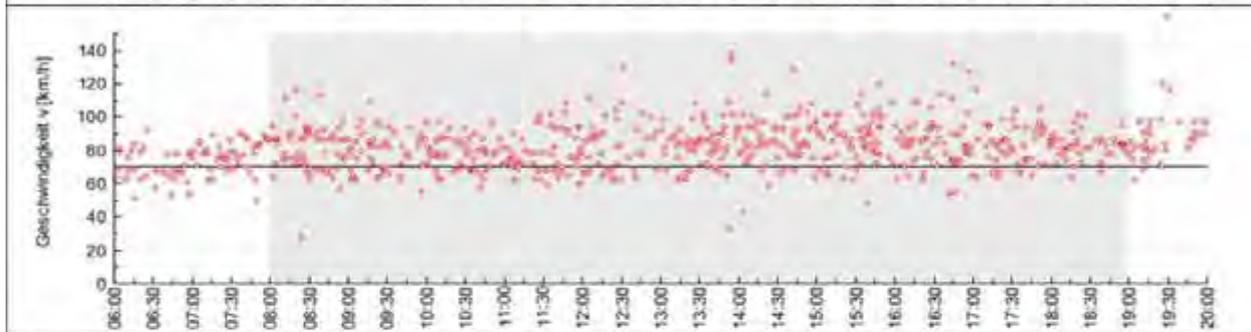
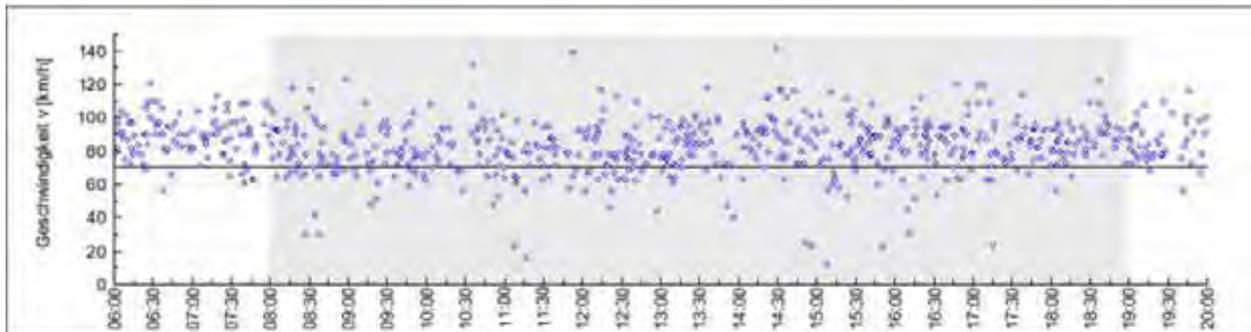
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 590 Kfz)	66,39	81,64	94,07	106,63
Messung 2 (Q = 614 Kfz)	69,22	83,32	96,92	107,54
Änderung (M1 - M2)	2,83	1,68	2,85	0,91

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	81,36	87,67	55,08	93,23
Messung 2	85,50	88,60	62,21	93,32
Änderung (M1 - M2)	4,14	0,93	7,13	0,09

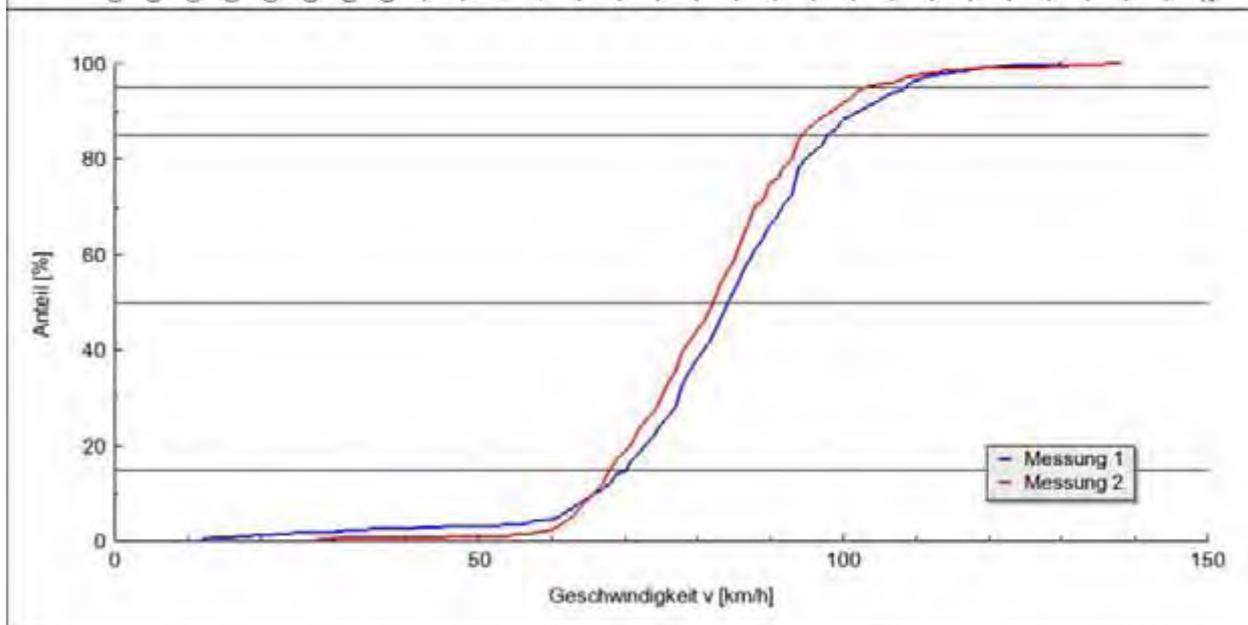
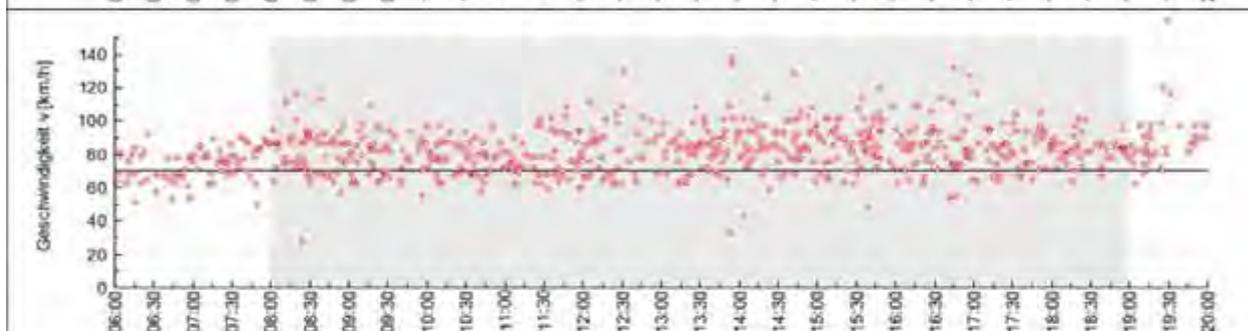
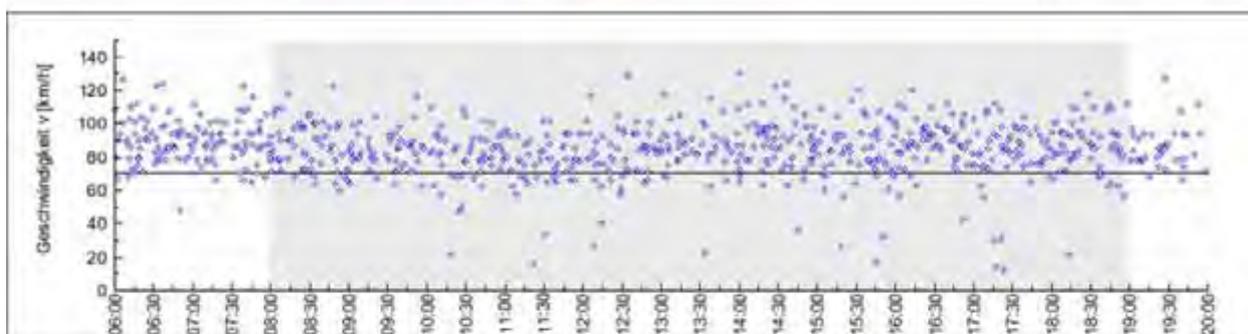
Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-09-12 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 590 Kfz)	66,39	81,64	94,07	106,63
Messung 2 (Q = 621 Kfz)	67,01	81,29	93,32	102,32
Änderung (M1 - M2)	0,62	-0,35	-0,75	-4,31

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	81,36	87,67	55,08	93,23
Messung 2	81,16	86,89	56,20	91,83
Änderung (M1 - M2)	-0,20	-0,78	1,12	-1,40

Messung 1	Messung L257 Morschenich-Buir - 2007-11-22 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung L257 Morschenich-Buir - 2008-08-27 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



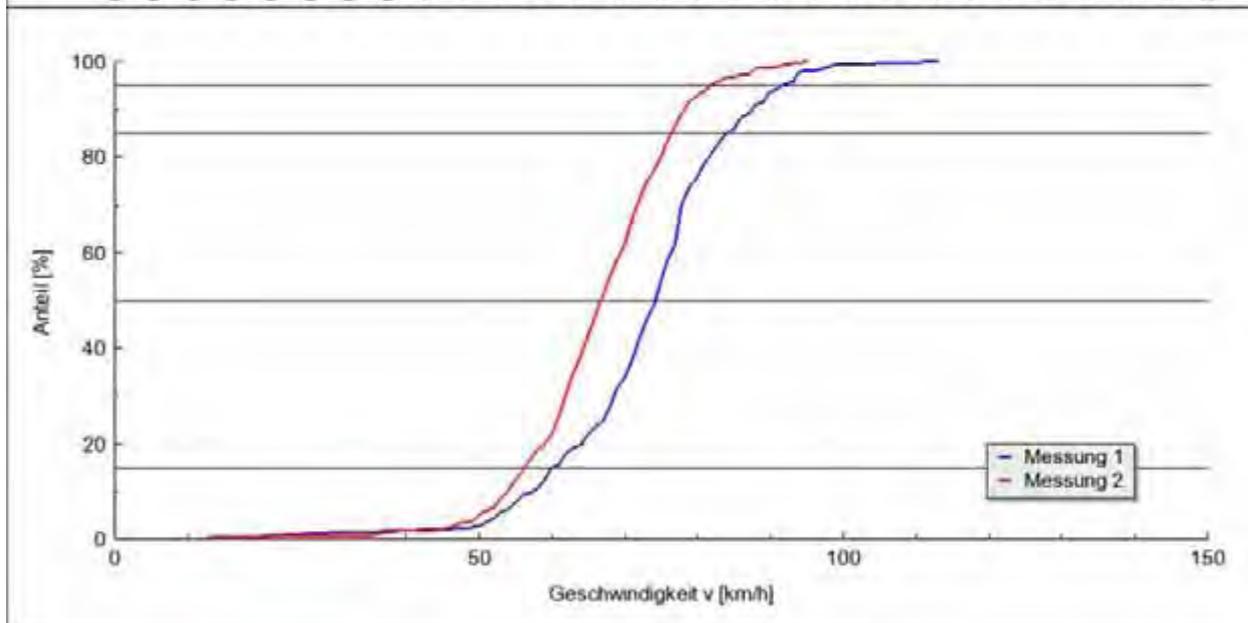
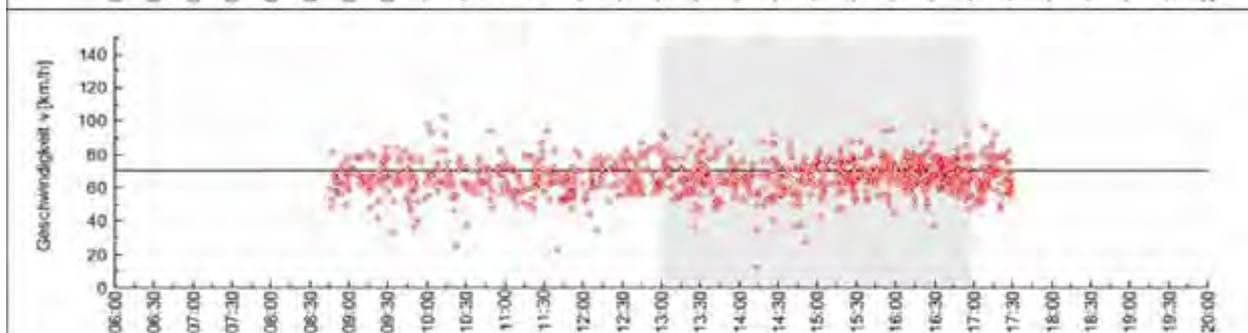
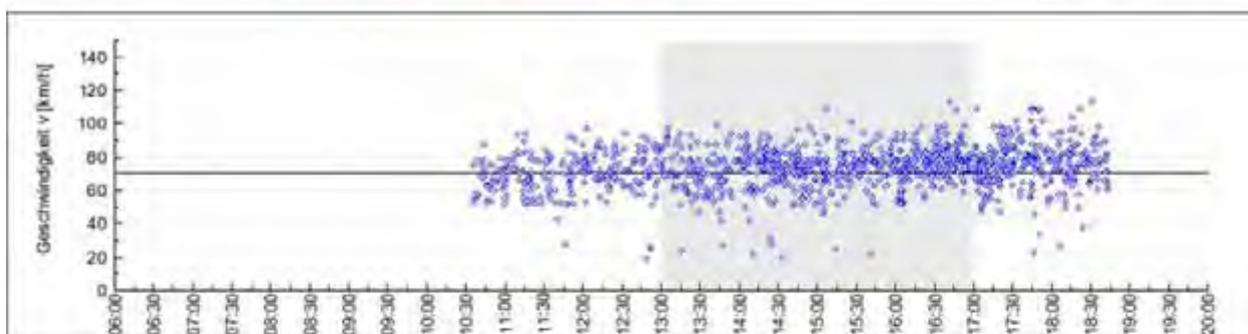
Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 614 Kfz)	69,22	83,32	96,92	107,54
Messung 2 (Q = 621 Kfz)	67,01	81,29	93,32	102,32
Änderung (M1 - M2)	-2,21	-2,03	-3,60	-5,22

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	85,50	88,60	62,21	93,32
Messung 2	81,16	86,89	56,20	91,83
Änderung (M1 - M2)	-4,34	-1,71	-6,01	-1,49

8.3 L257 Fahrtrichtung Morschenich (gesamtes Fahrzeugkollektiv)

Station	Datum		Kfz		v _m		Statistik		
	V	n	v	n	v	n	D _{max}	D _{krit}	Sign.
150	11.10.07	21.11.07	649	593	73,46	67,10	0,298	0,077	ja
150	11.10.07	28.08.08	649	605	73,46	71,90	0,118	0,077	ja
377	11.10.07	21.11.07	670	576	69,33	64,11	0,258	0,077	ja
377	11.10.07	28.08.08	670	533	69,33	66,83	0,137	0,079	ja
456	11.10.07	21.11.07	678	597	64,93	60,85	0,215	0,076	ja
456	11.10.07	28.08.08	678	603	64,93	62,42	0,154	0,076	ja
589	11.10.07	21.11.07	666	584	61,26	55,46	0,324	0,077	ja
589	11.10.07	28.08.08	666	601	61,26	61,07	0,061	0,077	nein
KG	11.10.07	21.11.07	1534	1498	76,09	76,17	0,026	0,049	nein
KG	11.10.07	28.08.08	1091	1075	77,21	75,36	0,082	0,058	ja
KG	21.11.07	28.08.08	1094	1075	77,14	75,36	0,080	0,058	ja

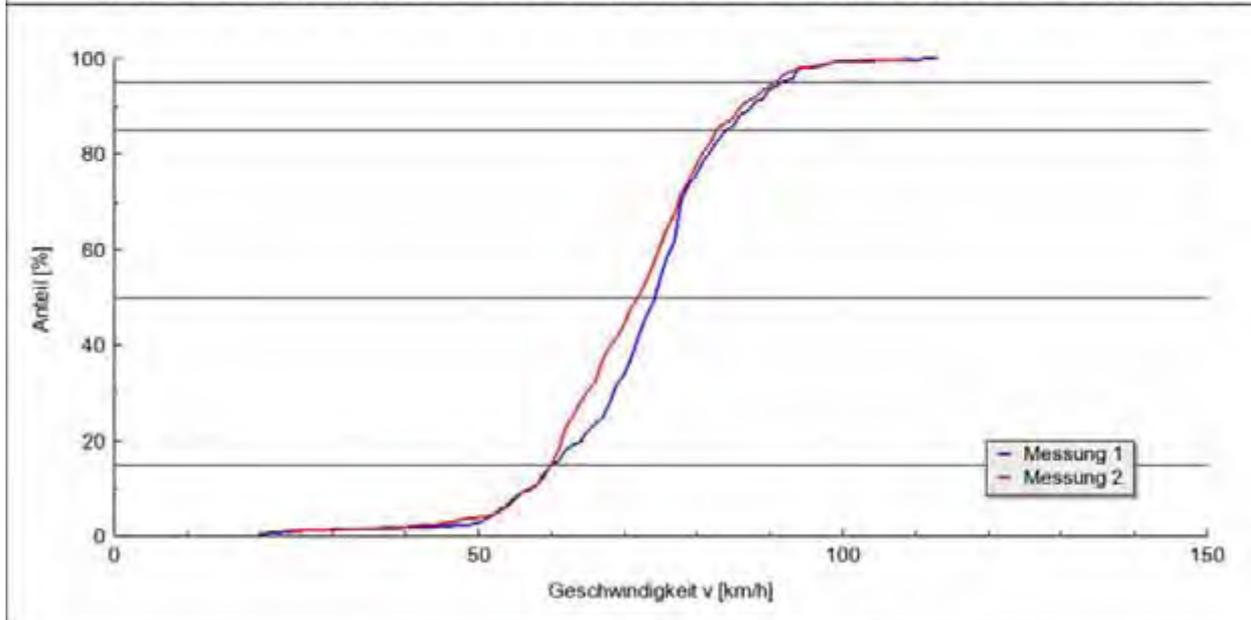
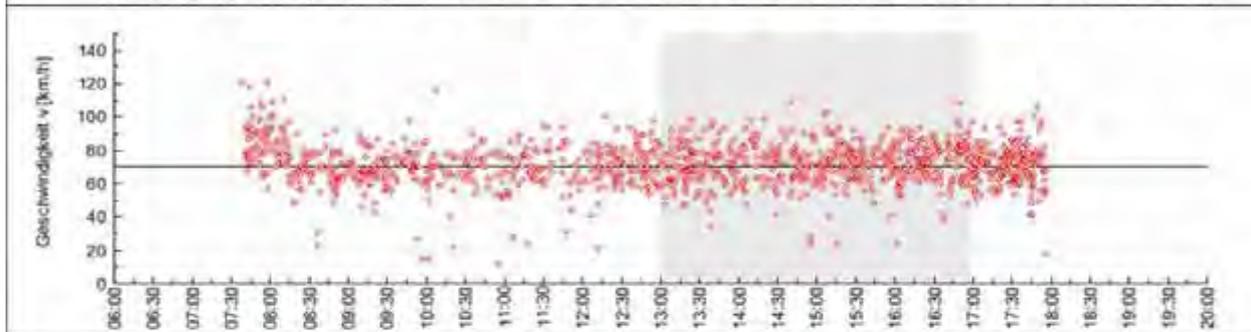
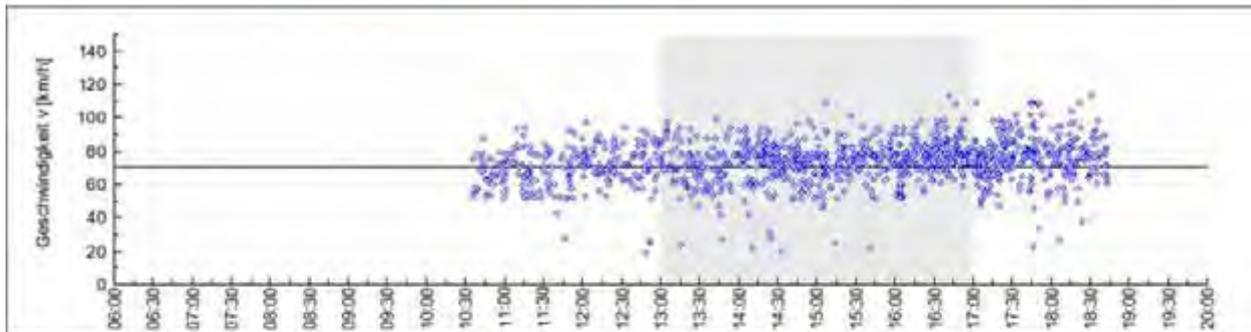
Messung 1	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 150,00
Messung 2	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-11-21 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 649 Kfz)	59,34	73,23	83,09	90,65
Messung 2 (Q = 593 Kfz)	55,38	65,84	75,53	81,07
Änderung (M1 - M2)	-3,96	-7,39	-7,56	-9,58

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	66,26	79,99	24,65	87,59
Messung 2	38,28	76,78	7,08	85,83
Änderung (M1 - M2)	-27,98	-3,21	-17,57	-1,76

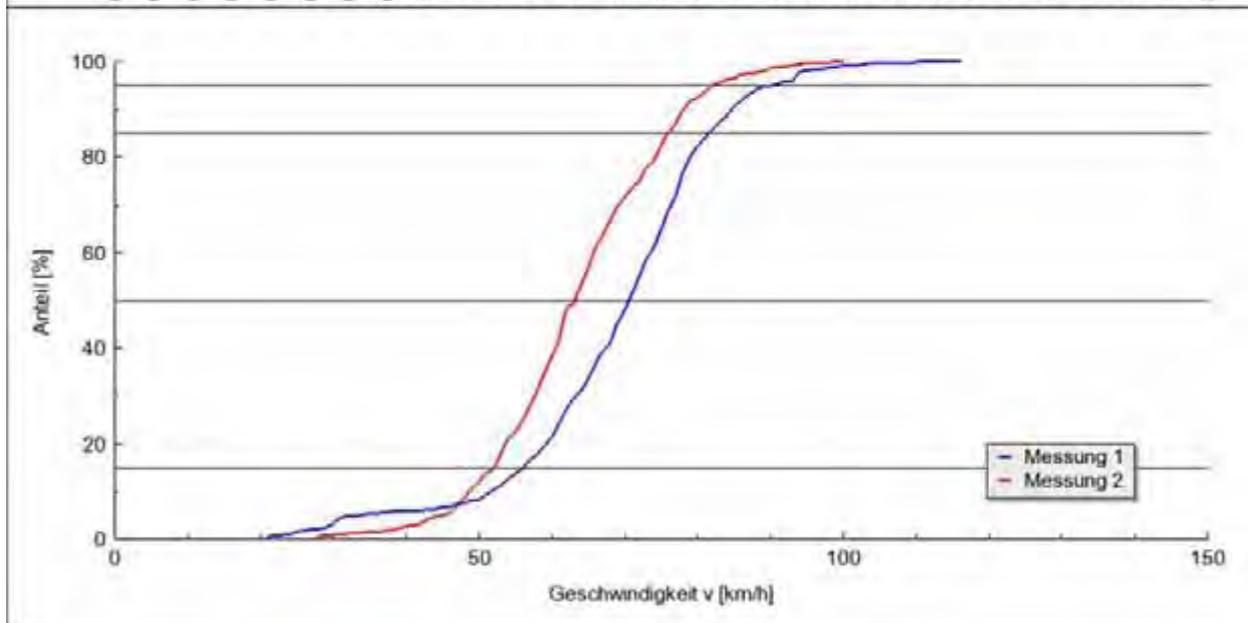
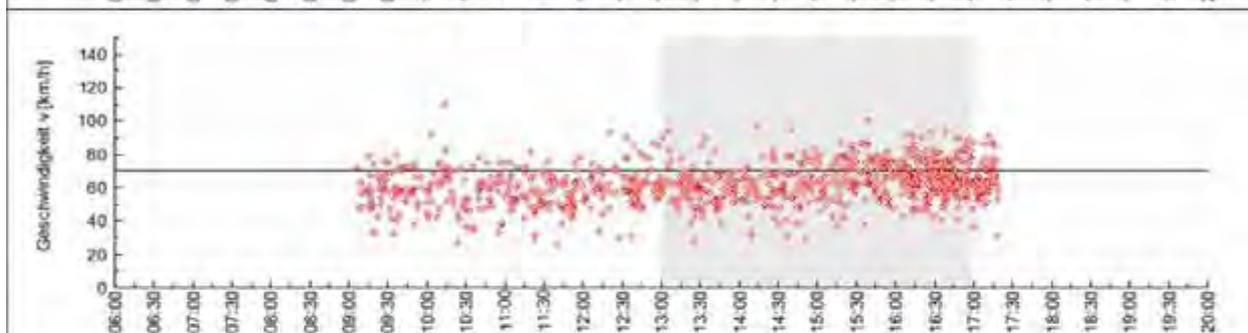
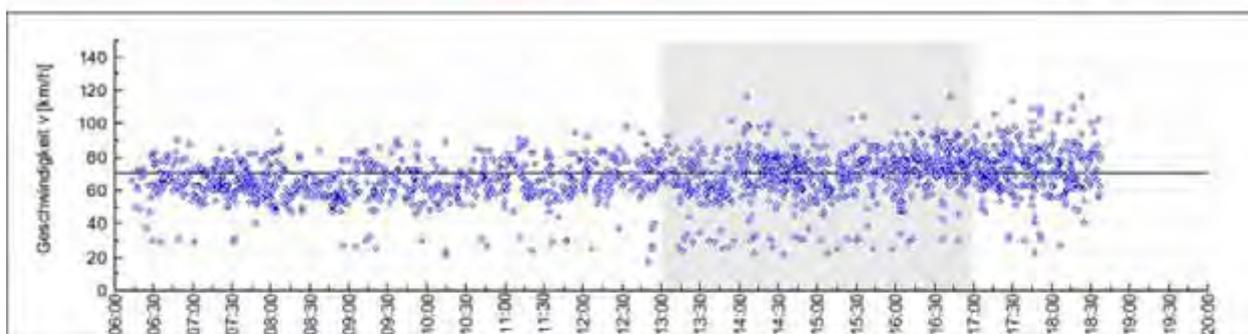
Messung 1	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 150.00
Messung 2	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2008-08-28 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 649 Kfz)	59,34	73,23	83,09	90,65
Messung 2 (Q = 607 Kfz)	59,13	70,96	81,80	89,93
Änderung (M1 - M2)	-0,21	-2,27	-1,29	-0,72

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	66,26	79,99	24,65	87,59
Messung 2	55,68	80,27	22,24	87,32
Änderung (M1 - M2)	-10,58	0,28	-2,41	-0,27

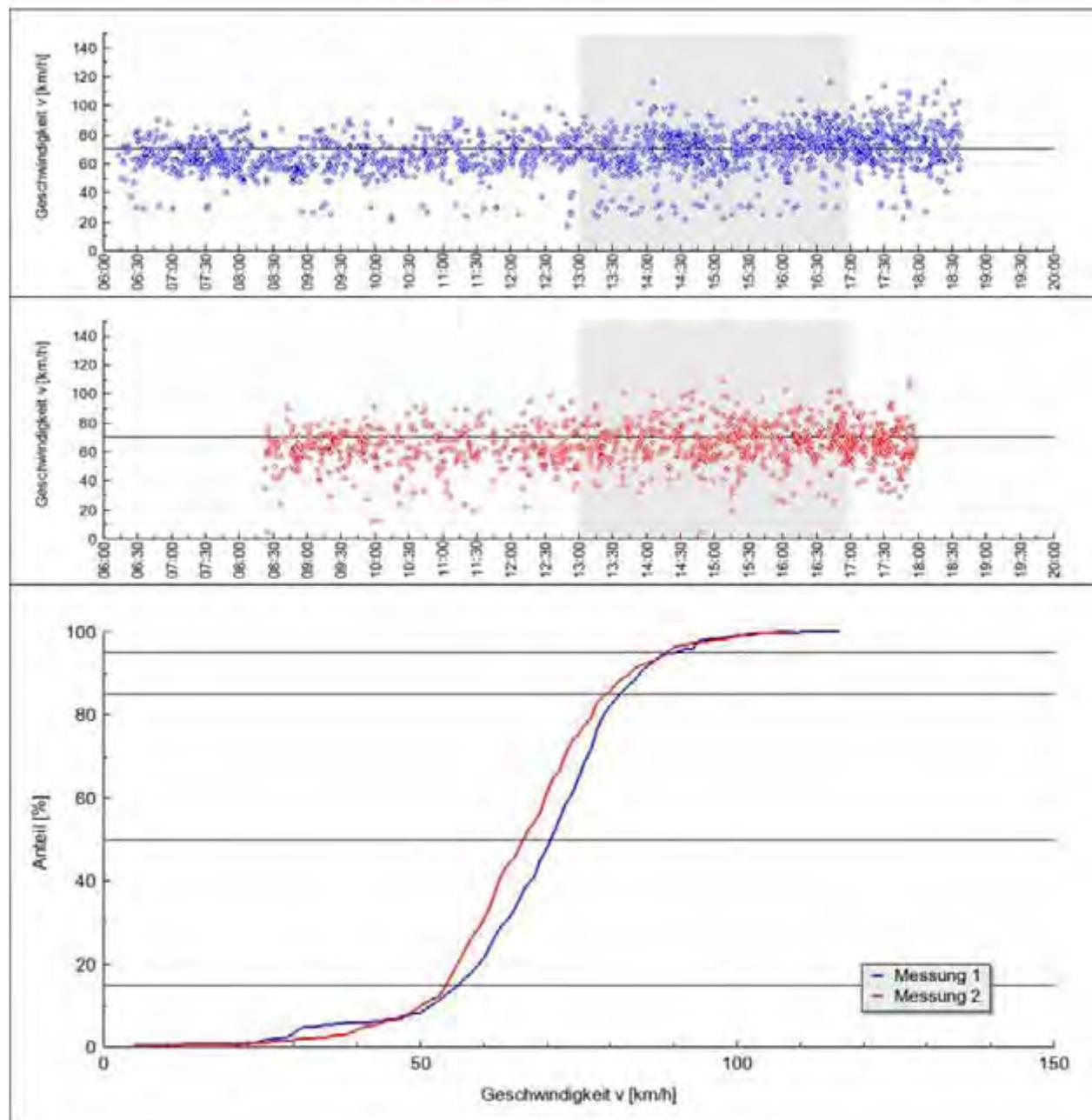
Messung 1	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 377.00
Messung 2	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-11-21 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 670 Kfz)	55,21	69,68	80,59	89,50
Messung 2 (Q = 576 Kfz)	51,24	62,18	75,15	81,30
Änderung (M1 - M2)	-3,97	-7,50	-5,44	-8,20

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	52,24	79,75	17,91	88,02
Messung 2	28,47	78,27	7,64	86,18
Änderung (M1 - M2)	-23,77	-1,48	-10,27	-1,84

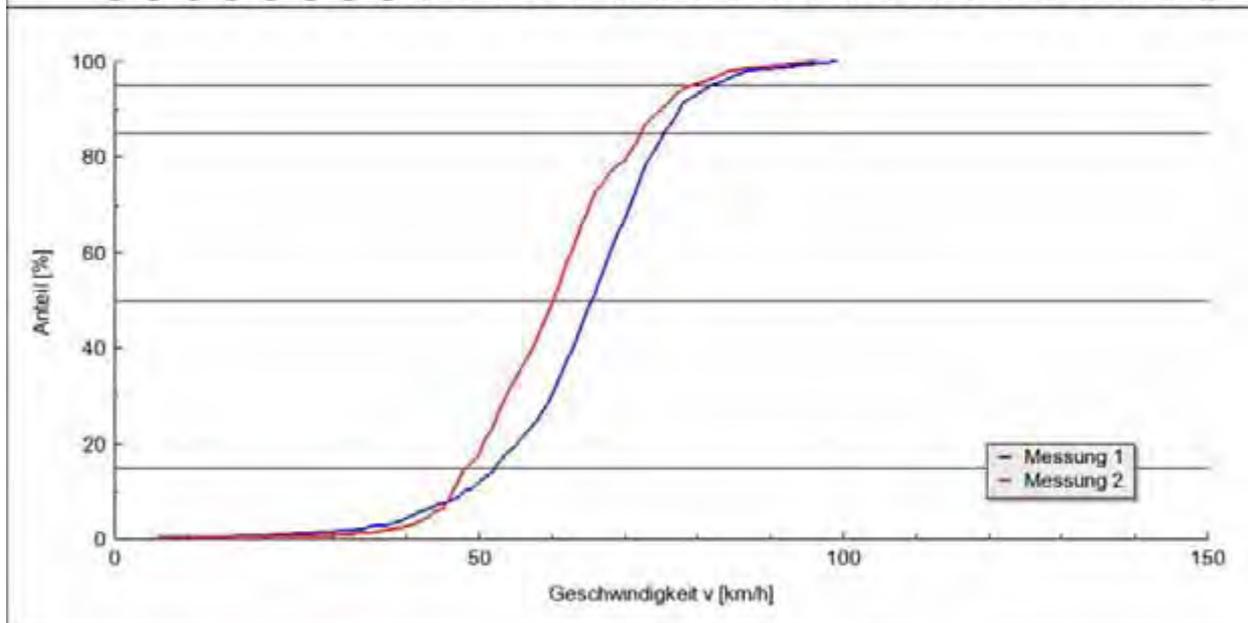
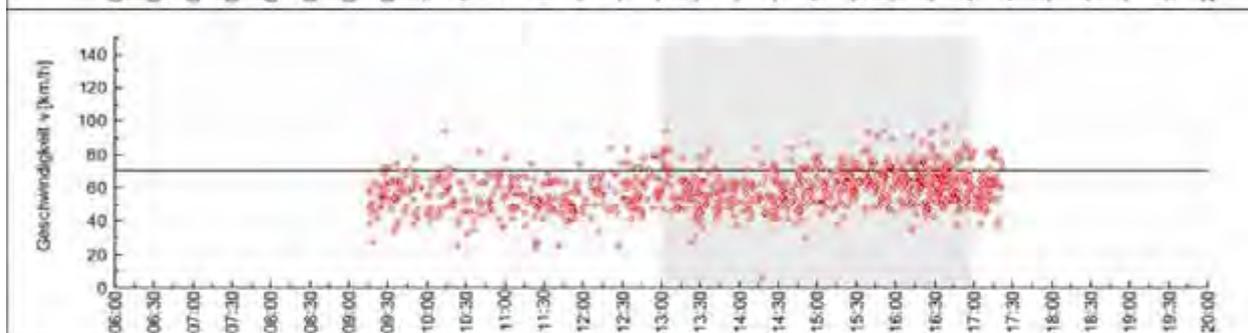
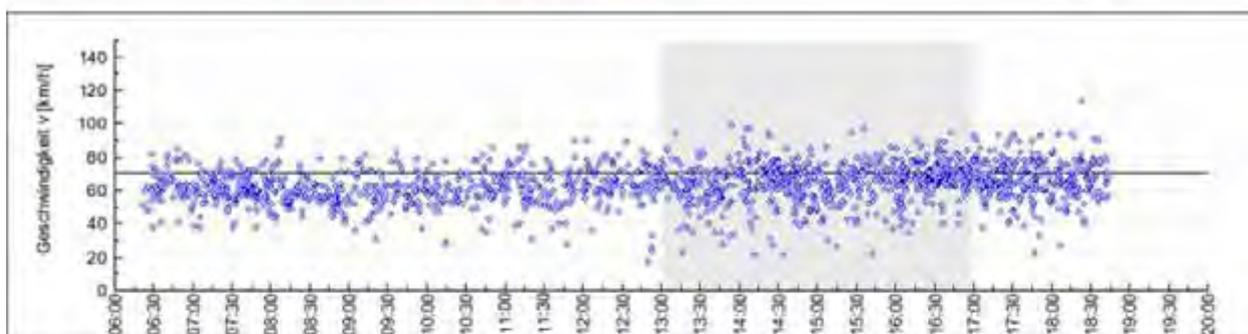
Messung 1	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 377.00
Messung 2	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2008-08-28 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 670 Kfz)	55,21	69,68	80,59	89,50
Messung 2 (Q = 533 Kfz)	53,25	65,38	78,44	88,05
Änderung (M1 - M2)	-1,96	-4,30	-2,15	-1,45

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	52,24	79,75	17,91	88,02
Messung 2	38,65	79,95	14,26	88,43
Änderung (M1 - M2)	-13,59	0,20	-3,65	0,41

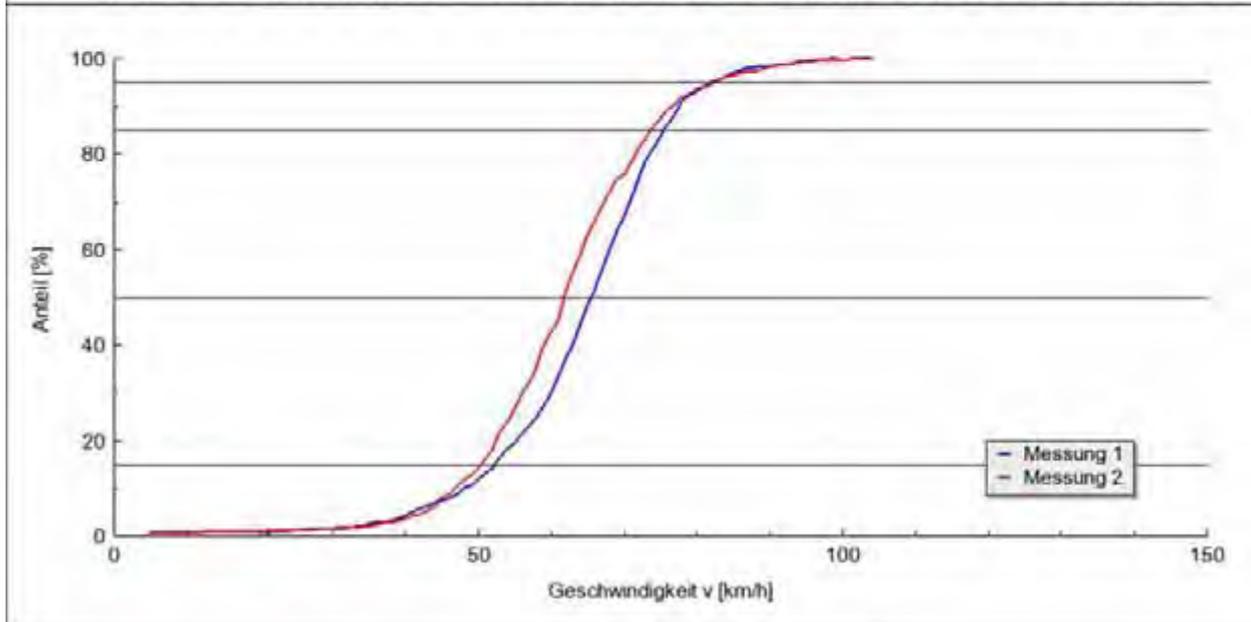
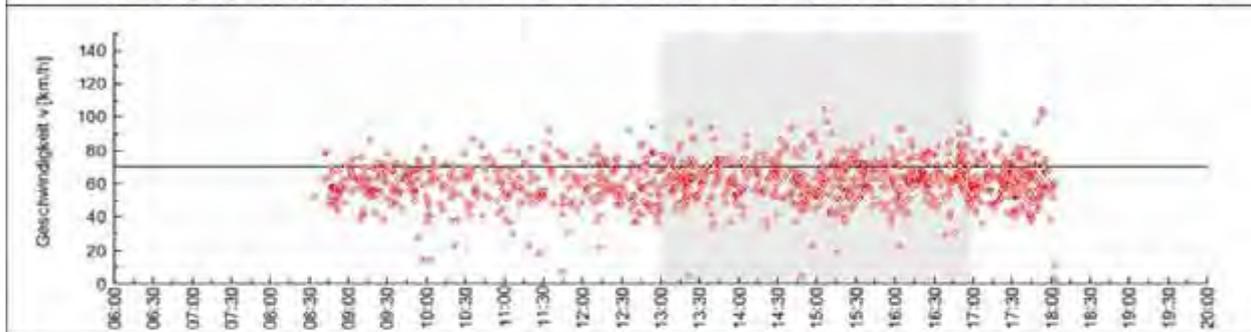
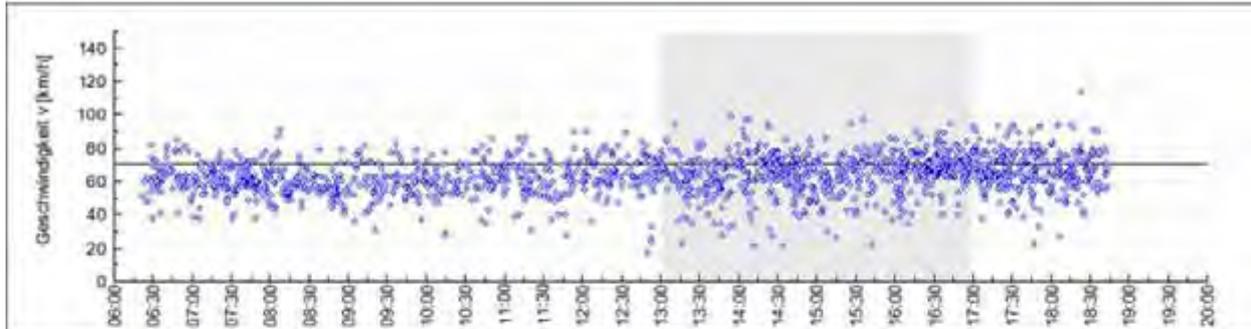
Messung 1	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 456,00
Messung 2	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-11-21 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 679 Kfz)	51,46	64,54	74,51	81,01
Messung 2 (Q = 597 Kfz)	47,39	59,24	71,26	78,38
Änderung (M1 - M2)	-4,07	-5,30	-3,25	-2,63

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	33,14	76,99	6,92	86,55
Messung 2	20,60	77,02	4,69	86,14
Änderung (M1 - M2)	-12,54	0,03	-2,23	-0,41

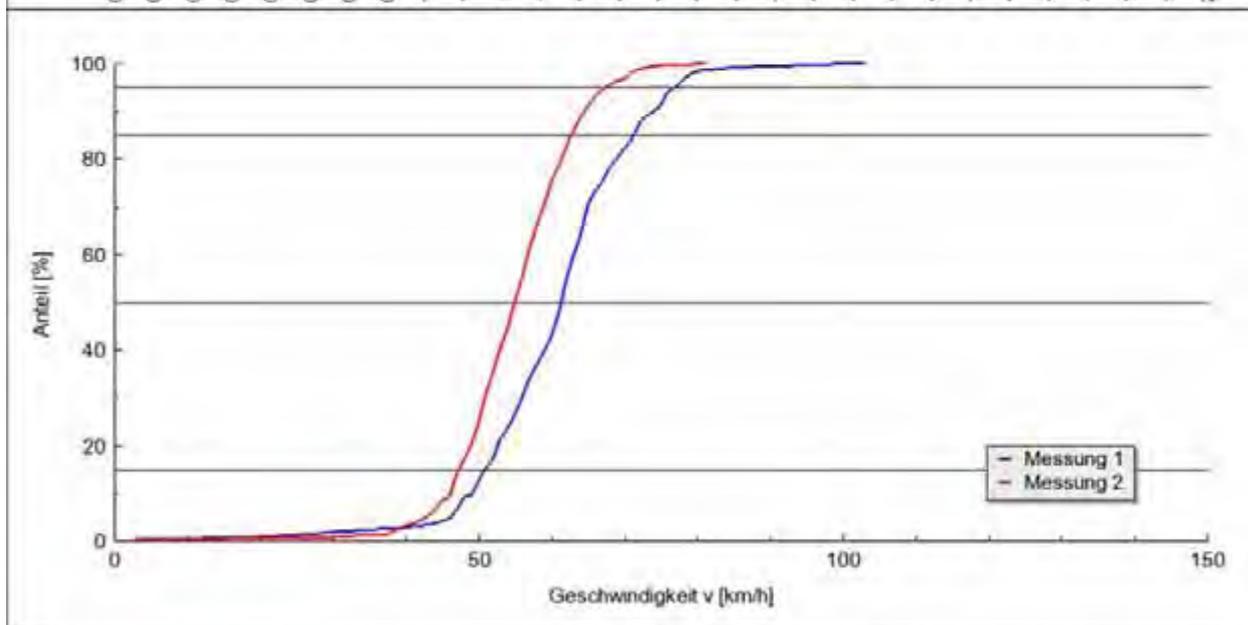
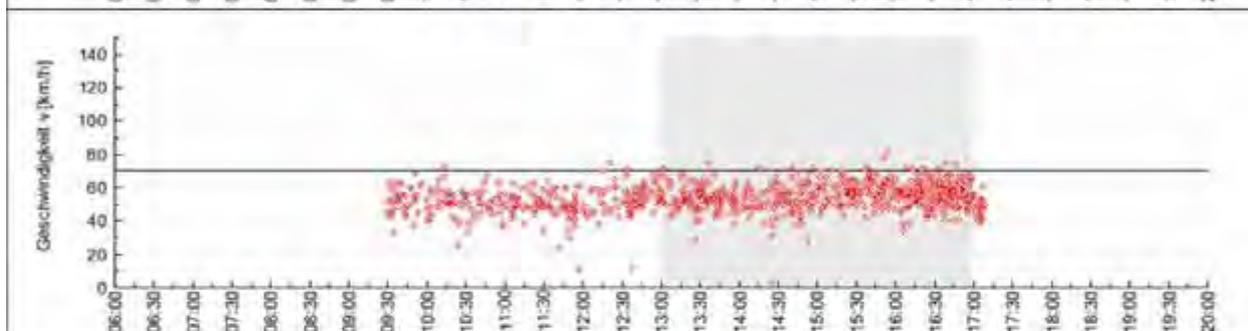
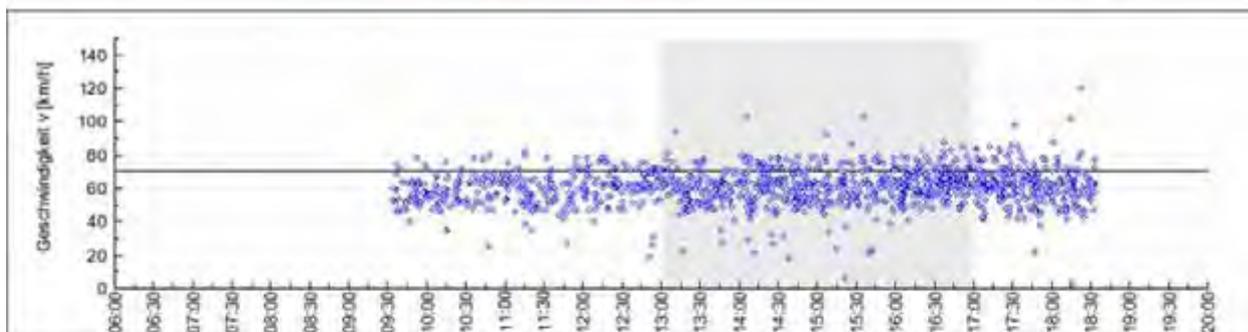
Messung 1	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 456,00
Messung 2	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2008-08-28 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 679 Kfz)	51,46	64,54	74,51	81,01
Messung 2 (Q = 604 Kfz)	49,47	60,82	72,63	81,47
Änderung (M1 - M2)	-1,99	-3,72	-1,88	0,46

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	33,14	76,99	6,92	86,55
Messung 2	24,34	77,95	6,29	87,87
Änderung (M1 - M2)	-8,80	0,96	-0,63	1,32

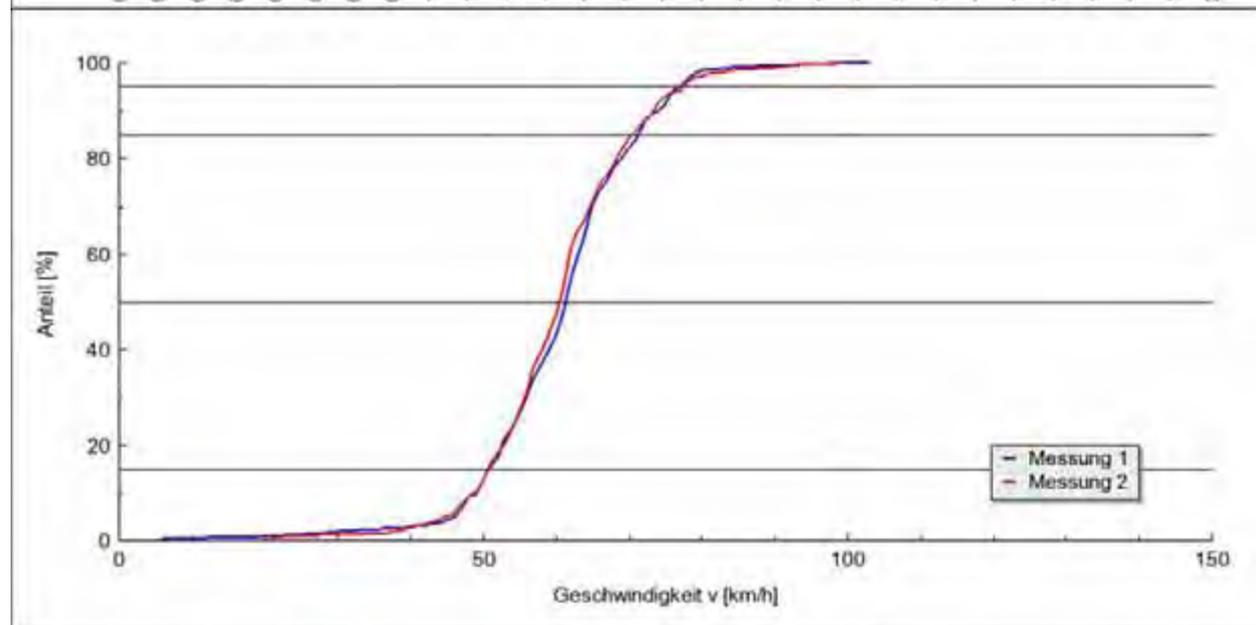
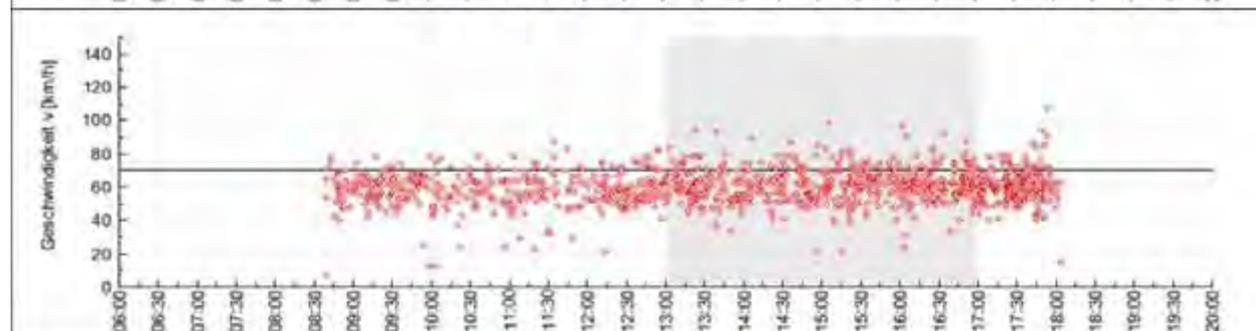
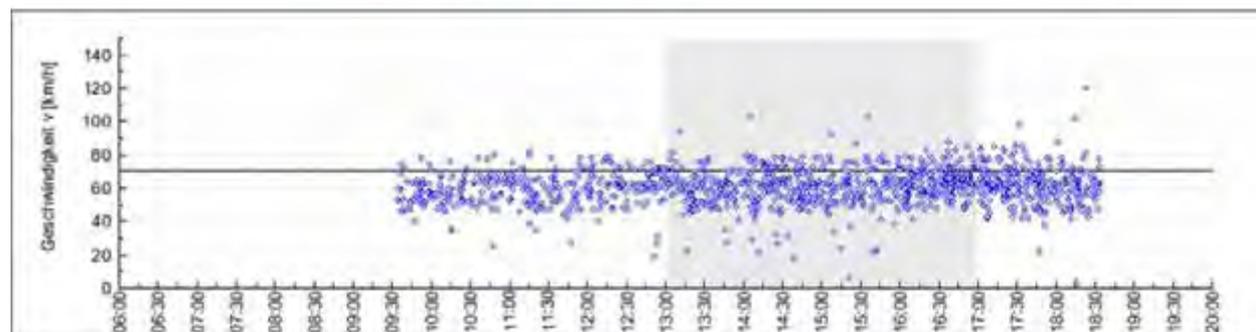
Messung 1	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 589.00
Messung 2	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-11-21 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 666 Kfz)	49,89	60,37	70,27	75,96
Messung 2 (Q = 584 Kfz)	46,24	54,06	61,74	66,54
Änderung (M1 - M2)	-3,65	-6,31	-8,53	-9,42

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	17,57	76,11	1,65	89,18
Messung 2	3,25	72,89	0,17	81,00
Änderung (M1 - M2)	-14,32	-3,22	-1,48	-8,18

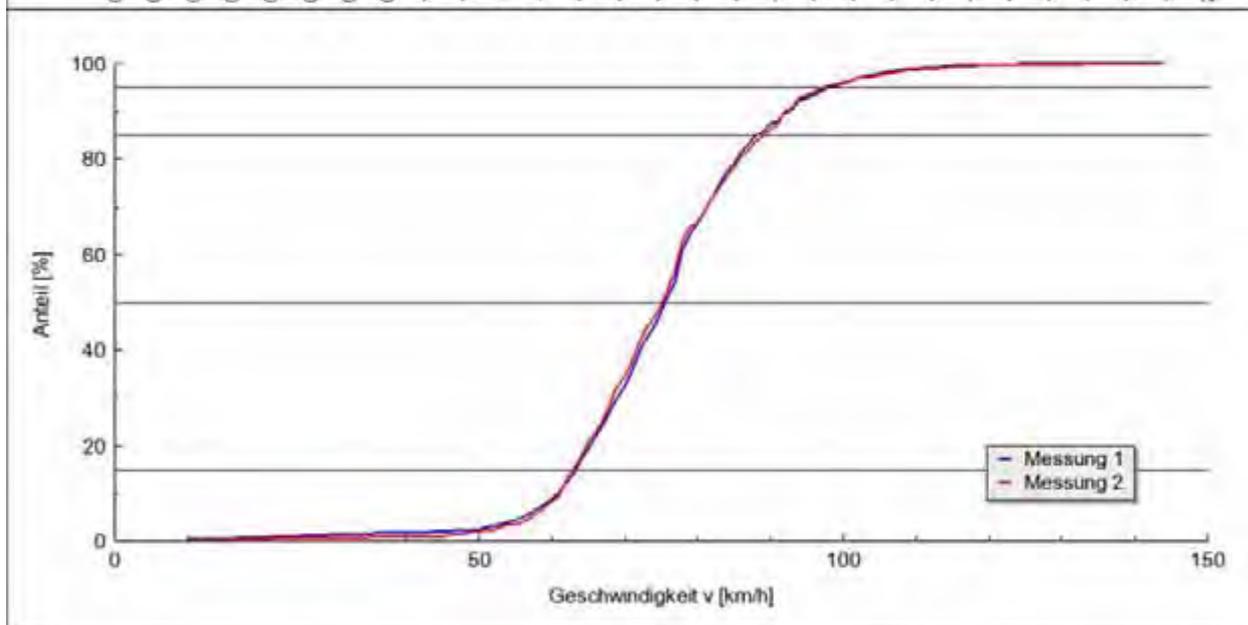
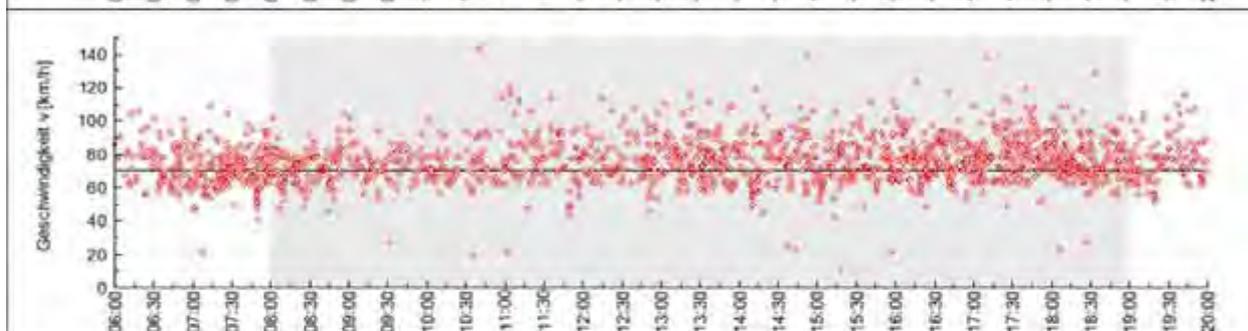
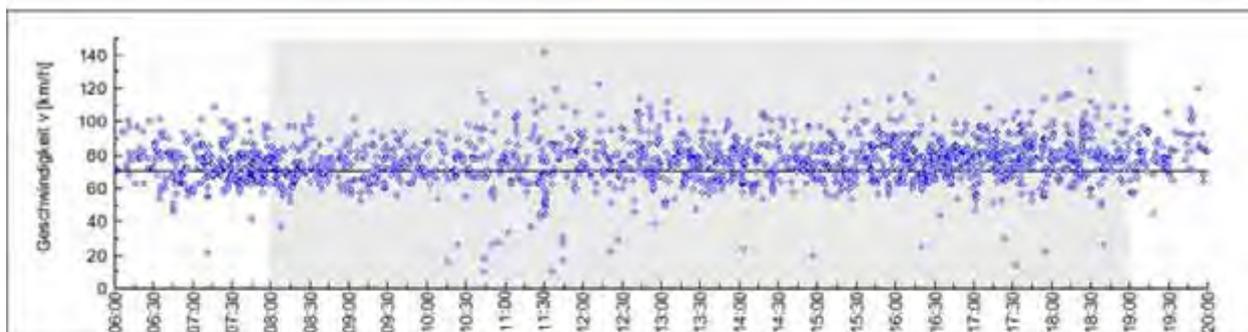
Messung 1	Messung L.257 Buir-Mörschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 589.00
Messung 2	Messung L.257 Buir-Mörschenich - 2008-08-28 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 666 Kfz)	49,89	60,37	70,27	75,96
Messung 2 (Q = 602 Kfz)	49,77	59,53	69,34	76,58
Änderung (M1 - M2)	-0,12	-0,84	-0,93	0,62

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	17,57	76,11	1,65	89,18
Messung 2	15,45	77,12	2,99	87,28
Änderung (M1 - M2)	-2,12	1,01	1,34	-1,90

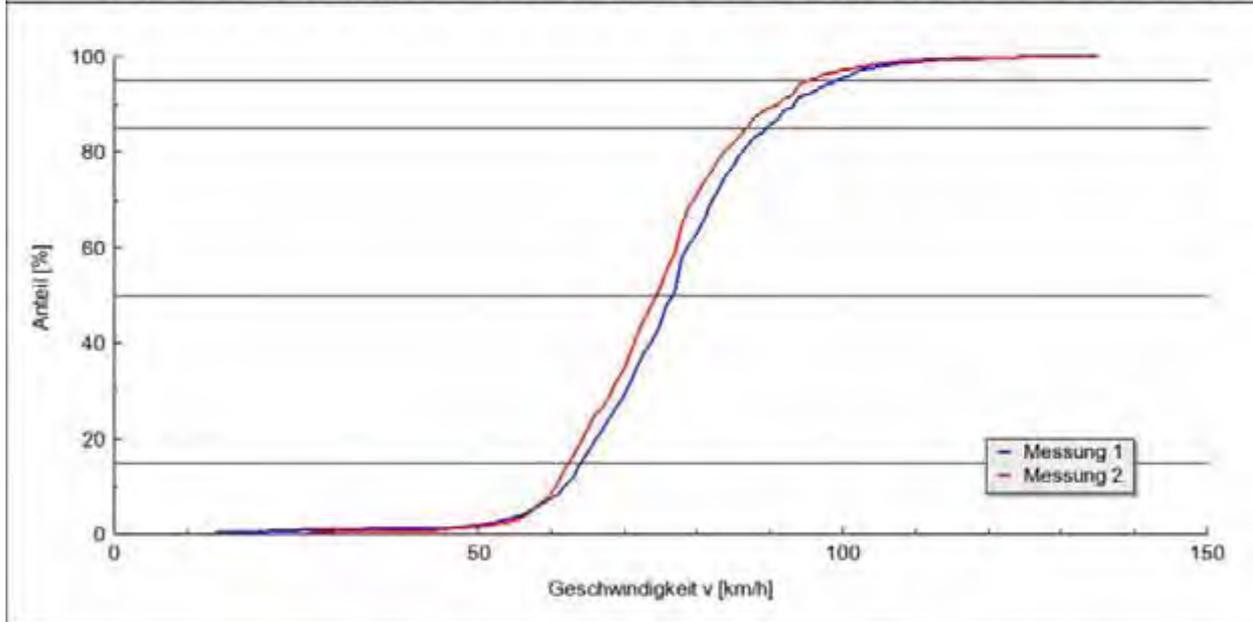
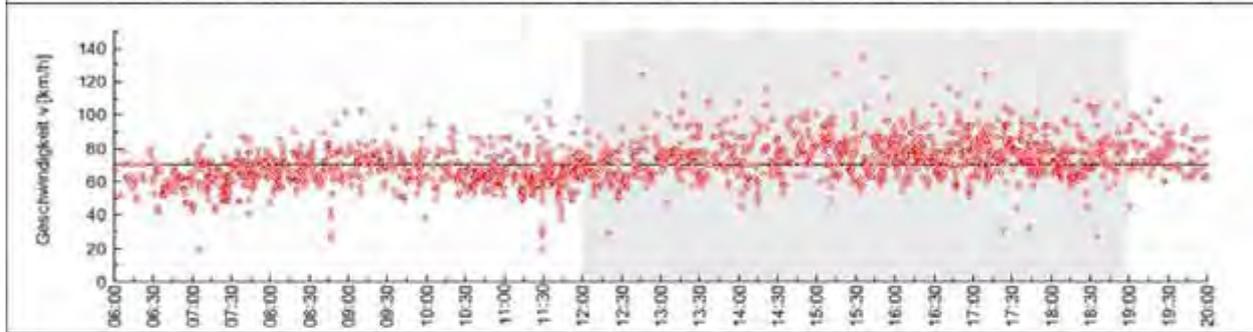
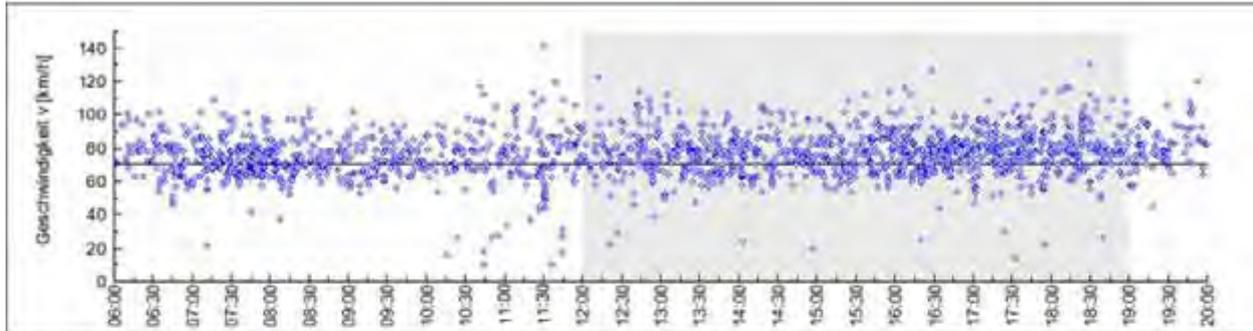
Messung 1	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-11-21 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1535 Kfz)	62,38	74,66	87,34	97,18
Messung 2 (Q = 1498 Kfz)	62,07	74,30	88,12	96,64
Änderung (M1 - M2)	-0,31	-0,36	0,78	-0,54

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	67,75	82,88	33,81	90,19
Messung 2	65,62	83,17	33,31	90,64
Änderung (M1 - M2)	-2,13	0,29	-0,50	0,45

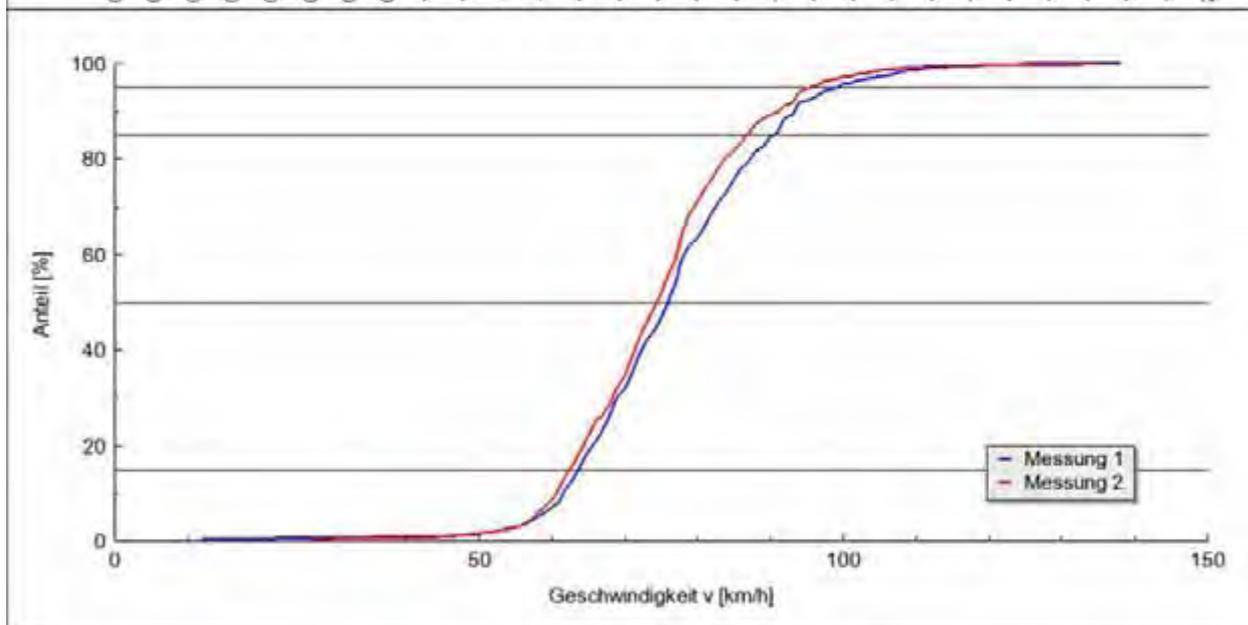
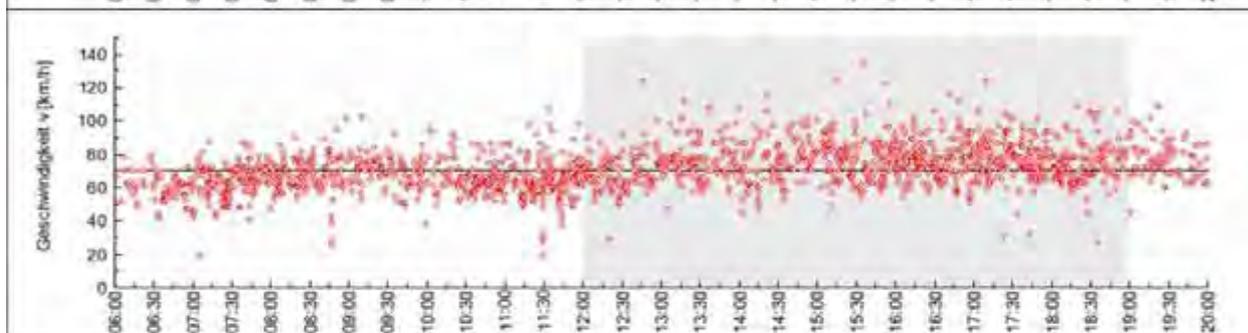
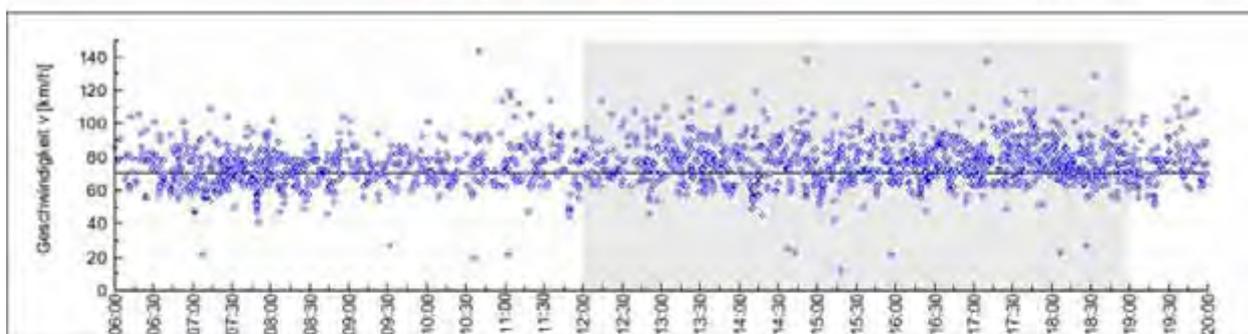
Messung 1	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - Kontrollgruppe Auswertezeitraum: 12:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2008-08-28 - Kontrollgruppe Auswertezeitraum: 12:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1091 Kfz)	63,15	75,78	88,58	98,16
Messung 2 (Q = 1075 Kfz)	61,57	73,45	85,84	94,56
Änderung (M1 - M2)	-1,58	-2,33	-2,74	-3,60

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	70,94	83,22	37,21	90,06
Messung 2	65,40	81,91	29,40	89,75
Änderung (M1 - M2)	-5,54	-1,31	-7,81	-0,31

Messung 1	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-11-21 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 12:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung L257 Buir-Morschenich - 2008-08-28 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 12:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



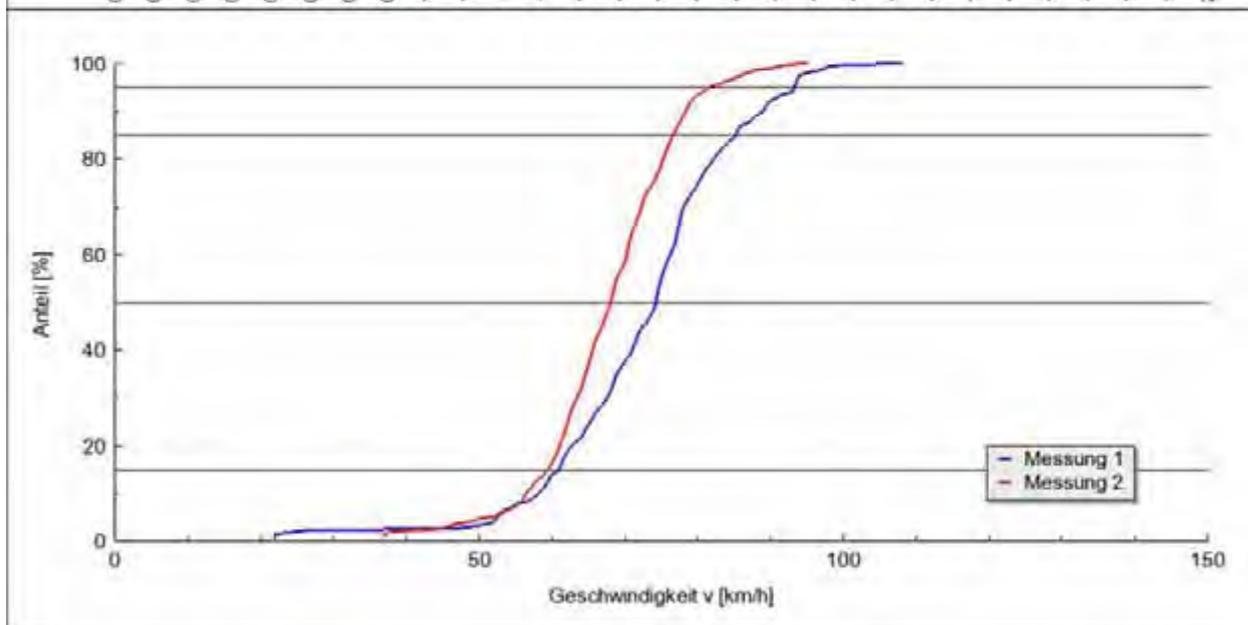
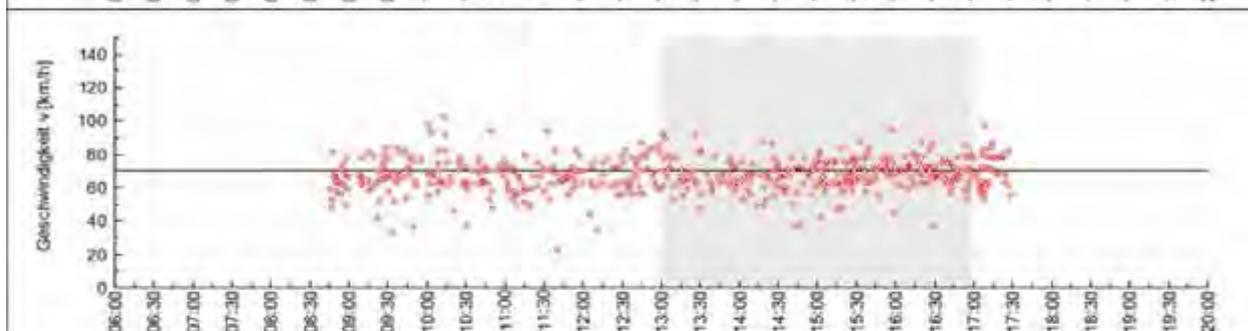
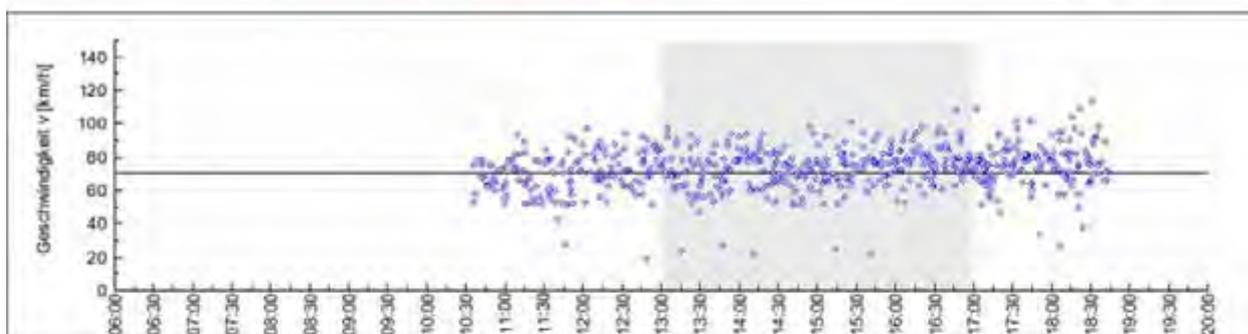
Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1094 Kfz)	62,70	75,05	89,45	98,13
Messung 2 (Q = 1075 Kfz)	61,57	73,45	85,84	94,56
Änderung (M1 - M2)	-1,13	-1,60	-3,61	-3,57

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	68,10	83,68	36,84	90,71
Messung 2	65,40	81,91	29,40	89,75
Änderung (M1 - M2)	-2,70	-1,77	-7,44	-0,96

8.4 L257 Fahrtrichtung Morschenich (frei Fahrende)

Station	Datum		Kfz		v_m		Statistik		
	V	n	v	n	v	n	D_{max}	D_{krit}	Sign.
150	11.10.07	21.11.07	308	276	73,46	68,38	0,274	0,113	ja
150	11.10.07	28.08.08	308	283	73,46	74,01	0,052	0,112	nein
377	11.10.07	21.11.07	320	265	68,97	65,53	0,206	0,113	ja
377	11.10.07	28.08.08	320	262	68,97	68,35	0,084	0,113	nein
456	11.10.07	21.11.07	313	284	65,28	61,45	0,218	0,112	ja
456	11.10.07	28.08.08	313	292	65,28	63,45	0,145	0,111	ja
589	11.10.07	21.11.07	301	278	61,06	56,35	0,287	0,113	ja
589	11.10.07	28.08.08	301	278	61,06	61,94	0,057	0,113	ja
KG	11.10.07	21.11.07	690	650	78,47	78,95	0,031	0,074	nein
KG	11.10.07	28.08.08	436	424	79,50	79,71	0,039	0,093	nein
KG	21.11.07	28.08.08	429	424	80,69	79,71	0,092	0,093	nein

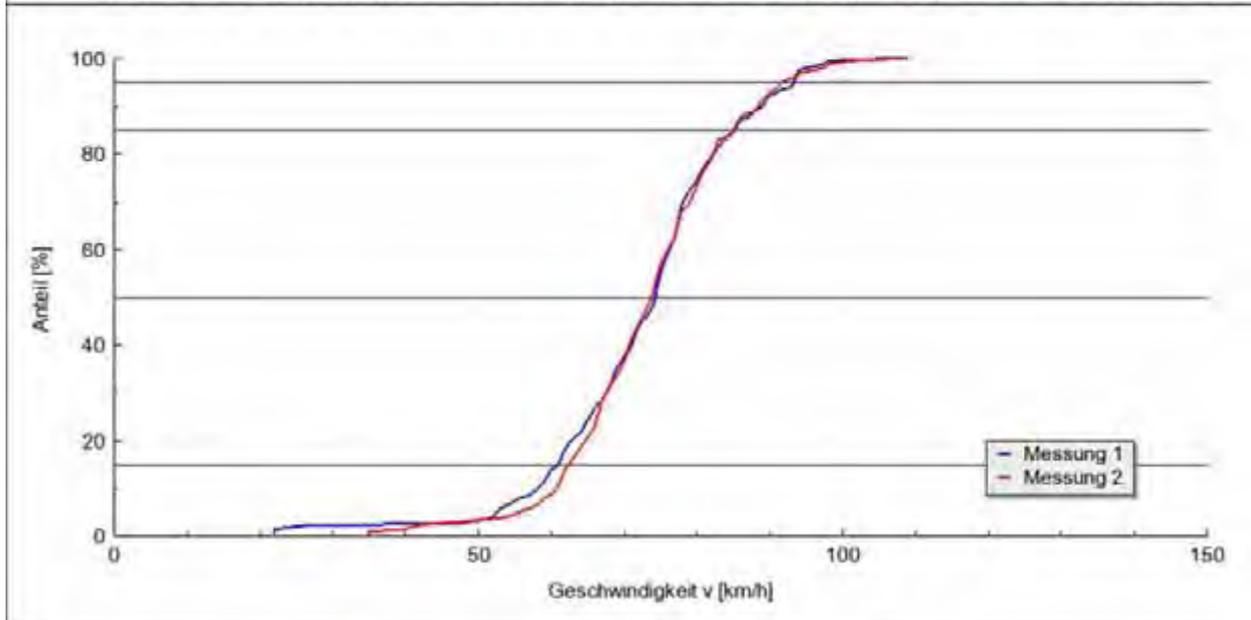
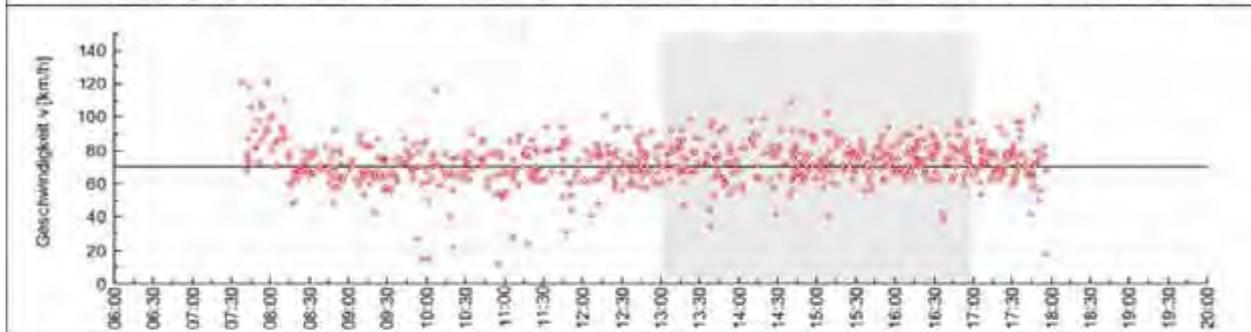
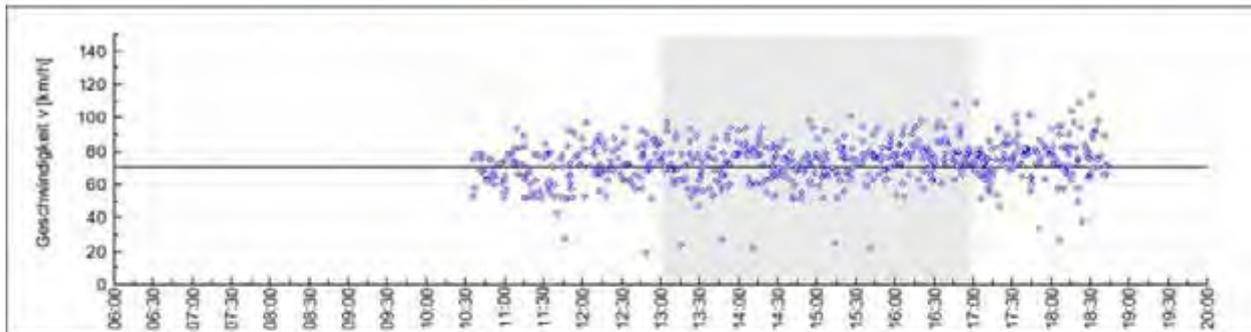
Messung 1	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 150,00
Messung 2	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-11-21 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 309 Kfz)	60,11	73,28	84,21	92,32
Messung 2 (Q = 277 Kfz)	58,59	67,09	75,68	80,72
Änderung (M1 - M2)	-1,52	-6,19	-8,53	-11,60

Überschreiter	$\geq v_{zul}$		$\geq v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	62,46	80,79	25,57	88,06
Messung 2	41,88	76,52	6,50	86,06
Änderung (M1 - M2)	-20,58	-4,27	-19,07	-2,00

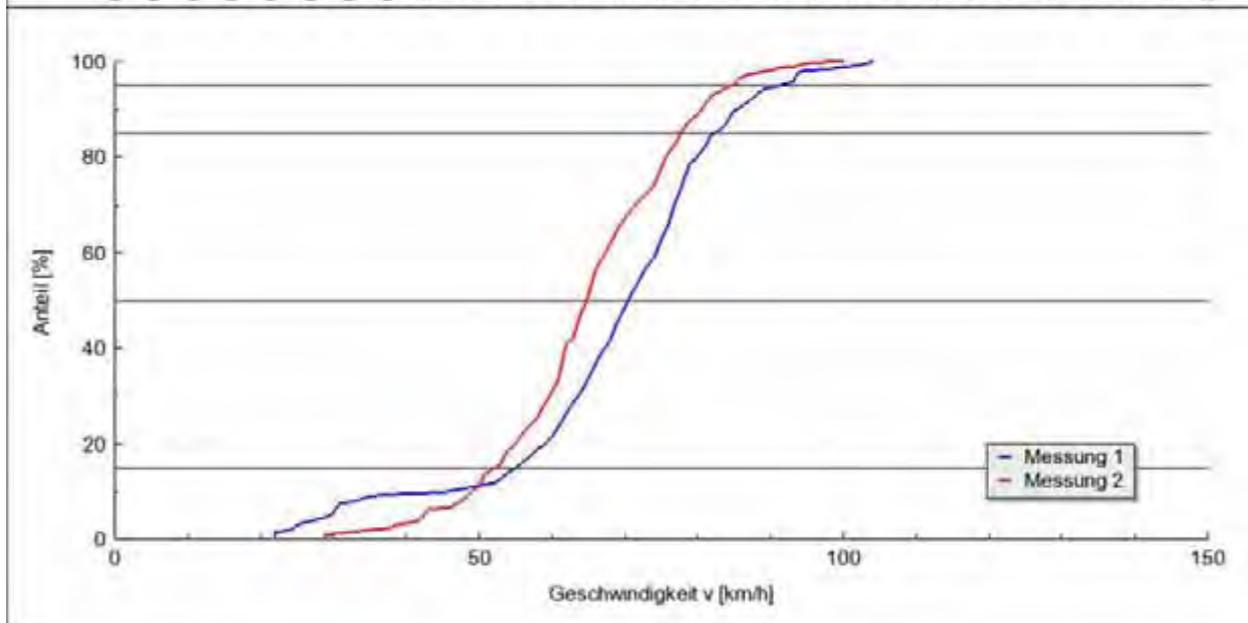
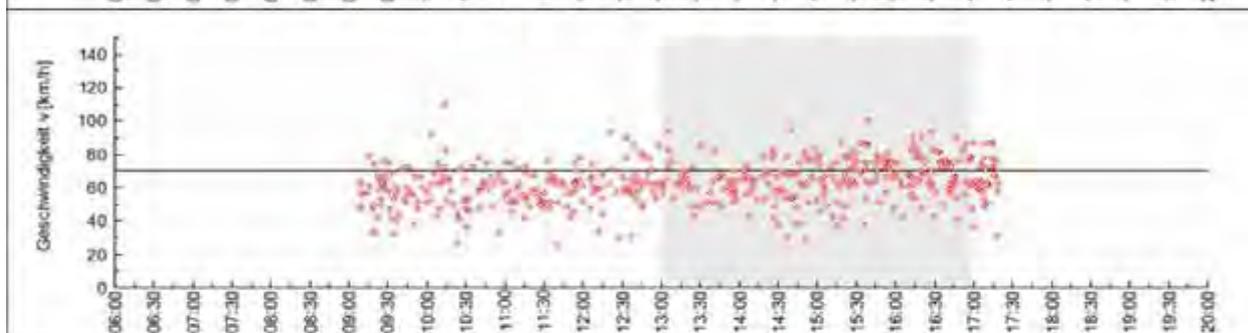
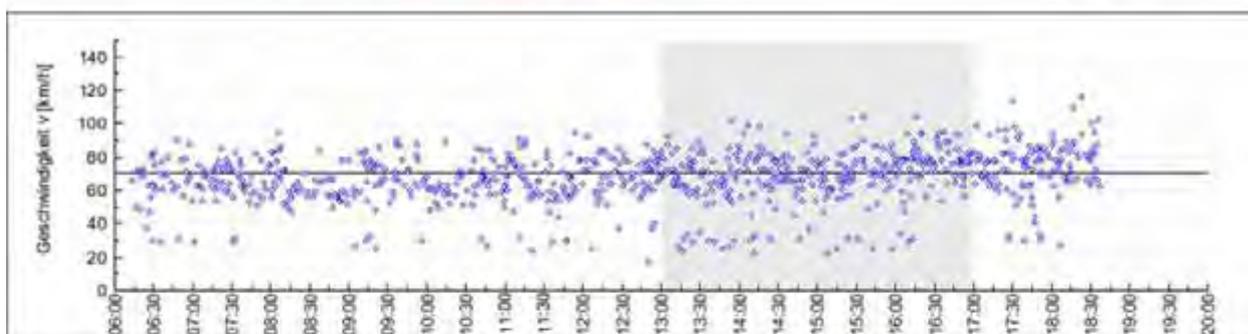
Messung 1	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 150.00
Messung 2	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2008-08-28 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 309 Kfz)	60,11	73,28	84,21	92,32
Messung 2 (Q = 283 Kfz)	61,49	72,71	84,07	90,71
Änderung (M1 - M2)	1,38	-0,57	-0,14	-1,61

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	62,46	80,79	25,57	88,06
Messung 2	63,60	80,49	27,21	87,48
Änderung (M1 - M2)	1,14	-0,30	1,64	-0,58

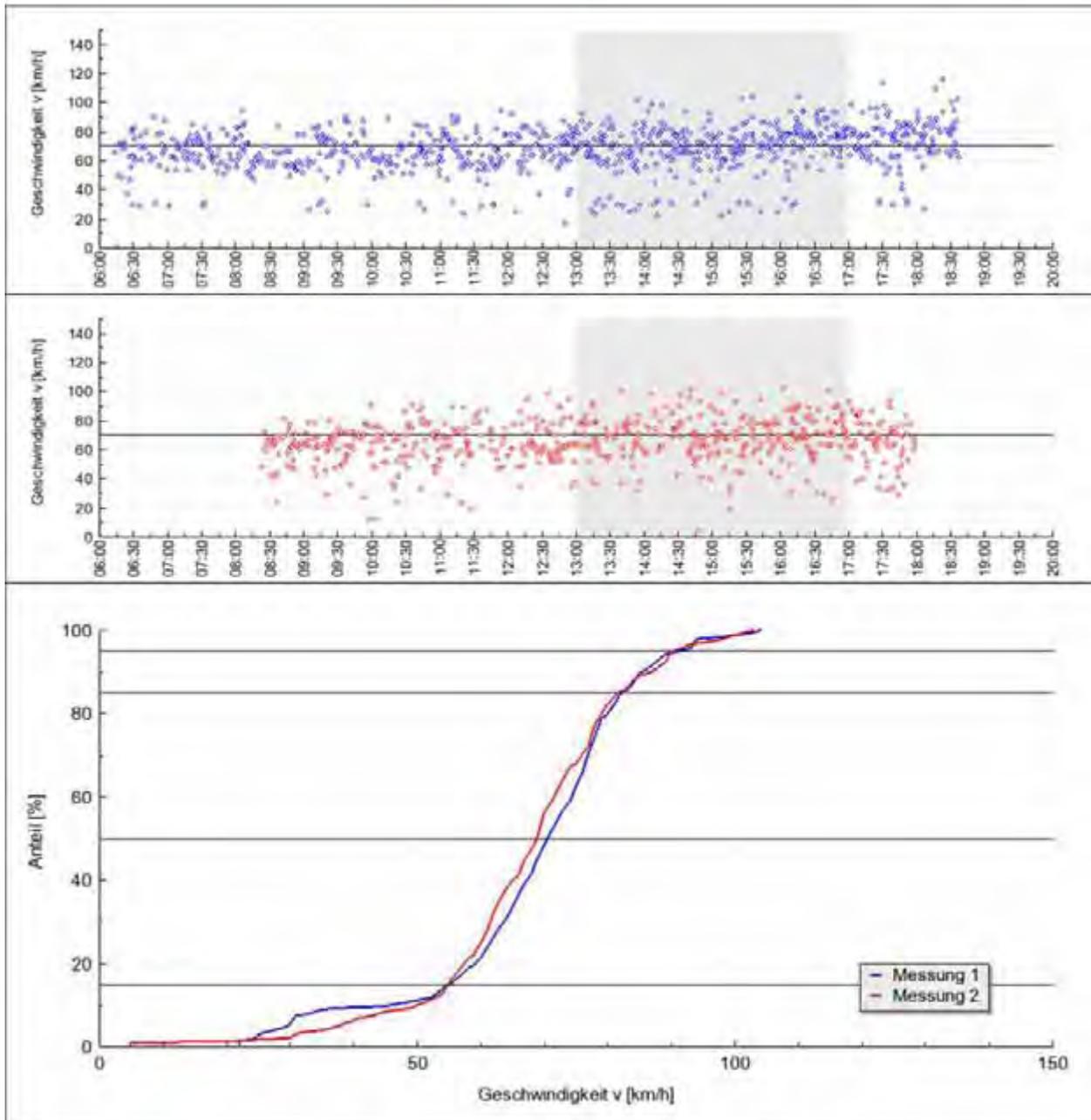
Messung 1	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 377.00
Messung 2	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-11-21 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 321 Kfz)	54,29	69,55	81,46	90,48
Messung 2 (Q = 265 Kfz)	50,50	63,94	76,78	83,88
Änderung (M1 - M2)	-3,79	-5,61	-4,68	-6,60

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	51,71	80,38	20,25	87,77
Messung 2	32,83	79,05	11,32	85,70
Änderung (M1 - M2)	-18,88	-1,33	-8,93	-2,07

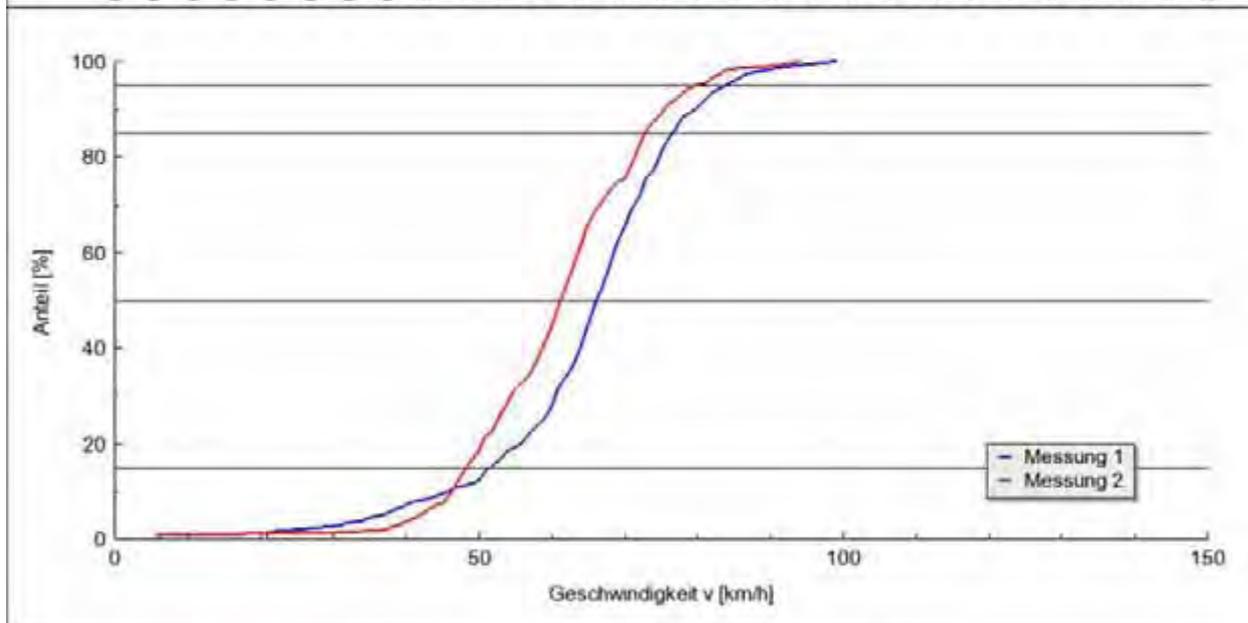
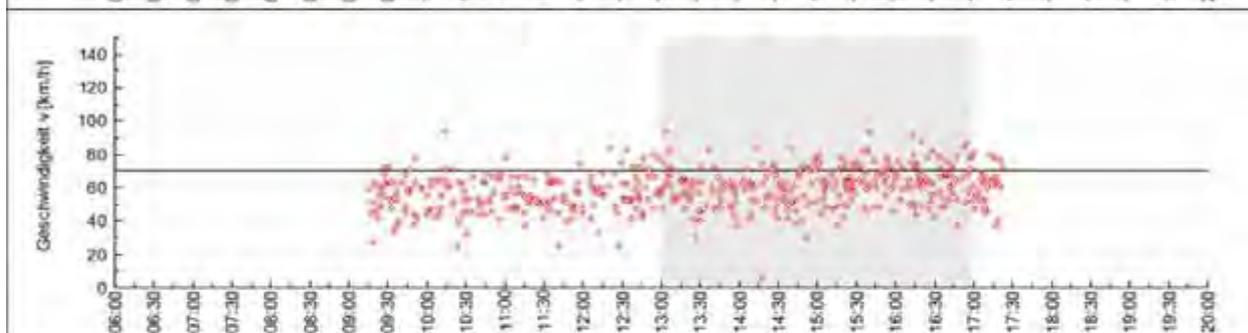
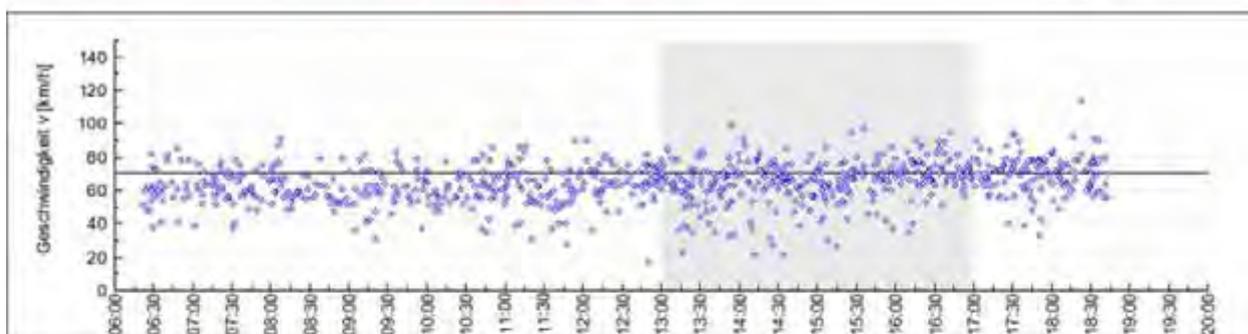
Messung 1	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 377.00
Messung 2	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2008-08-28 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 321 Kfz)	54,29	69,55	81,46	90,48
Messung 2 (Q = 262 Kfz)	53,90	67,88	80,68	89,45
Änderung (M1 - M2)	-0,39	-1,67	-0,78	-1,03

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	51,71	80,38	20,25	87,77
Messung 2	43,51	81,13	17,94	88,85
Änderung (M1 - M2)	-8,20	0,75	-2,31	1,08

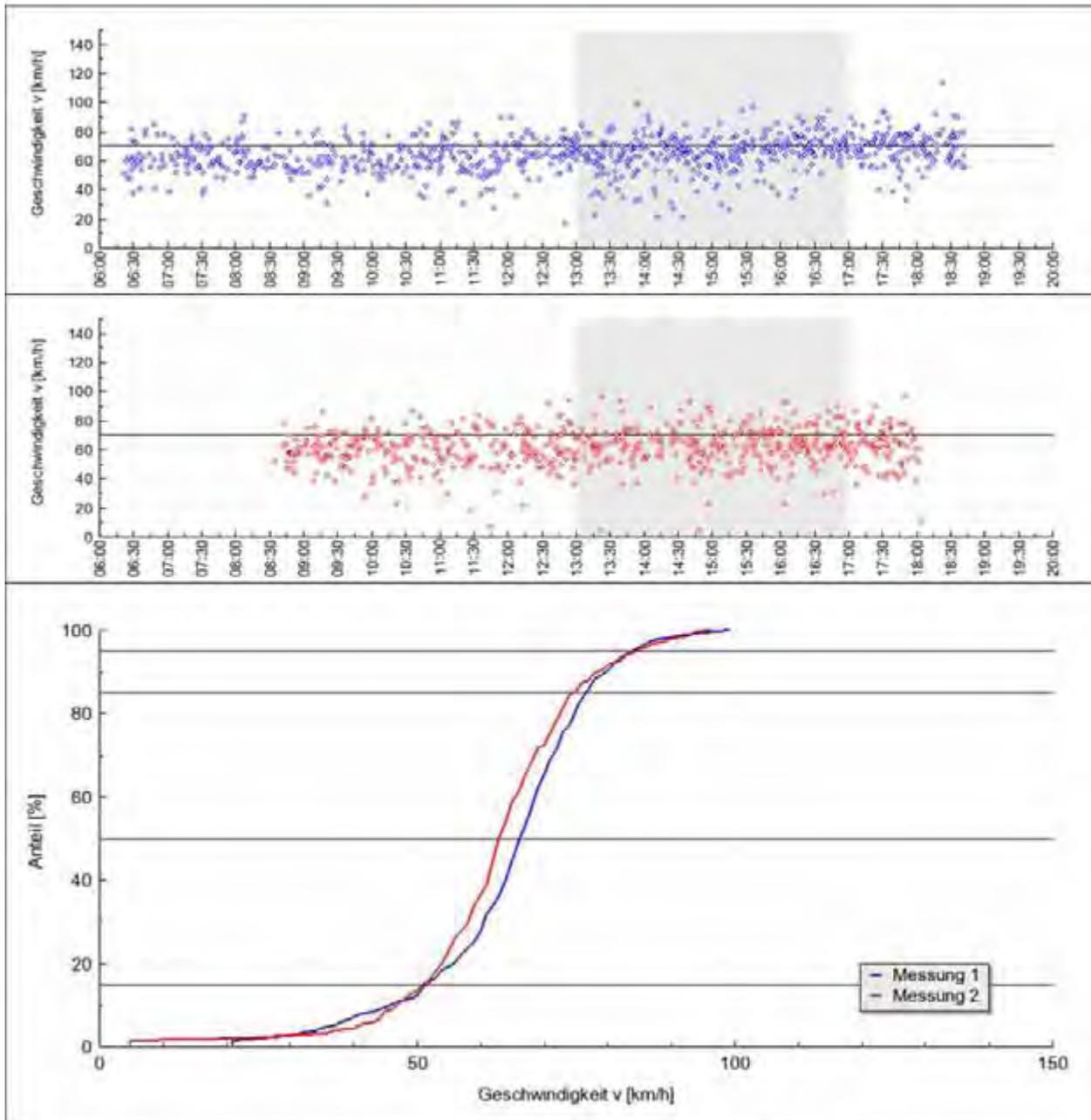
Messung 1	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 456,00
Messung 2	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-11-21 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 314 Kfz)	49,78	65,18	75,61	83,10
Messung 2 (Q = 284 Kfz)	47,37	60,31	71,82	78,90
Änderung (M1 - M2)	-2,41	-4,87	-3,79	-4,20

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	34,39	77,88	9,55	86,07
Messung 2	24,65	76,43	4,93	85,57
Änderung (M1 - M2)	-9,74	-1,45	-4,62	-0,50

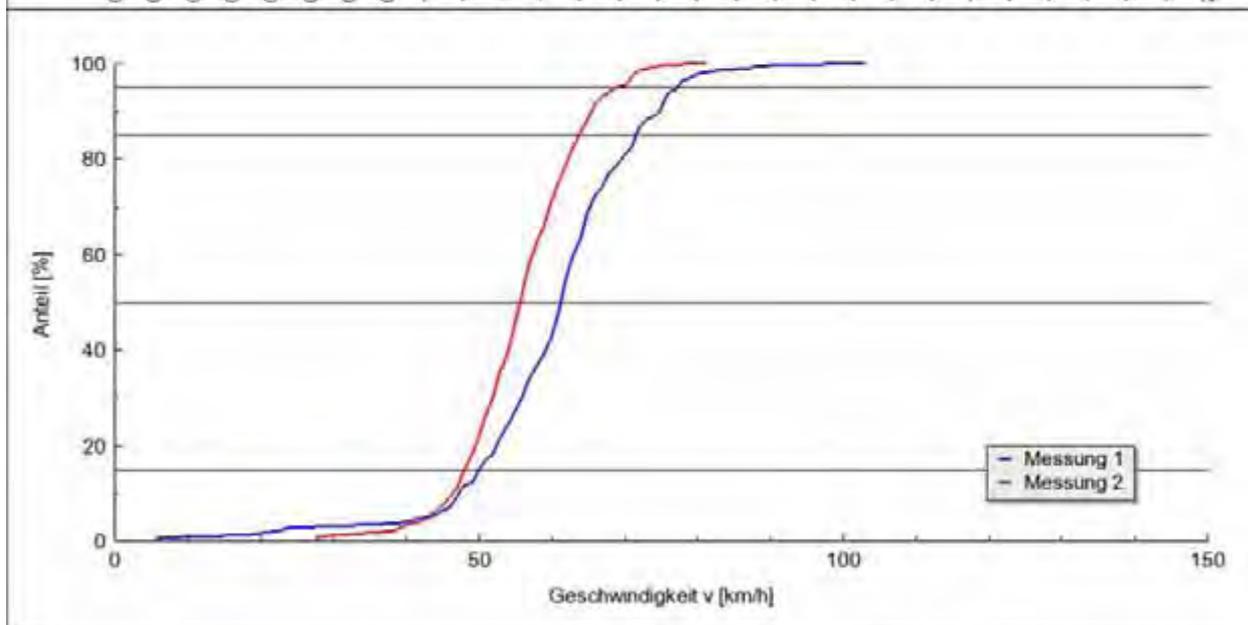
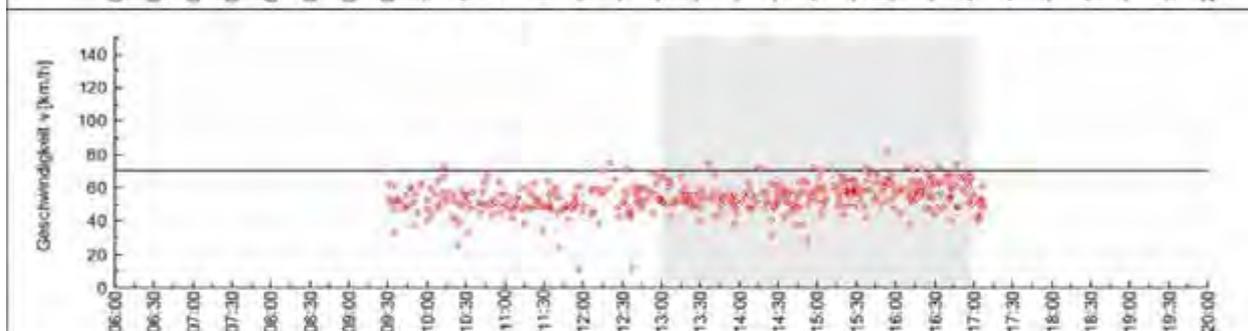
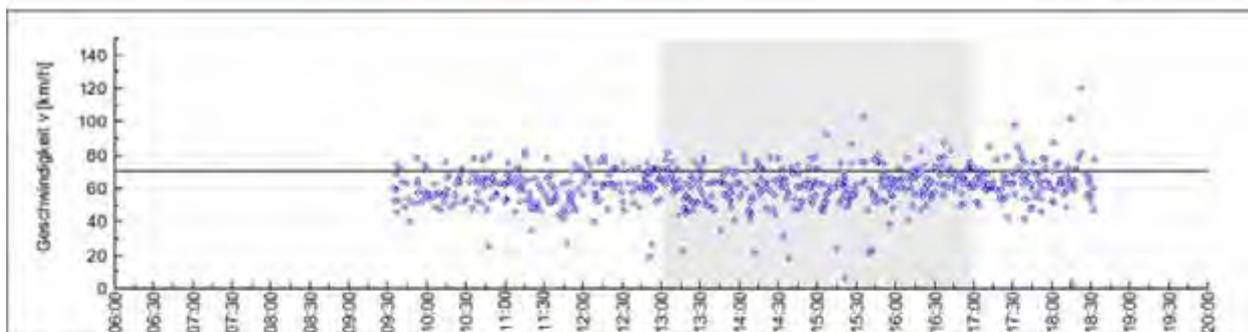
Messung 1	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 456,00
Messung 2	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2008-08-28 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 314 Kfz)	49,78	65,18	75,61	83,10
Messung 2 (Q = 293 Kfz)	49,99	61,97	73,53	83,45
Änderung (M1 - M2)	0,21	-3,21	-2,08	0,35

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	34,39	77,88	9,55	86,07
Messung 2	27,65	78,23	8,53	87,12
Änderung (M1 - M2)	-6,74	0,35	-1,02	1,05

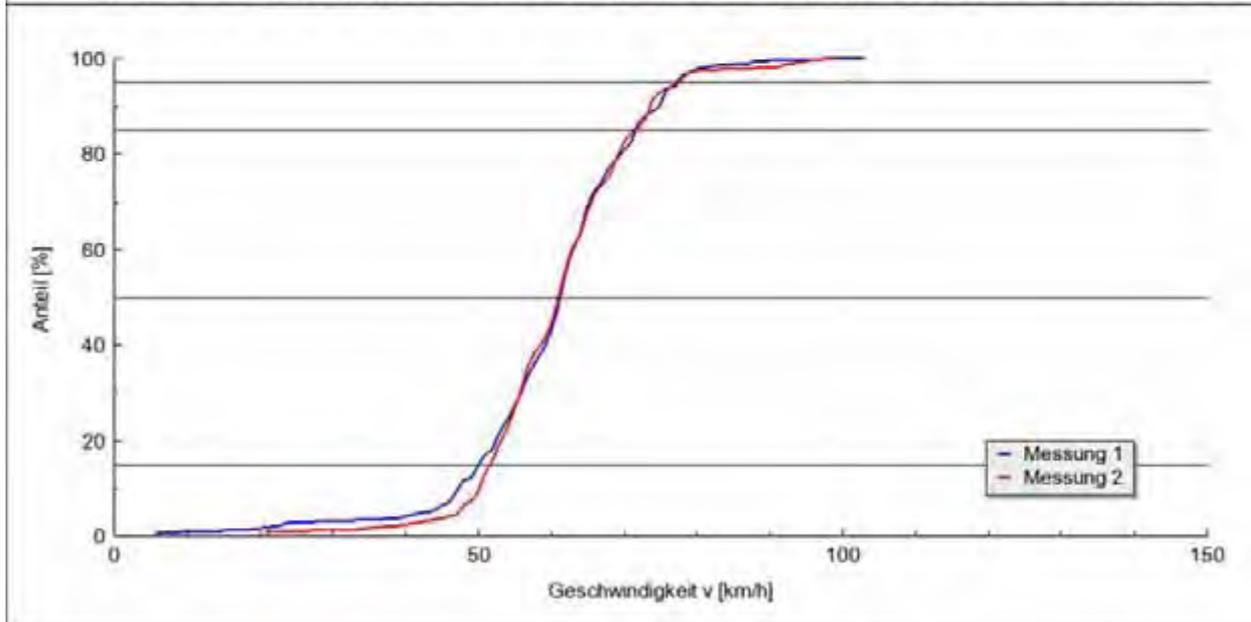
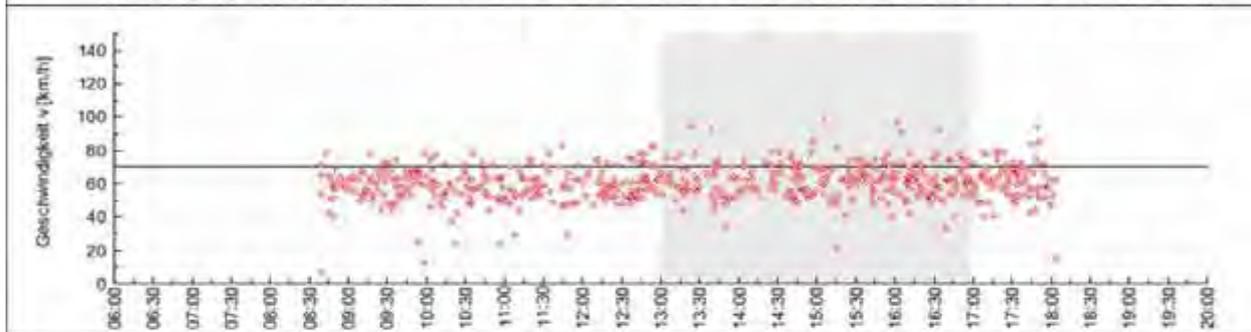
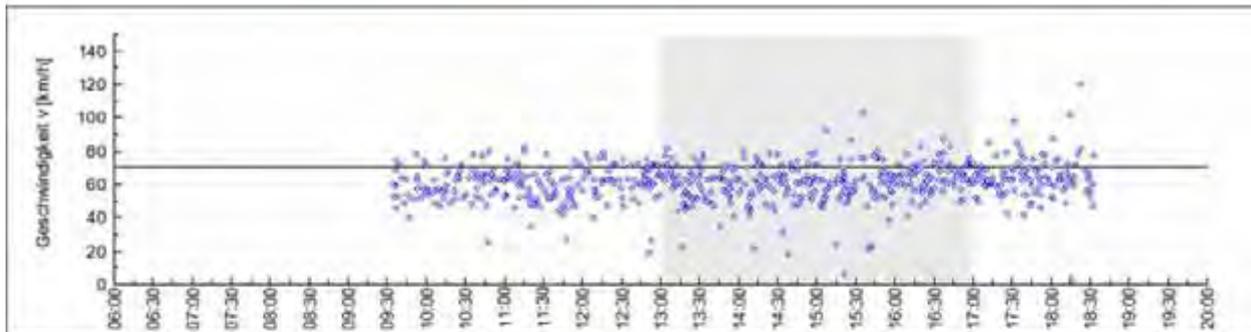
Messung 1	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 589.00
Messung 2	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-11-21 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 301 Kfz)	49,16	60,33	70,60	76,33
Messung 2 (Q = 278 Kfz)	47,08	54,74	62,73	68,10
Änderung (M1 - M2)	-2,08	-5,59	-7,87	-8,23

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	18,94	76,33	2,33	88,14
Messung 2	4,68	72,77	0,36	81,00
Änderung (M1 - M2)	-14,26	-3,56	-1,97	-7,14

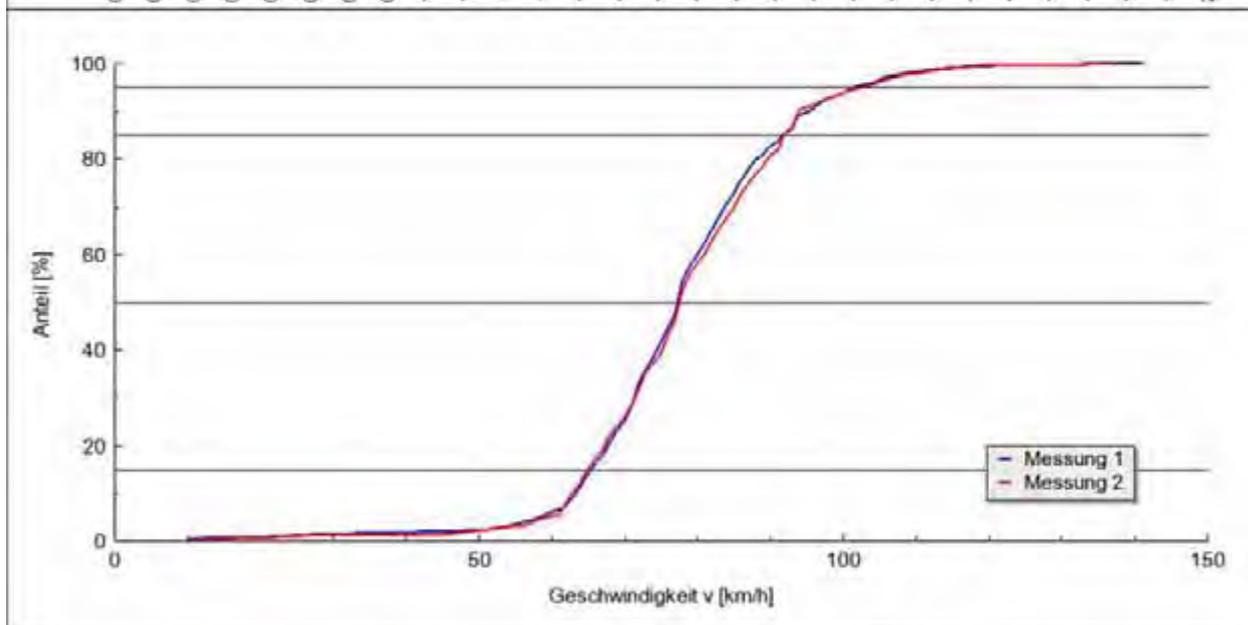
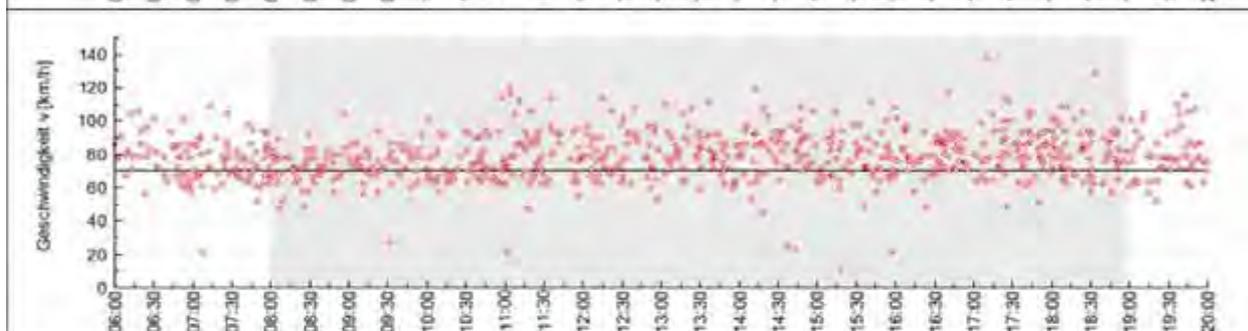
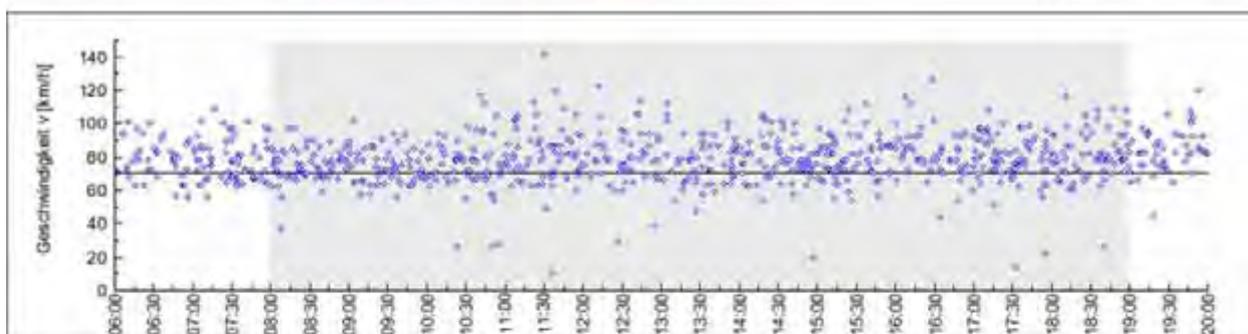
Messung 1	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	Station: 589.00
Messung 2	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2008-08-28 - mit Streifen Auswertzeitraum: 13:00:00 bis 17:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 301 Kfz)	49,16	60,33	70,60	76,33
Messung 2 (Q = 278 Kfz)	50,71	60,11	70,58	76,62
Änderung (M1 - M2)	1,55	-0,22	-0,02	0,29

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	18,94	76,33	2,33	88,14
Messung 2	17,27	77,40	2,88	91,38
Änderung (M1 - M2)	-1,67	1,07	0,55	3,24

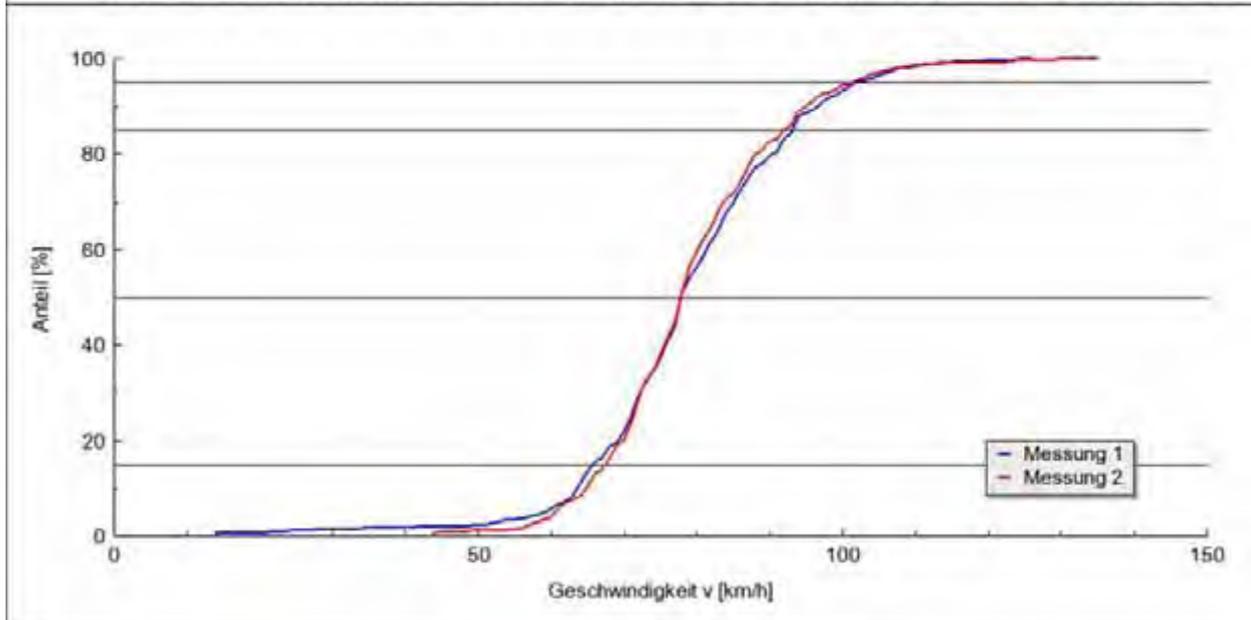
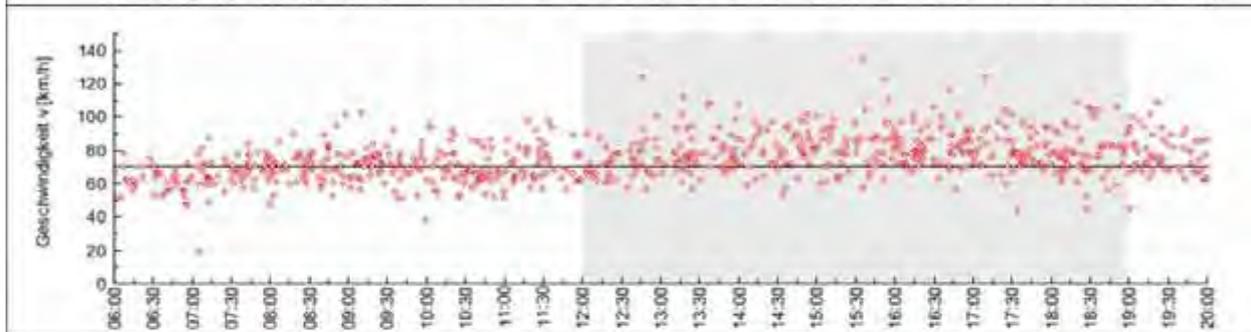
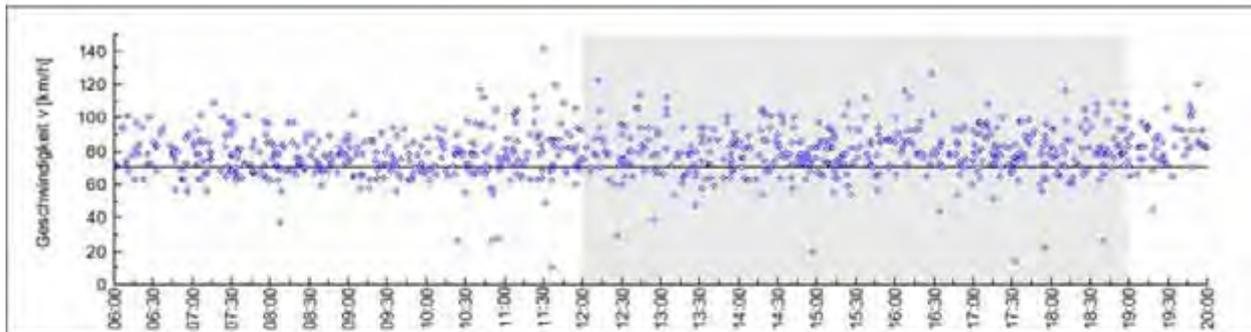
Messung 1	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-11-21 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 690 Kfz)	64,47	76,38	90,79	100,64
Messung 2 (Q = 650 Kfz)	64,04	76,62	90,93	101,75
Änderung (M1 - M2)	-0,43	0,24	0,14	1,11

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	74,78	84,02	40,29	91,28
Messung 2	74,00	84,73	42,00	91,58
Änderung (M1 - M2)	-0,78	0,71	1,71	0,30

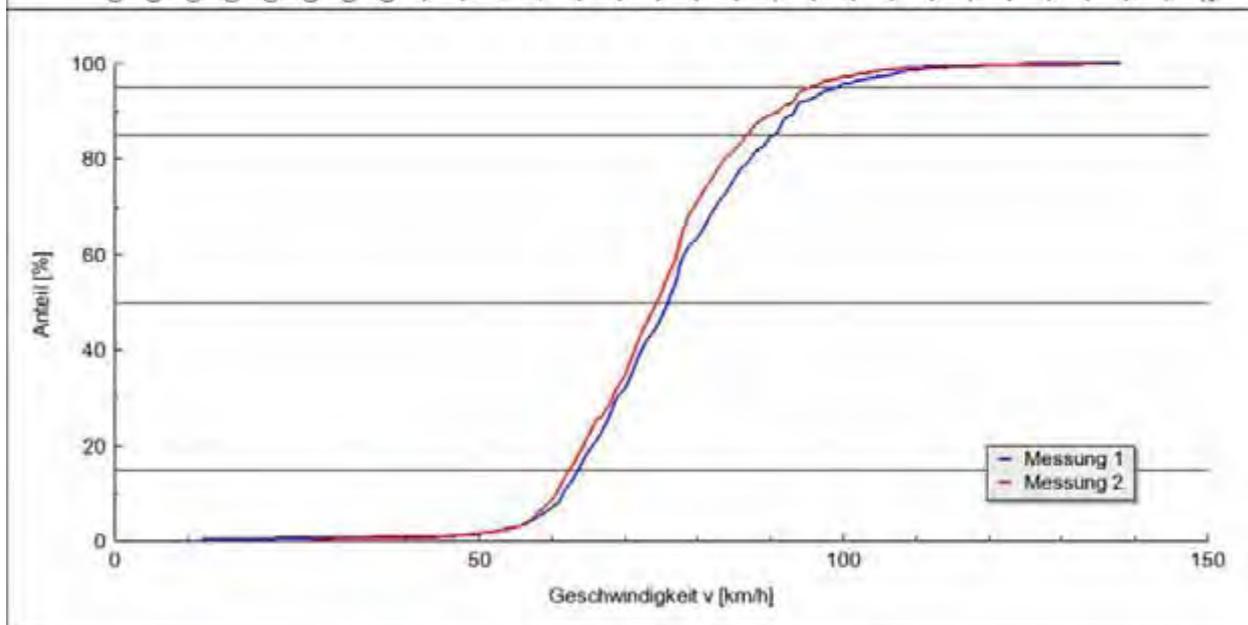
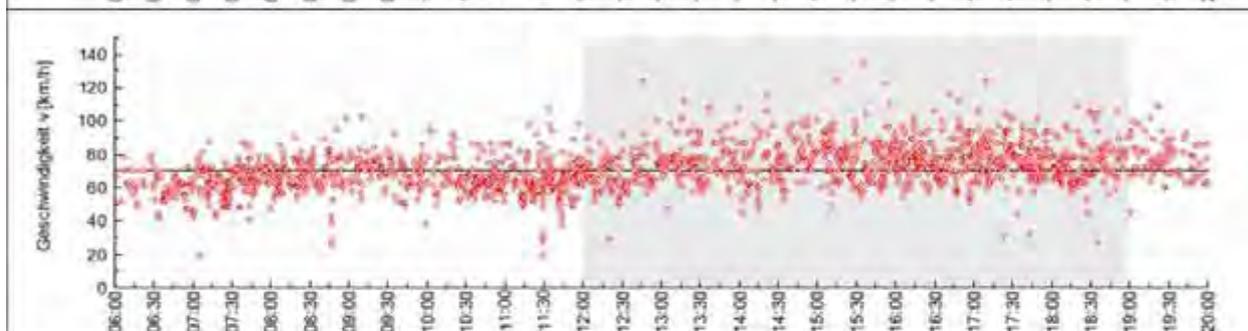
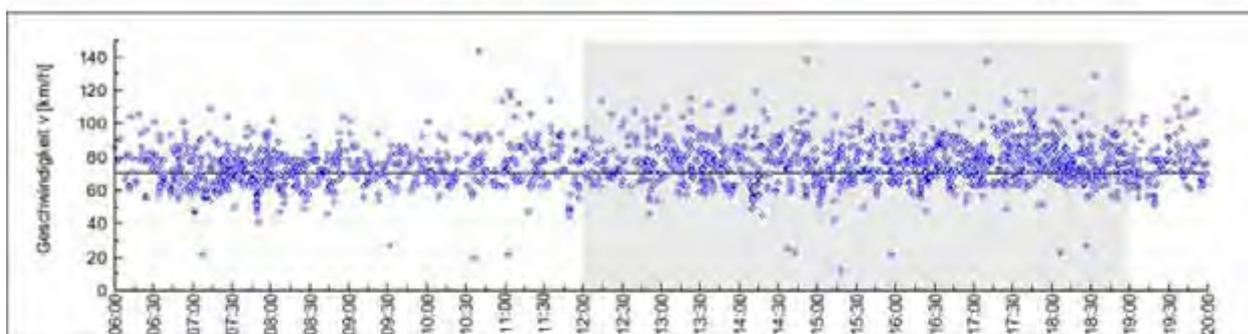
Messung 1	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2007-10-11 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 12:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung L.257 Buir-Morschenich - 2008-08-28 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 12:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 436 Kfz)	64,82	76,93	92,11	100,84
Messung 2 (Q = 424 Kfz)	66,56	76,96	90,93	100,45
Änderung (M1 - M2)	1,74	0,03	-1,18	-0,39

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	78,21	84,50	44,04	91,42
Messung 2	79,72	83,65	40,80	91,23
Änderung (M1 - M2)	1,51	-0,85	-3,24	-0,19

Messung 1	Messung L257 Buir-Morschenich - 2007-11-21 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 12:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung L257 Buir-Morschenich - 2008-08-28 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 12:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



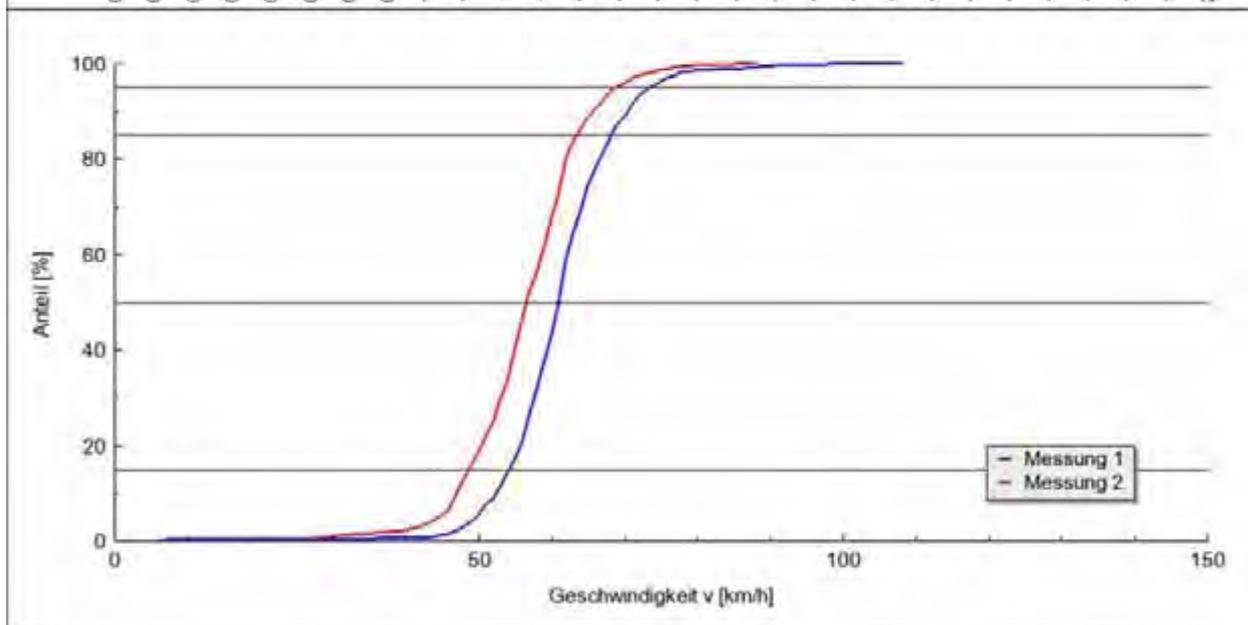
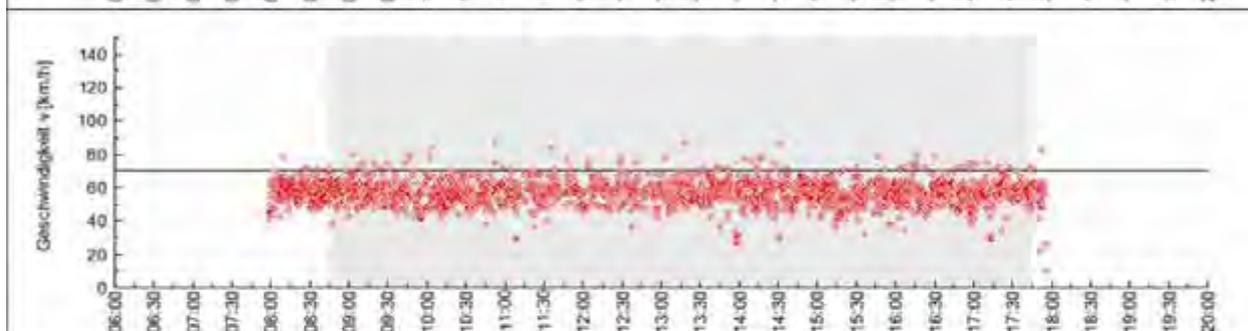
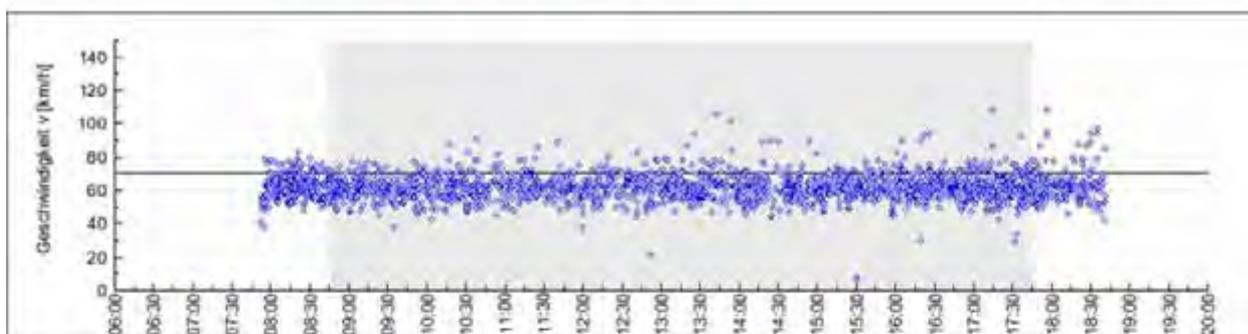
Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 429 Kfz)	65,42	78,21	92,31	103,28
Messung 2 (Q = 424 Kfz)	66,56	76,96	90,93	100,45
Änderung (M1 - M2)	1,14	-1,25	-1,38	-2,83

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	79,02	85,65	48,72	91,79
Messung 2	79,72	83,65	40,80	91,23
Änderung (M1 - M2)	0,70	-2,00	-7,92	-0,56

8.5 B399 Fahrtrichtung Gey (gesamtes Fahrzeugkollektiv)

Station	Datum		Kfz		v _m		Statistik		
	V	n	v	n	v	n	D _{max}	D _{krit}	Sign.
0	13.09.07	04.06.08	1817	1623	61,73	57,07	0,259	0,046	ja
0	13.09.07	10.06.08	1817	1716	61,73	53,74	0,430	0,046	ja
0	10.10.07	04.06.08	1784	1623	59,00	57,07	0,110	0,047	ja
0	10.10.07	10.06.08	1784	1716	59,00	53,74	0,281	0,046	ja
304	13.09.07	04.06.08	1848	1619	57,26	50,87	0,330	0,046	ja
304	13.09.07	10.06.08	1848	1739	57,26	50,20	0,369	0,045	ja
304	10.10.07	04.06.08	1804	1619	57,17	50,87	0,302	0,047	ja
304	10.10.07	10.06.08	1804	1739	57,17	50,20	0,342	0,046	ja
402	13.09.07	04.06.08	1854	1635	51,85	48,78	0,178	0,046	ja
402	13.09.07	10.06.08	1854	1713	51,85	50,63	0,088	0,046	ja
402	10.10.07	04.06.08	1827	1635	51,26	48,78	0,148	0,046	ja
402	10.10.07	10.06.08	1827	1713	51,26	50,63	0,056	0,046	ja
KG	13.09.07	10.10.07	1197	2065	81,02	81,56	0,057	0,049	ja
KG	13.09.07	04.06.08	1197	2108	81,02	82,36	0,066	0,049	ja
KG	10.10.07	04.06.08	2065	2108	82,56	82,36	0,019	0,042	nein

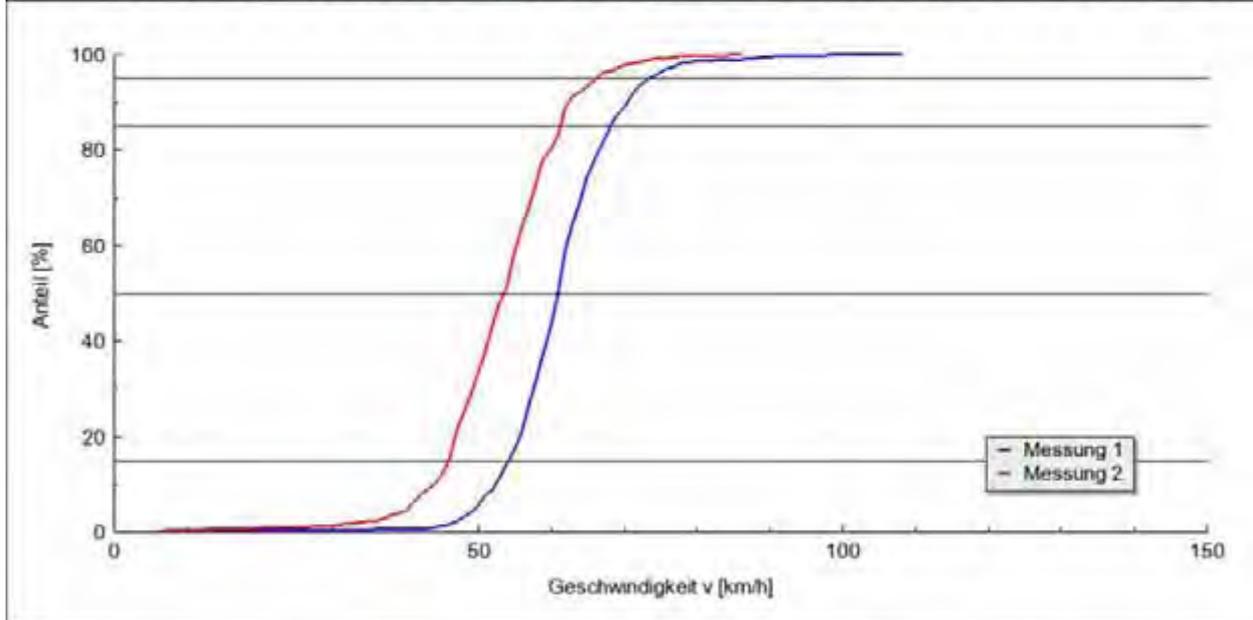
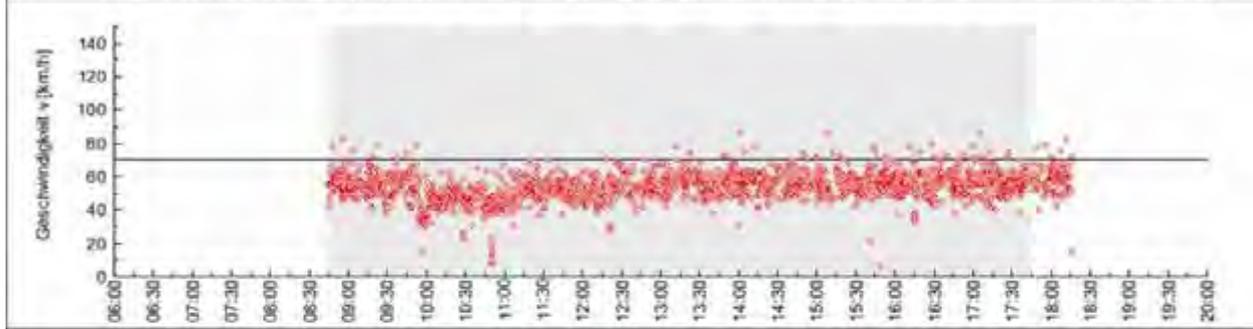
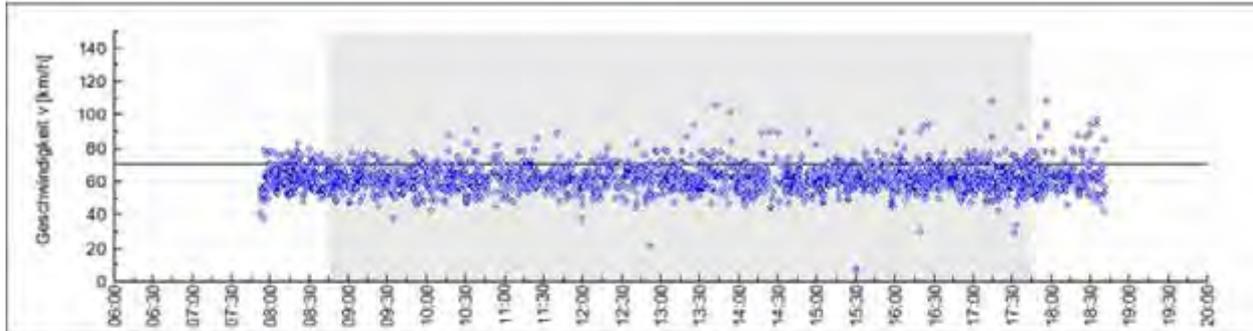
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 0,00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70$ km/h



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1817 Kfz)	53,26	60,06	67,20	72,56
Messung 2 (Q = 1625 Kfz)	47,67	55,64	62,45	67,85
Änderung (M1 - M2)	-5,59	-4,42	-4,75	-4,71

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10$ km/h	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	11,01	75,73	1,43	89,77
Messung 2	4,06	74,88	0,31	85,80
Änderung (M1 - M2)	-6,95	-0,85	-1,12	-3,97

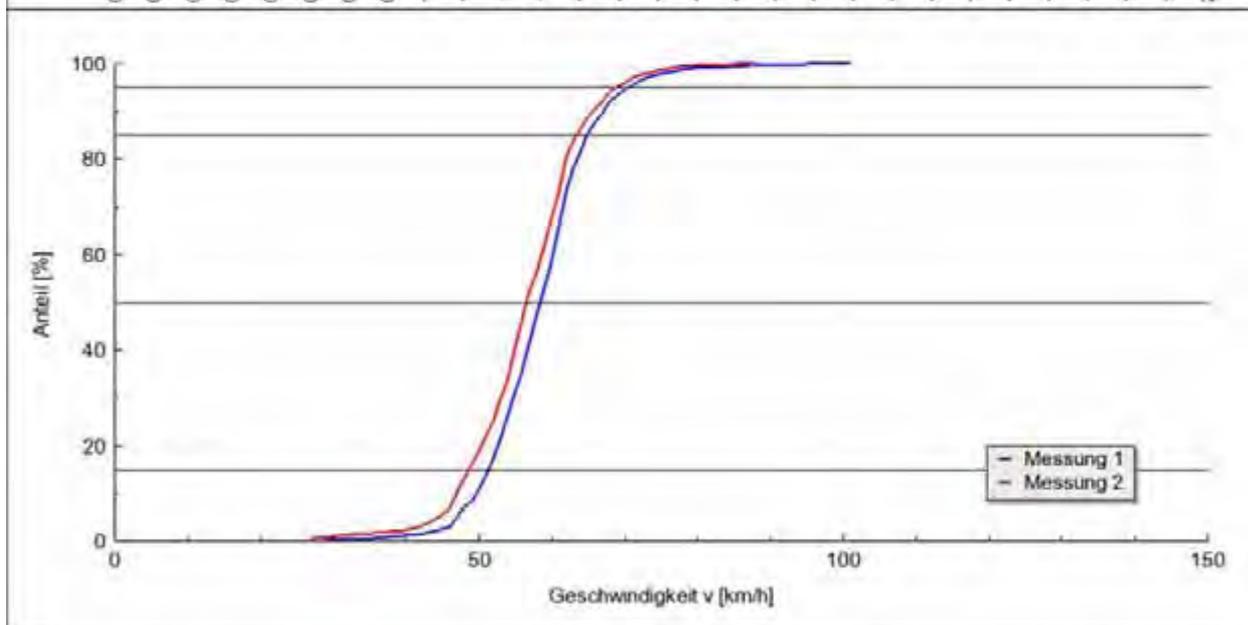
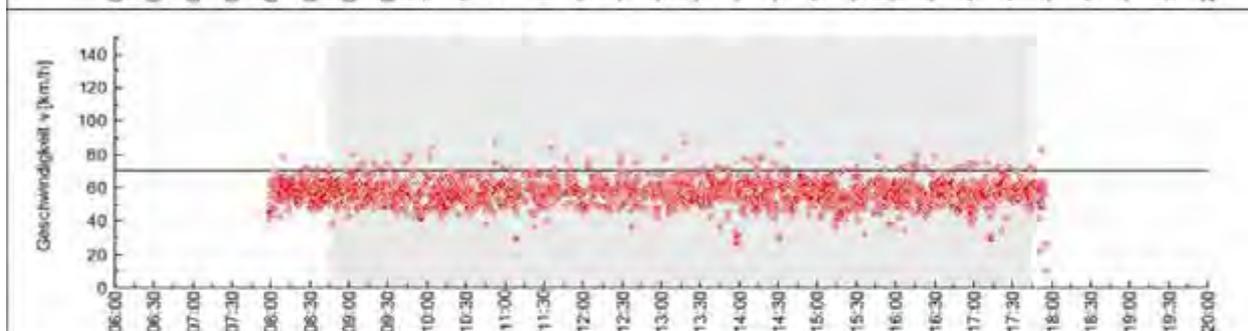
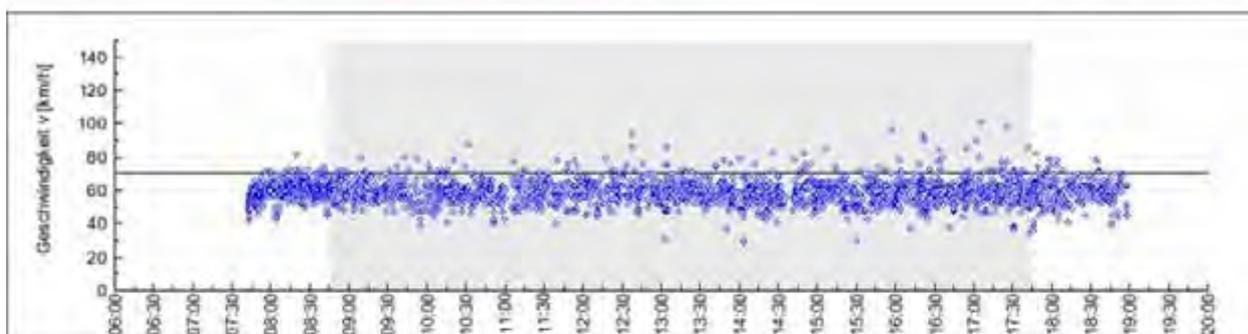
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - ohne Streifen Auswertezeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 0.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-10 - mit Streifen und Polizei Auswertezeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1817 Kfz)	53,26	60,06	67,20	72,56
Messung 2 (Q = 1716 Kfz)	45,08	52,58	60,32	65,11
Änderung (M1 - M2)	-8,18	-7,48	-6,88	-7,45

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	11,01	75,73	1,43	89,77
Messung 2	2,33	75,33	0,23	85,25
Änderung (M1 - M2)	-8,68	-0,40	-1,20	-4,52

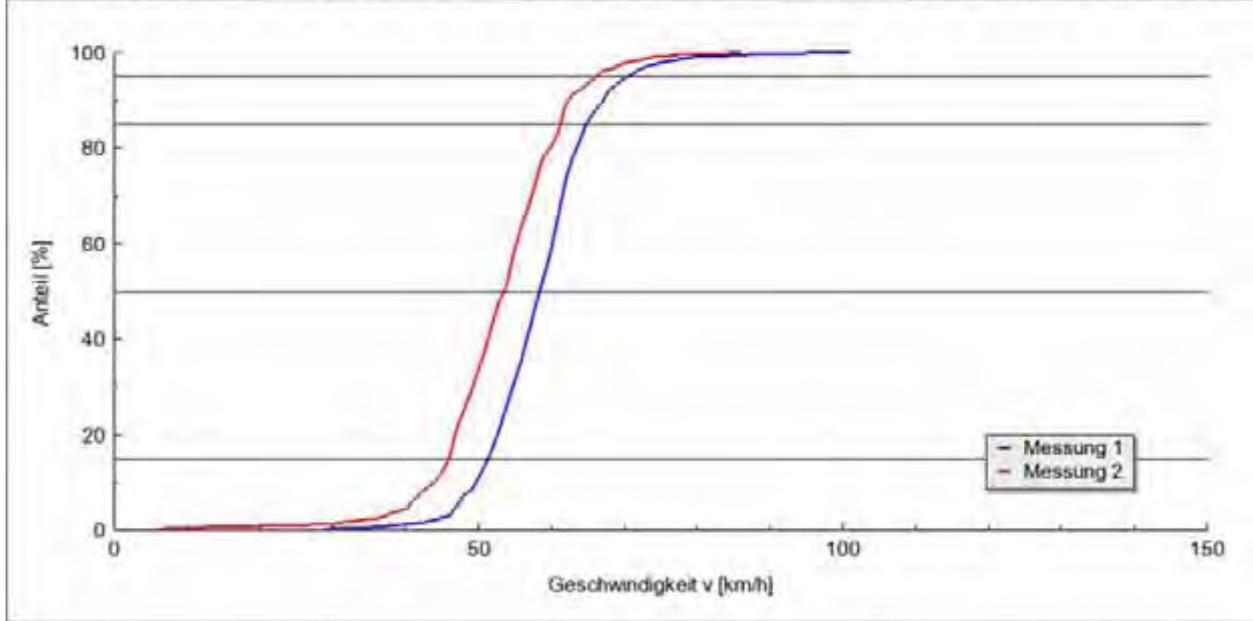
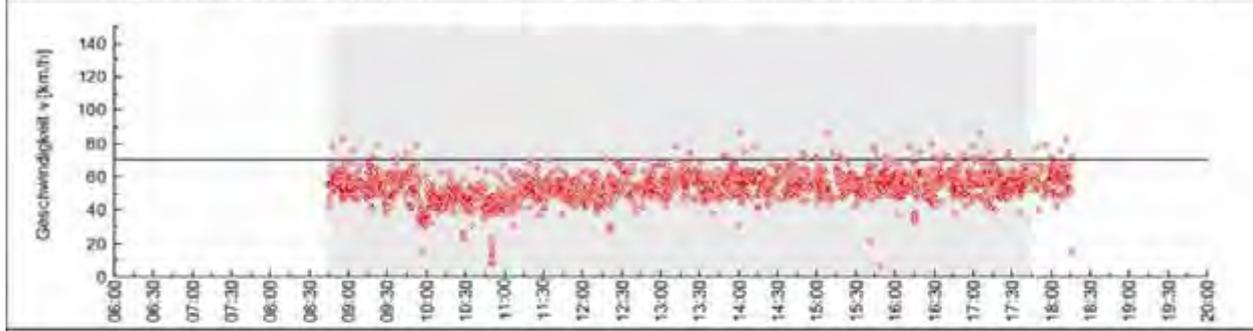
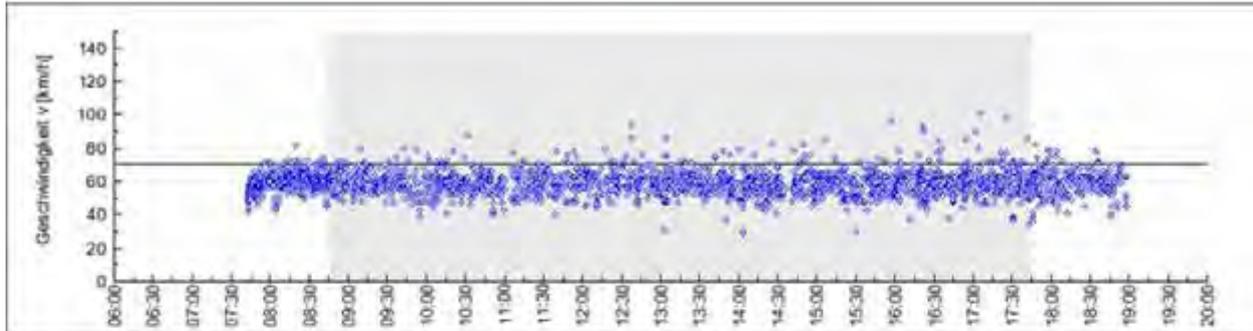
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 0,00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70$ km/h



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1784 Kfz)	50,44	57,49	63,91	69,68
Messung 2 (Q = 1625 Kfz)	47,67	55,64	62,45	67,85
Änderung (M1 - M2)	-2,77	-1,85	-1,46	-1,83

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10$ km/h	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	5,61	76,34	0,90	89,19
Messung 2	4,06	74,88	0,31	85,80
Änderung (M1 - M2)	-1,55	-1,46	-0,59	-3,39

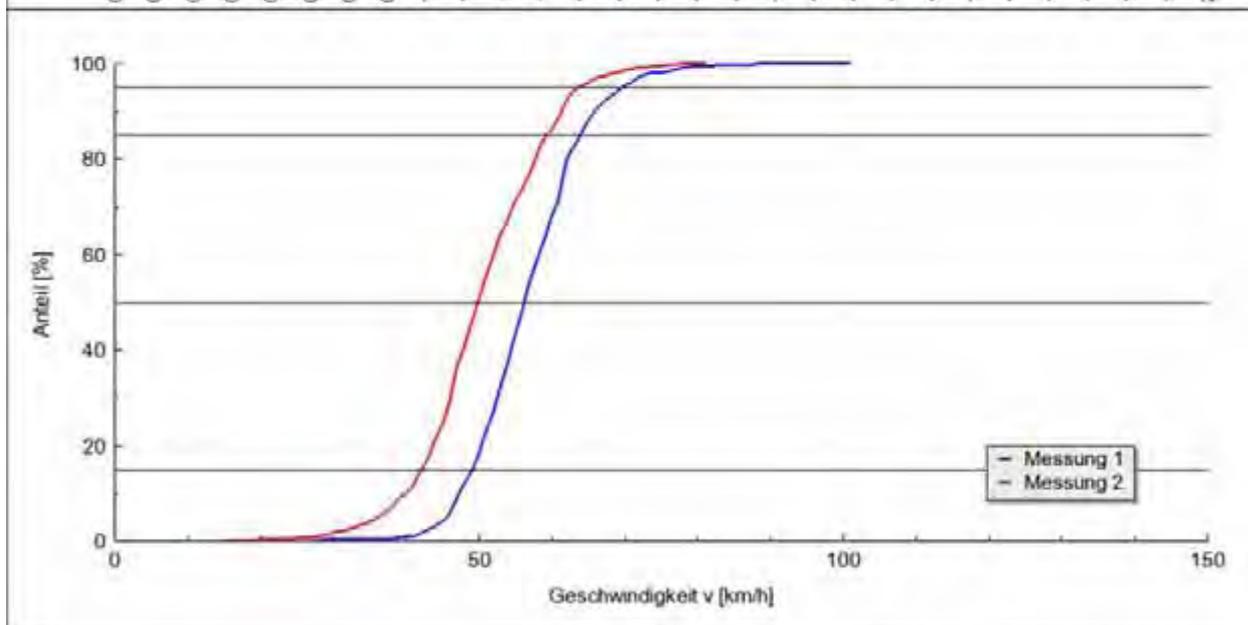
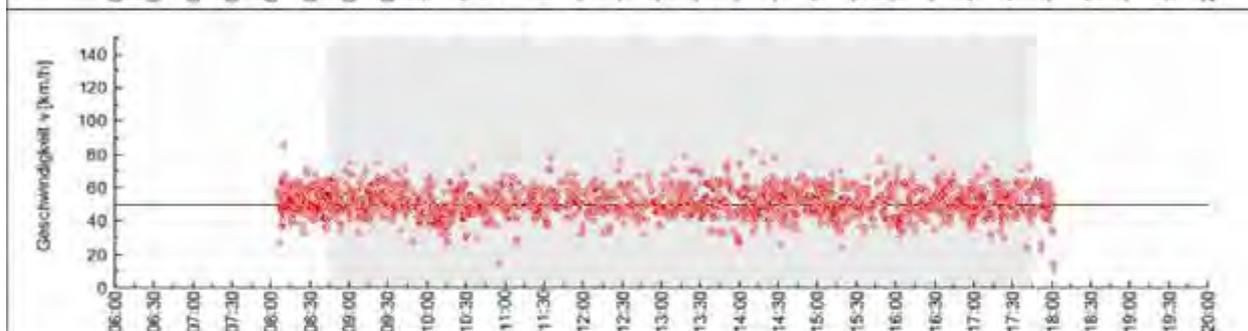
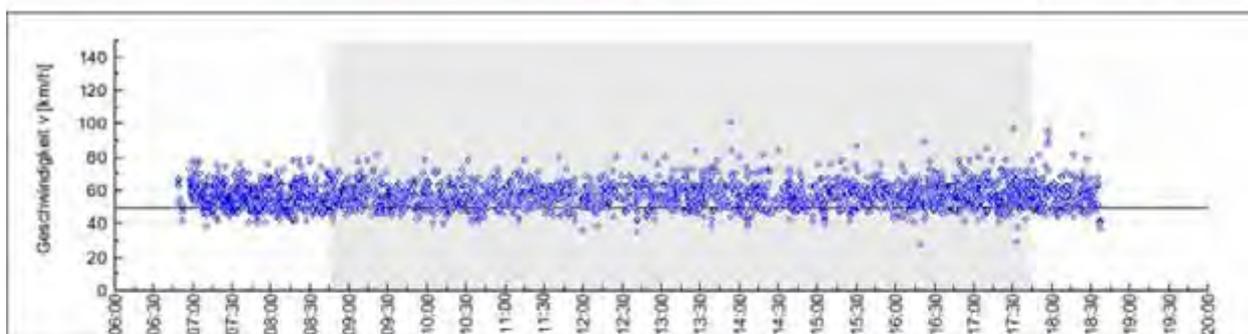
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - ohne Streifen Auswertezeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 0.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-10 - mit Streifen und Polizei Auswertezeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1784 Kfz)	50,44	57,49	63,91	69,68
Messung 2 (Q = 1716 Kfz)	45,08	52,58	60,32	65,11
Änderung (M1 - M2)	-5,36	-4,91	-3,59	-4,57

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	5,61	76,34	0,90	89,19
Messung 2	2,33	75,33	0,23	85,25
Änderung (M1 - M2)	-3,28	-1,01	-0,67	-3,94

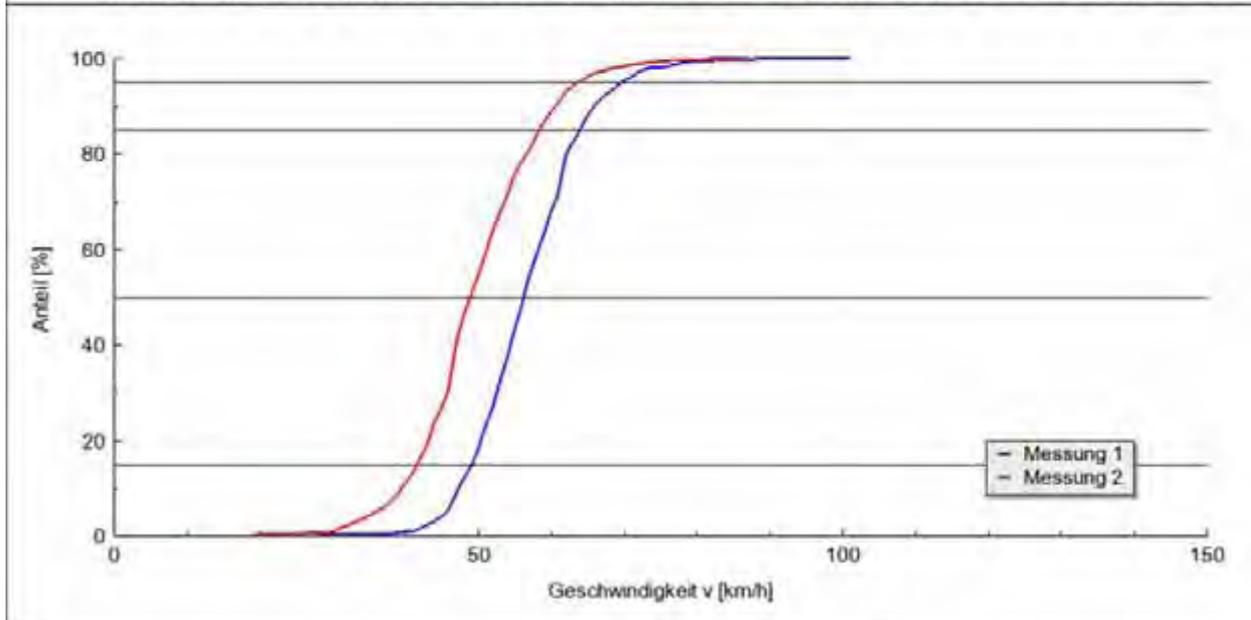
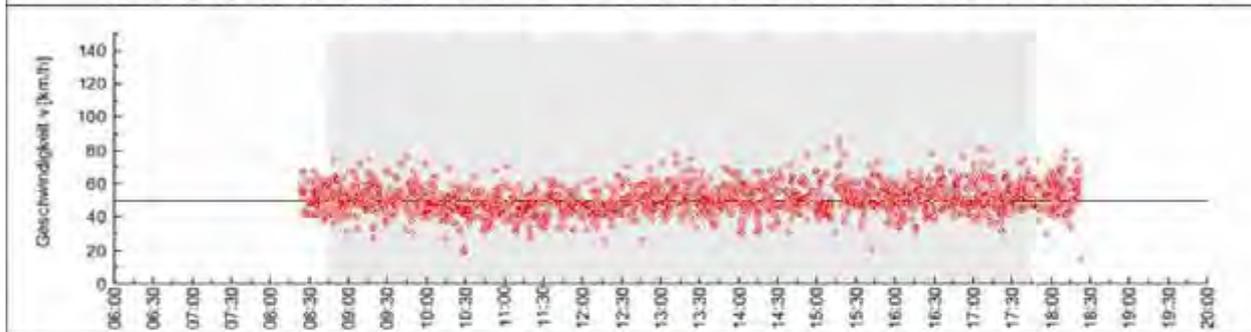
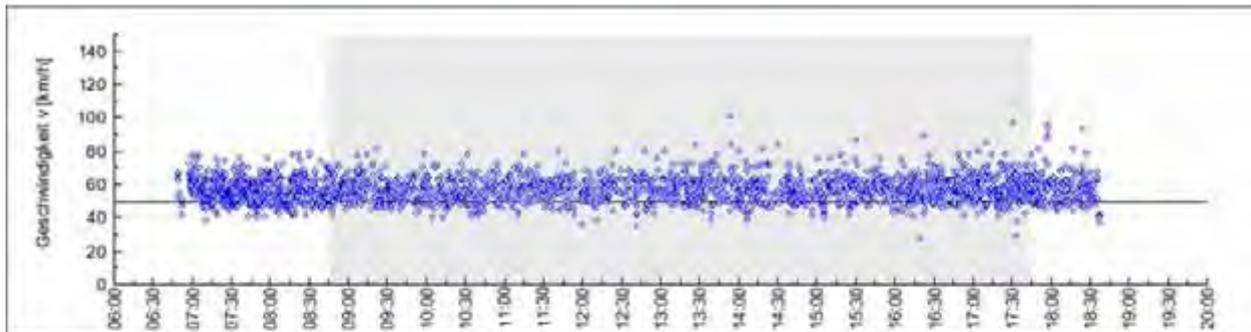
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 304.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1848 Kfz)	48,13	55,31	63,01	68,74
Messung 2 (Q = 1619 Kfz)	41,20	48,91	58,44	62,75
Änderung (M1 - M2)	-6,93	-6,40	-4,57	-5,99

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	81,93	59,53	32,14	65,70
Messung 2	49,60	57,69	13,90	64,61
Änderung (M1 - M2)	-32,33	-1,84	-18,24	-1,09

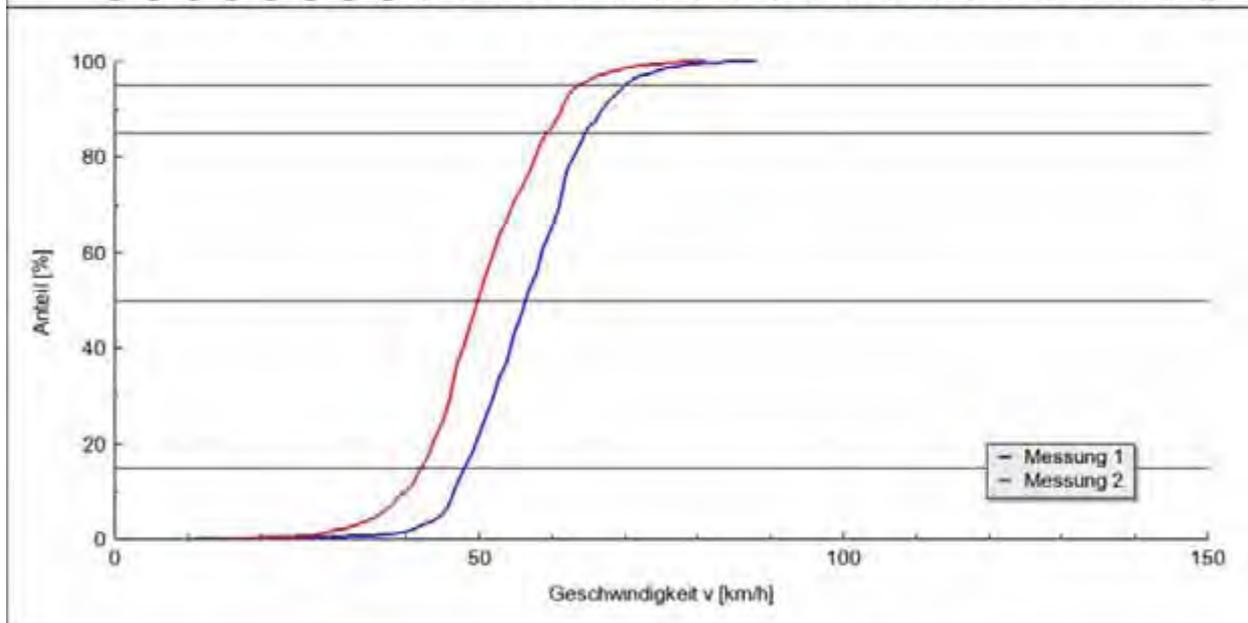
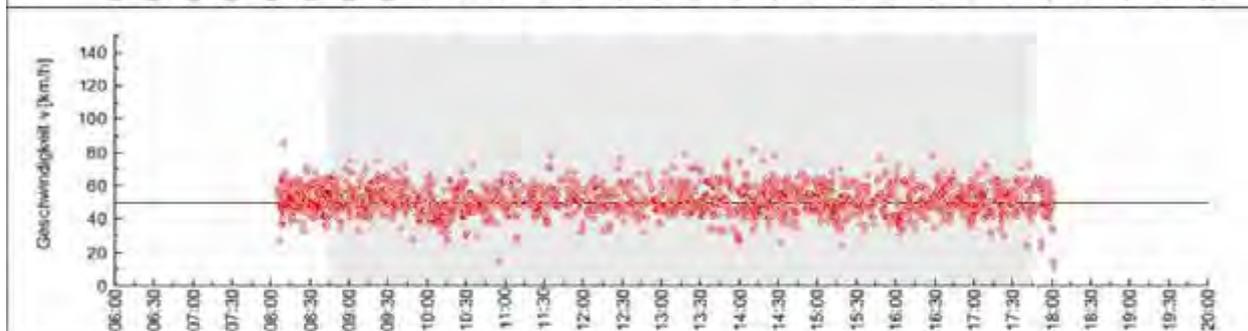
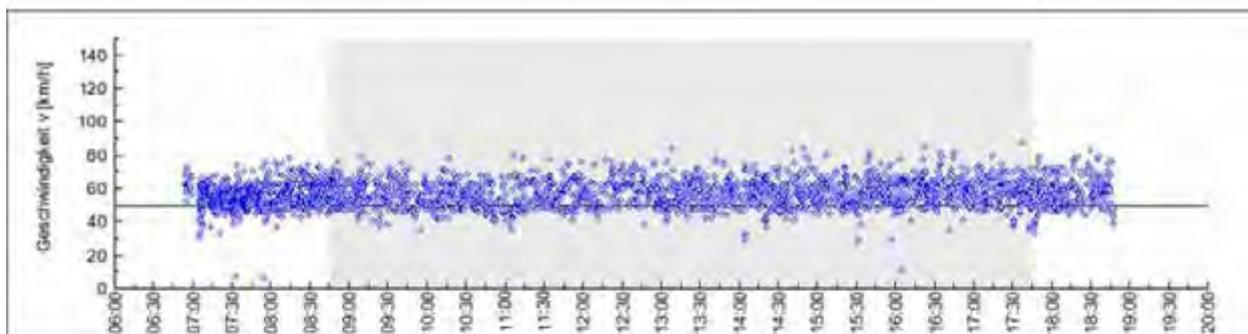
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 304,00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-10 - mit Streifen und Polizei Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1848 Kfz)	48,13	55,31	63,01	68,74
Messung 2 (Q = 1739 Kfz)	40,70	47,91	57,45	62,79
Änderung (M1 - M2)	-7,43	-7,40	-5,56	-5,95

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	81,93	59,53	32,14	65,70
Messung 2	45,72	57,43	11,10	65,41
Änderung (M1 - M2)	-36,21	-2,10	-21,04	-0,29

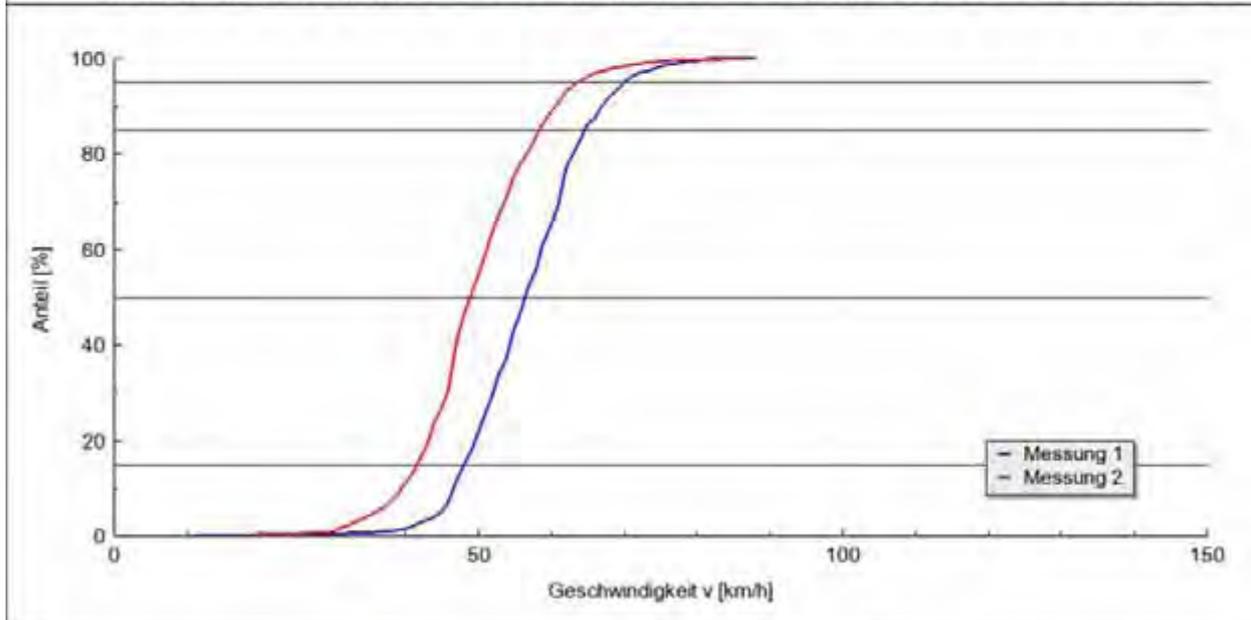
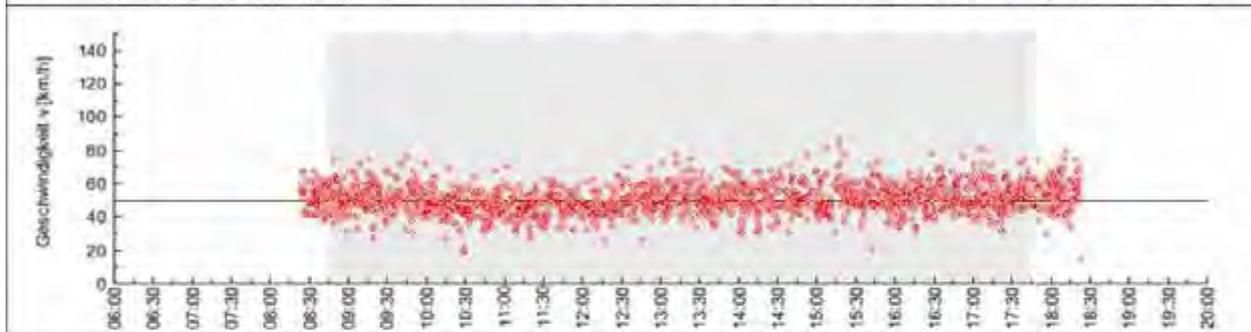
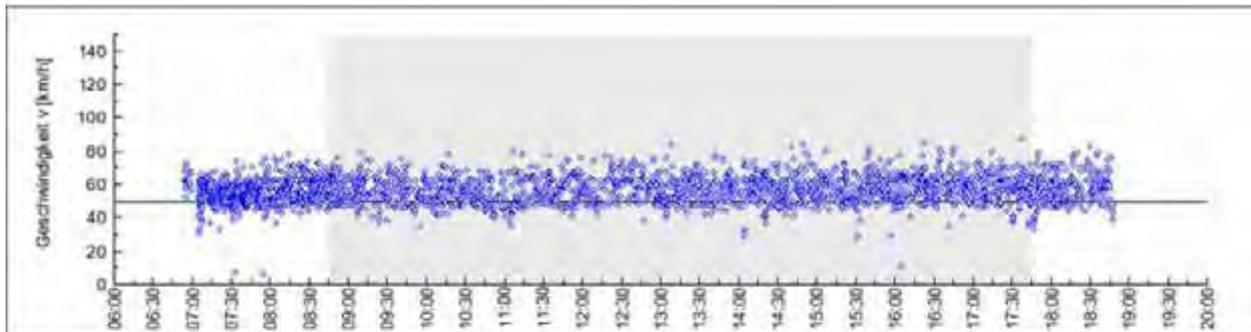
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 304.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1804 Kfz)	47,12	55,53	63,66	69,04
Messung 2 (Q = 1619 Kfz)	41,20	48,91	58,44	62,75
Änderung (M1 - M2)	-5,92	-6,62	-5,22	-6,29

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	78,55	60,10	34,81	65,79
Messung 2	49,60	57,69	13,90	64,61
Änderung (M1 - M2)	-28,95	-2,41	-20,91	-1,18

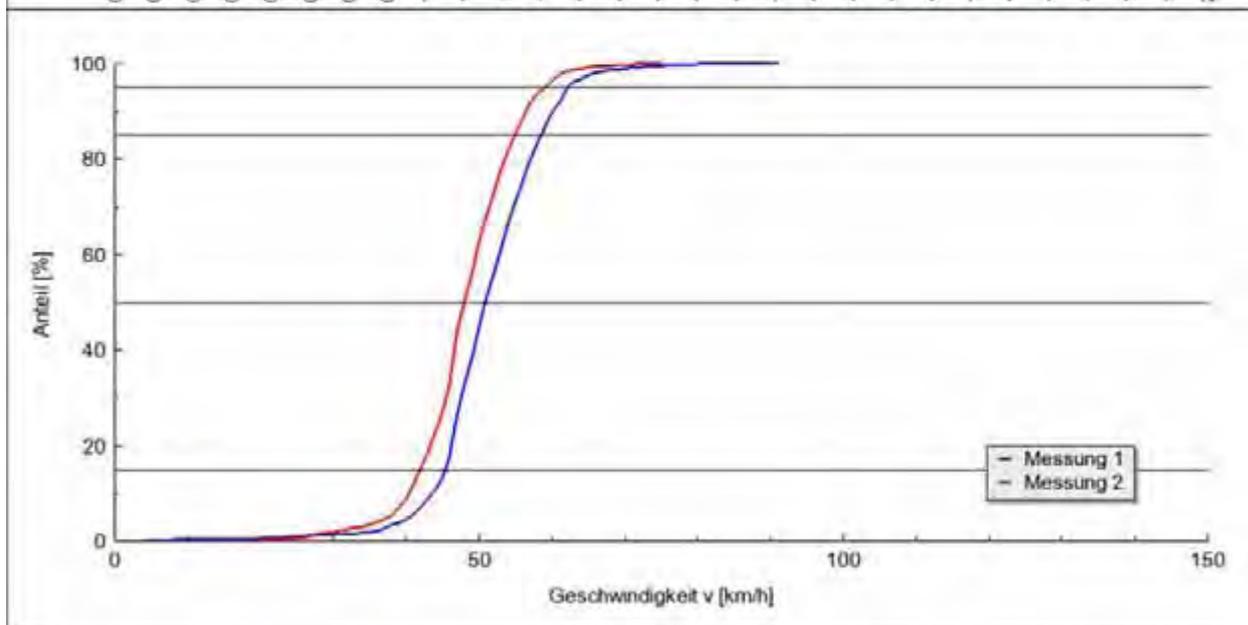
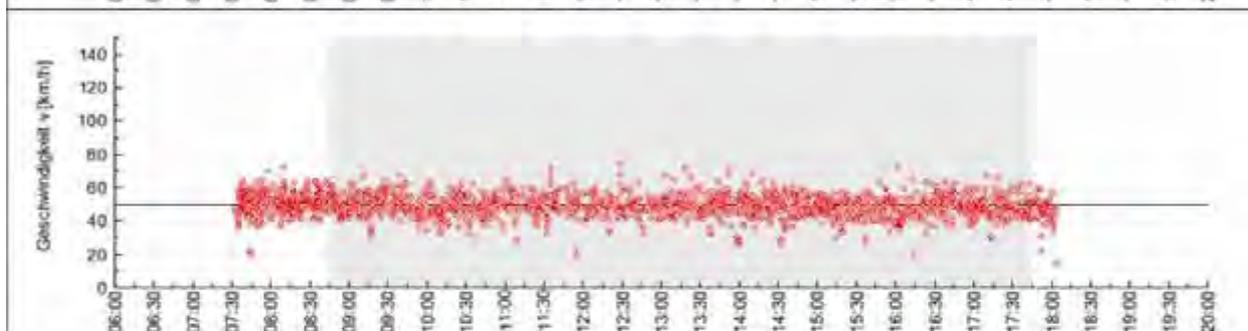
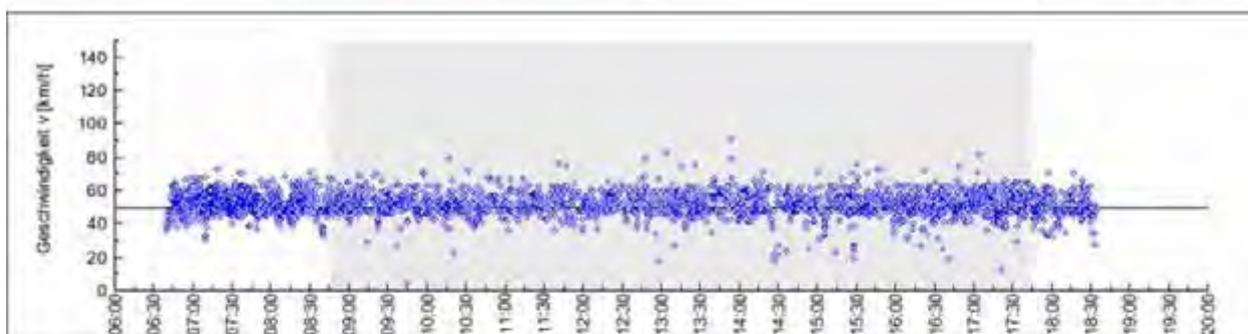
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 304,00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-10 - mit Streifen und Polizei Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1804 Kfz)	47,12	55,53	63,66	69,04
Messung 2 (Q = 1739 Kfz)	40,70	47,91	57,45	62,79
Änderung (M1 - M2)	-6,42	-7,62	-6,21	-6,25

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	78,55	60,10	34,81	65,79
Messung 2	45,72	57,43	11,10	65,41
Änderung (M1 - M2)	-32,83	-2,67	-23,71	-0,38

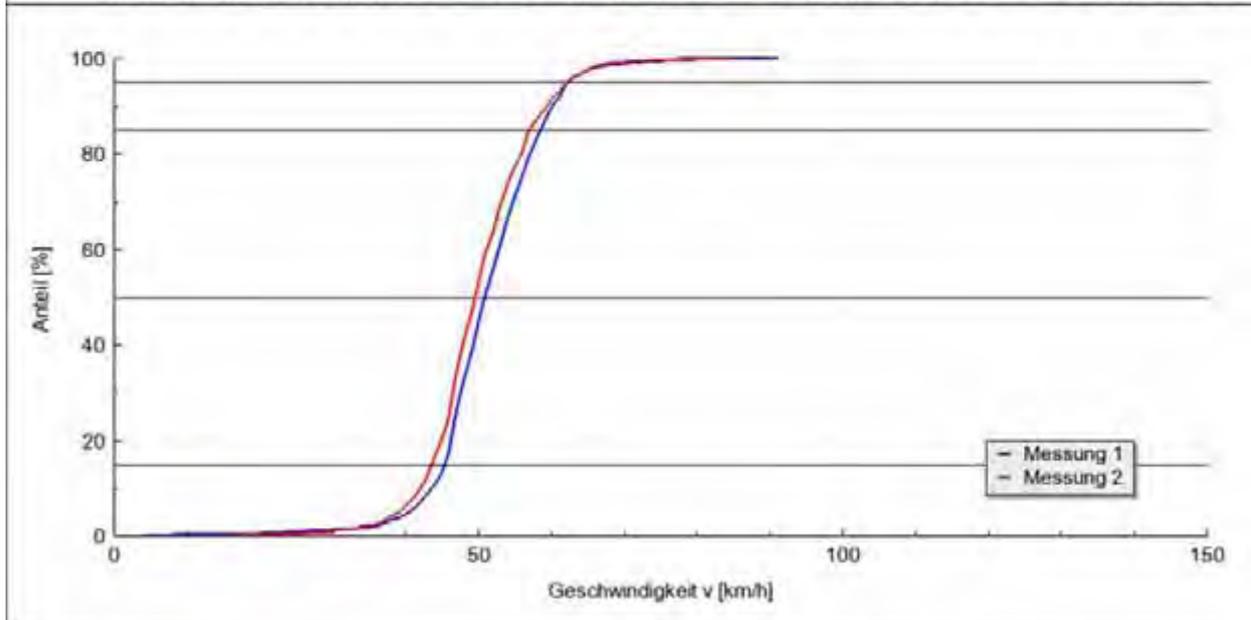
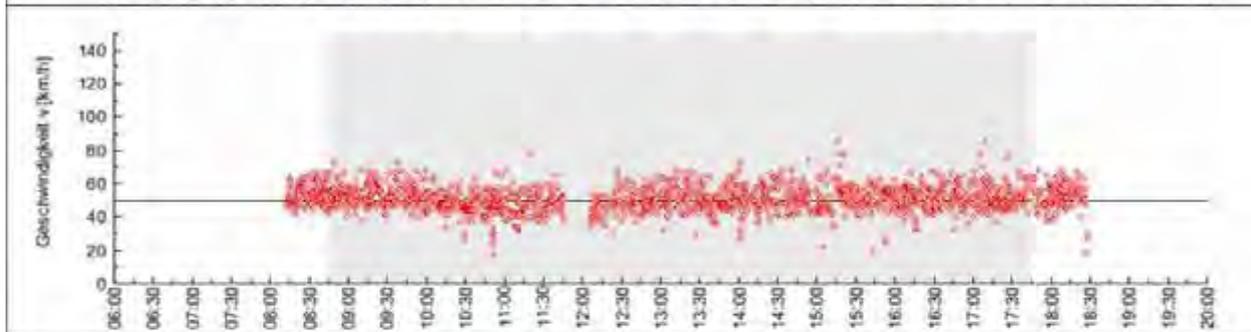
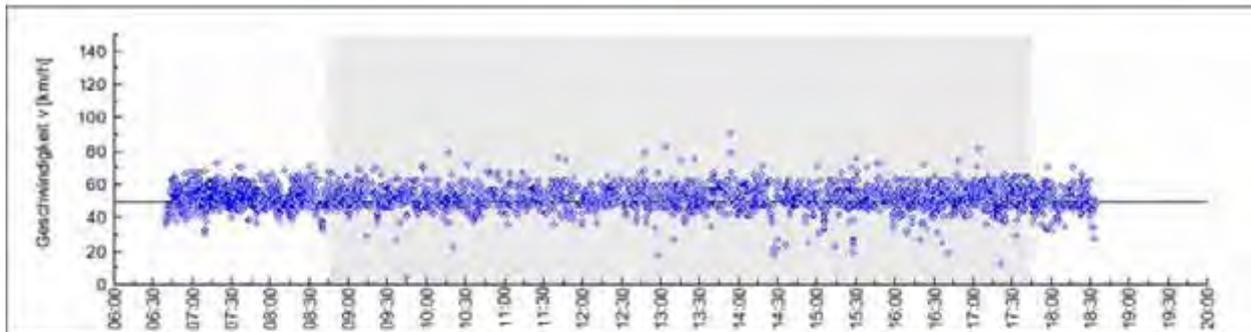
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 402.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1854 Kfz)	44,44	50,02	57,60	61,32
Messung 2 (Q = 1636 Kfz)	41,04	47,05	54,03	58,19
Änderung (M1 - M2)	-3,40	-2,97	-3,57	-3,13

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	55,83	56,73	10,30	64,53
Messung 2	37,96	55,29	3,67	63,83
Änderung (M1 - M2)	-17,87	-1,44	-6,63	-0,70

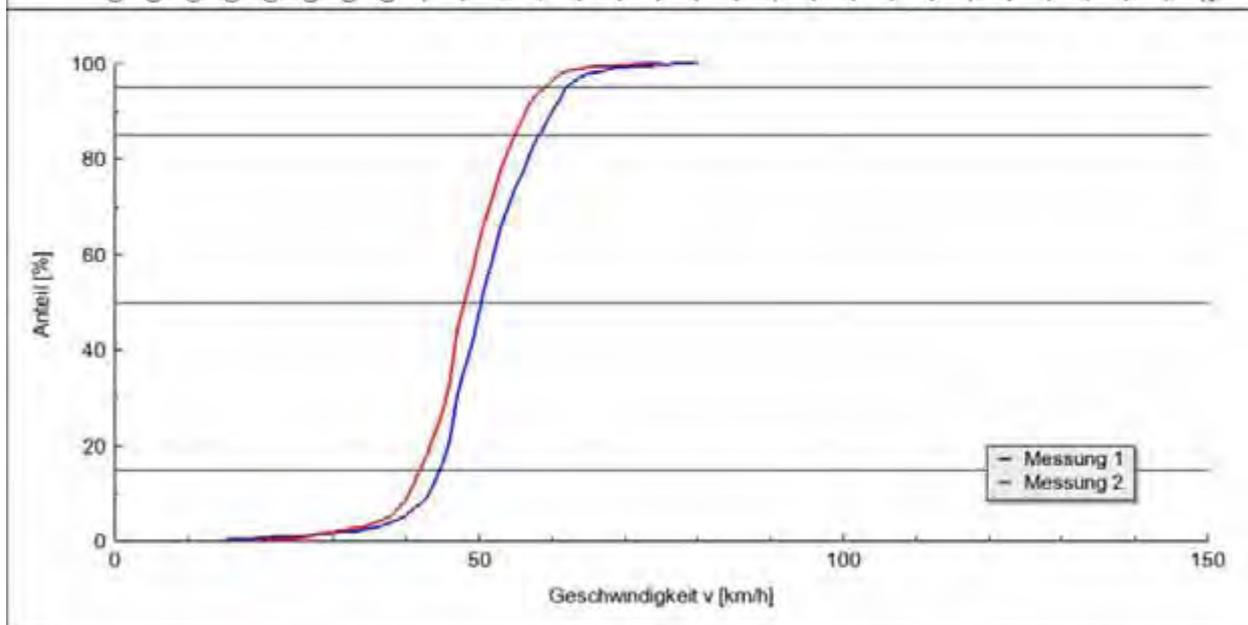
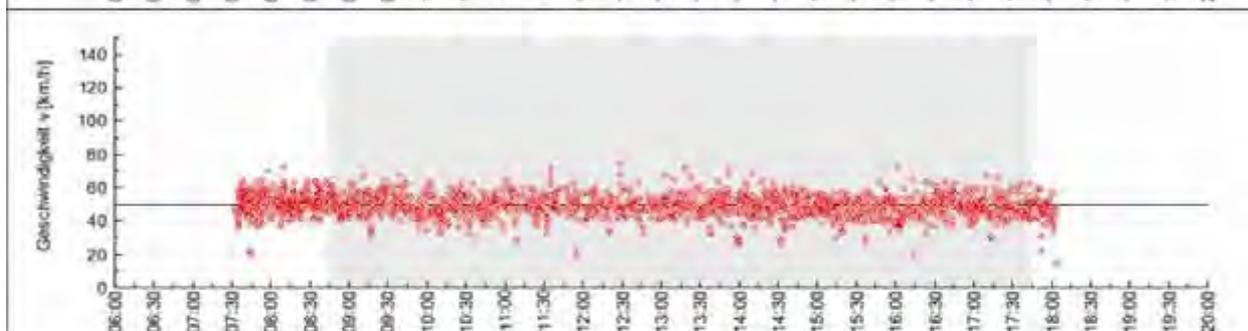
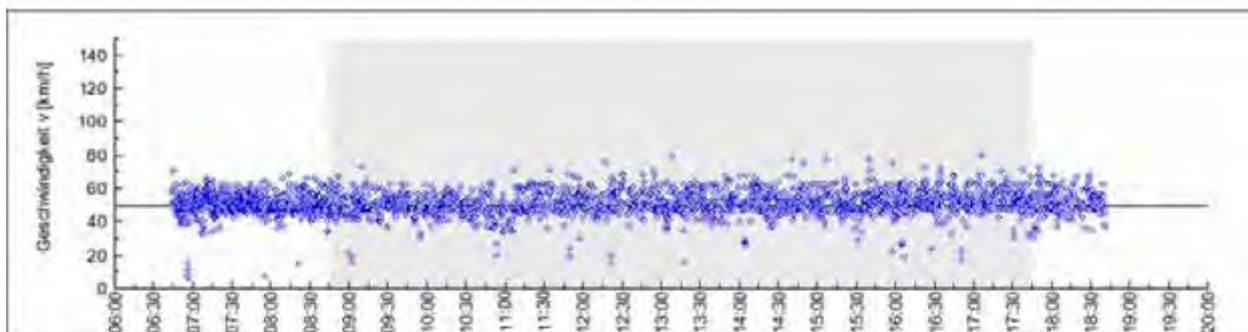
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 402.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-10 - mit Streifen und Polizei Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1854 Kfz)	44,44	50,02	57,60	61,32
Messung 2 (Q = 1713 Kfz)	42,65	48,60	56,11	61,24
Änderung (M1 - M2)	-1,79	-1,42	-1,49	-0,08

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	55,83	56,73	10,30	64,53
Messung 2	47,64	56,43	8,87	64,61
Änderung (M1 - M2)	-8,19	-0,30	-1,43	0,08

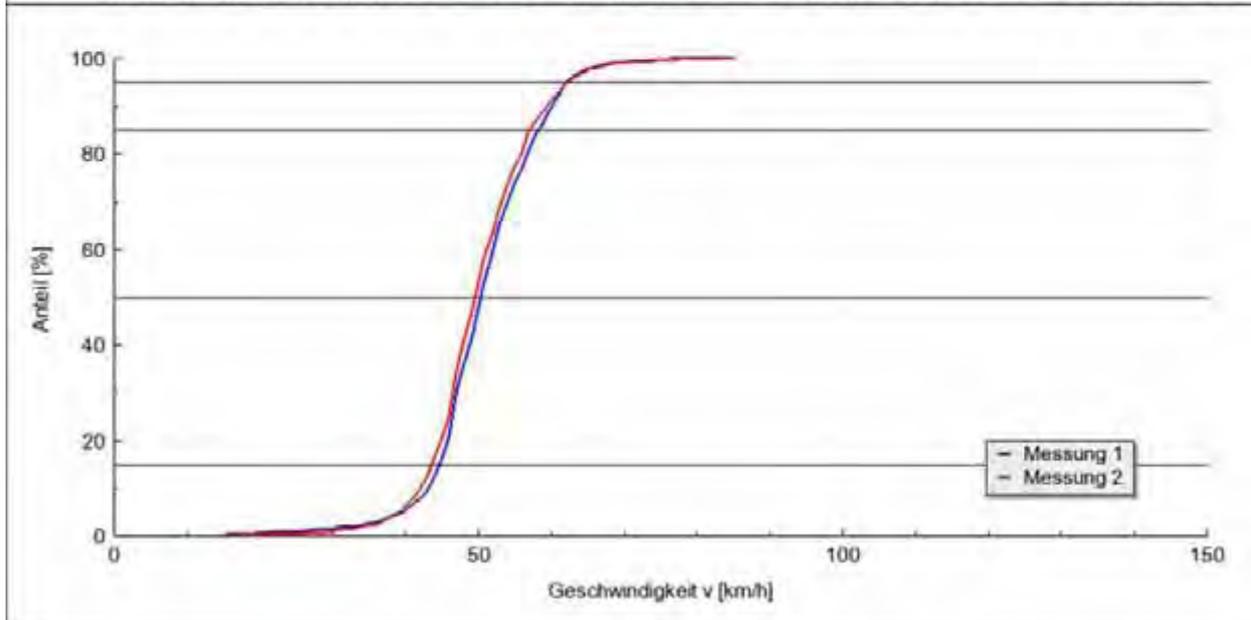
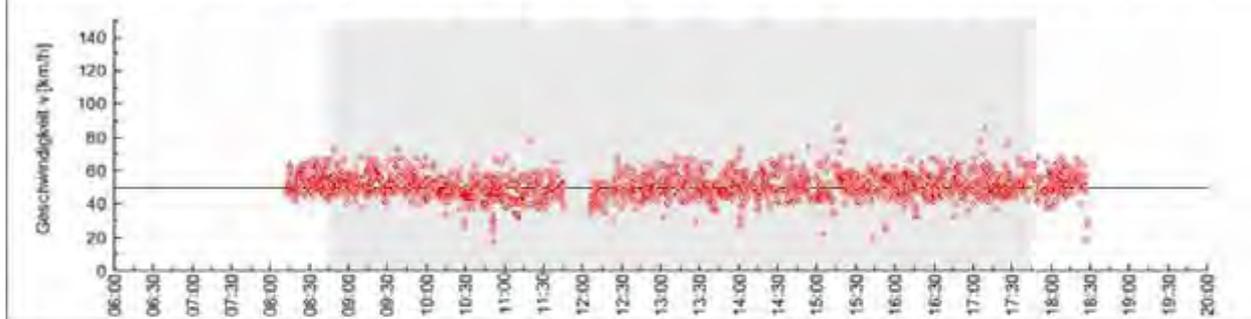
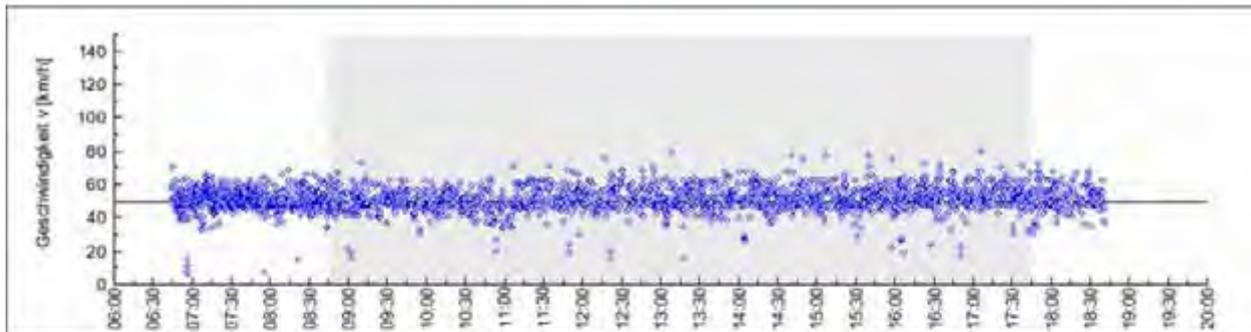
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 402.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1827 Kfz)	43,70	49,44	57,29	60,98
Messung 2 (Q = 1636 Kfz)	41,04	47,05	54,03	58,19
Änderung (M1 - M2)	-2,66	-2,39	-3,26	-2,79

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	52,76	56,53	10,34	63,99
Messung 2	37,96	55,29	3,67	63,83
Änderung (M1 - M2)	-14,80	-1,24	-6,67	-0,16

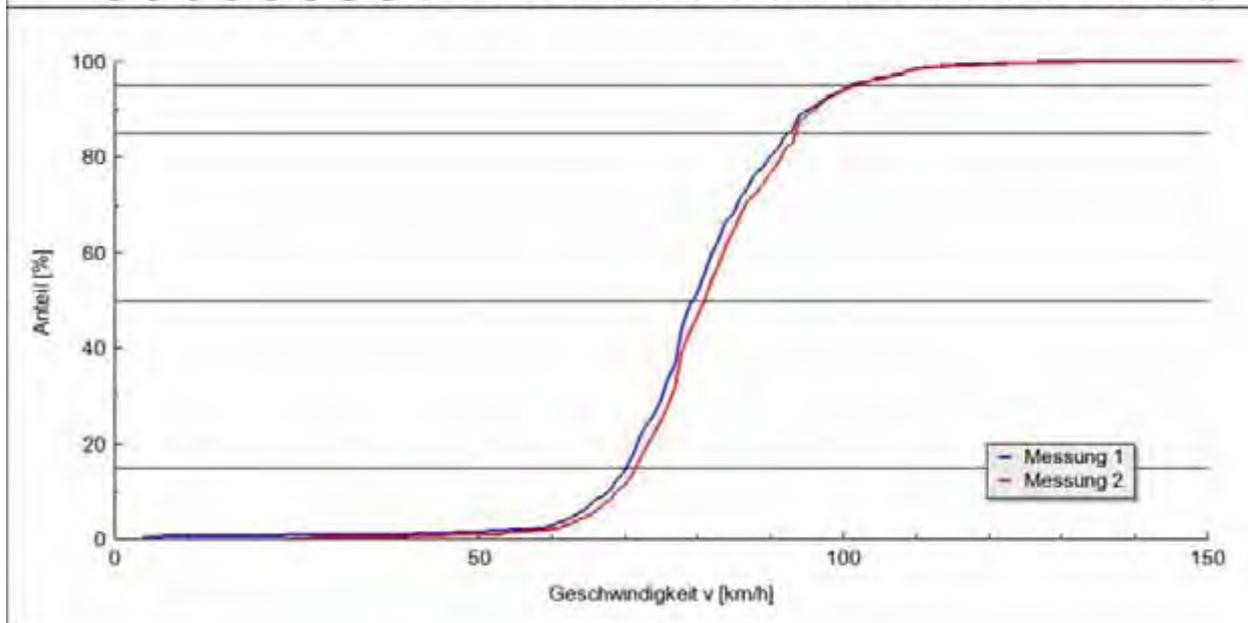
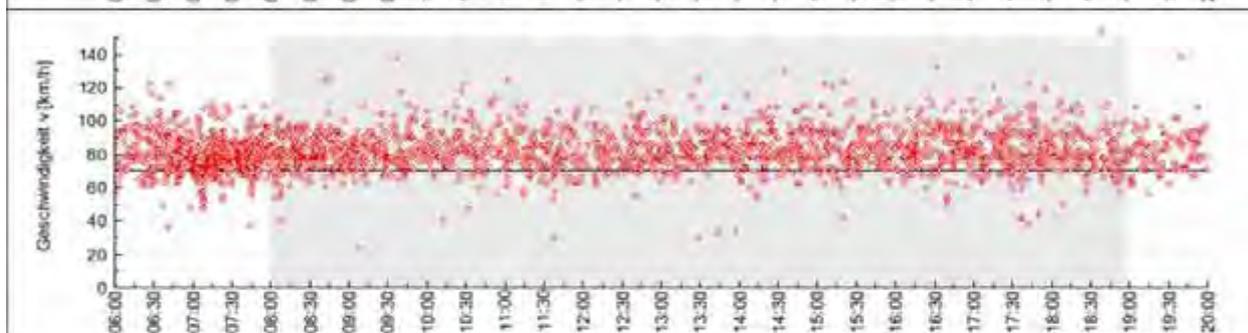
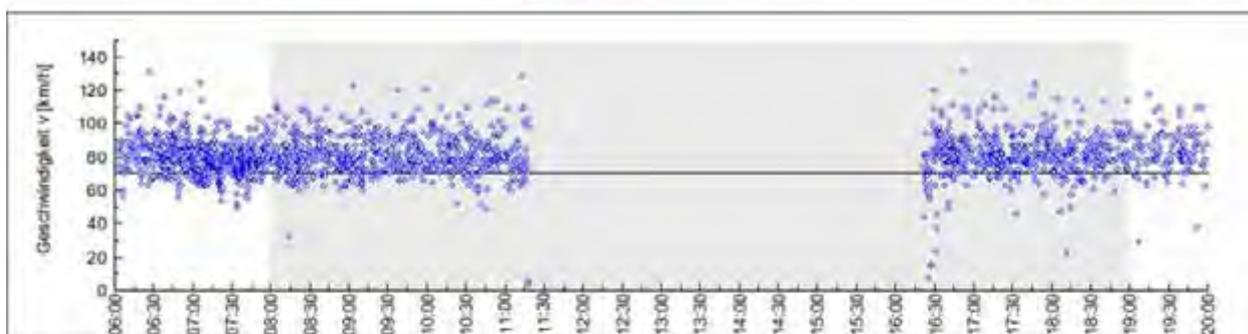
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 402.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-10 - mit Streifen und Polizei Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1827 Kfz)	43,70	49,44	57,29	60,98
Messung 2 (Q = 1713 Kfz)	42,65	48,60	56,11	61,24
Änderung (M1 - M2)	-1,05	-0,84	-1,18	0,26

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	52,76	56,53	10,34	63,99
Messung 2	47,64	56,43	8,87	64,61
Änderung (M1 - M2)	-5,12	-0,10	-1,47	0,62

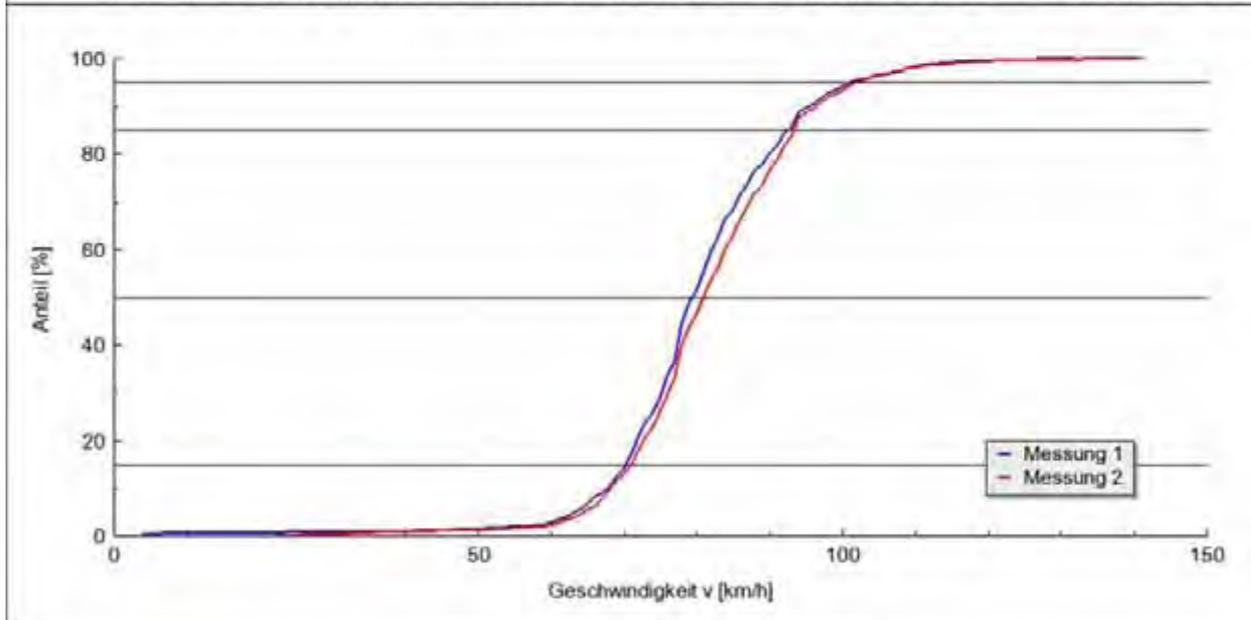
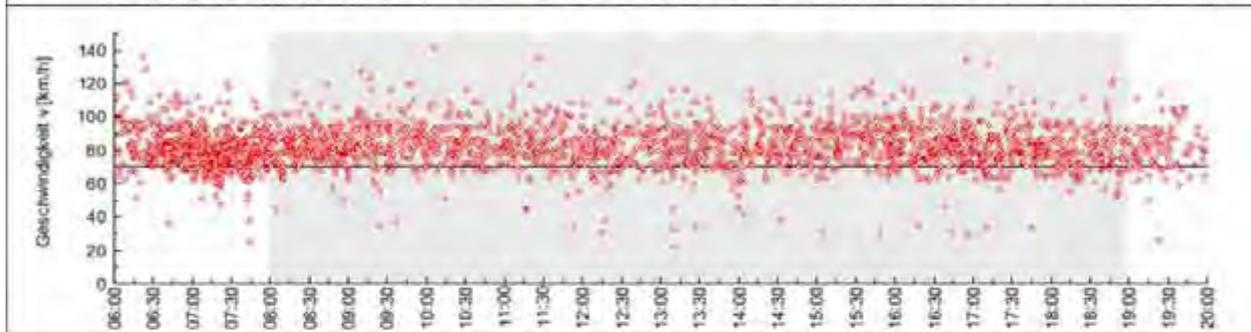
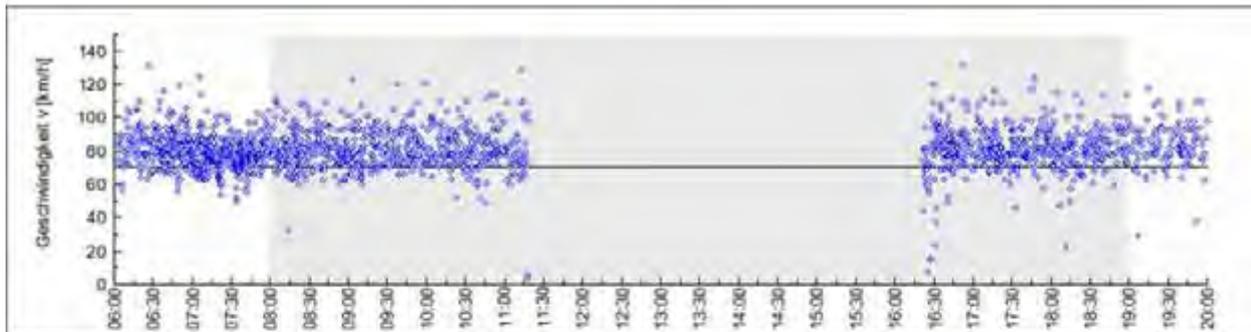
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1197 Kfz)	69,34	78,44	91,53	100,42
Messung 2 (Q = 2065 Kfz)	70,56	79,98	92,46	101,09
Änderung (M1 - M2)	1,22	1,54	0,93	0,67

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	85,96	84,12	48,79	90,40
Messung 2	88,72	84,93	54,00	90,62
Änderung (M1 - M2)	2,76	0,81	5,21	0,22

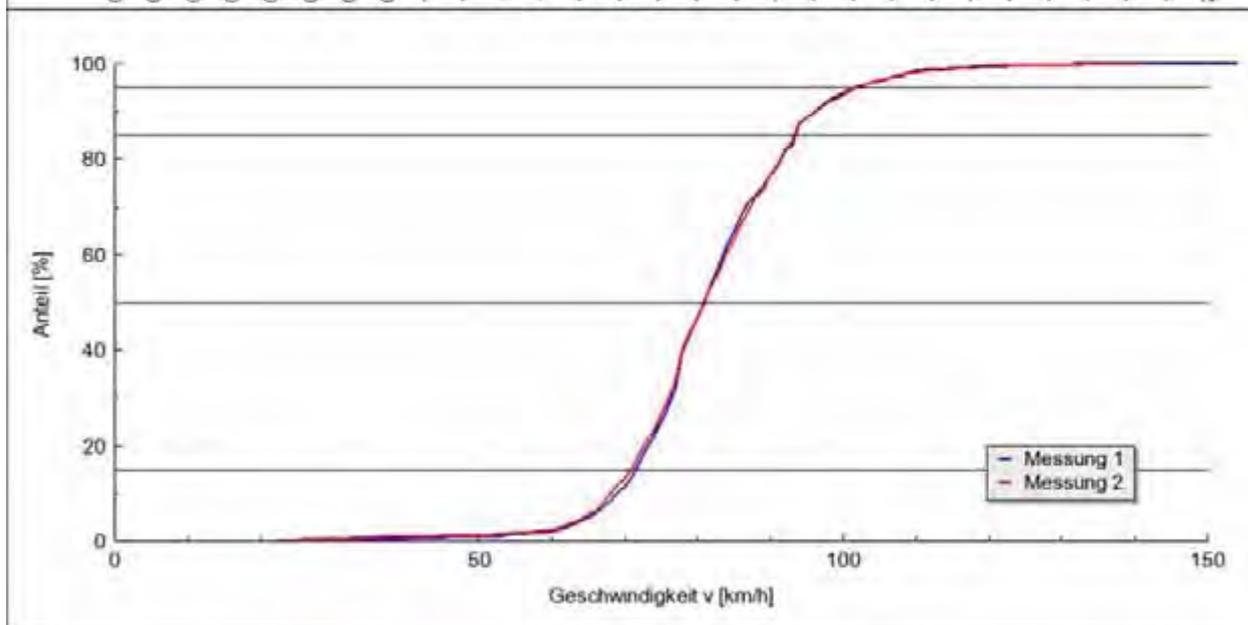
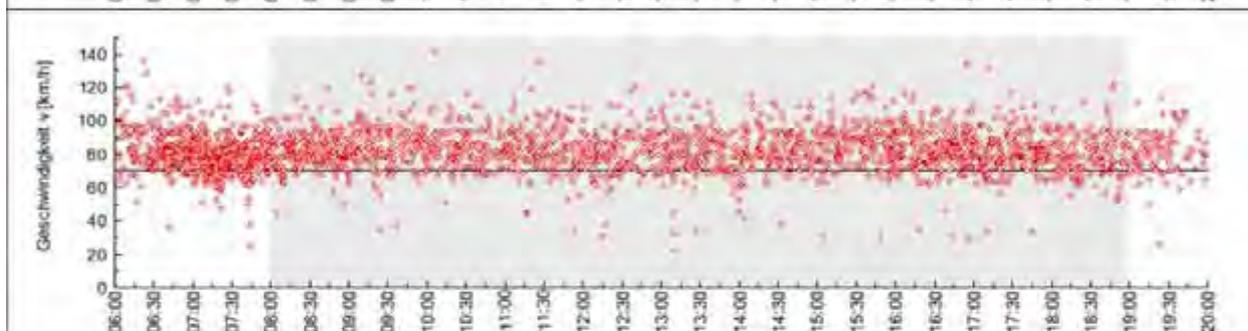
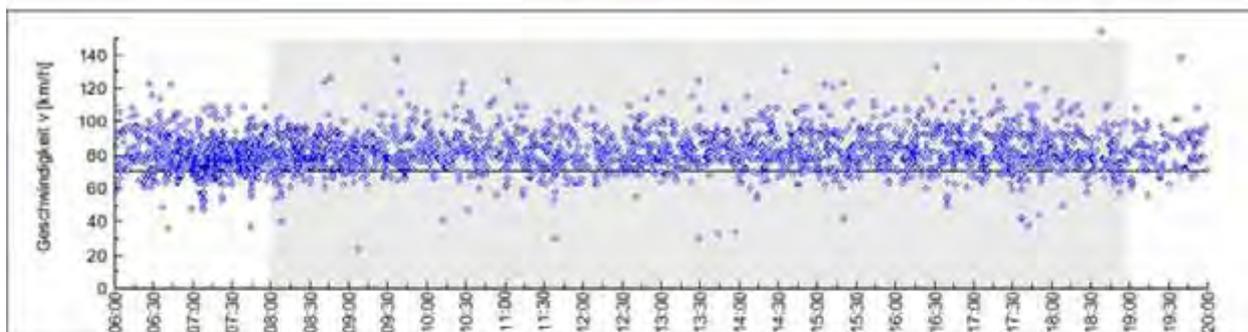
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70$ km/h



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1197 Kfz)	69,34	78,44	91,53	100,42
Messung 2 (Q = 2108 Kfz)	69,98	79,93	92,35	100,75
Änderung (M1 - M2)	0,64	1,49	0,82	0,33

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10$ km/h	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	85,96	84,12	48,79	90,40
Messung 2	86,95	85,20	53,80	90,84
Änderung (M1 - M2)	0,99	1,08	5,01	0,44

Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



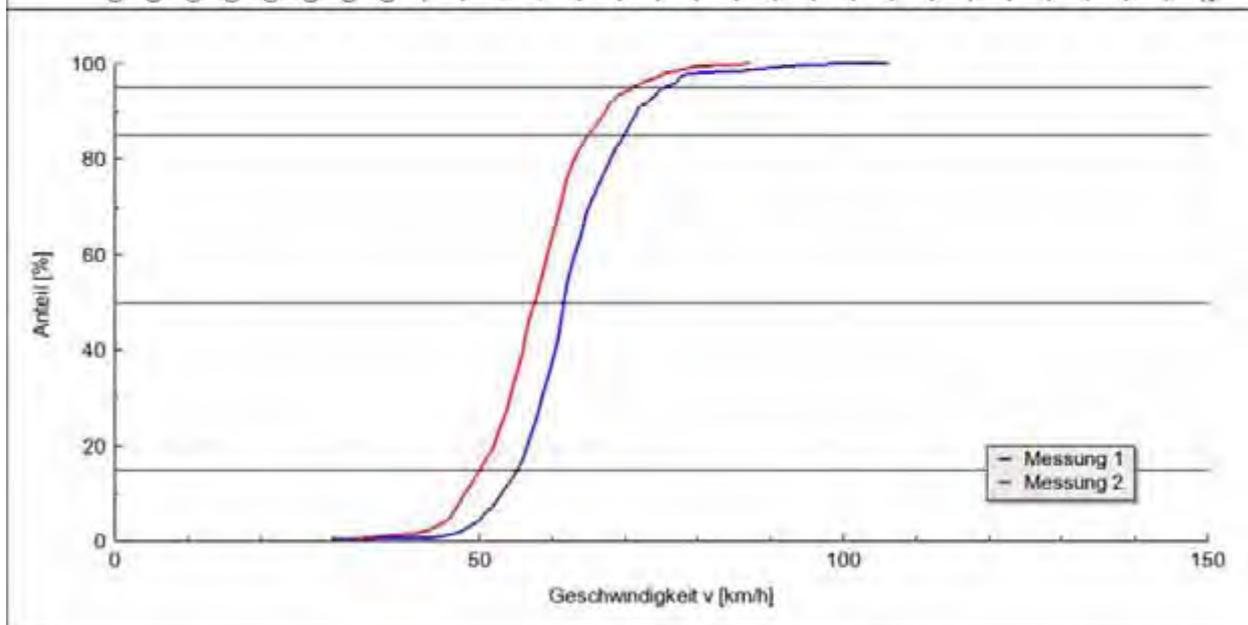
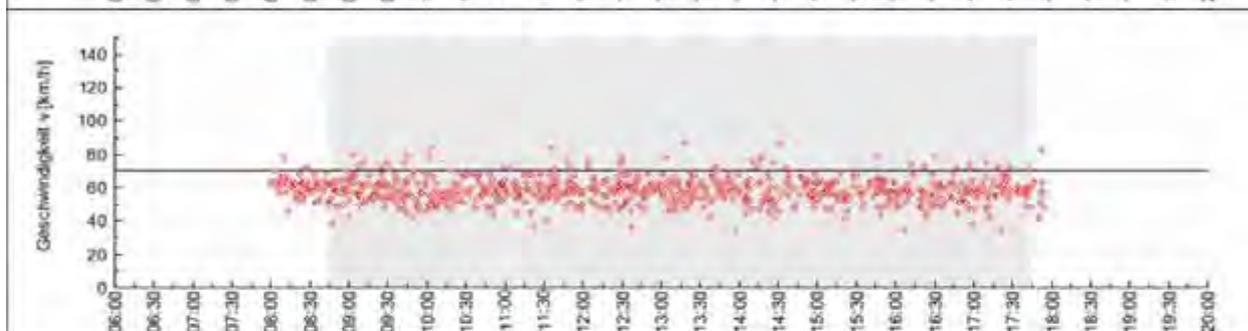
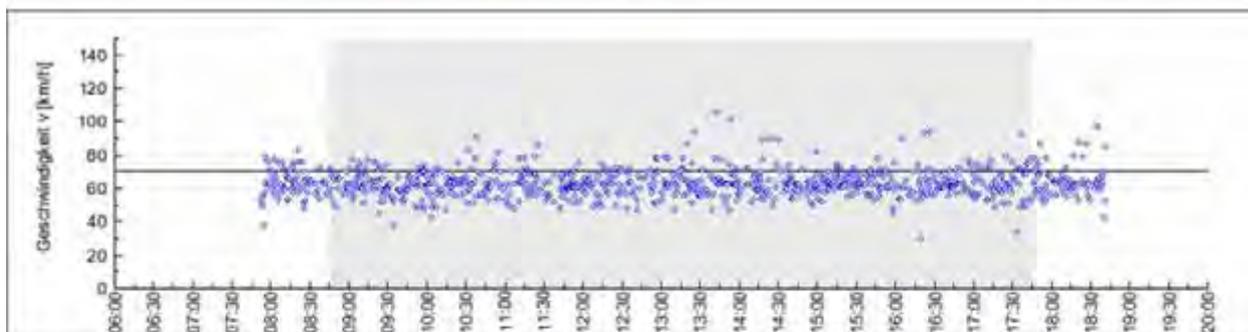
Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 2065 Kfz)	70,56	79,98	92,46	101,09
Messung 2 (Q = 2108 Kfz)	69,98	79,93	92,35	100,75
Änderung (M1 - M2)	-0,58	-0,05	-0,11	-0,34

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	88,72	84,93	54,00	90,62
Messung 2	86,95	85,20	53,80	90,84
Änderung (M1 - M2)	-1,77	0,27	-0,20	0,22

8.6 B399 Fahrtrichtung Gey (frei Fahrende)

Station	Datum		Kfz		v _m		Statistik		
	V	n	v	n	v	n	D _{max}	D _{krit}	Sign.
0	13.09.07	04.06.08	730	684	63,00	58,41	0,266	0,072	ja
0	13.09.07	10.06.08	730	674	63,00	55,18	0,418	0,073	ja
0	10.10.07	04.06.08	708	684	60,19	58,41	0,120	0,073	ja
0	10.10.07	10.06.08	708	674	60,19	55,18	0,275	0,073	ja
304	13.09.07	04.06.08	692	653	58,84	51,86	0,349	0,074	ja
304	13.09.07	10.06.08	692	596	58,84	51,90	0,340	0,076	ja
304	10.10.07	04.06.08	688	653	58,19	51,86	0,317	0,074	ja
304	10.10.07	10.06.08	688	596	58,19	51,90	0,307	0,076	ja
402	13.09.07	04.06.08	698	620	53,03	49,98	0,202	0,075	ja
402	13.09.07	10.06.08	698	572	53,03	52,38	0,070	0,077	nein
402	10.10.07	04.06.08	670	620	52,37	49,98	0,154	0,076	ja
402	10.10.07	10.06.08	670	572	52,37	52,38	0,036	0,077	nein
KG	13.09.07	10.10.07	477	839	82,91	84,60	0,068	0,078	nein
KG	13.09.07	04.06.08	477	869	82,91	84,31	0,072	0,078	nein
KG	10.10.07	04.06.08	839	869	84,60	84,31	0,031	0,066	nein

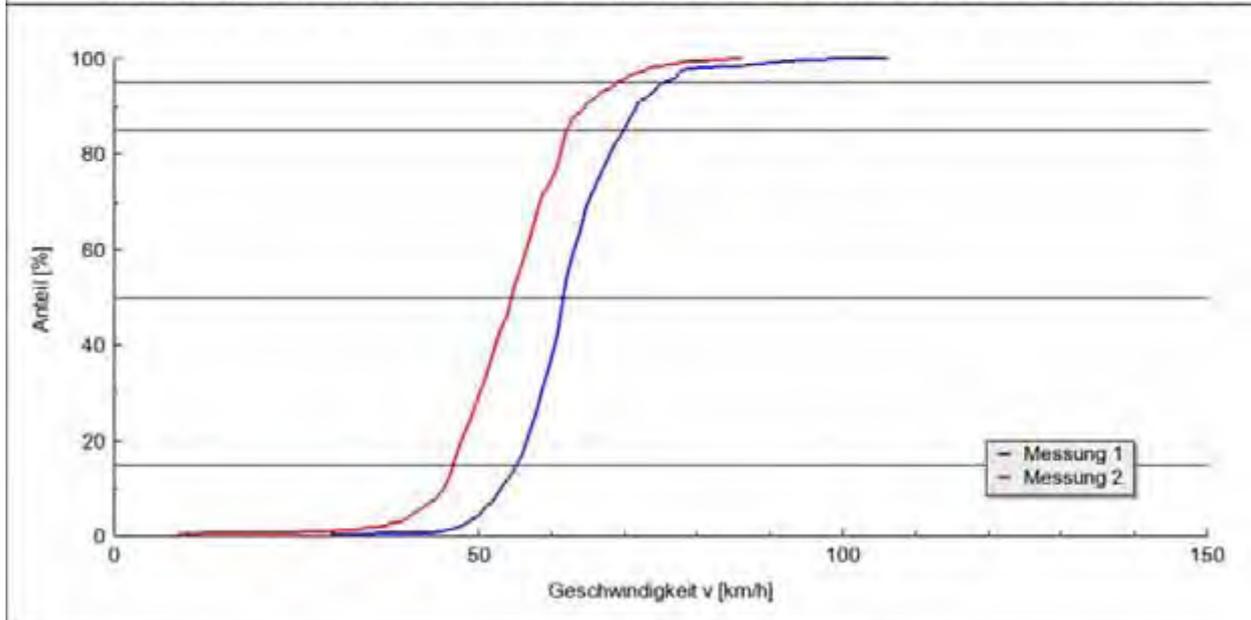
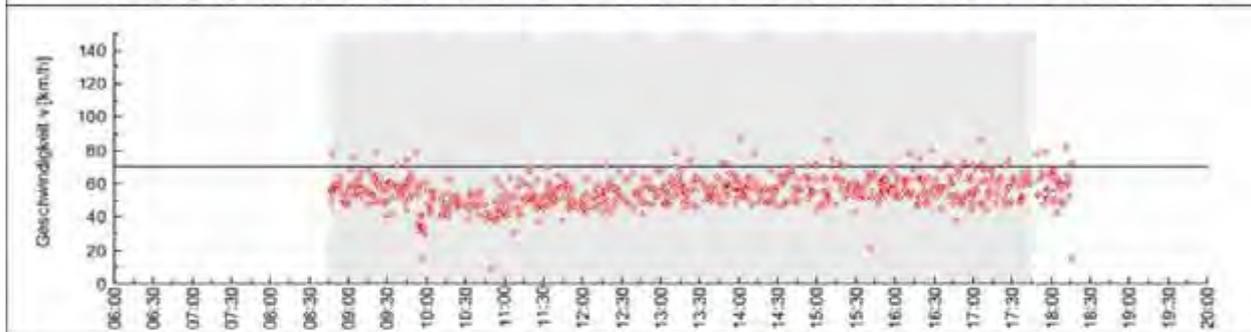
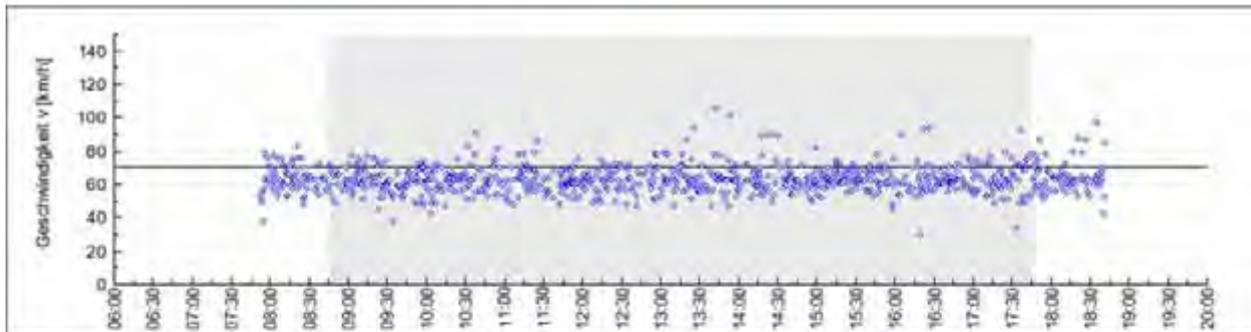
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 0,00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 730 Kfz)	54,44	60,72	68,97	74,75
Messung 2 (Q = 684 Kfz)	49,21	56,73	64,03	70,30
Änderung (M1 - M2)	-5,23	-3,99	-4,94	-4,45

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	14,93	76,27	2,19	90,56
Messung 2	6,14	75,57	0,58	85,25
Änderung (M1 - M2)	-8,79	-0,70	-1,61	-5,31

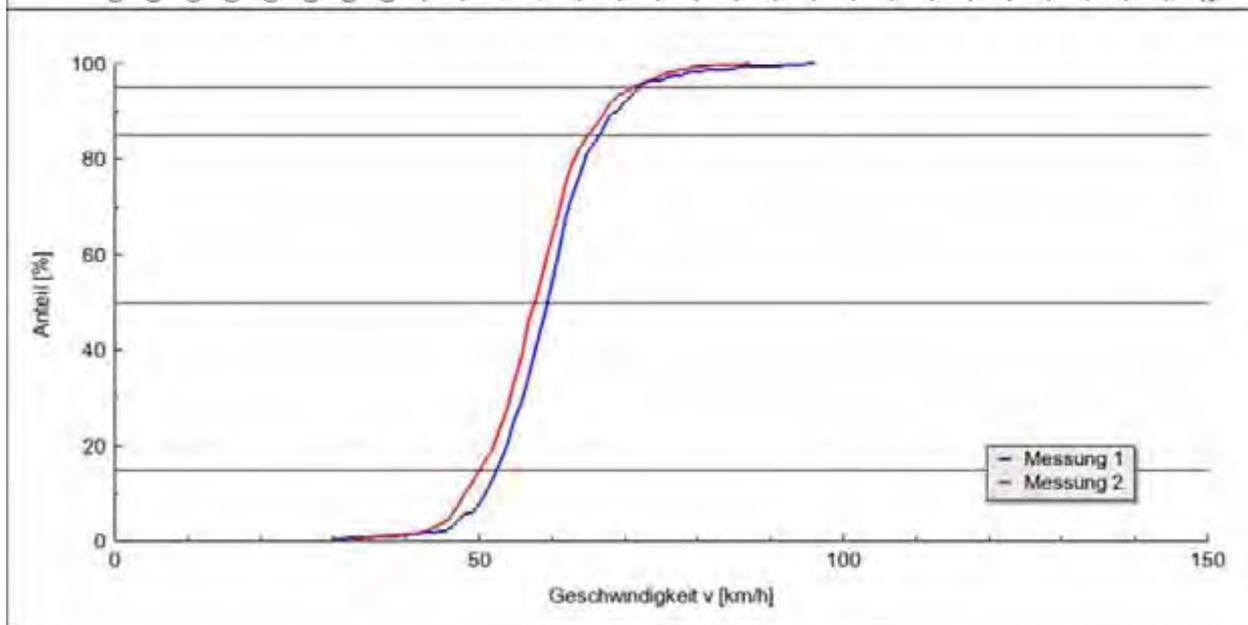
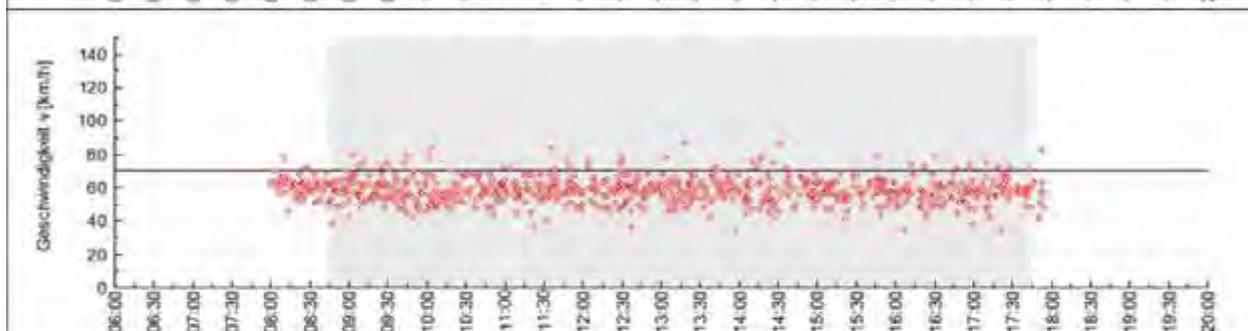
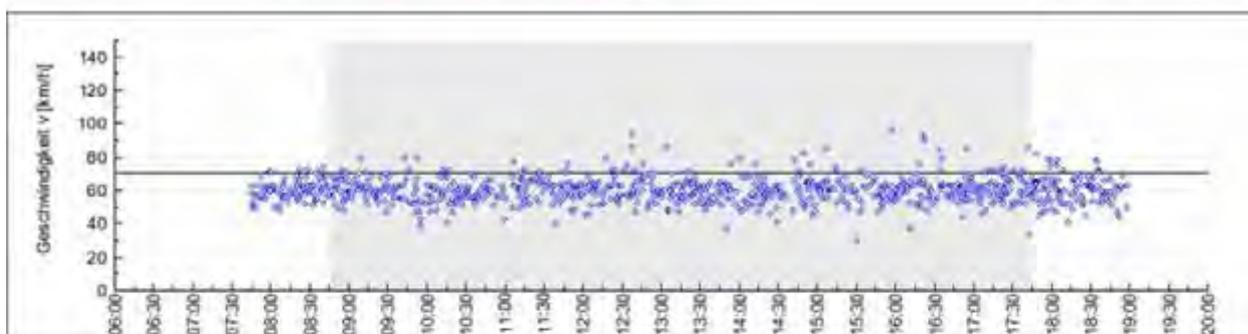
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - ohne Streifen Auswertezeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 0.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-10 - mit Streifen und Polizei Auswertezeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 730 Kfz)	54,44	60,72	68,97	74,75
Messung 2 (Q = 674 Kfz)	45,59	53,68	61,15	68,33
Änderung (M1 - M2)	-8,85	-7,04	-7,82	-6,42

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	14,93	76,27	2,19	90,56
Messung 2	4,30	75,48	0,45	86,00
Änderung (M1 - M2)	-10,63	-0,79	-1,74	-4,56

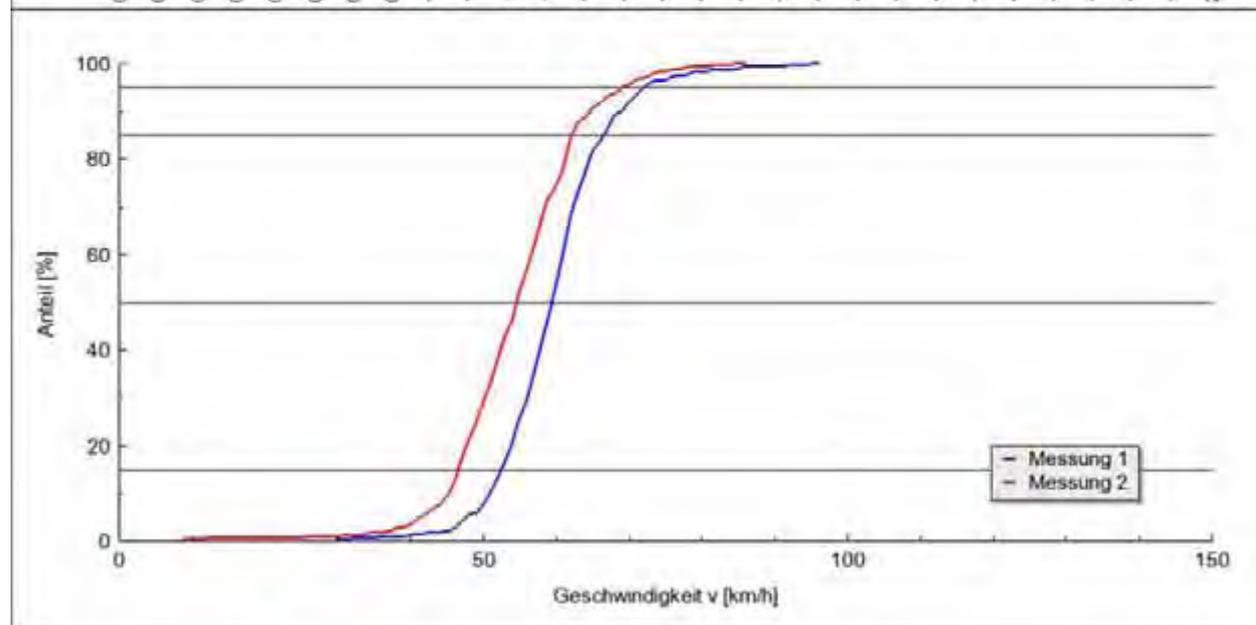
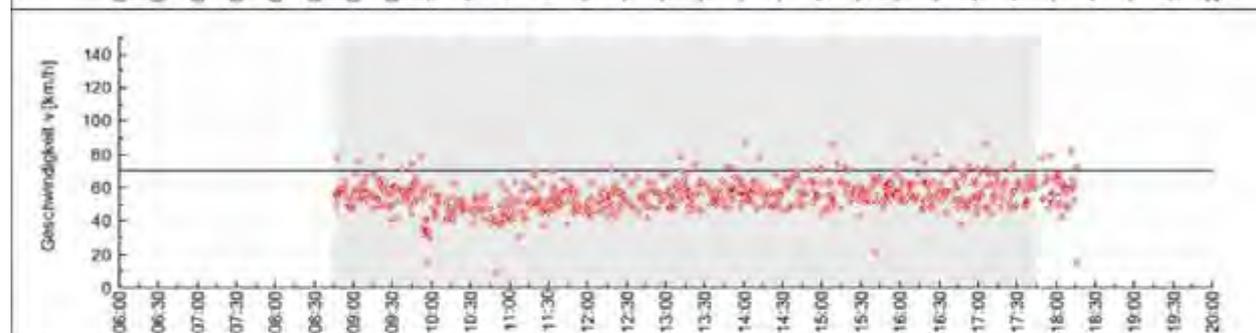
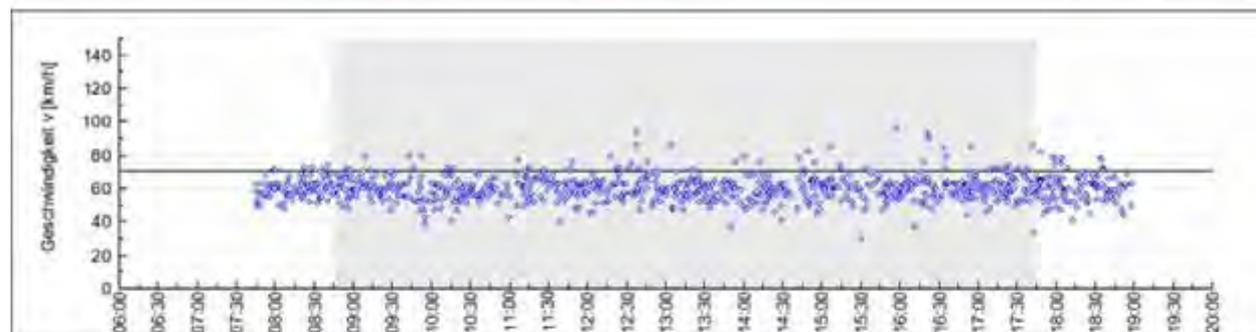
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 0,00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 708 Kfz)	51,61	58,51	65,59	70,97
Messung 2 (Q = 684 Kfz)	49,21	56,73	64,03	70,30
Änderung (M1 - M2)	-2,40	-1,78	-1,56	-0,67

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	7,91	76,61	1,55	87,91
Messung 2	6,14	75,57	0,58	85,25
Änderung (M1 - M2)	-1,77	-1,04	-0,97	-2,66

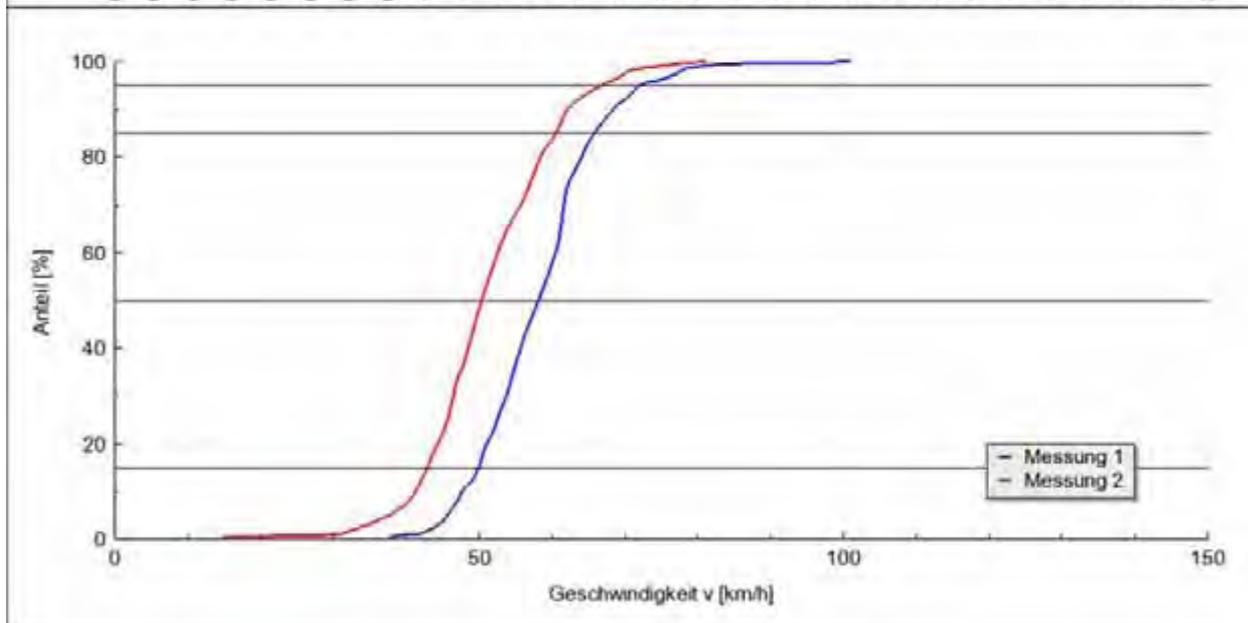
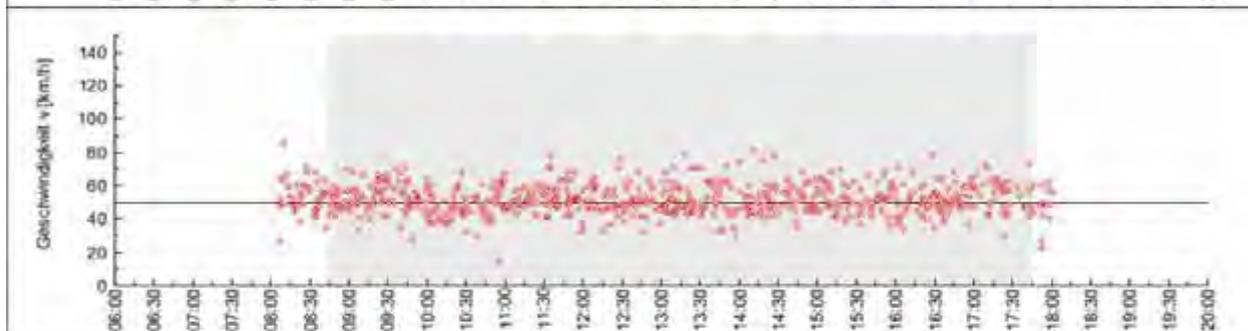
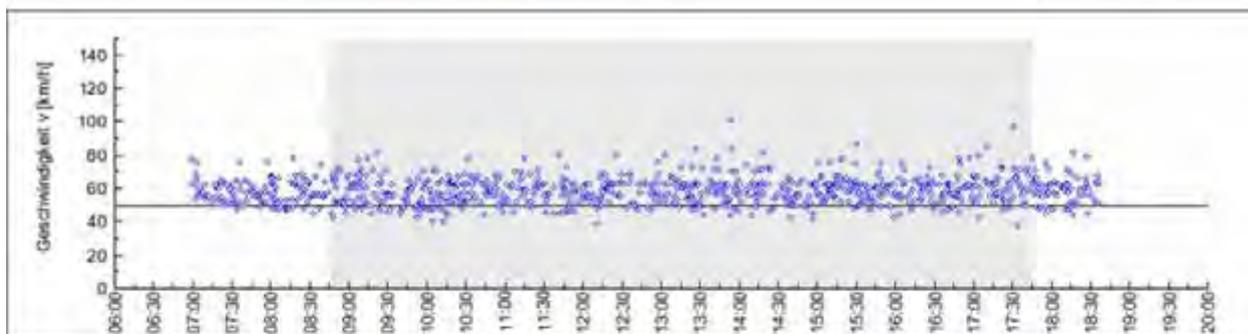
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - ohne Streifen Auswertezeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 0.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-10 - mit Streifen und Polizei Auswertezeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 708 Kfz)	51,61	58,51	65,59	70,97
Messung 2 (Q = 674 Kfz)	45,59	53,68	61,15	68,33
Änderung (M1 - M2)	-6,02	-4,83	-4,44	-2,64

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	7,91	76,61	1,55	87,91
Messung 2	4,30	75,48	0,45	86,00
Änderung (M1 - M2)	-3,61	-1,13	-1,10	-1,91

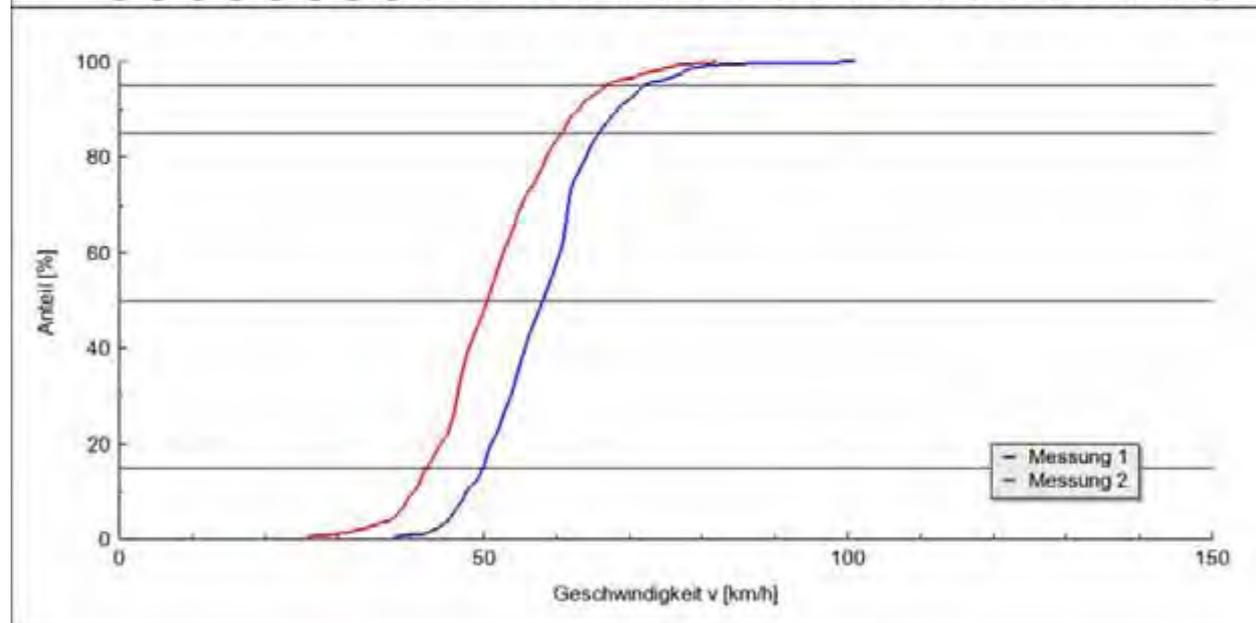
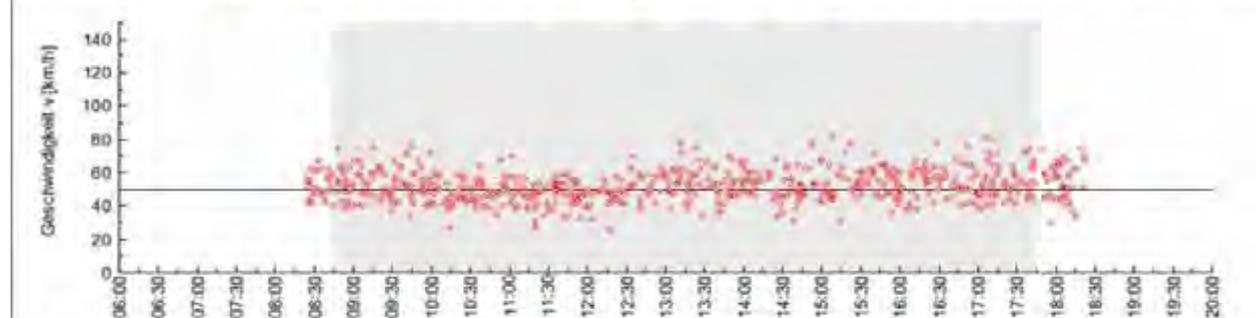
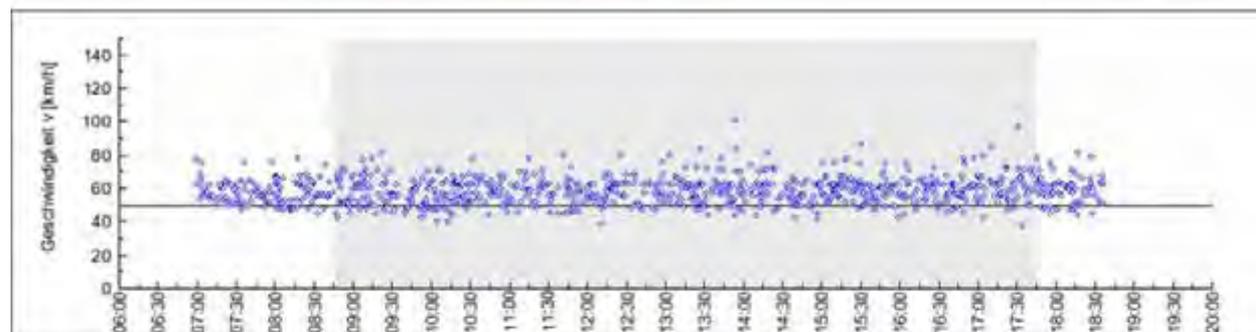
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 304.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 692 Kfz)	49,09	57,23	64,89	71,08
Messung 2 (Q = 653 Kfz)	41,95	49,50	59,63	66,06
Änderung (M1 - M2)	-7,14	-7,73	-5,26	-5,02

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	85,40	60,88	42,49	66,26
Messung 2	52,22	58,38	16,54	65,61
Änderung (M1 - M2)	-33,18	-2,50	-25,95	-0,65

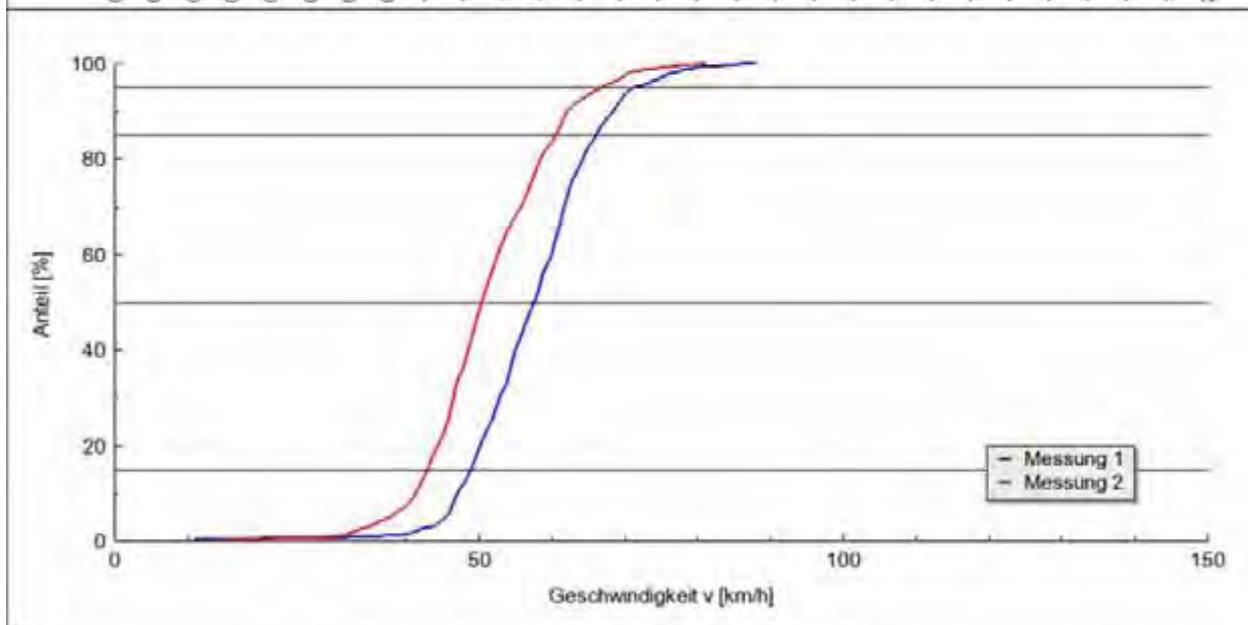
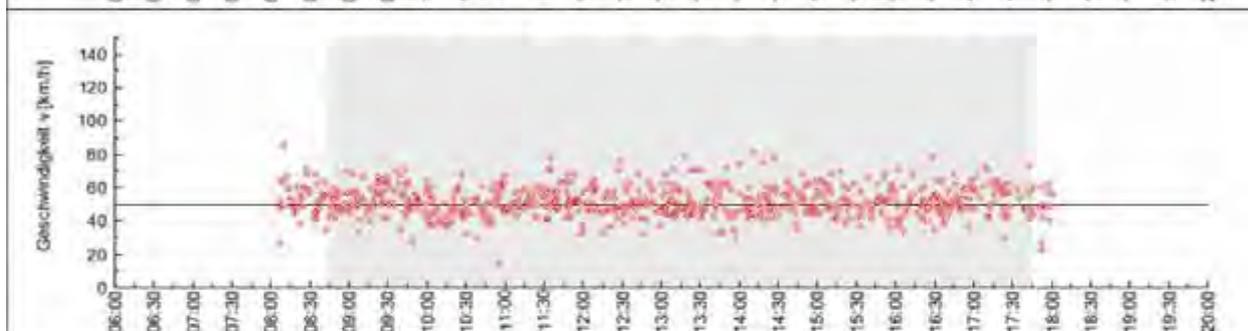
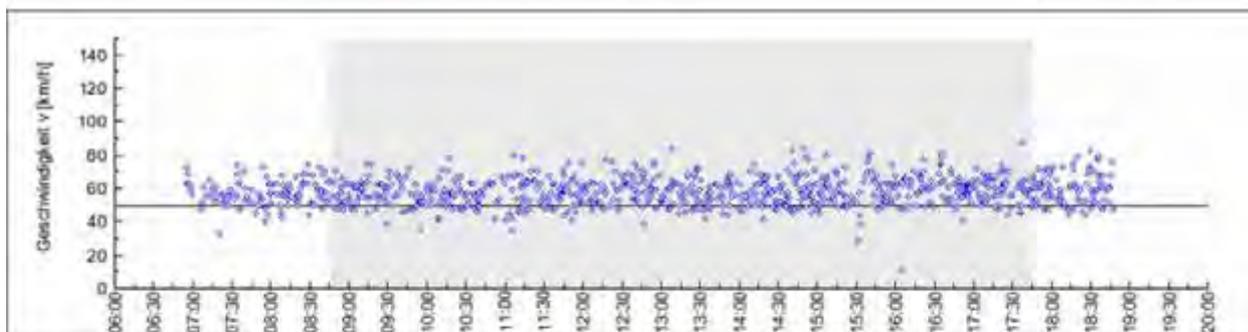
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 304,00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-10 - mit Streifen und Polizei Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 692 Kfz)	49,09	57,23	64,89	71,08
Messung 2 (Q = 596 Kfz)	41,31	49,64	59,80	66,03
Änderung (M1 - M2)	-7,78	-7,59	-5,09	-5,05

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	85,40	60,88	42,49	66,26
Messung 2	52,68	58,58	16,61	66,35
Änderung (M1 - M2)	-32,72	-2,30	-25,88	0,09

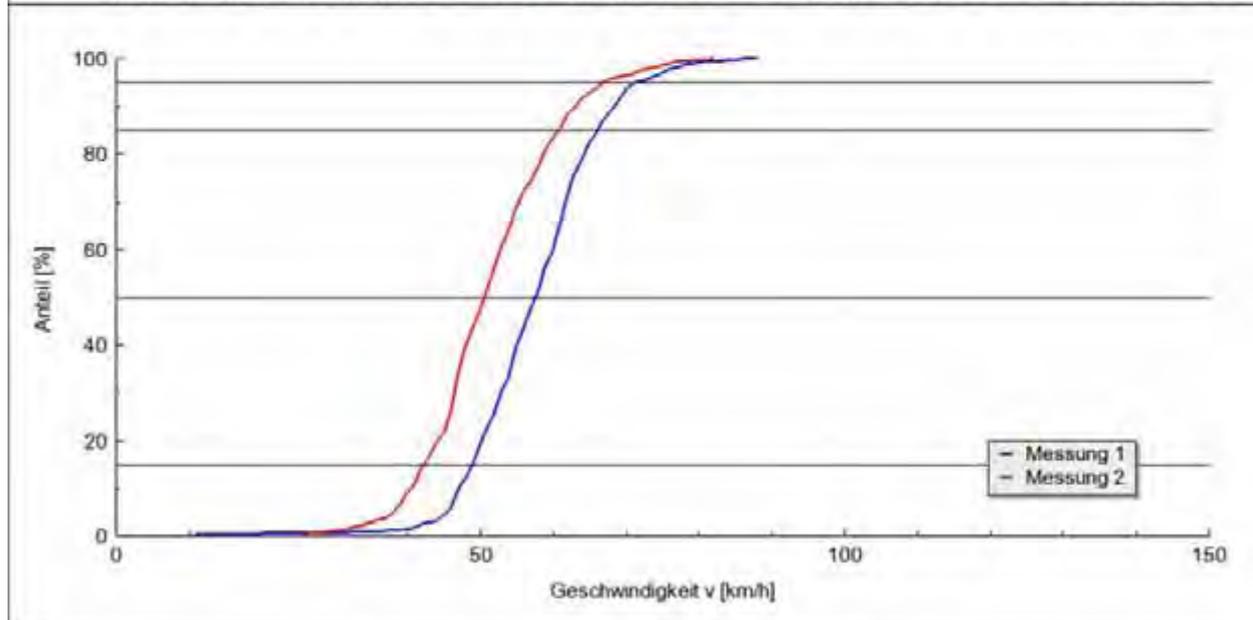
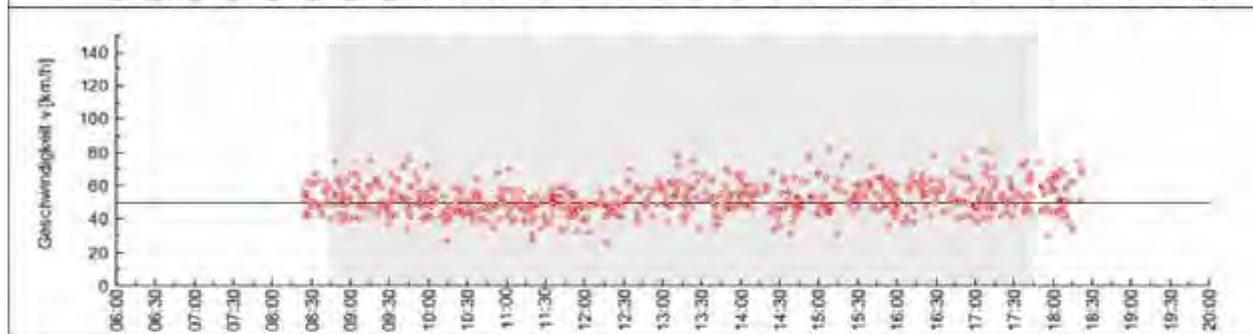
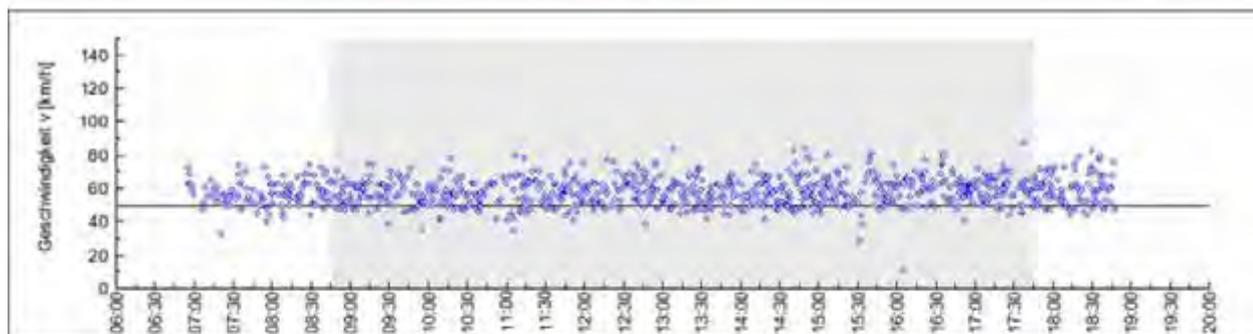
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 304.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 688 Kfz)	47,96	56,65	65,16	70,52
Messung 2 (Q = 653 Kfz)	41,95	49,50	59,63	66,06
Änderung (M1 - M2)	-6,01	-7,15	-5,53	-4,46

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	80,81	60,91	39,97	66,27
Messung 2	52,22	58,38	16,54	65,61
Änderung (M1 - M2)	-28,59	-2,53	-23,43	-0,66

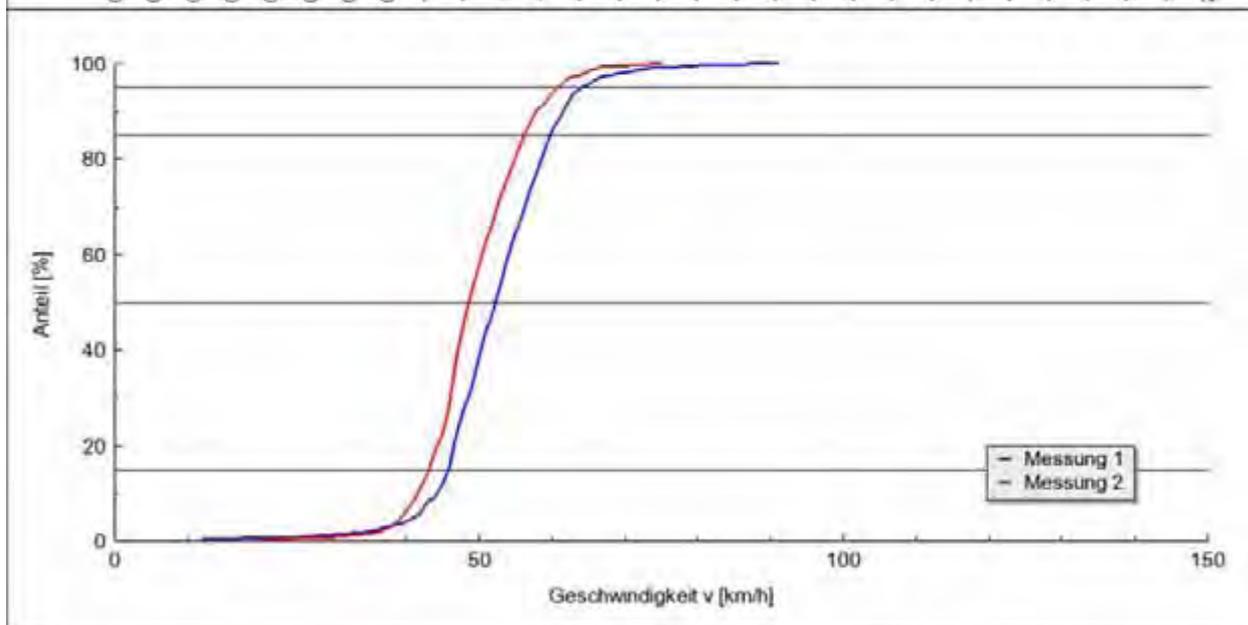
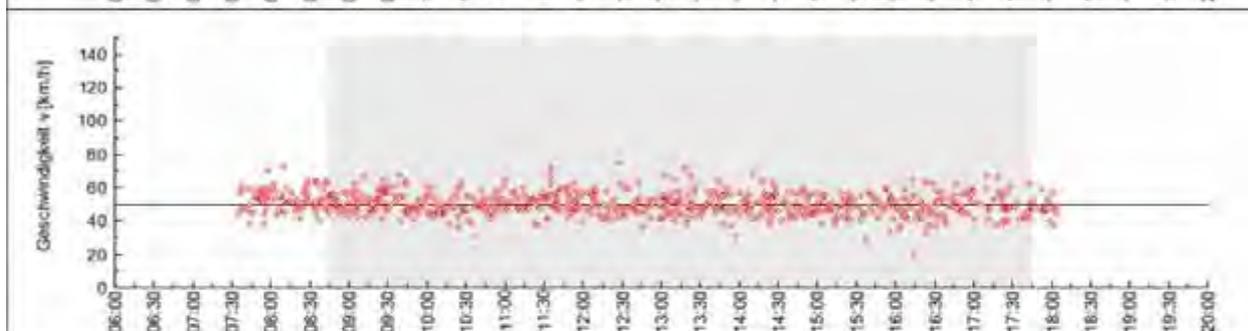
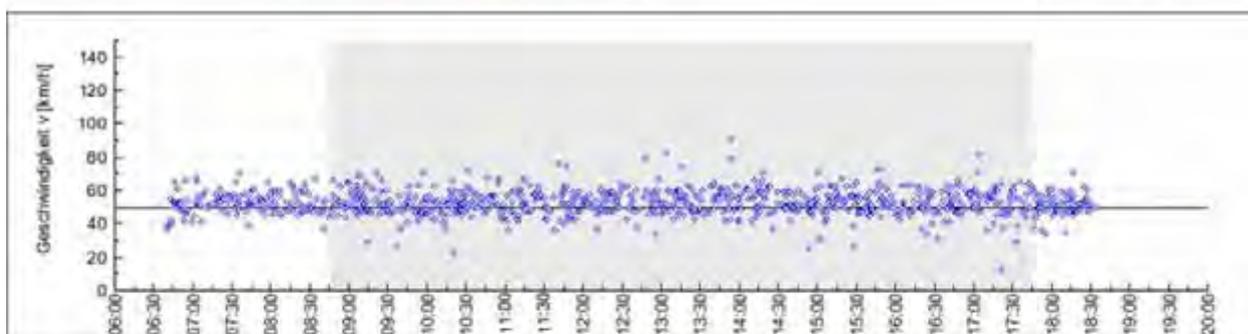
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - ohne Streifen Auswertezeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 304.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-10 - mit Streifen und Polizei Auswertezeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 688 Kfz)	47,96	56,65	65,16	70,52
Messung 2 (Q = 596 Kfz)	41,31	49,64	59,80	66,03
Änderung (M1 - M2)	-6,65	-7,01	-5,36	-4,49

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	80,81	60,91	39,97	66,27
Messung 2	52,68	58,58	16,61	66,35
Änderung (M1 - M2)	-28,13	-2,33	-23,36	0,08

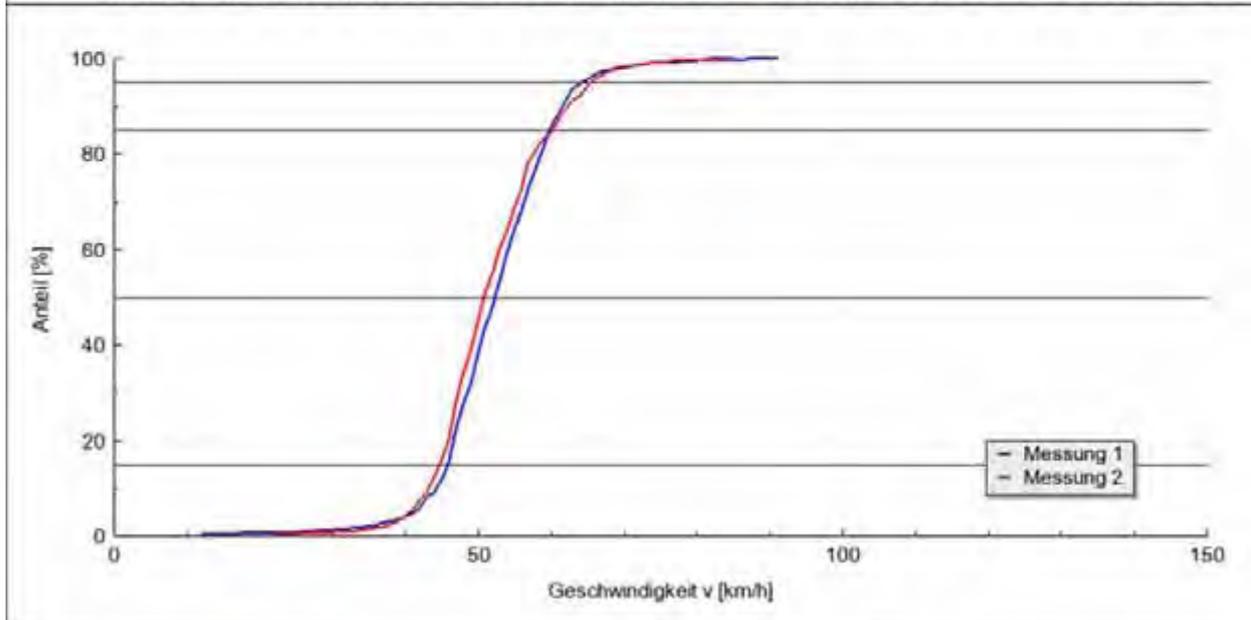
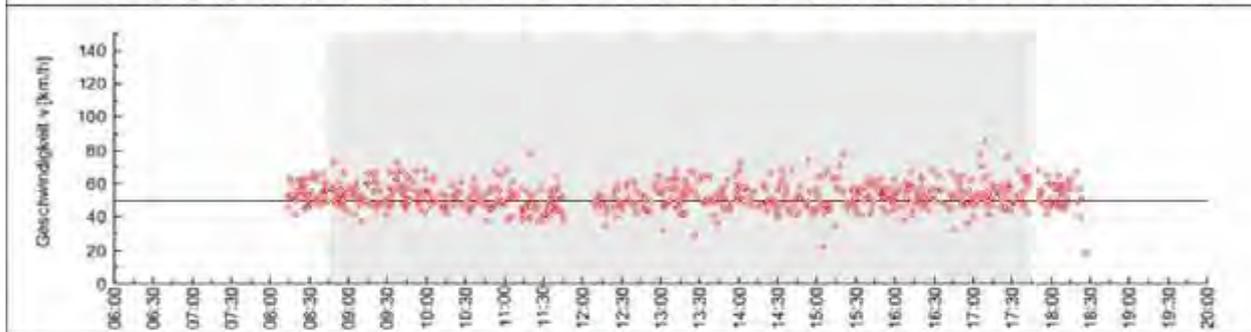
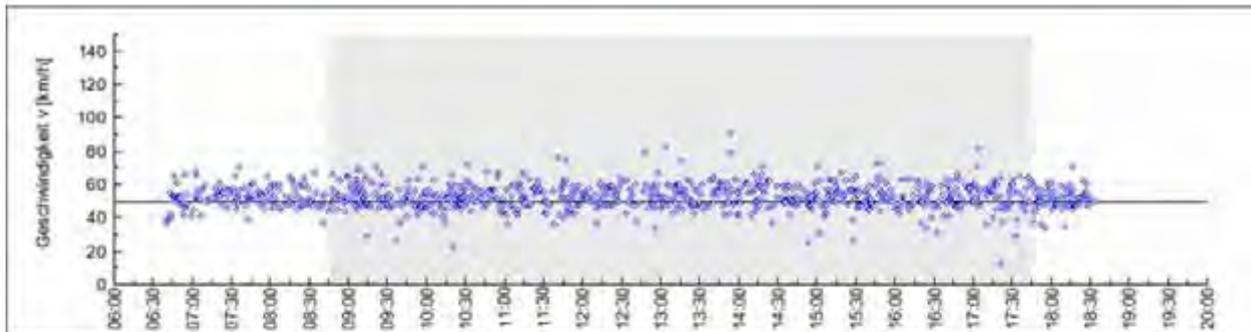
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 402,00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 698 Kfz)	44,90	51,38	58,80	63,30
Messung 2 (Q = 620 Kfz)	42,21	47,68	55,33	59,90
Änderung (M1 - M2)	-2,69	-3,70	-3,47	-3,40

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	61,75	57,58	14,04	65,28
Messung 2	42,74	56,05	6,45	64,00
Änderung (M1 - M2)	-19,01	-1,53	-7,59	-1,28

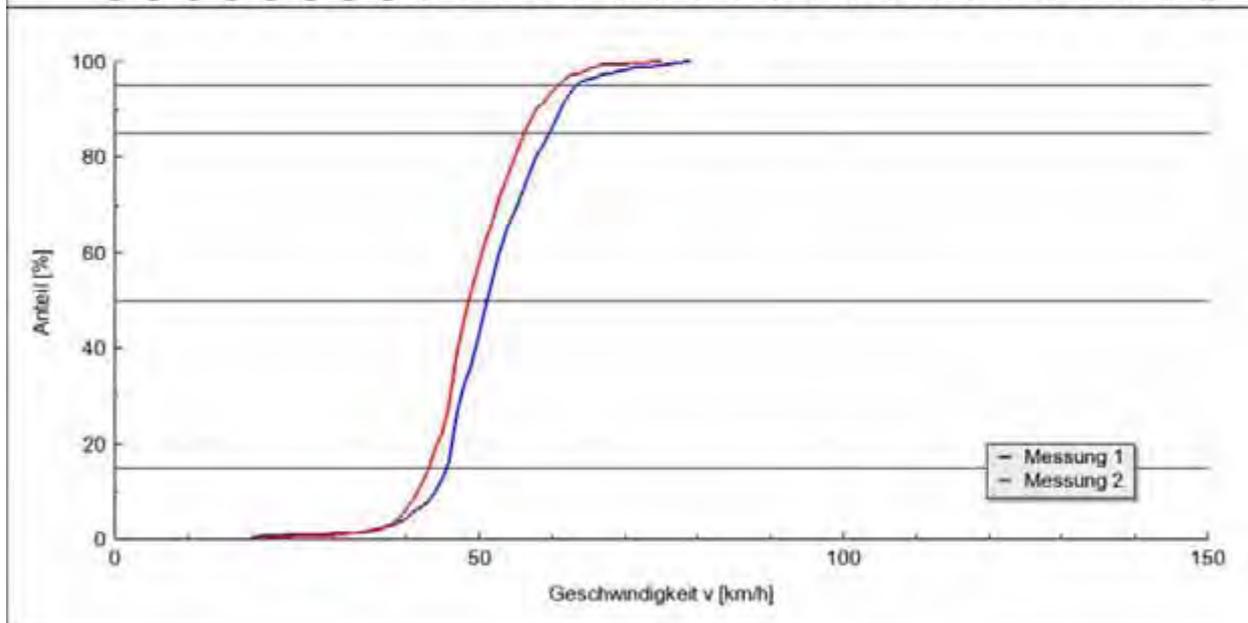
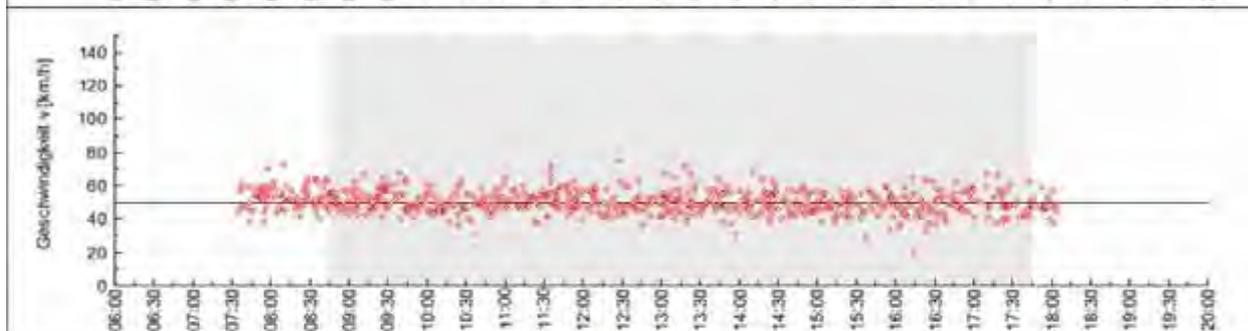
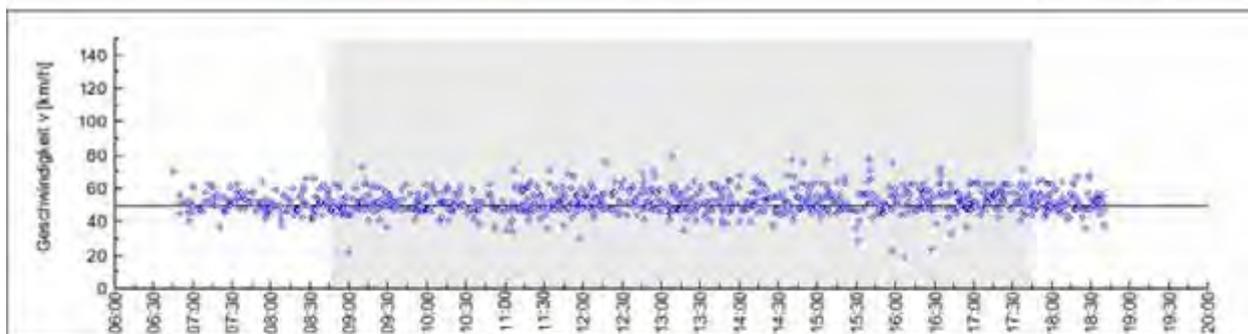
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 402.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-10 - mit Streifen und Polizei Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 698 Kfz)	44,90	51,38	58,80	63,30
Messung 2 (Q = 572 Kfz)	43,76	49,91	59,21	64,44
Änderung (M1 - M2)	-1,14	-1,47	0,41	1,14

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	61,75	57,58	14,04	65,28
Messung 2	55,24	57,69	15,56	65,35
Änderung (M1 - M2)	-6,51	0,11	1,52	0,07

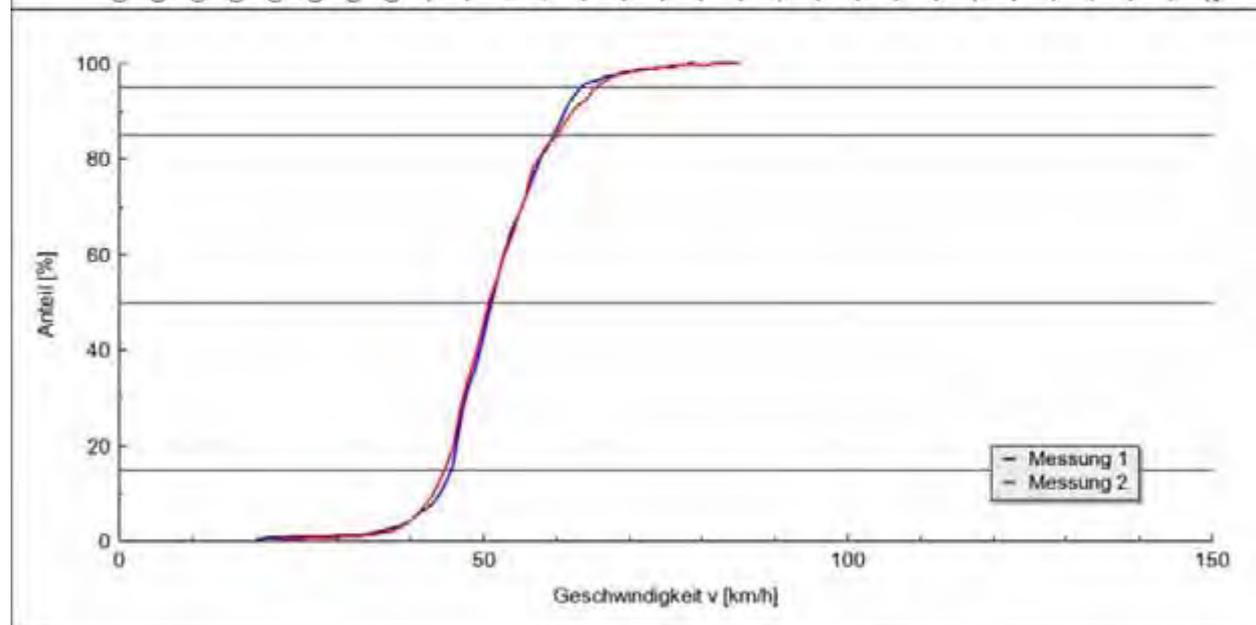
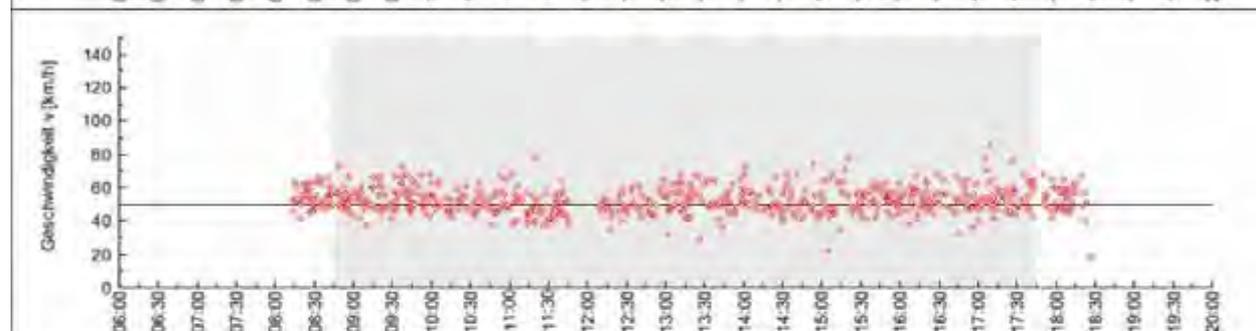
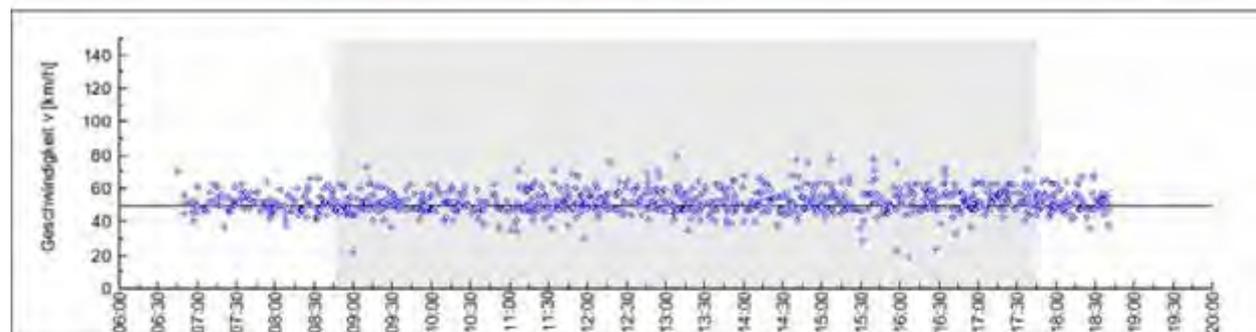
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 402.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 670 Kfz)	44,63	50,26	58,70	62,50
Messung 2 (Q = 620 Kfz)	42,21	47,68	55,33	59,90
Änderung (M1 - M2)	-2,42	-2,58	-3,37	-2,60

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	57,76	57,17	14,03	64,67
Messung 2	42,74	56,05	6,45	64,00
Änderung (M1 - M2)	-15,02	-1,12	-7,58	-0,67

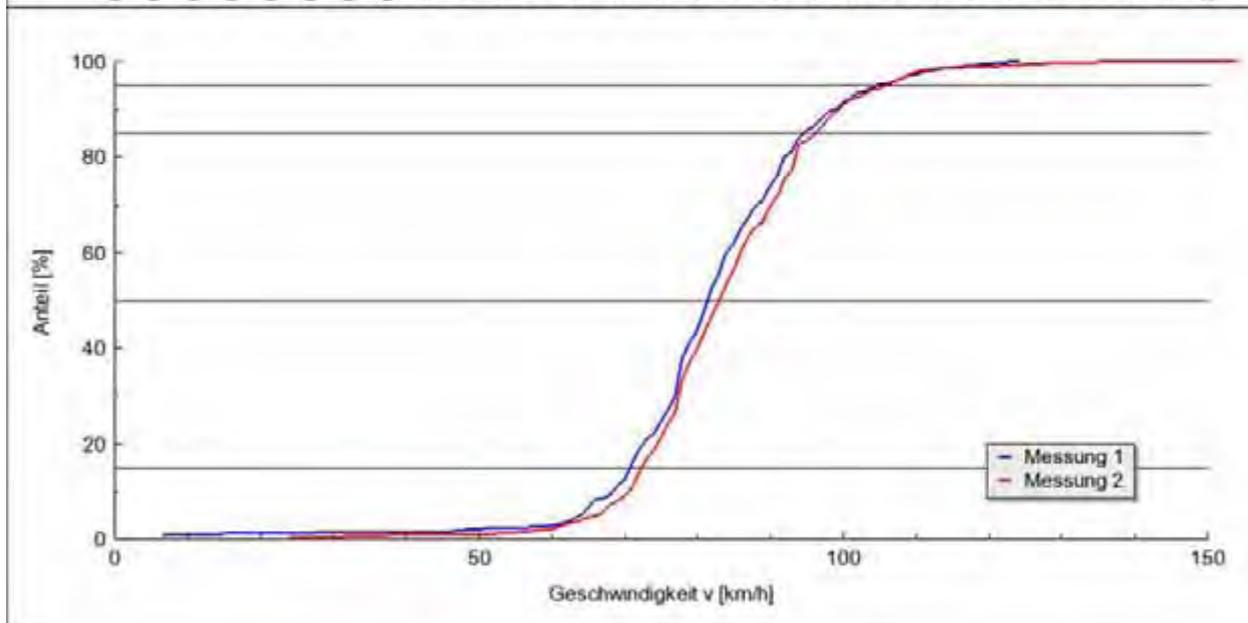
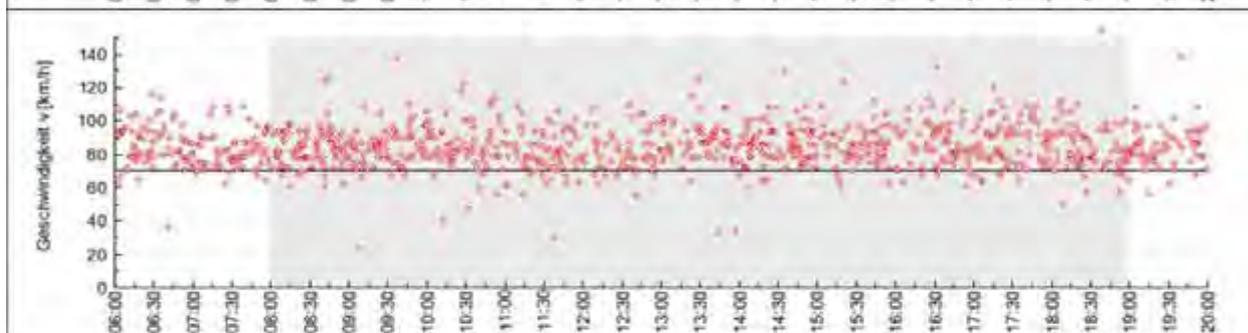
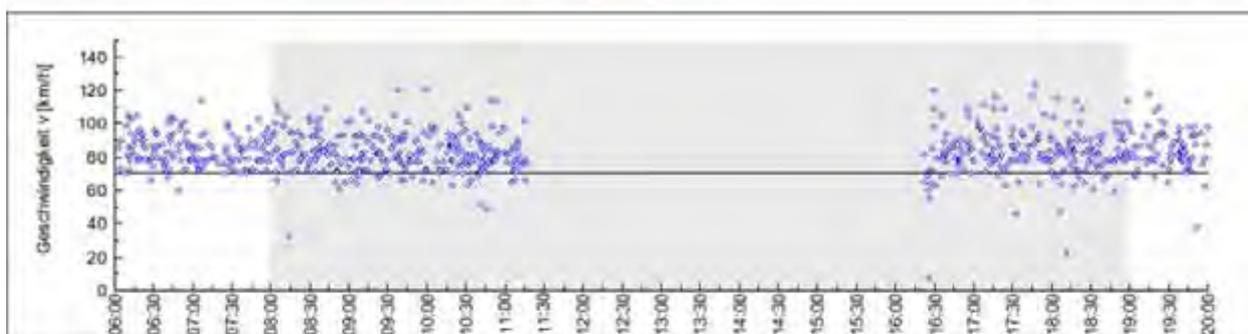
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - ohne Streifen Auswertezeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 402.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-10 - mit Streifen und Polizei Auswertezeitraum: 08:45:00 bis 17:45:00 Uhr	$v_{zul} = 50 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 670 Kfz)	44,63	50,26	58,70	62,50
Messung 2 (Q = 572 Kfz)	43,76	49,91	59,21	64,44
Änderung (M1 - M2)	-0,87	-0,35	0,51	1,94

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	57,76	57,17	14,03	64,67
Messung 2	55,24	57,69	15,56	65,35
Änderung (M1 - M2)	-2,52	0,52	1,53	0,68

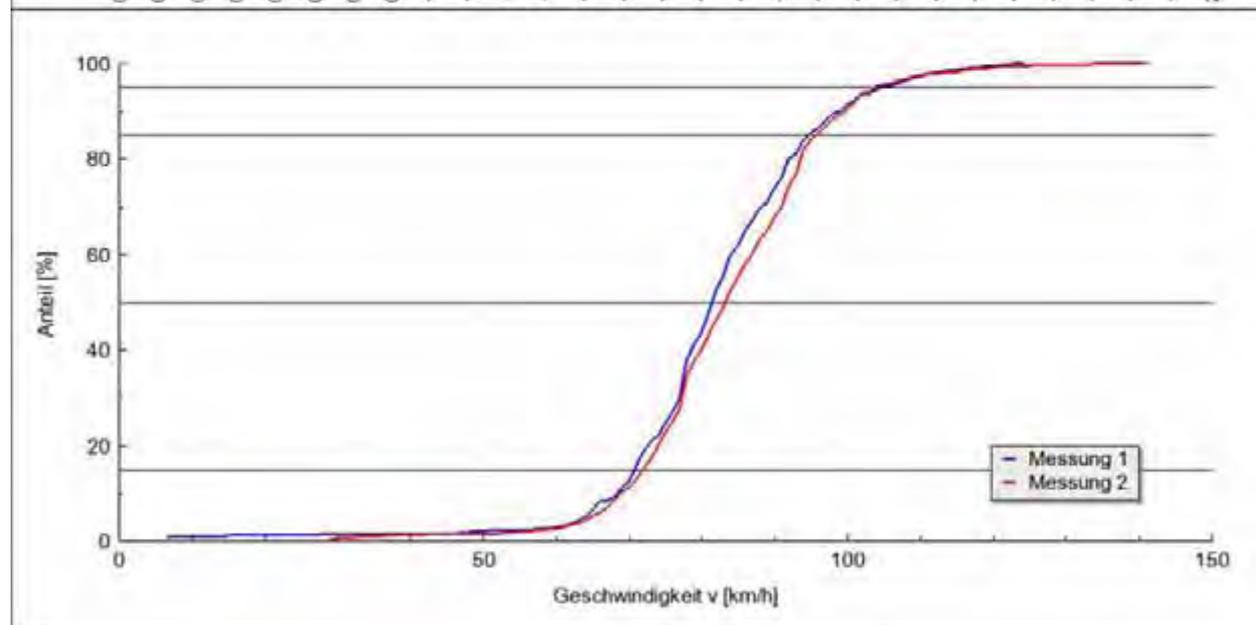
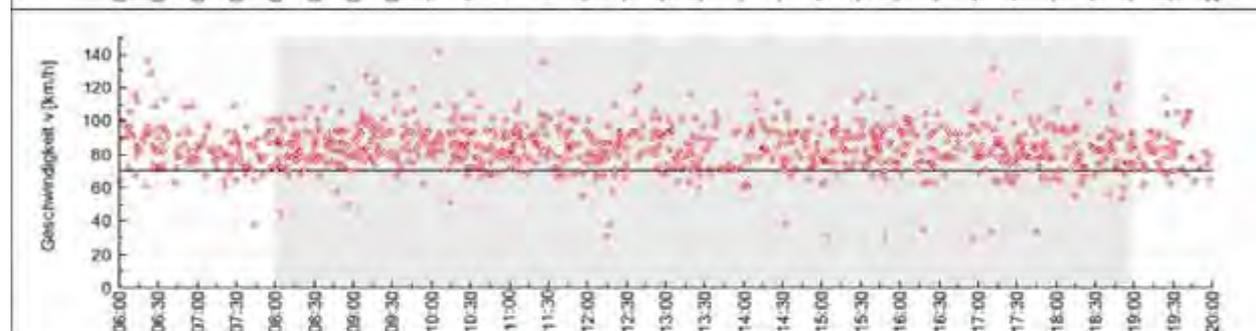
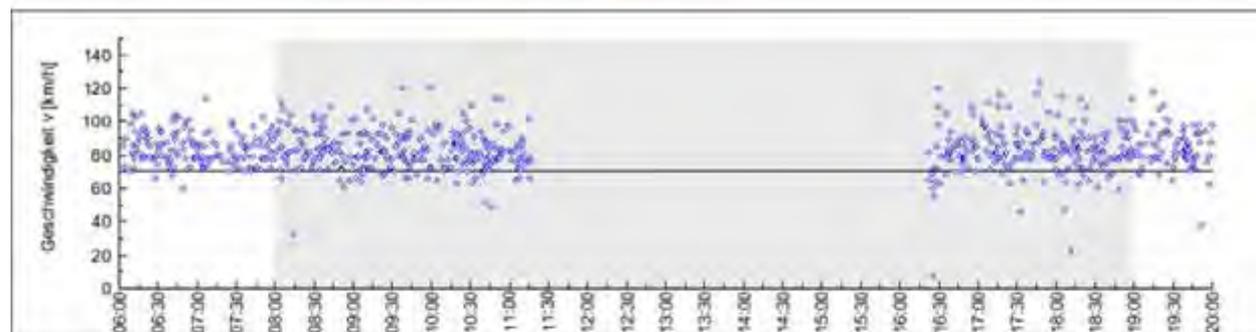
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 478 Kfz)	69,84	80,45	93,61	103,78
Messung 2 (Q = 839 Kfz)	71,45	81,98	95,21	104,86
Änderung (M1 - M2)	1,61	1,53	1,60	1,08

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	87,45	85,93	56,69	91,34
Messung 2	90,94	86,74	60,55	92,10
Änderung (M1 - M2)	3,49	0,81	3,86	0,76

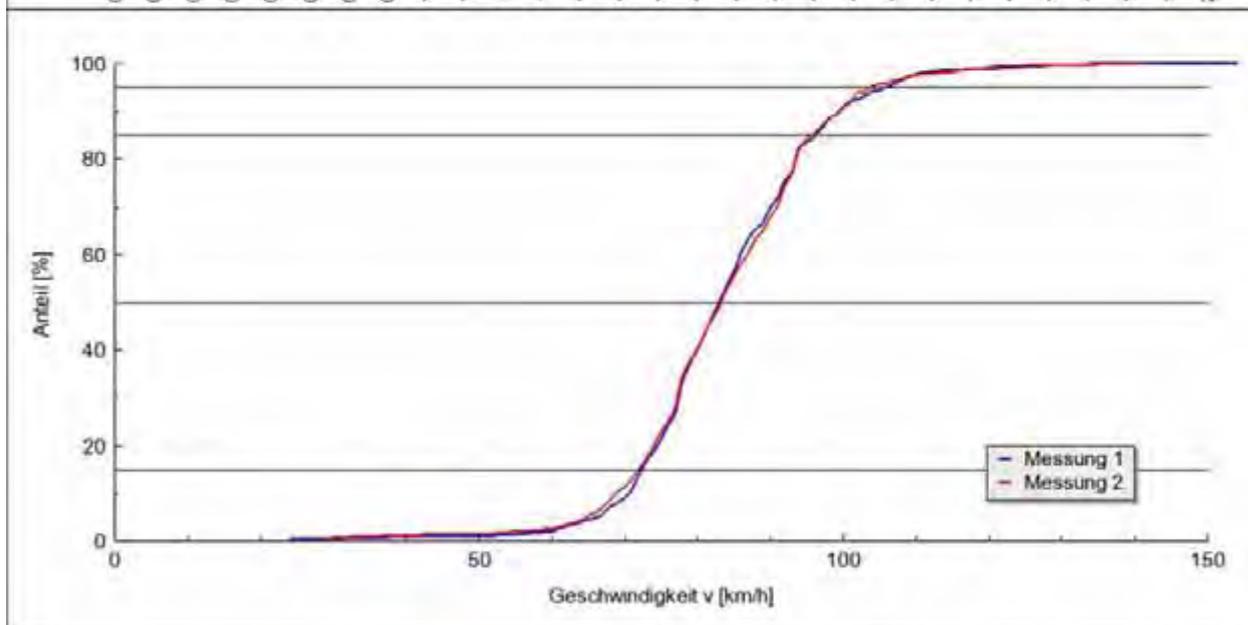
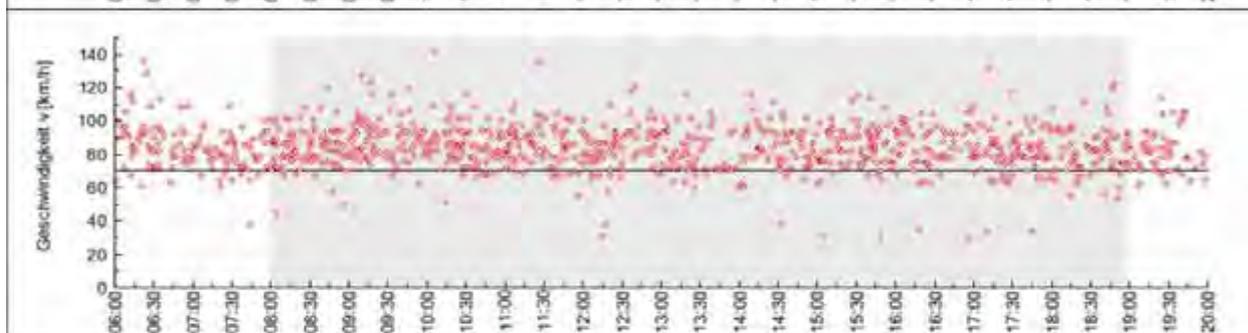
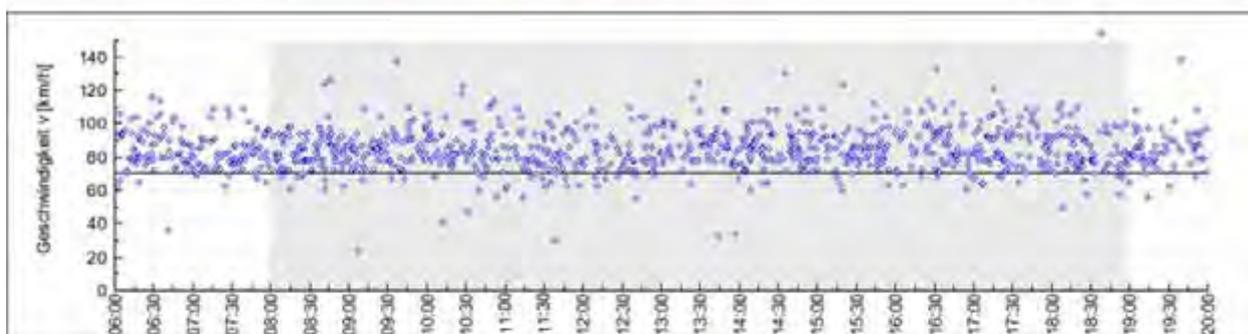
Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-09-13 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 478 Kfz)	69,84	80,45	93,61	103,78
Messung 2 (Q = 869 Kfz)	70,92	82,32	94,77	102,78
Änderung (M1 - M2)	1,08	1,87	1,16	-1,00

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	87,45	85,93	56,69	91,34
Messung 2	88,72	87,09	60,18	92,30
Änderung (M1 - M2)	1,27	1,16	3,49	0,96

Messung 1	Messung B399 Grosshau - 2007-10-10 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung B399 Grosshau - 2008-06-04 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



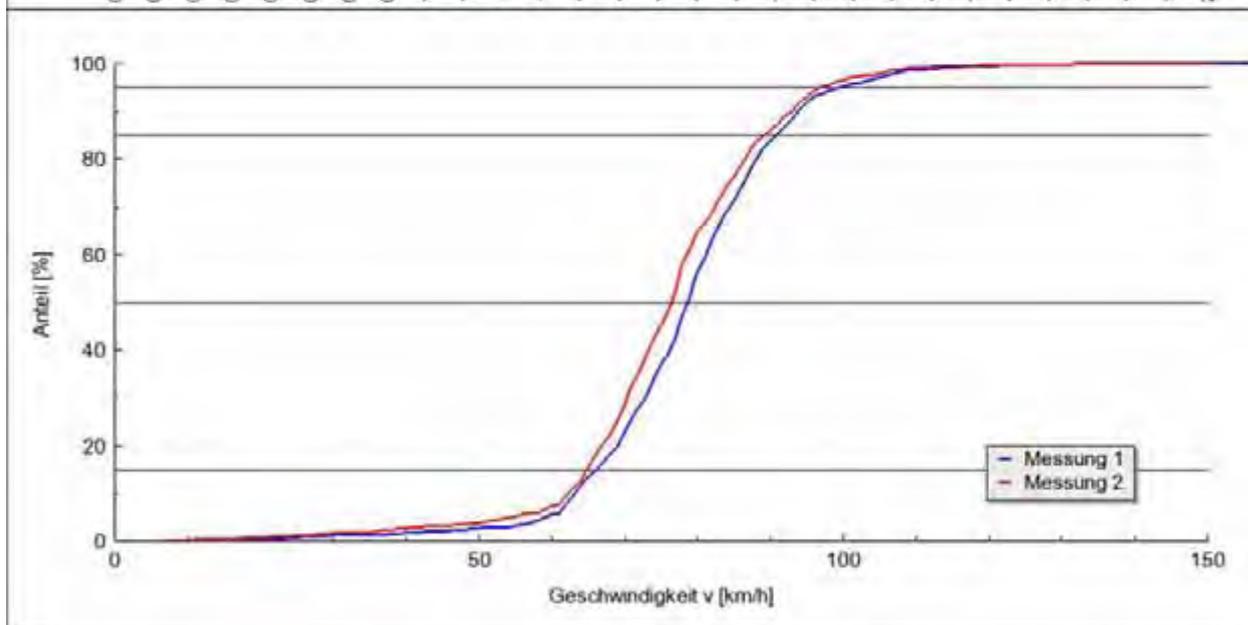
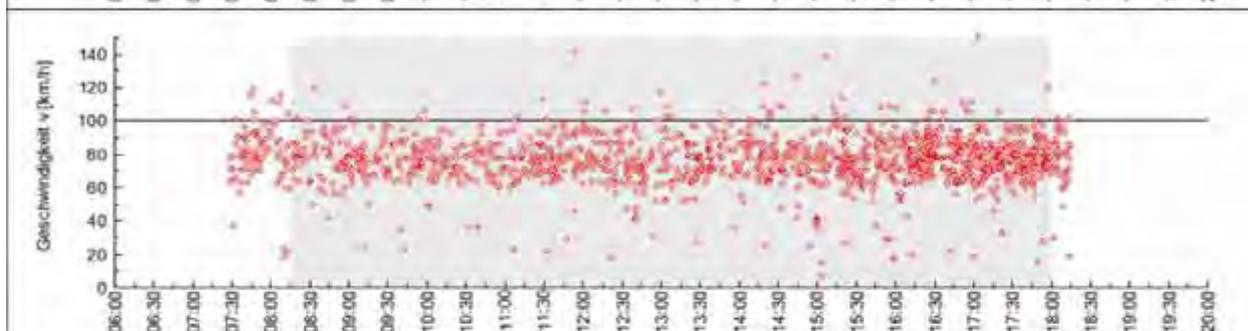
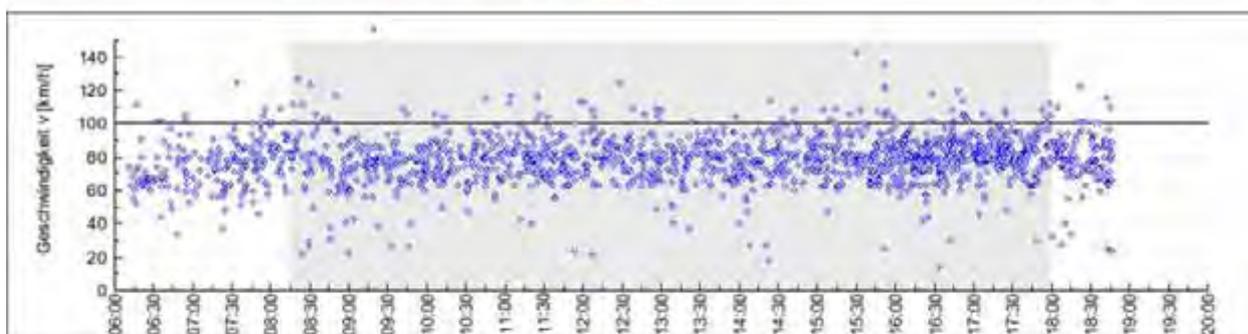
Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 839 Kfz)	71,45	81,98	95,21	104,86
Messung 2 (Q = 869 Kfz)	70,92	82,32	94,77	102,78
Änderung (M1 - M2)	-0,53	0,34	-0,44	-2,08

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	90,94	86,74	60,55	92,10
Messung 2	88,72	87,09	60,18	92,30
Änderung (M1 - M2)	-2,22	0,35	-0,37	0,20

8.7 B477 Fahrtrichtung L uxheim (gesamtes Fahrzeugkollektiv)

Station	Datum		Kfz		v _m		Statistik		
	V	n	v	n	v	n	D _{max}	D _{krit}	Sign.
-300	05.09.07	17.06.08	1475	1503	79,04	76,71	0,110	0,050	ja
-300	05.09.07	07.10.08	1475	761	79,04	73,94	0,229	0,061	ja
-300	11.09.07	17.06.08	1399	1503	78,55	76,71	0,086	0,051	ja
-300	11.09.07	07.10.08	1399	761	78,55	73,94	0,220	0,061	ja
150	05.09.07	17.06.08	1480	1509	71,70	61,56	0,386	0,050	ja
150	05.09.07	07.10.08	1480	1211	71,70	62,45	0,381	0,053	ja
150	11.09.07	17.06.08	1425	1509	71,50	61,56	0,361	0,050	ja
150	11.09.07	07.10.08	1425	1211	71,50	62,45	0,362	0,053	ja
270	05.09.07	17.06.08	1501	1557	66,89	63,19	0,176	0,049	ja
270	05.09.07	07.10.08	1501	1236	66,89	60,05	0,344	0,052	ja
270	11.09.07	17.06.08	1438	1557	68,98	63,19	0,245	0,050	ja
270	11.09.07	07.10.08	1438	1236	68,98	60,05	0,393	0,053	ja
KG	05.09.07	11.09.07	1581	1603	82,33	81,86	0,046	0,078	nein
KG	05.09.07	07.10.08	1581	1557	82,33	81,21	0,064	0,078	ja
KG	11.09.07	07.10.08	1603	1557	81,86	81,21	0,042	0,077	nein

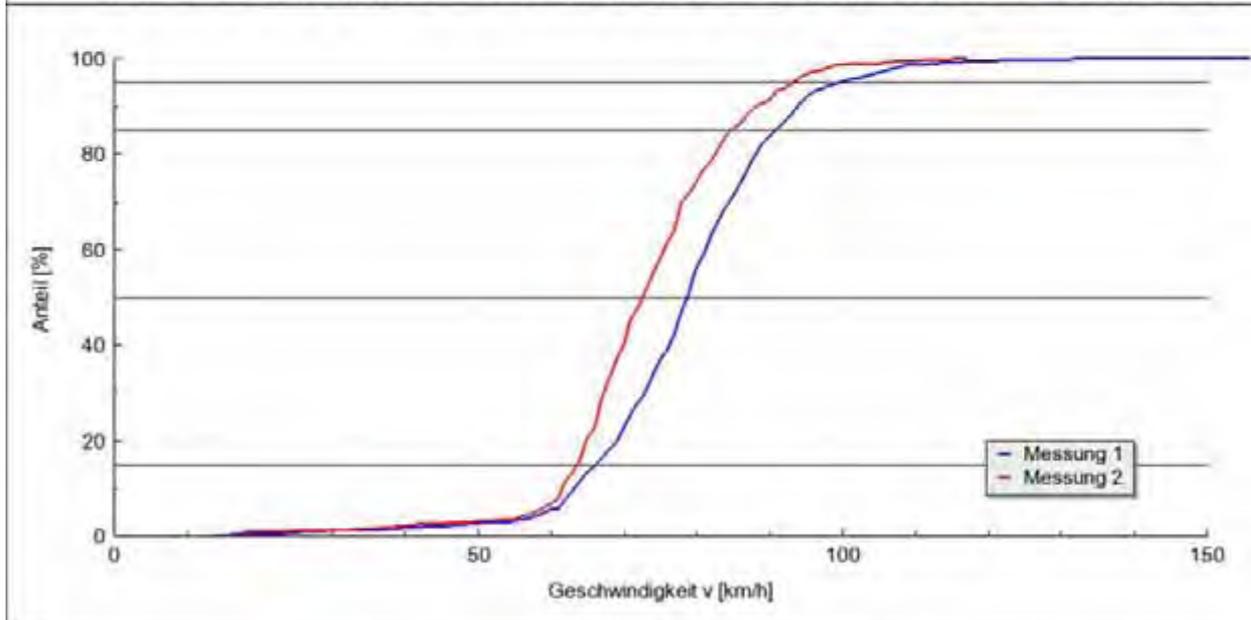
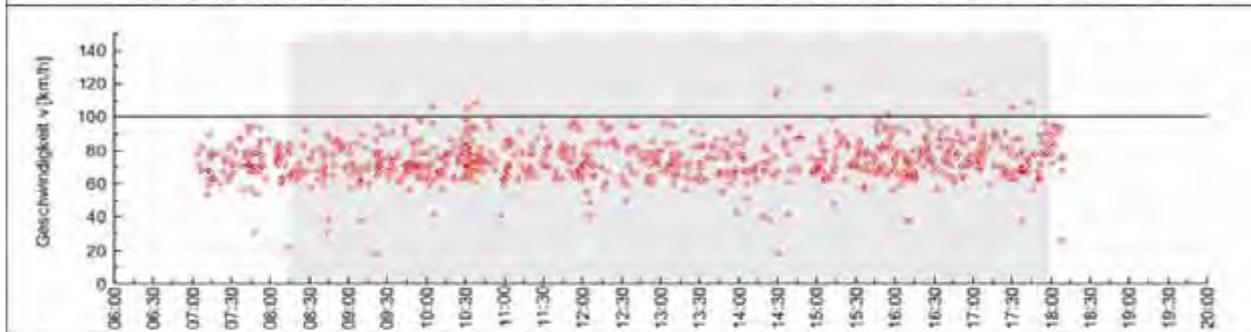
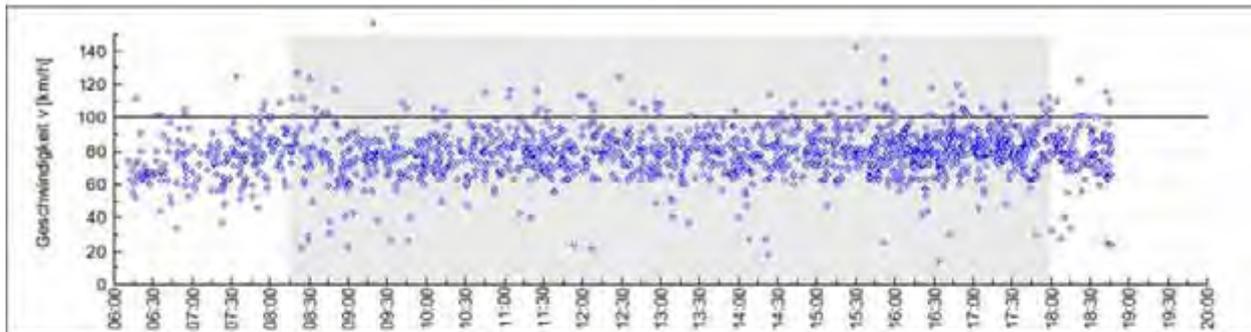
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: -300.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-06-17 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1475 Kfz)	65,18	77,73	89,74	99,04
Messung 2 (Q = 1503 Kfz)	63,91	75,58	88,14	96,12
Änderung (M1 - M2)	-1,27	-2,15	-1,60	-2,92

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	5,02	109,61	1,49	120,73
Messung 2	3,46	109,77	0,93	122,79
Änderung (M1 - M2)	-1,56	0,16	-0,56	2,06

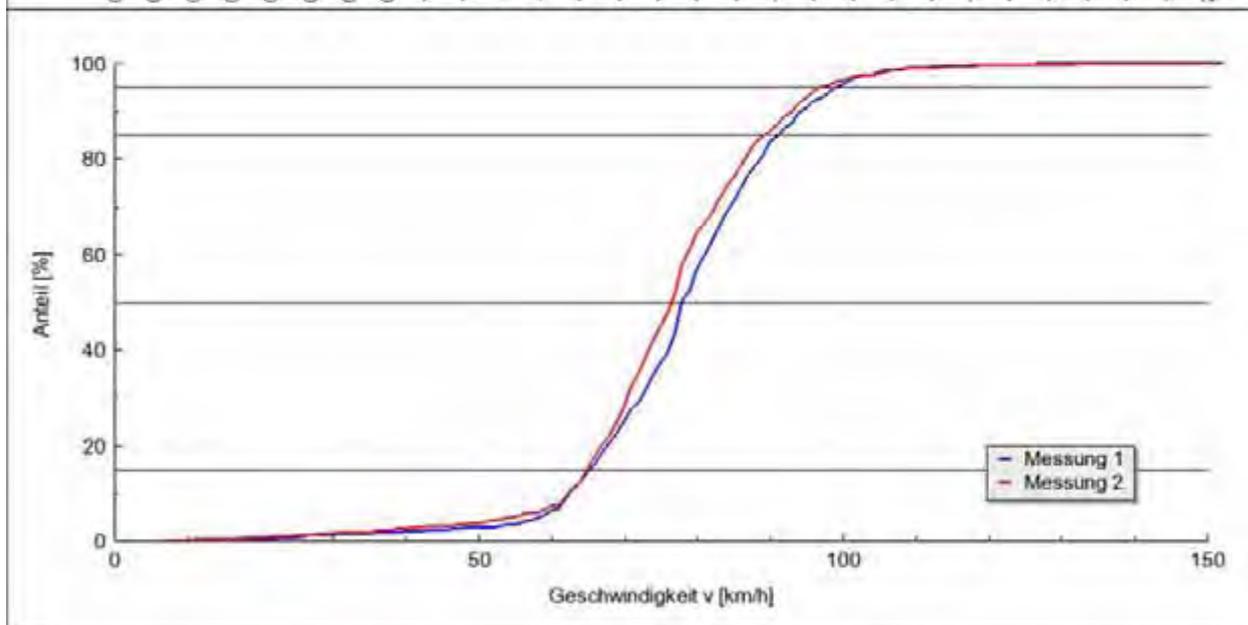
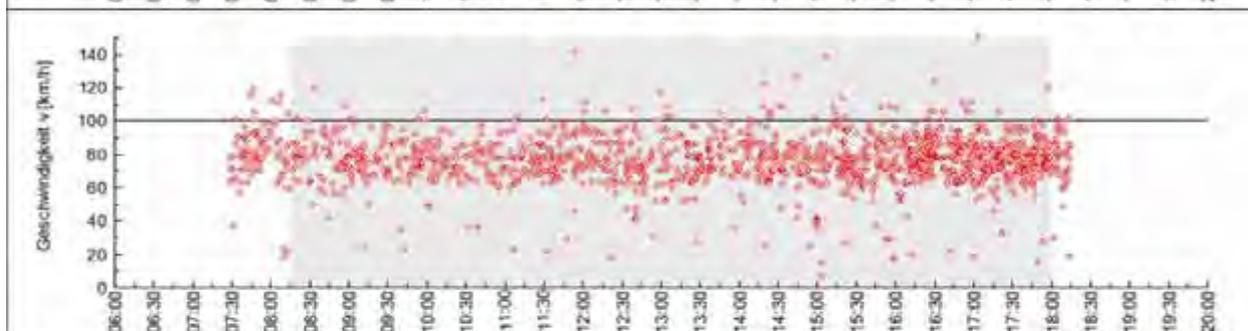
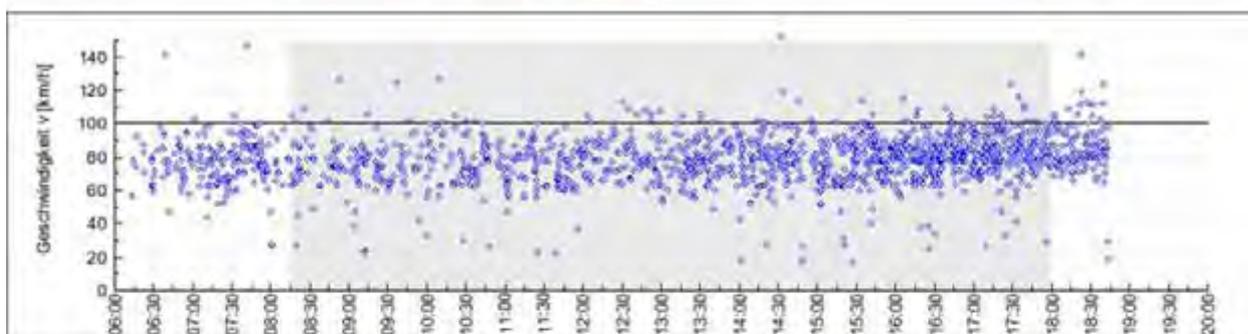
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: -300.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1475 Kfz)	65,18	77,73	89,74	99,04
Messung 2 (Q = 763 Kfz)	62,64	71,60	83,75	92,29
Änderung (M1 - M2)	-2,54	-6,13	-5,99	-6,75

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	5,02	109,61	1,49	120,73
Messung 2	1,31	109,60	0,52	115,00
Änderung (M1 - M2)	-3,71	-0,01	-0,97	-5,73

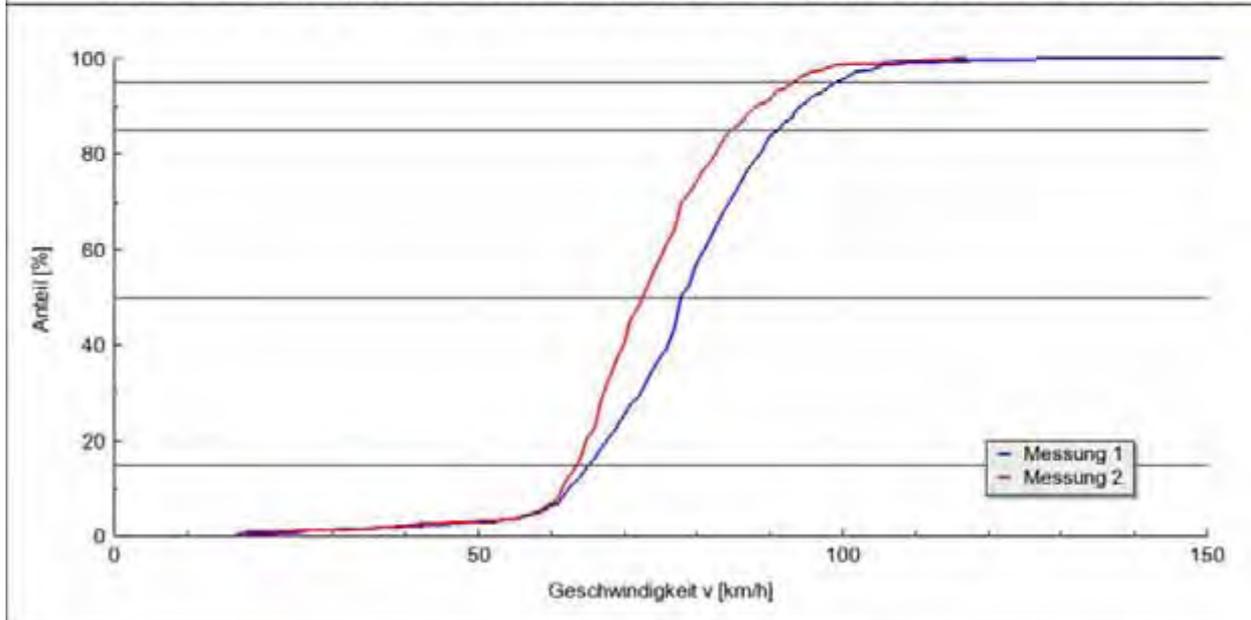
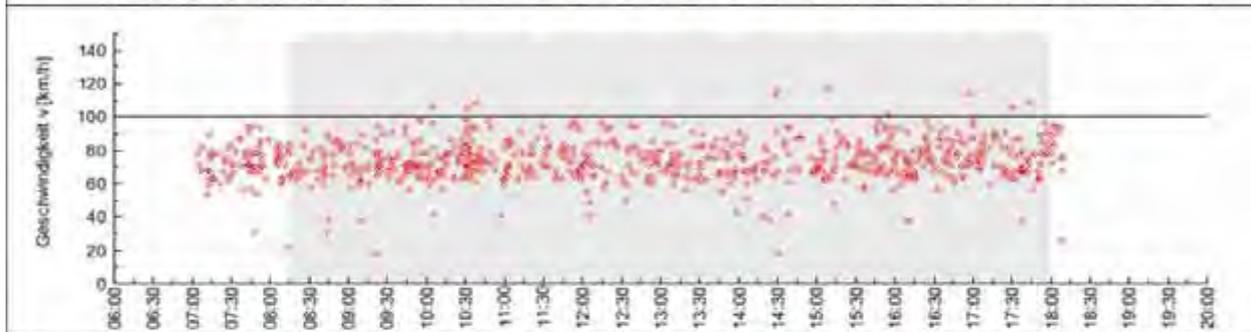
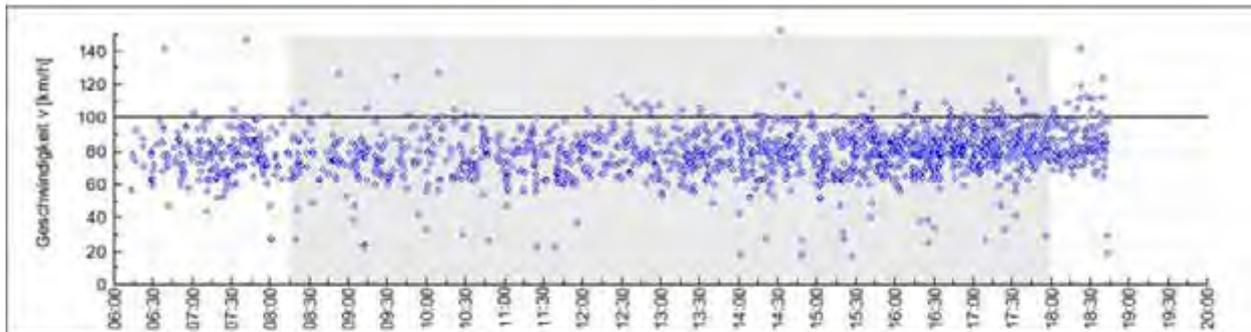
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: -300.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-06-17 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1399 Kfz)	64,34	76,97	90,10	98,13
Messung 2 (Q = 1503 Kfz)	63,91	75,58	88,14	96,12
Änderung (M1 - M2)	-0,43	-1,39	-1,96	-2,01

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	4,50	107,11	0,86	121,33
Messung 2	3,46	109,77	0,93	122,79
Änderung (M1 - M2)	-1,04	2,66	0,07	1,46

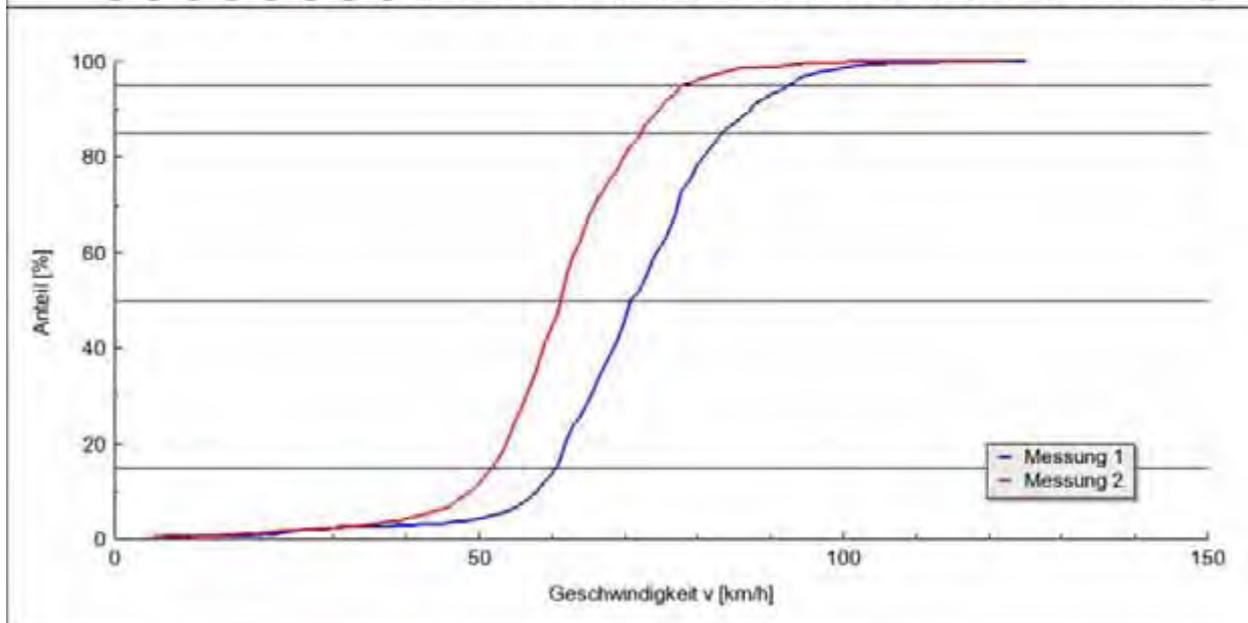
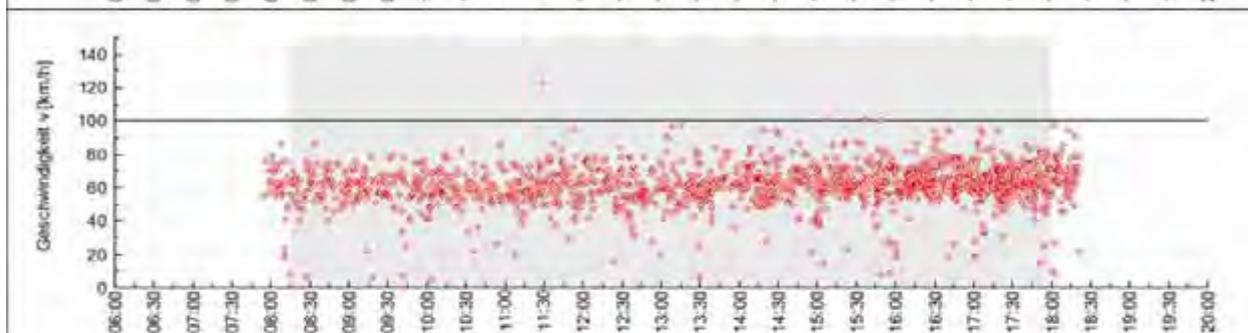
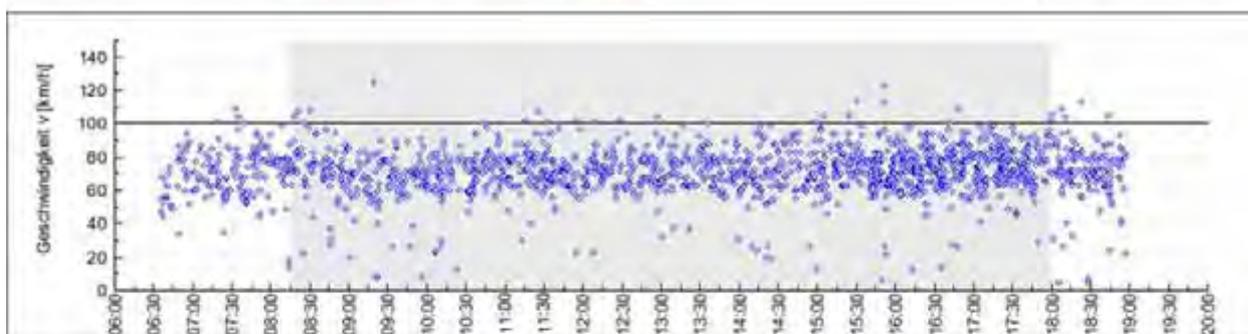
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - ohne Streifen Auswertezeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: -300.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - mit Streifen Auswertezeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1399 Kfz)	64,34	76,97	90,10	98,13
Messung 2 (Q = 763 Kfz)	62,64	71,60	83,75	92,29
Änderung (M1 - M2)	-1,70	-5,37	-6,35	-5,84

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	4,50	107,11	0,86	121,33
Messung 2	1,31	109,60	0,52	115,00
Änderung (M1 - M2)	-3,19	2,49	-0,34	-6,33

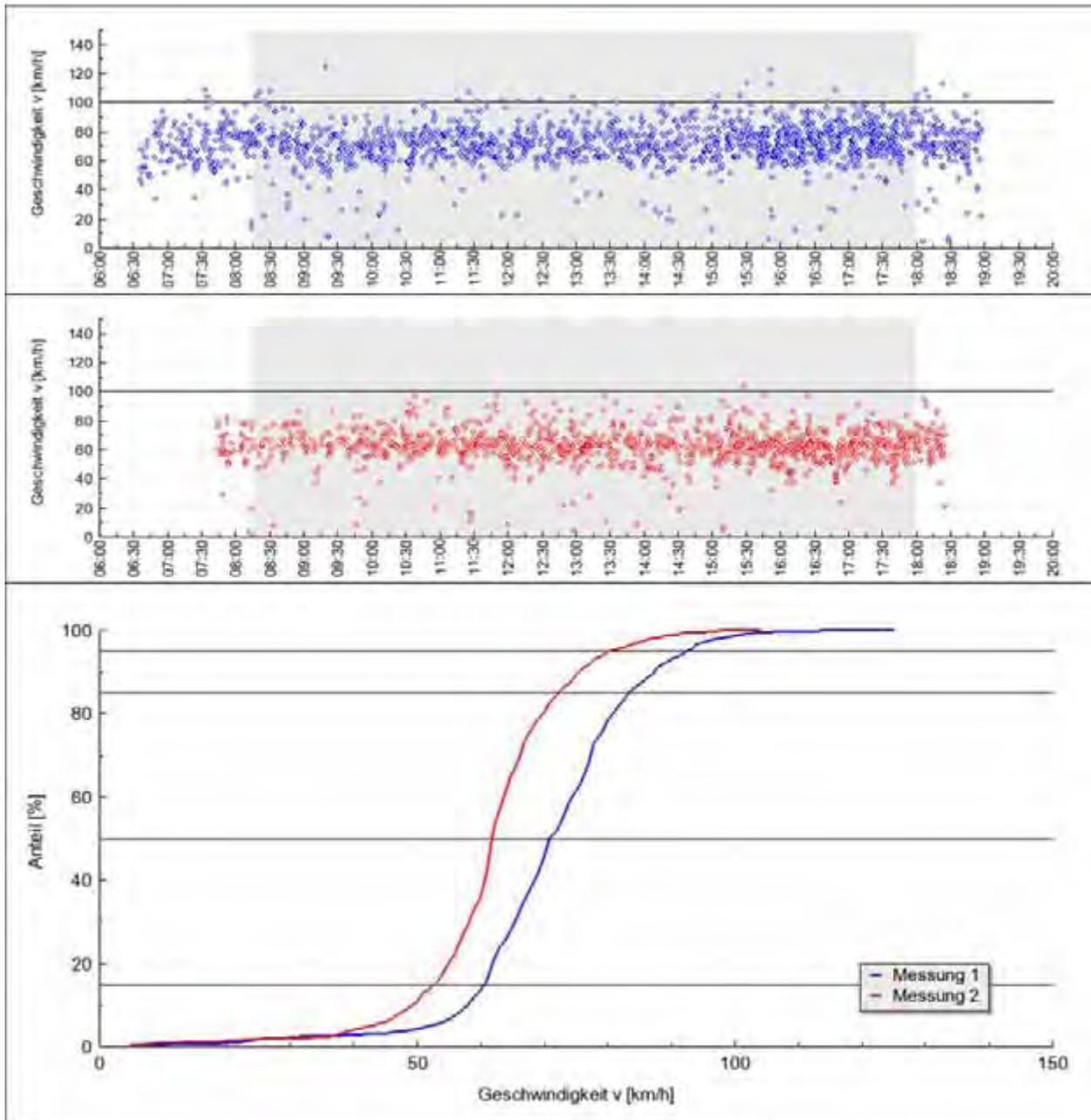
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 150.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-06-17 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1480 Kfz)	59,77	69,95	82,40	91,75
Messung 2 (Q = 1509 Kfz)	50,91	60,33	71,25	76,94
Änderung (M1 - M2)	-8,86	-9,62	-11,15	-14,81

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	1,28	107,05	0,27	118,50
Messung 2	0,20	108,00	0,07	122,00
Änderung (M1 - M2)	-1,08	0,95	-0,20	3,50

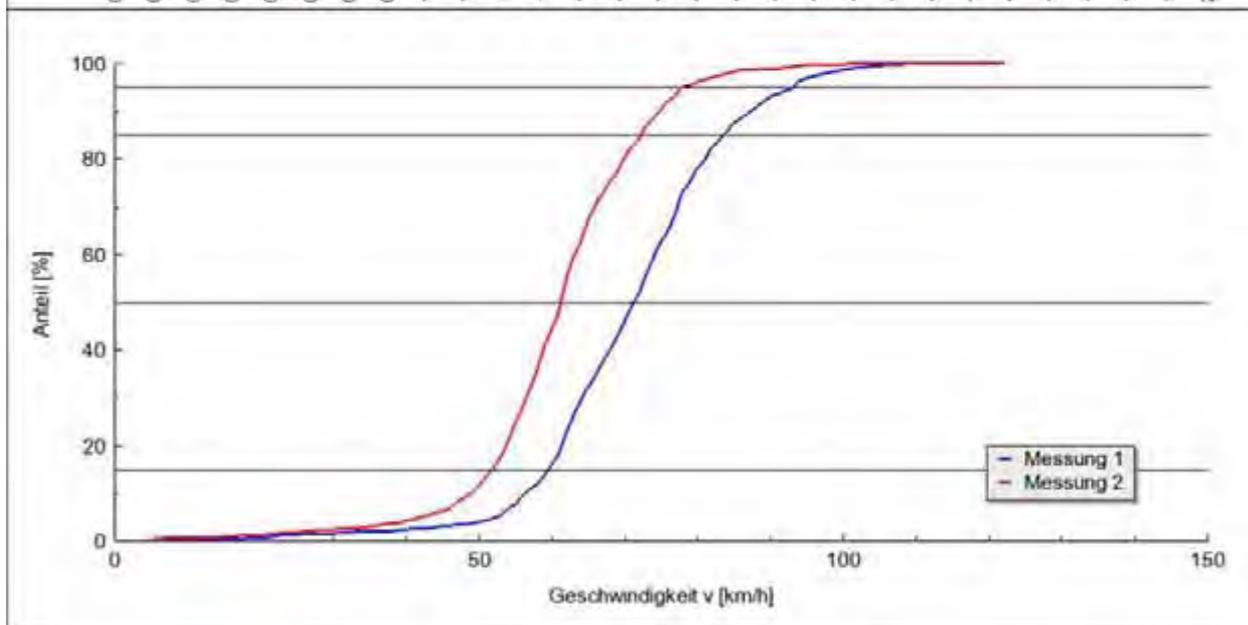
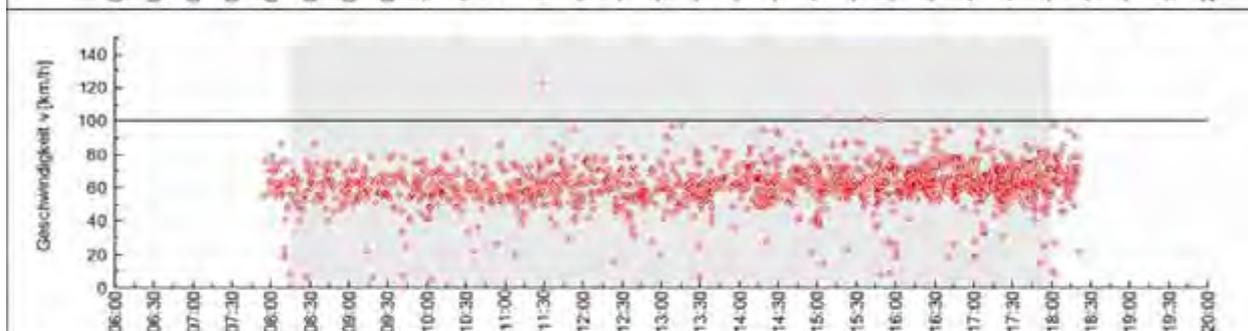
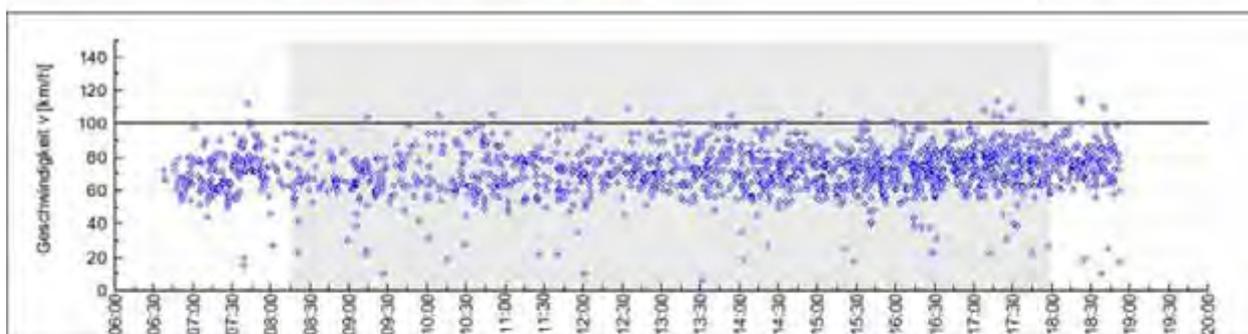
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - ohne Streifen Auswertezeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 150.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - mit Streifen Auswertezeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1480 Kfz)	59,77	69,95	82,40	91,75
Messung 2 (Q = 1212 Kfz)	51,83	60,83	71,25	79,35
Änderung (M1 - M2)	-7,94	-9,12	-11,15	-12,40

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	1,28	107,05	0,27	118,50
Messung 2	0,08	104,00	-	-
Änderung (M1 - M2)	-1,20	-3,05	-0,27	-

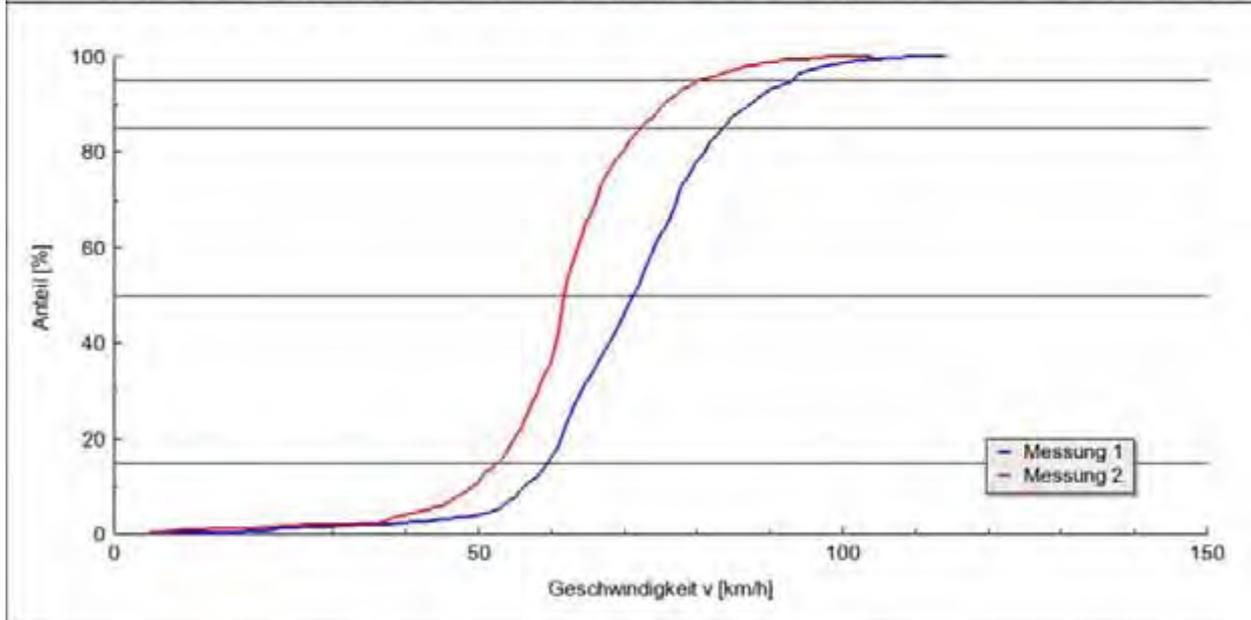
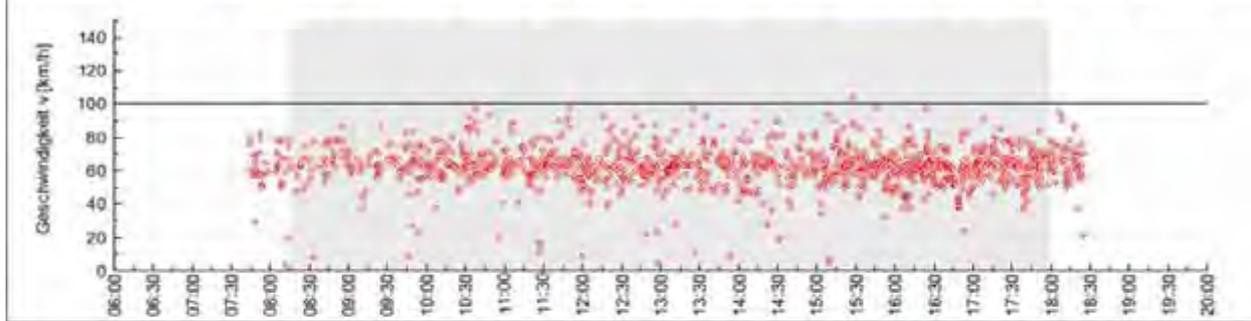
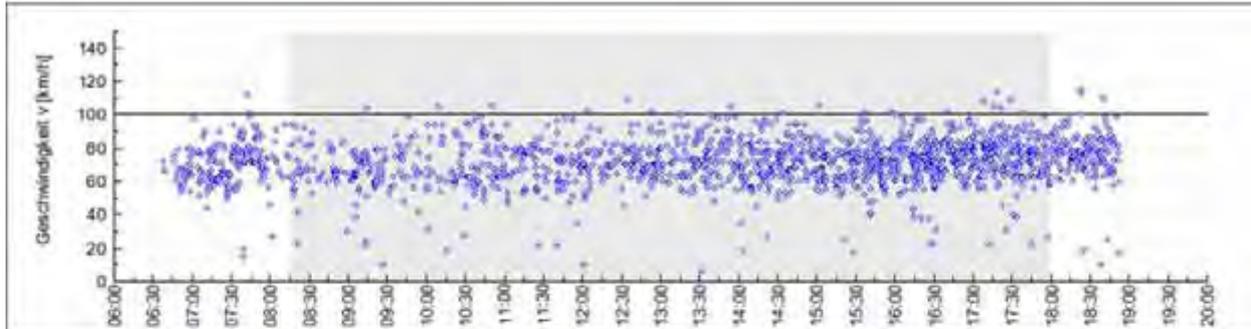
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 150.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-06-17 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1425 Kfz)	58,60	70,31	82,61	92,17
Messung 2 (Q = 1509 Kfz)	50,91	60,33	71,25	76,94
Änderung (M1 - M2)	-7,69	-9,98	-11,36	-15,23

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	1,26	104,89	0,07	114,00
Messung 2	0,20	108,00	0,07	122,00
Änderung (M1 - M2)	-1,06	3,11	0,00	8,00

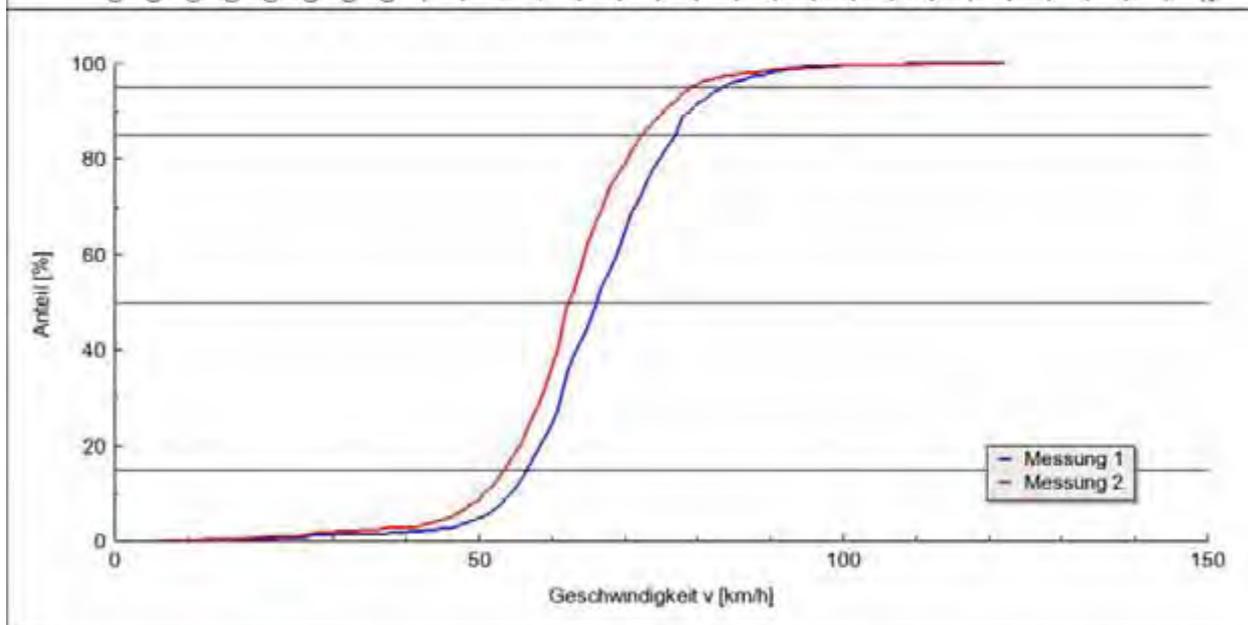
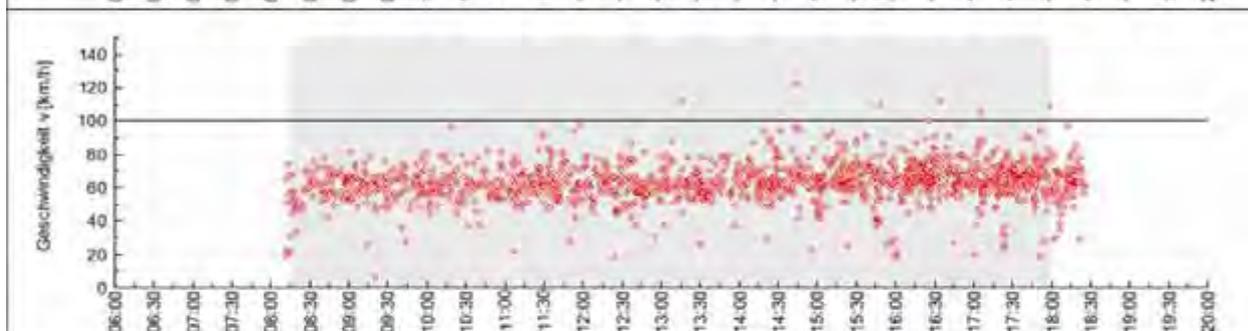
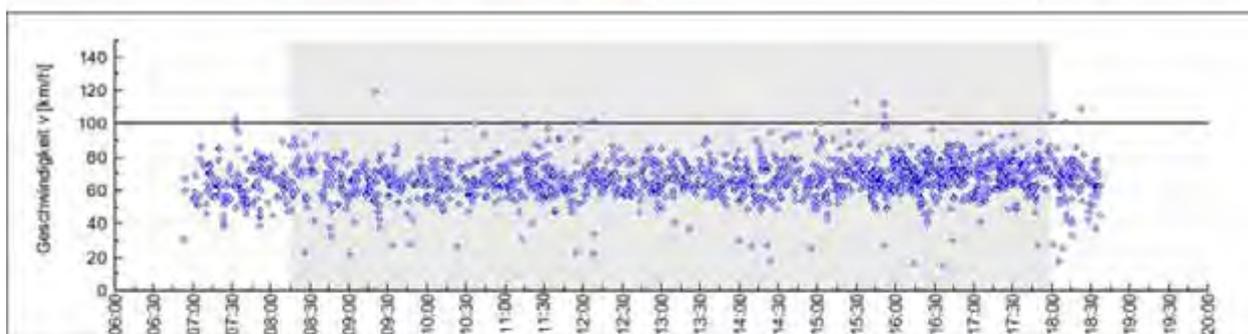
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - ohne Streifen Auswertezeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 150.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - mit Streifen Auswertezeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1425 Kfz)	58,60	70,31	82,61	92,17
Messung 2 (Q = 1212 Kfz)	51,83	60,83	71,25	79,35
Änderung (M1 - M2)	-6,77	-9,48	-11,36	-12,82

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	1,26	104,89	0,07	114,00
Messung 2	0,08	104,00	-	-
Änderung (M1 - M2)	-1,18	-0,89	-0,07	-

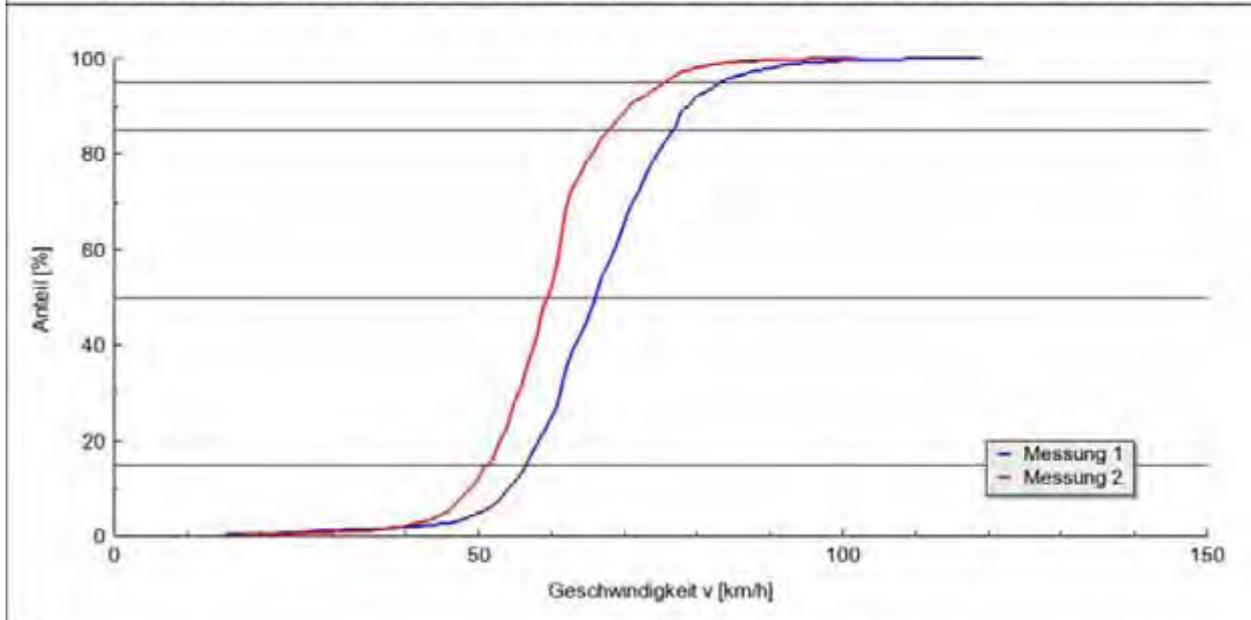
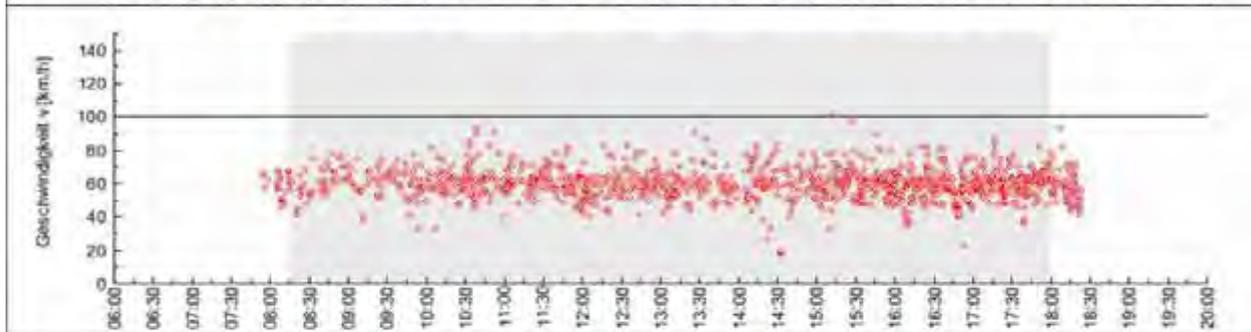
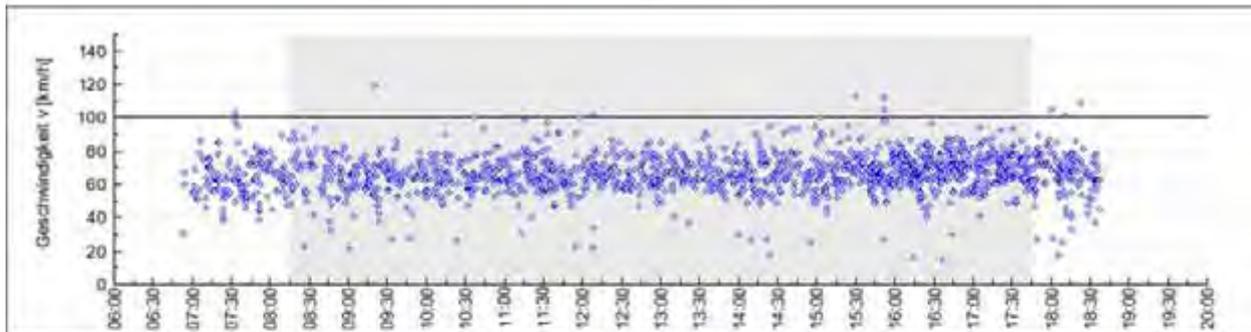
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 270.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-06-17 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1501 Kfz)	55,73	65,20	76,08	82,50
Messung 2 (Q = 1557 Kfz)	52,60	61,39	71,40	78,24
Änderung (M1 - M2)	-3,13	-3,81	-4,68	-4,26

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	0,33	110,20	0,20	114,67
Messung 2	0,39	111,67	0,19	115,33
Änderung (M1 - M2)	0,06	1,47	-0,01	0,66

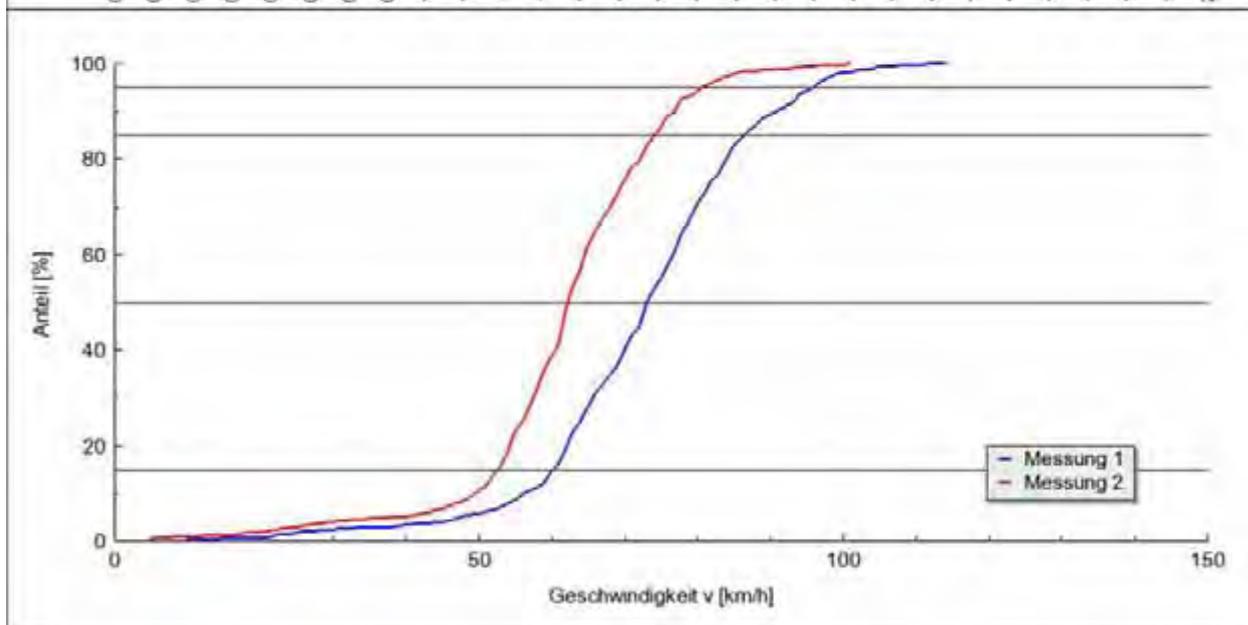
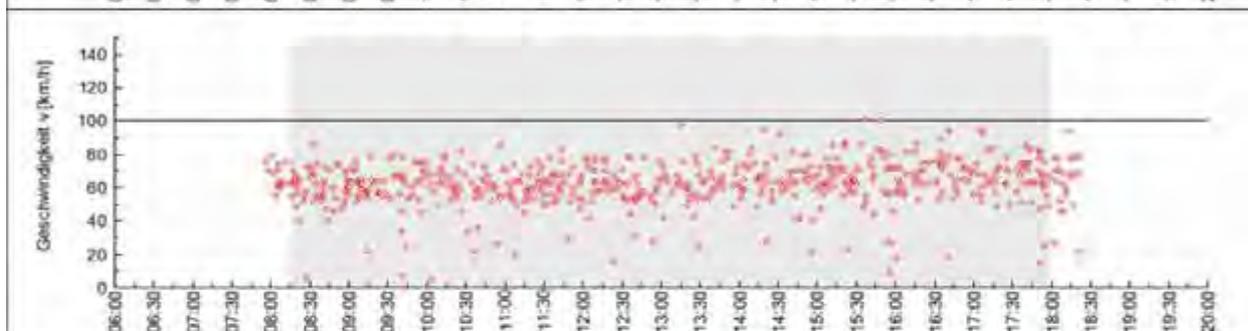
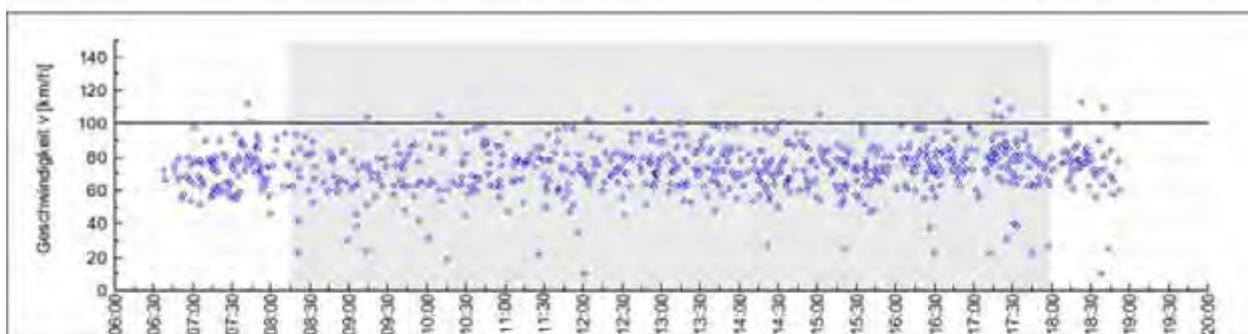
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 17:45:00 Uhr	Station: 270.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1462 Kfz)	55,69	65,10	75,86	82,29
Messung 2 (Q = 1236 Kfz)	50,49	58,52	66,93	74,75
Änderung (M1 - M2)	-5,20	-6,58	-8,93	-7,54

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	0,34	110,20	0,21	114,67
Messung 2	0,08	102,00	-	-
Änderung (M1 - M2)	-0,26	-8,20	-0,21	-

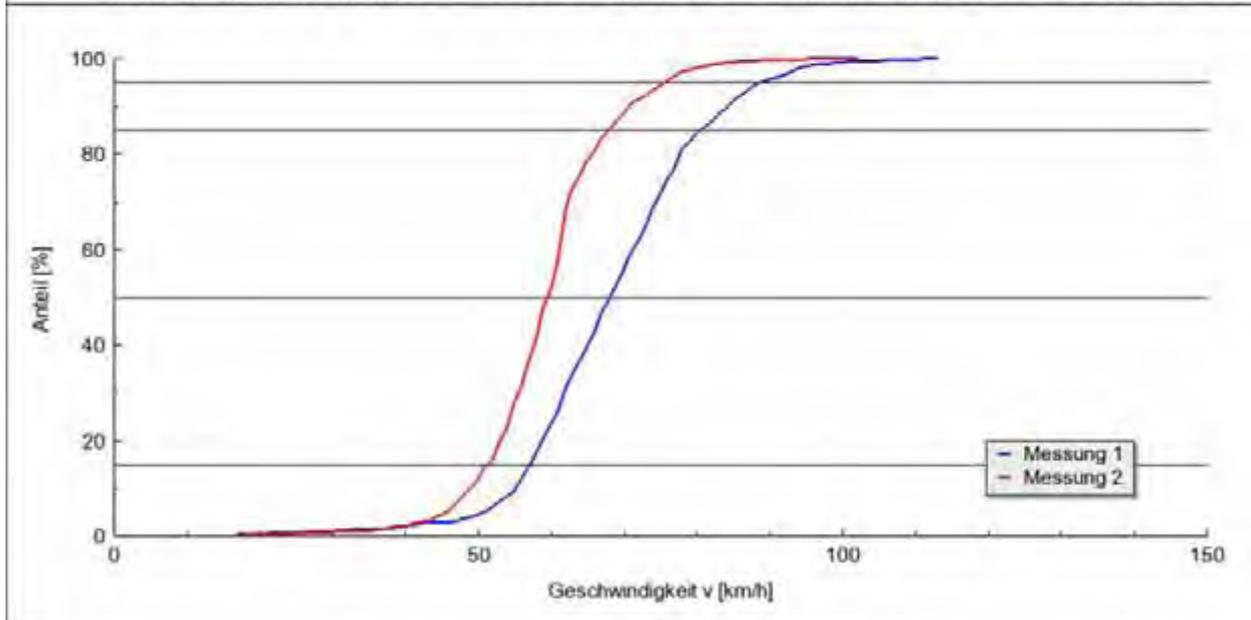
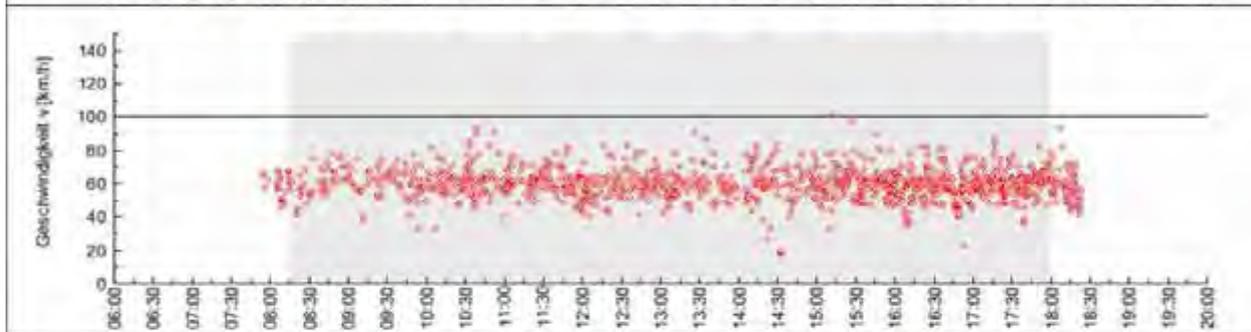
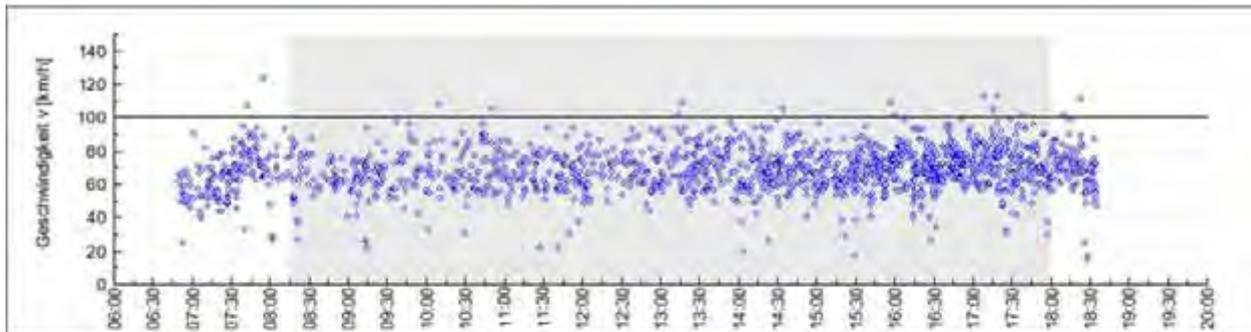
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 270.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-06-17 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1438 Kfz)	56,23	67,06	79,59	87,79
Messung 2 (Q = 1557 Kfz)	52,60	61,39	71,40	78,24
Änderung (M1 - M2)	-3,63	-5,67	-8,19	-9,55

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	0,76	106,82	0,14	113,00
Messung 2	0,39	111,67	0,19	115,33
Änderung (M1 - M2)	-0,37	4,85	0,05	2,33

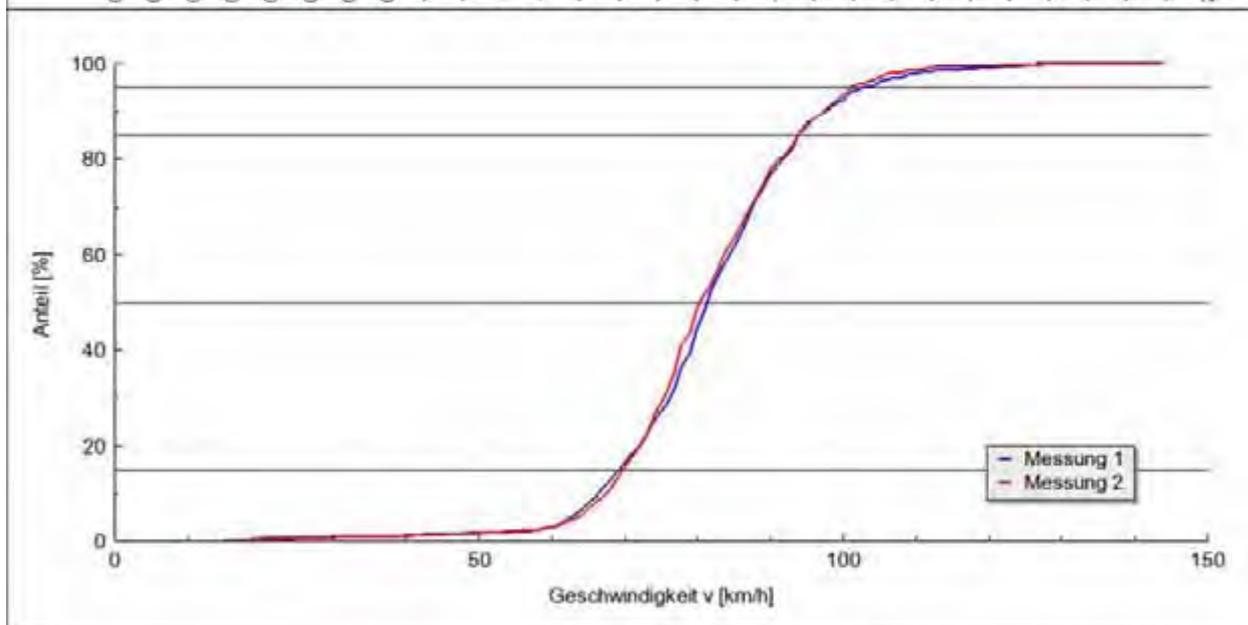
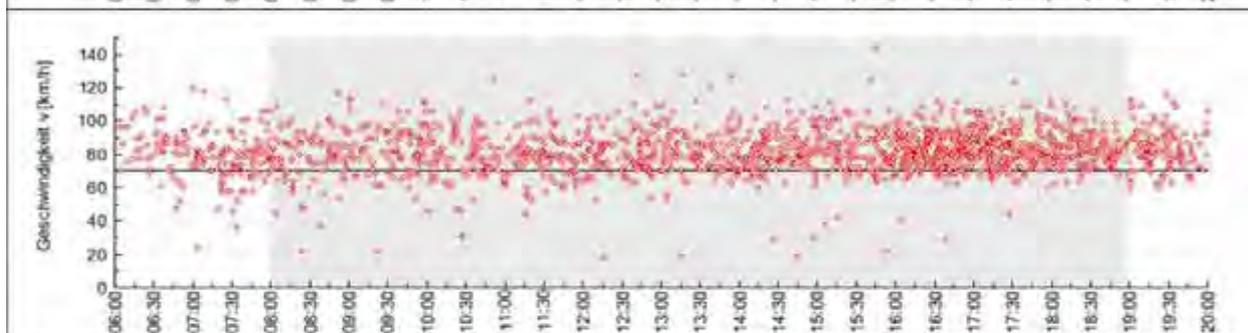
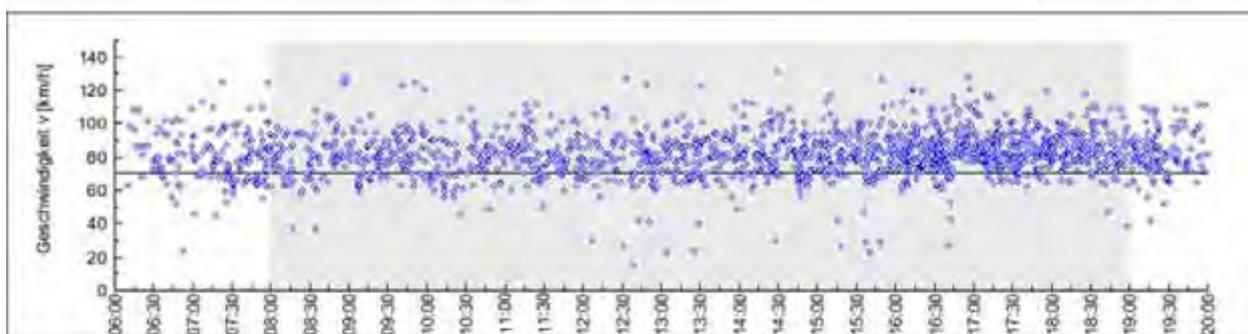
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 270.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1438 Kfz)	56,23	67,06	79,59	87,79
Messung 2 (Q = 1236 Kfz)	50,49	58,52	66,93	74,75
Änderung (M1 - M2)	-5,74	-8,54	-12,66	-13,04

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	0,76	106,82	0,14	113,00
Messung 2	0,08	102,00	-	-
Änderung (M1 - M2)	-0,68	-4,82	-0,14	-

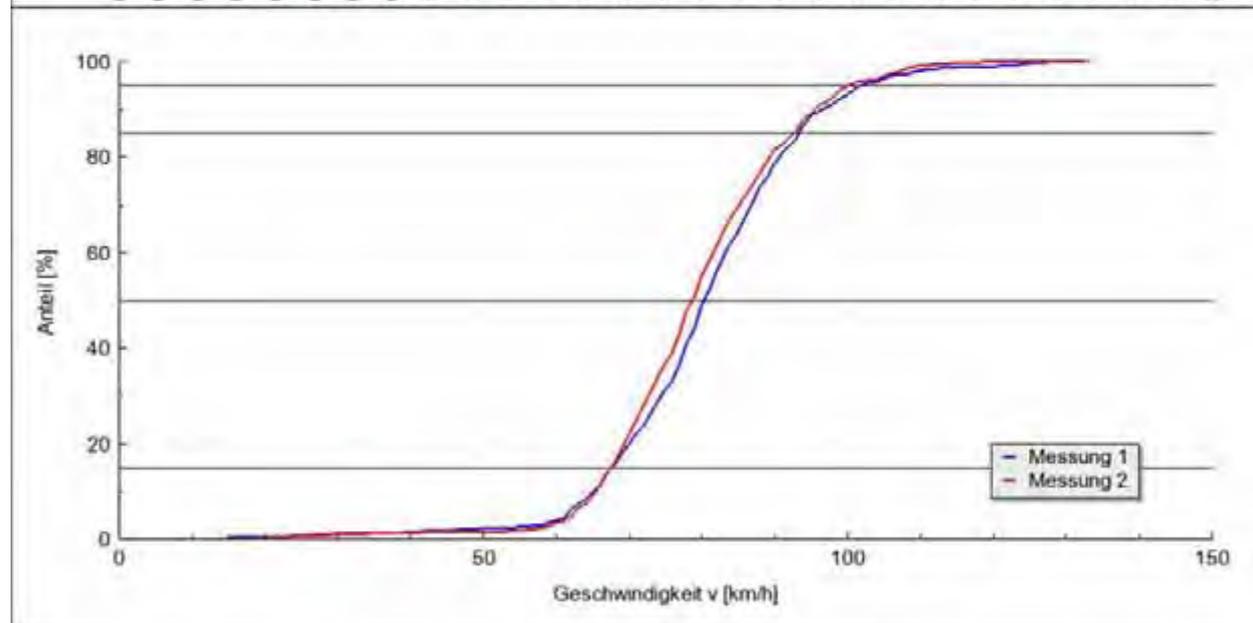
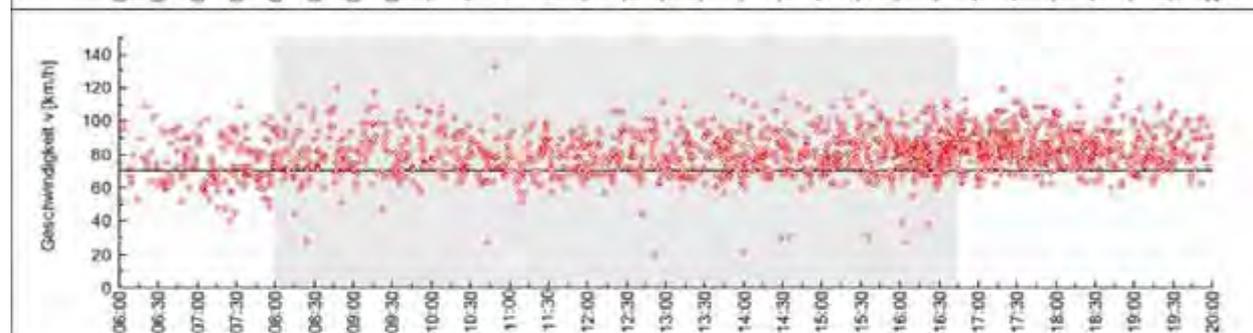
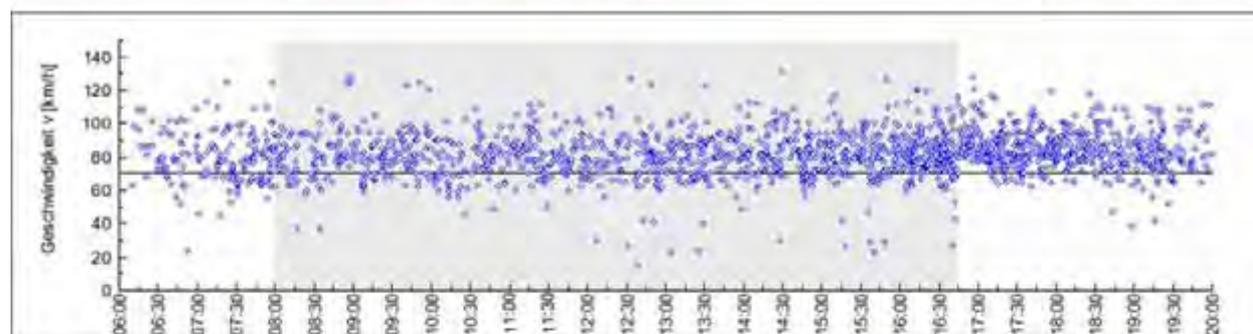
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1581 Kfz)	68,31	80,40	92,92	102,32
Messung 2 (Q = 1603 Kfz)	68,86	79,52	92,83	100,15
Änderung (M1 - M2)	0,55	-0,88	-0,09	-2,17

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	83,68	86,13	55,79	91,02
Messung 2	84,65	85,27	51,72	91,10
Änderung (M1 - M2)	0,97	-0,86	-4,07	0,08

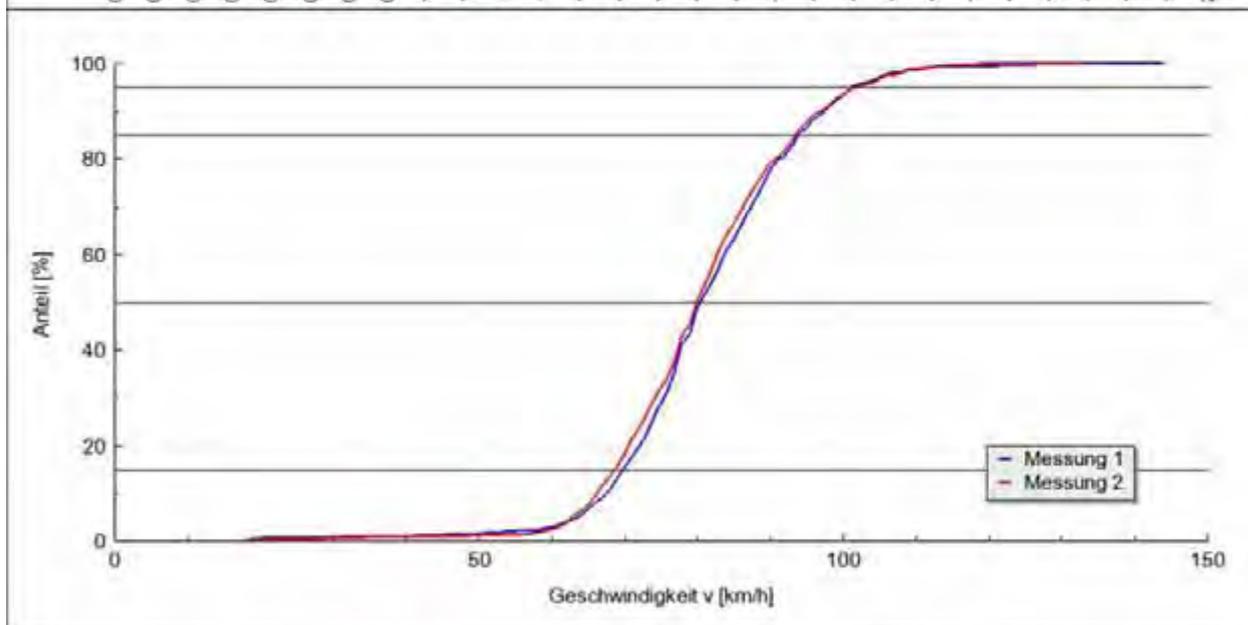
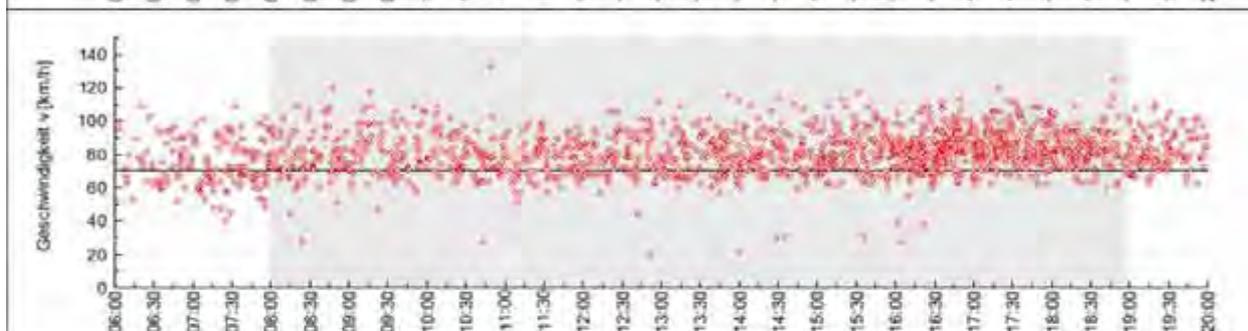
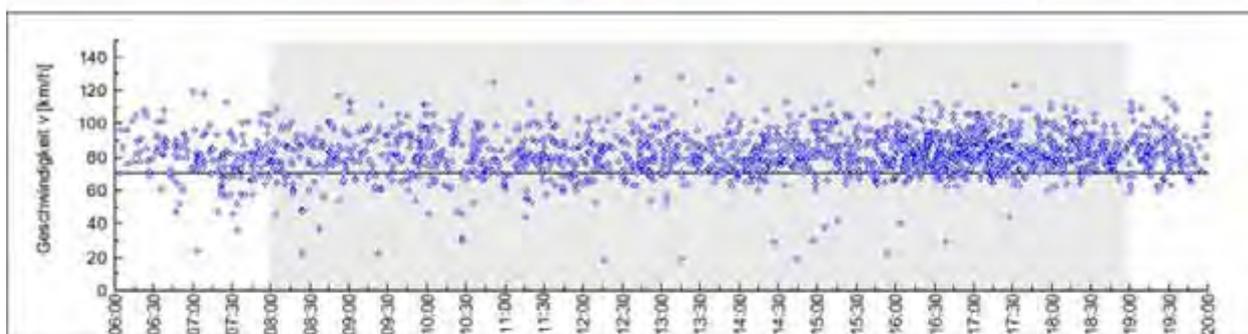
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - Kontrollgruppe Auswertezeitraum: 08:00:00 bis 16:45:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - Kontrollgruppe Auswertezeitraum: 08:00:00 bis 16:45:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1141 Kfz)	66,71	79,40	92,39	100,99
Messung 2 (Q = 1122 Kfz)	66,64	77,83	91,60	99,43
Änderung (M1 - M2)	-0,07	-1,57	-0,79	-1,56

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	80,02	85,76	51,36	91,05
Messung 2	78,25	84,37	45,28	90,62
Änderung (M1 - M2)	-1,77	-1,39	-6,08	-0,43

Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



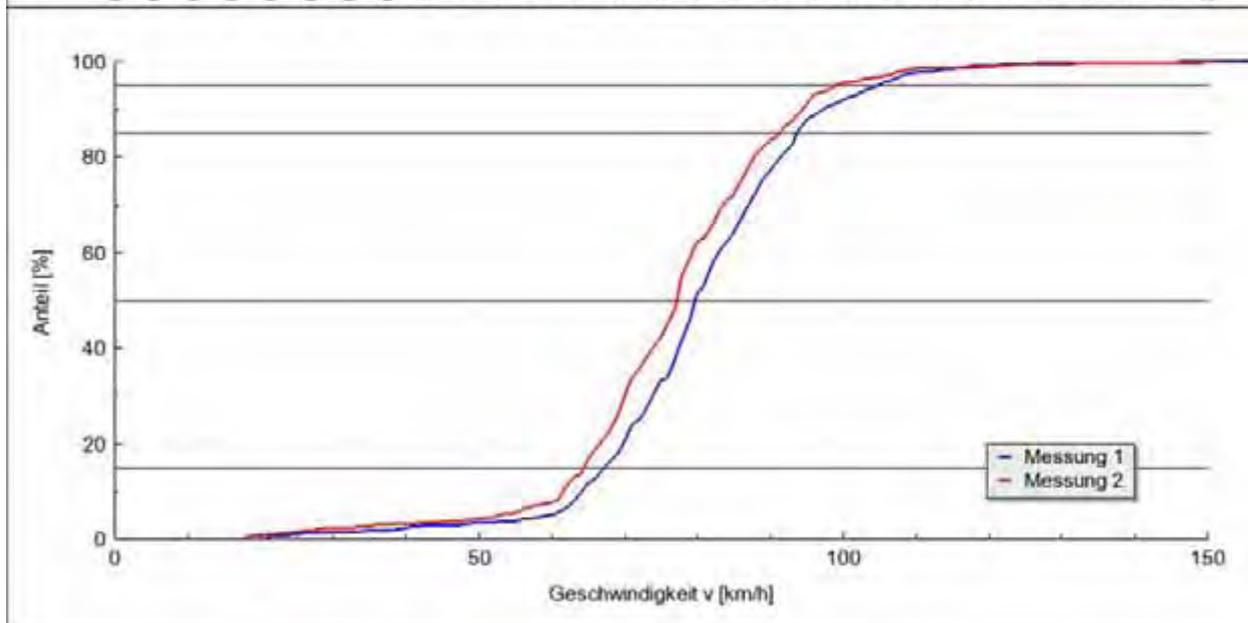
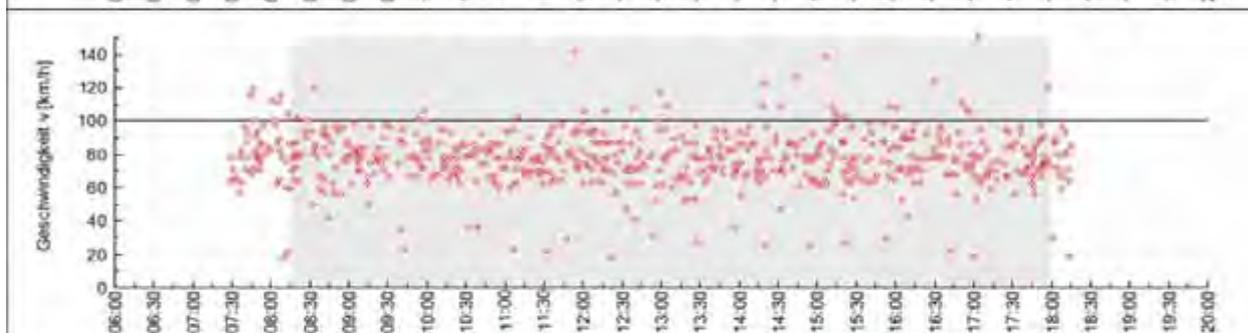
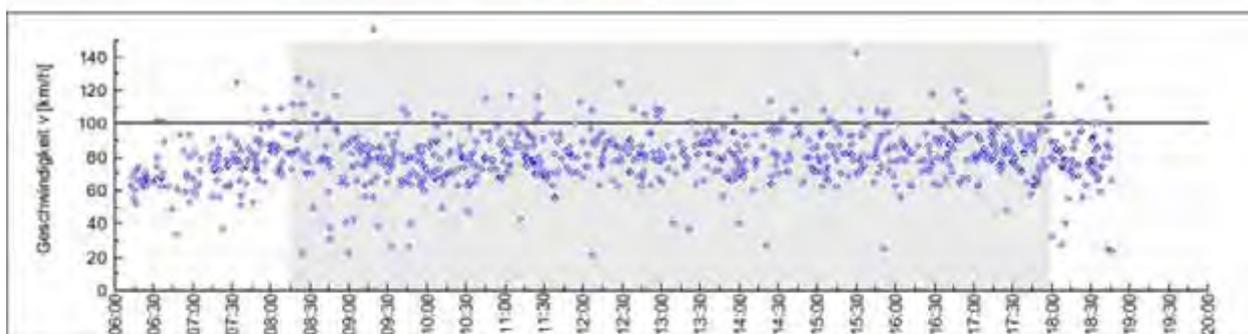
Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 1603 Kfz)	68,86	79,52	92,83	100,15
Messung 2 (Q = 1557 Kfz)	67,74	79,01	92,43	101,02
Änderung (M1 - M2)	-1,12	-0,51	-0,40	0,87

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	84,65	85,27	51,72	91,10
Messung 2	81,70	85,00	50,03	90,73
Änderung (M1 - M2)	-2,95	-0,27	-1,69	-0,37

8.8 B477 Fahrtrichtung L uxheim (frei Fahrende)

Station	Datum		Kfz		v _m		Statistik		
	V	n	v	n	v	n	D _{max}	D _{krit}	Sign.
-300	05.09.07	17.06.08	658	619	80,91	77,41	0,138	0,076	ja
-300	05.09.07	07.10.08	658	390	80,91	75,21	0,206	0,087	ja
-300	11.09.07	17.06.08	615	619	79,55	77,41	0,120	0,077	ja
-300	11.09.07	07.10.08	615	390	79,55	75,21	0,178	0,088	ja
150	05.09.07	17.06.08	652	590	72,68	62,54	0,379	0,077	ja
150	05.09.07	07.10.08	652	462	72,68	64,58	0,318	0,083	ja
150	11.09.07	17.06.08	600	590	73,13	62,54	0,360	0,079	ja
150	11.09.07	07.10.08	600	462	73,13	64,58	0,312	0,084	ja
270	05.09.07	17.06.08	643	600	67,75	64,32	0,177	0,077	ja
270	05.09.07	07.10.08	643	473	67,75	62,13	0,281	0,082	ja
270	11.09.07	17.06.08	578	600	70,52	64,32	0,262	0,079	ja
270	11.09.07	07.10.08	578	473	70,52	62,13	0,355	0,084	ja
KG	05.09.07	11.09.07	769	755	83,09	82,69	0,048	0,070	nein
KG	05.09.07	07.10.08	769	724	83,09	83,00	0,032	0,070	nein
KG	11.09.07	07.10.08	755	724	82,69	83,00	0,026	0,070	nein

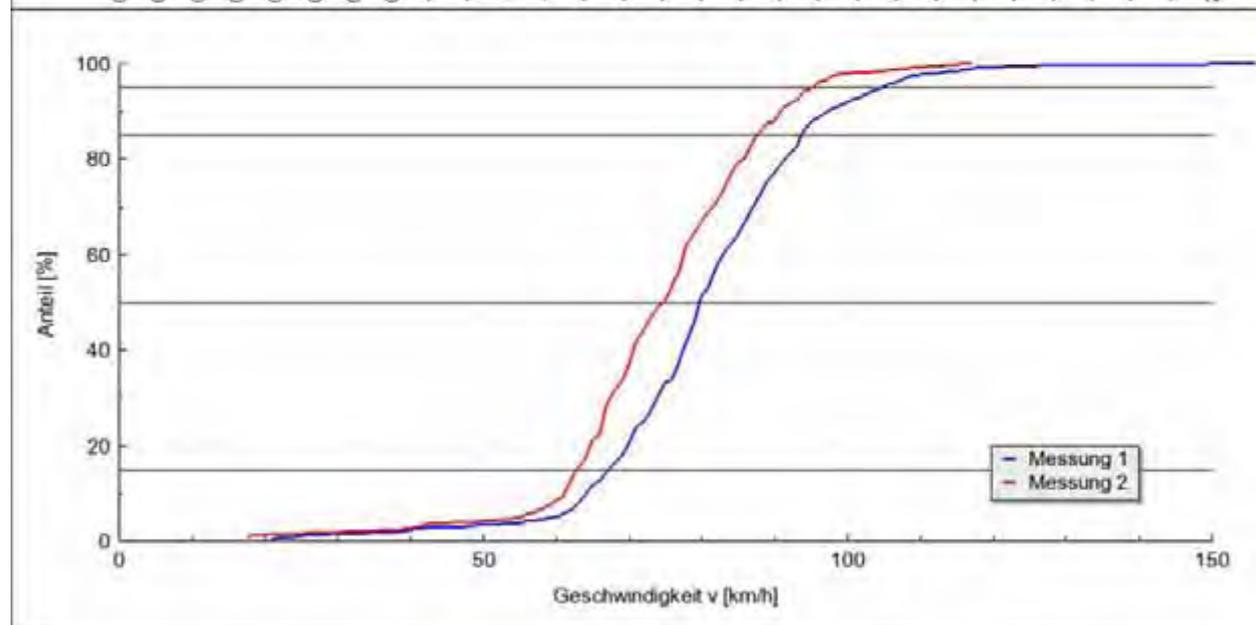
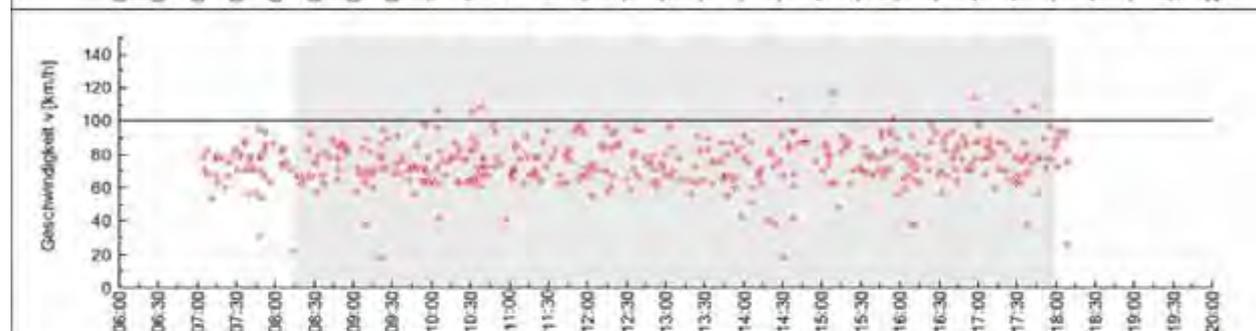
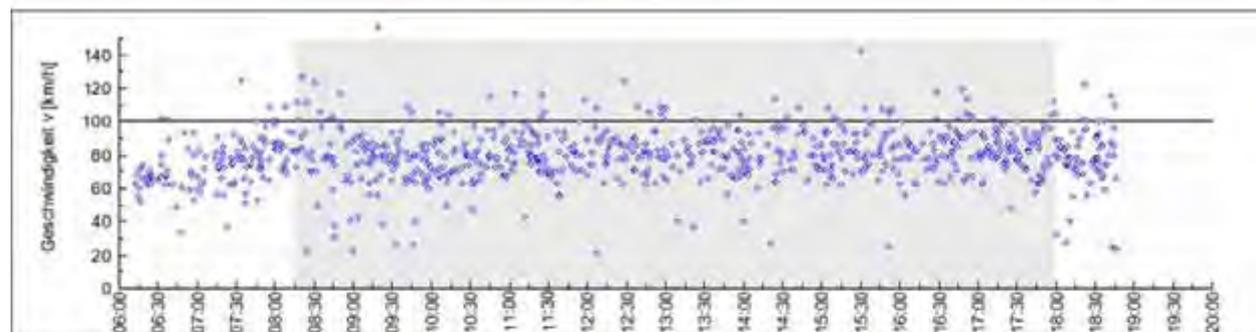
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: -300.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-06-17 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 658 Kfz)	66,36	78,80	92,73	103,78
Messung 2 (Q = 619 Kfz)	63,52	76,24	90,20	98,02
Änderung (M1 - M2)	-2,84	-2,56	-2,53	-5,76

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	8,05	109,92	2,58	120,71
Messung 2	4,52	113,43	1,62	127,00
Änderung (M1 - M2)	-3,53	3,51	-0,96	6,29

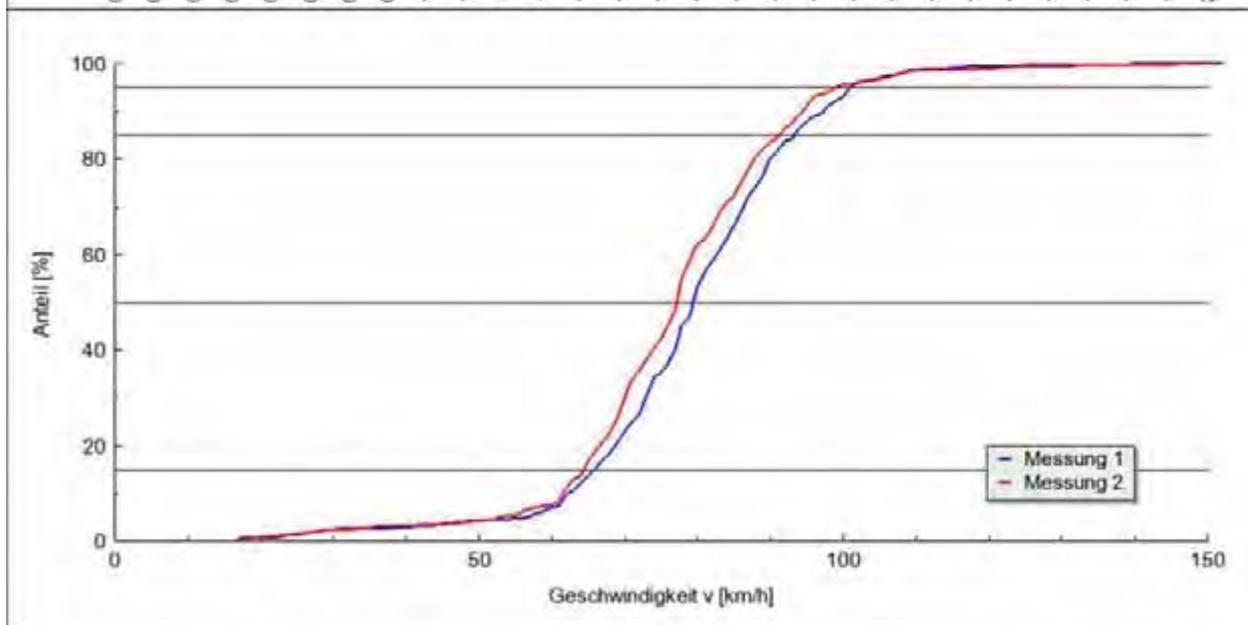
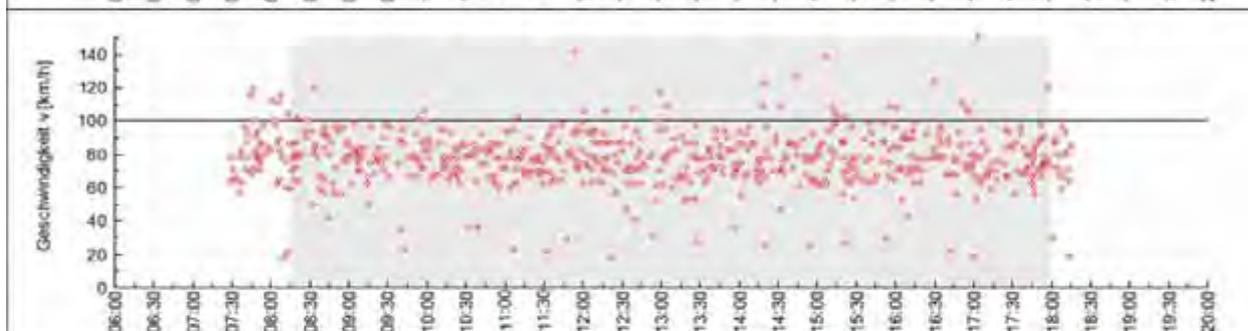
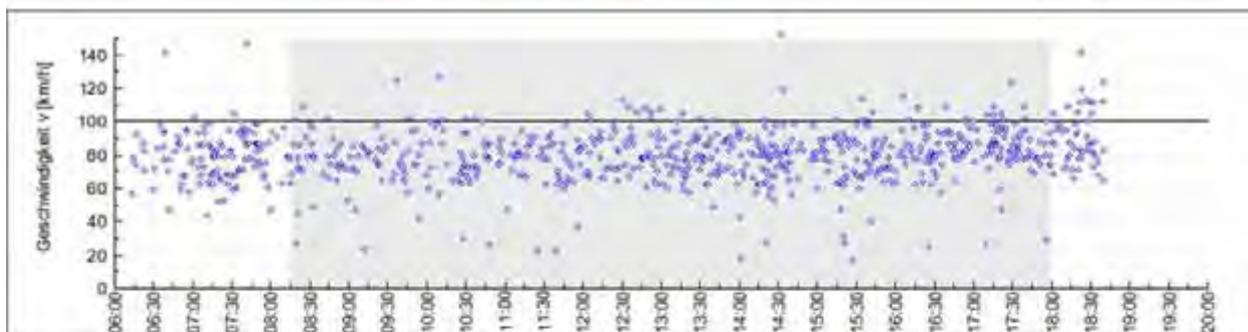
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: -300.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 658 Kfz)	66,36	78,80	92,73	103,78
Messung 2 (Q = 391 Kfz)	61,96	73,70	86,67	94,09
Änderung (M1 - M2)	-4,40	-5,10	-6,06	-9,69

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	8,05	109,92	2,58	120,71
Messung 2	2,30	108,89	0,77	114,67
Änderung (M1 - M2)	-5,75	-1,03	-1,81	-6,04

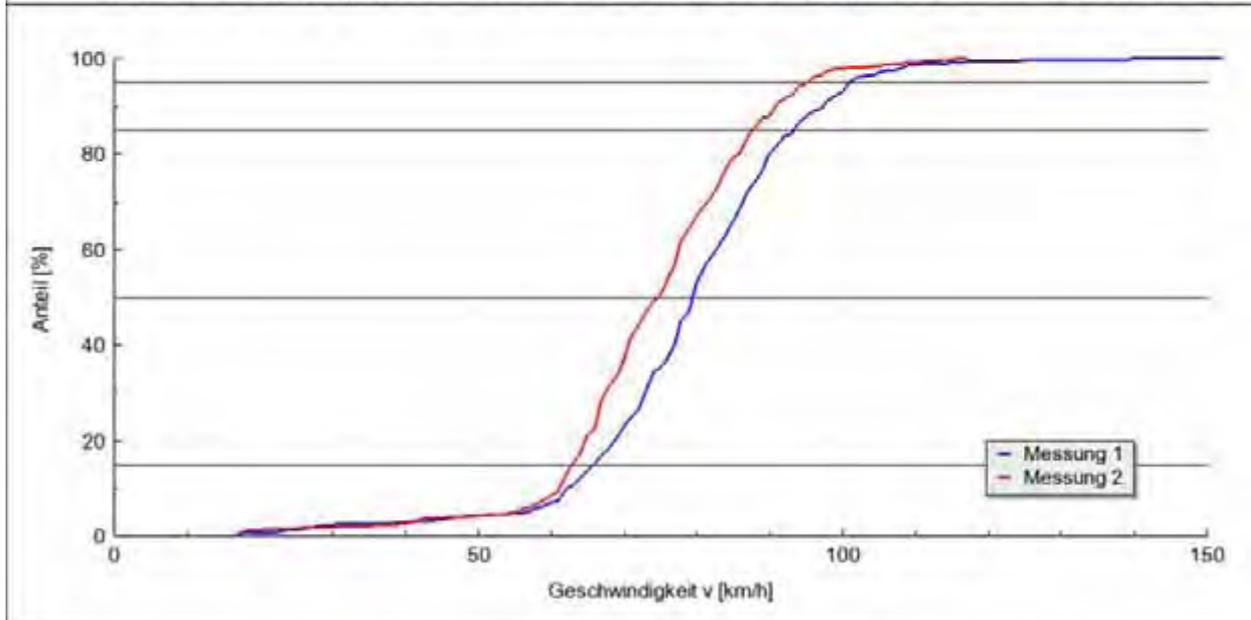
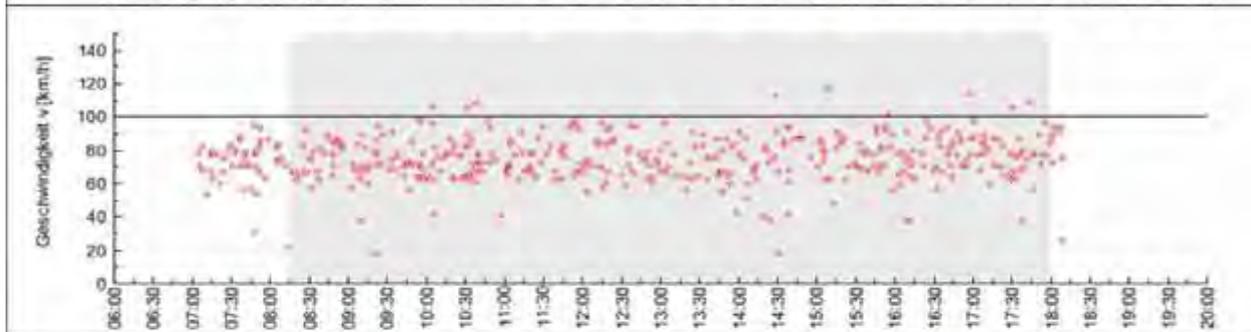
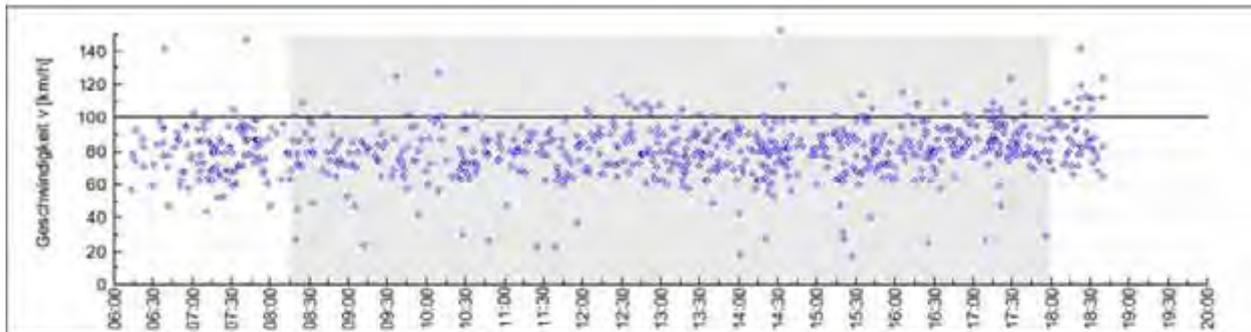
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: -300.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-06-17 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 615 Kfz)	64,83	78,53	92,31	100,16
Messung 2 (Q = 619 Kfz)	63,52	76,24	90,20	98,02
Änderung (M1 - M2)	-1,31	-2,29	-2,11	-2,14

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	6,83	107,71	1,30	123,63
Messung 2	4,52	113,43	1,62	127,00
Änderung (M1 - M2)	-2,31	5,72	0,32	3,37

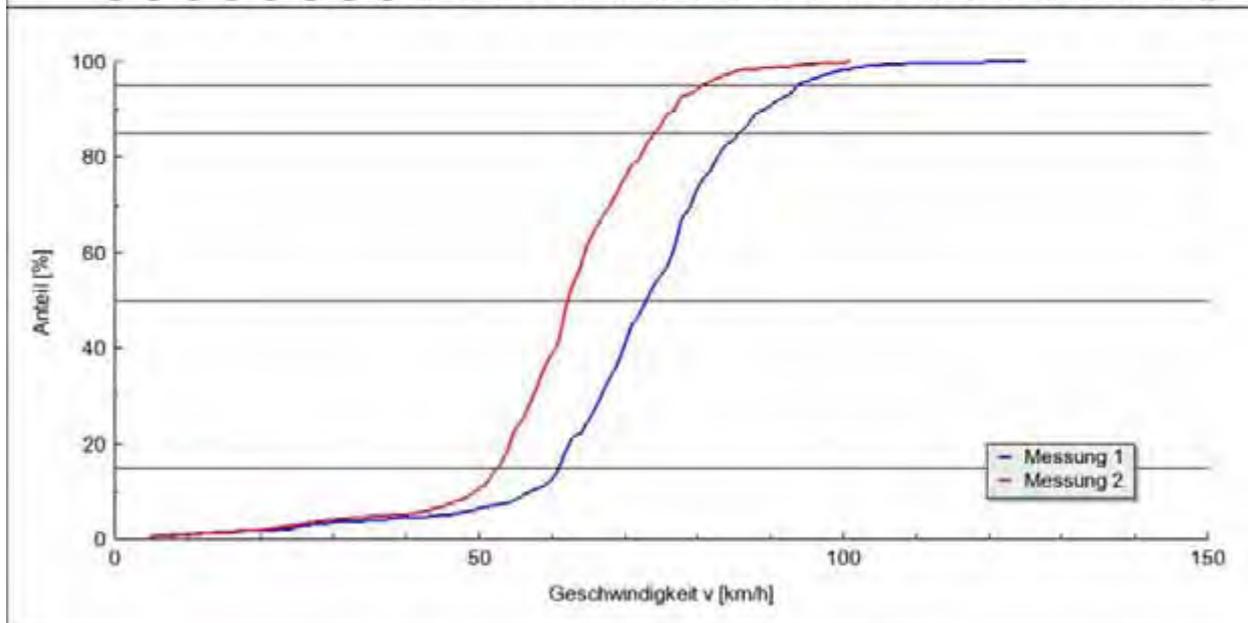
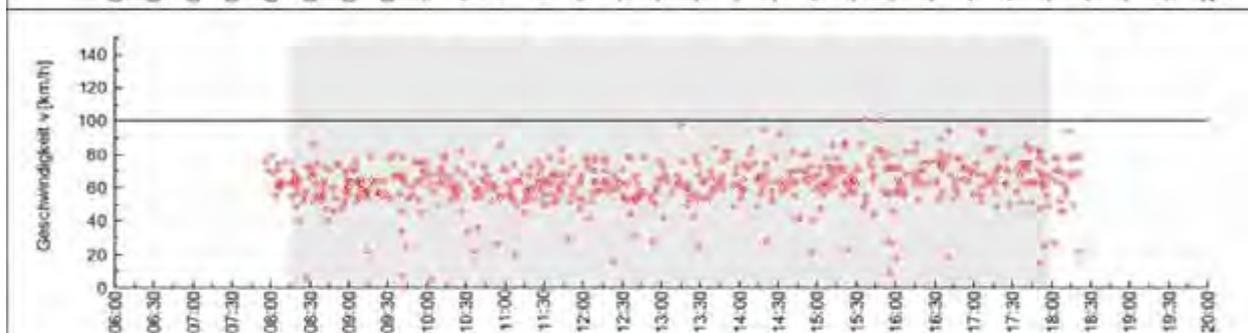
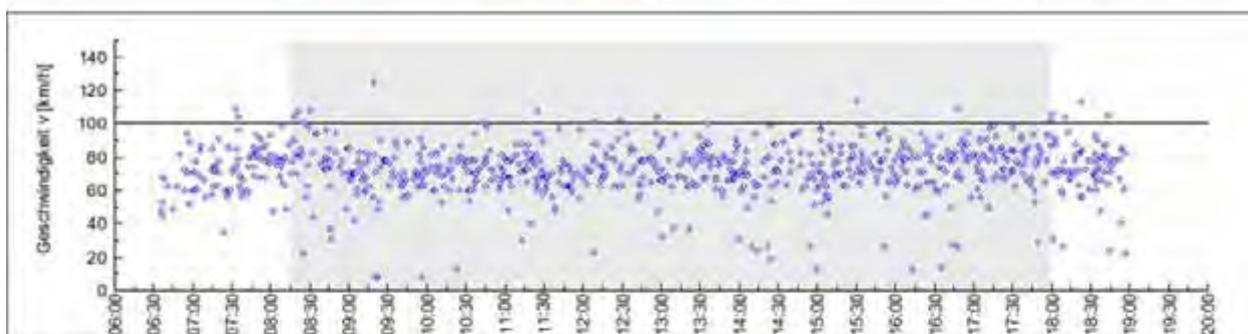
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: -300.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 615 Kfz)	64,83	78,53	92,31	100,16
Messung 2 (Q = 391 Kfz)	61,96	73,70	86,67	94,09
Änderung (M1 - M2)	-2,87	-4,83	-5,64	-6,07

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	6,83	107,71	1,30	123,63
Messung 2	2,30	108,89	0,77	114,67
Änderung (M1 - M2)	-4,53	1,18	-0,53	-8,96

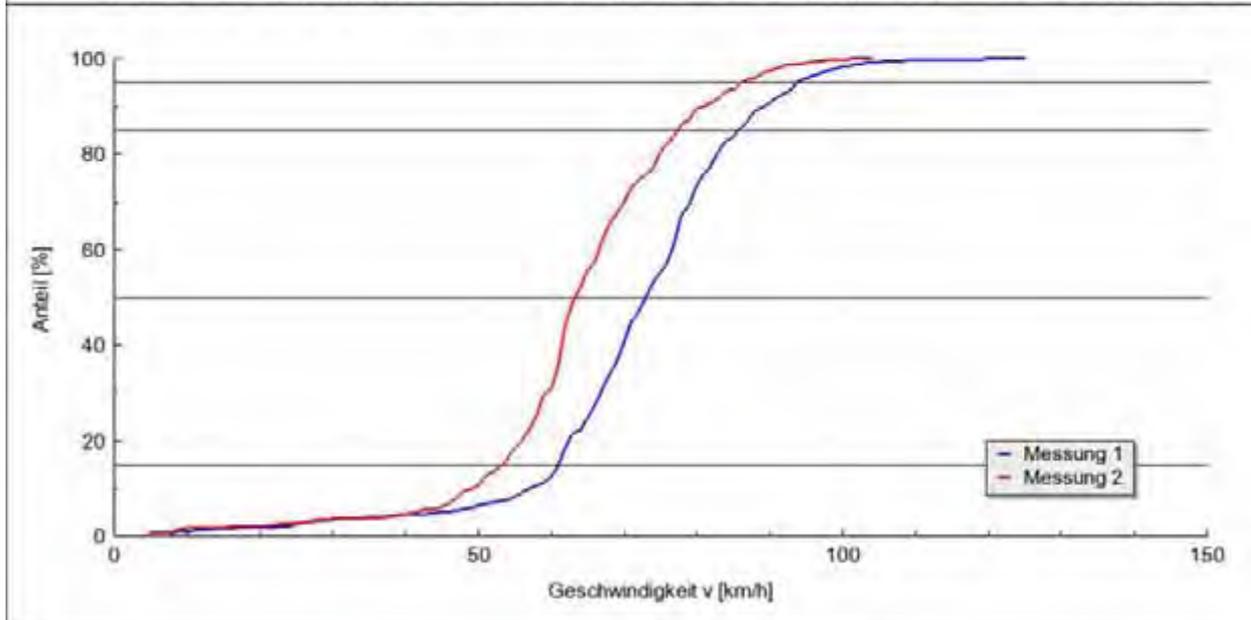
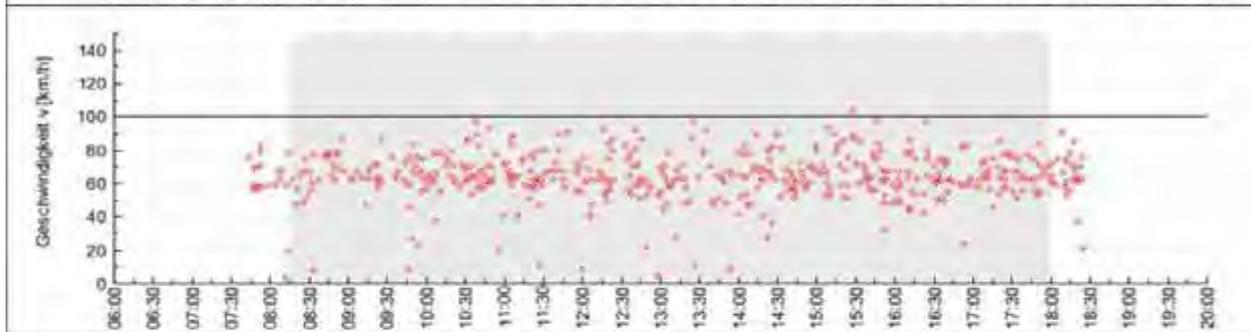
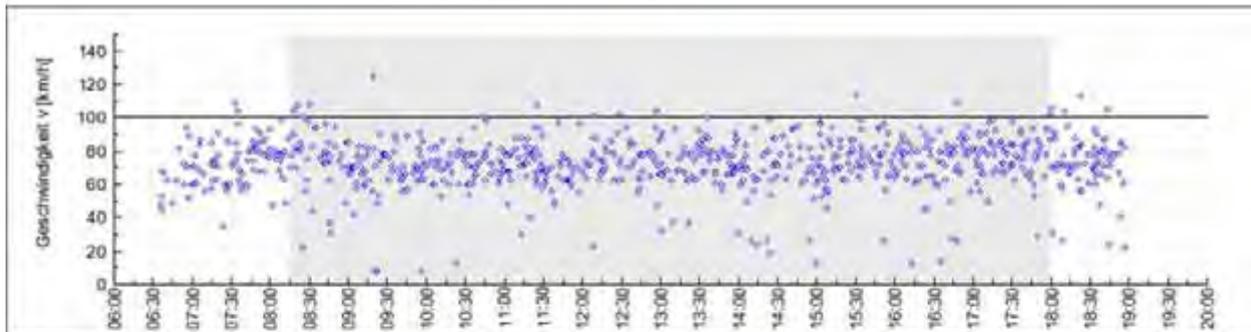
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 150.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-06-17 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 653 Kfz)	60,17	72,10	84,81	92,76
Messung 2 (Q = 590 Kfz)	51,75	61,27	73,05	79,64
Änderung (M1 - M2)	-8,42	-10,83	-11,76	-13,12

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	1,68	107,55	0,31	119,50
Messung 2	0,17	101,00	-	-
Änderung (M1 - M2)	-1,51	-6,55	-0,31	-

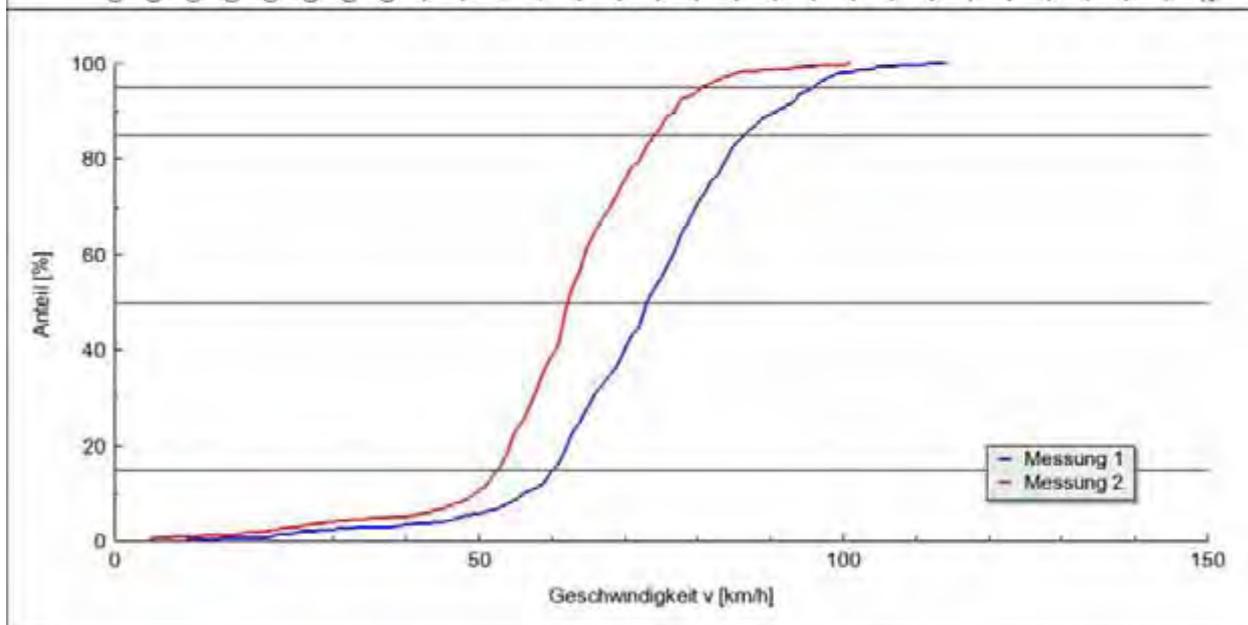
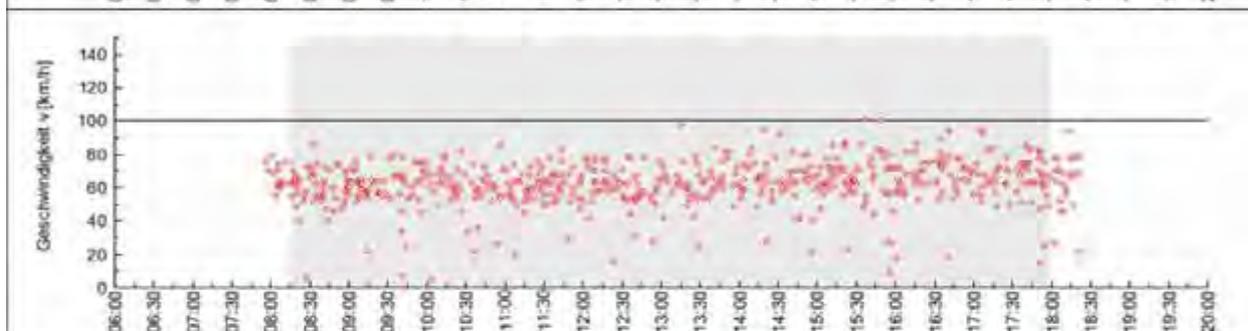
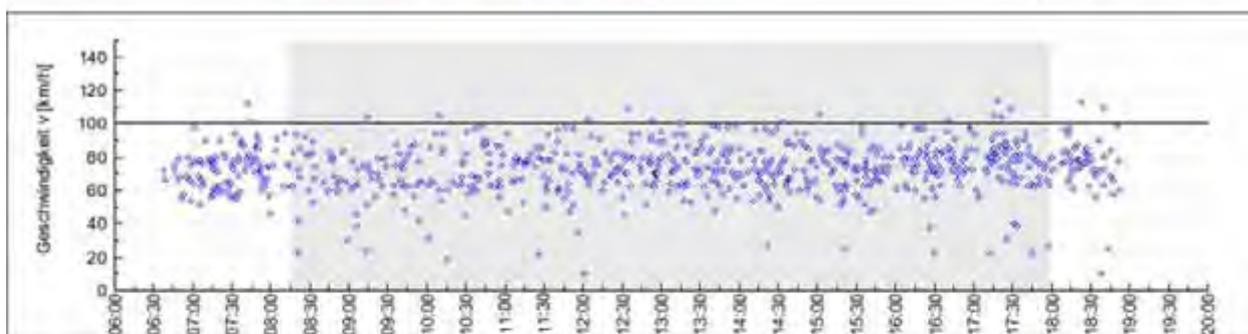
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 150.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 653 Kfz)	60,17	72,10	84,81	92,76
Messung 2 (Q = 462 Kfz)	52,41	62,40	76,47	85,30
Änderung (M1 - M2)	-7,76	-9,70	-8,34	-7,46

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	1,68	107,55	0,31	119,50
Messung 2	0,22	104,00	-	-
Änderung (M1 - M2)	-1,46	-3,55	-0,31	-

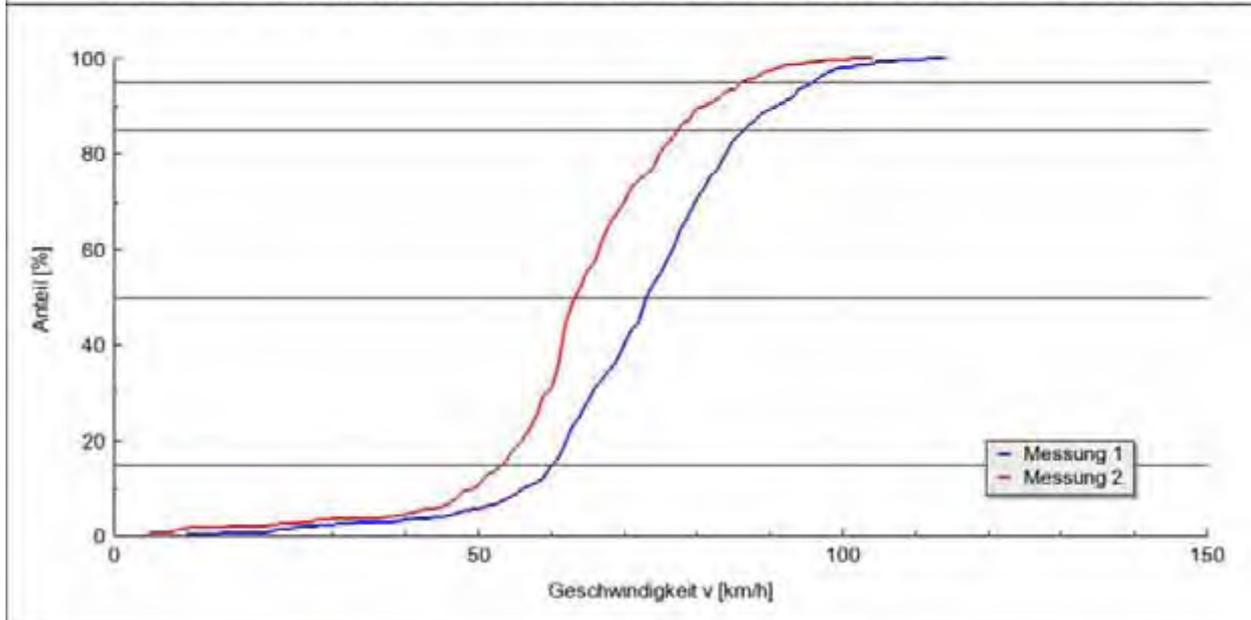
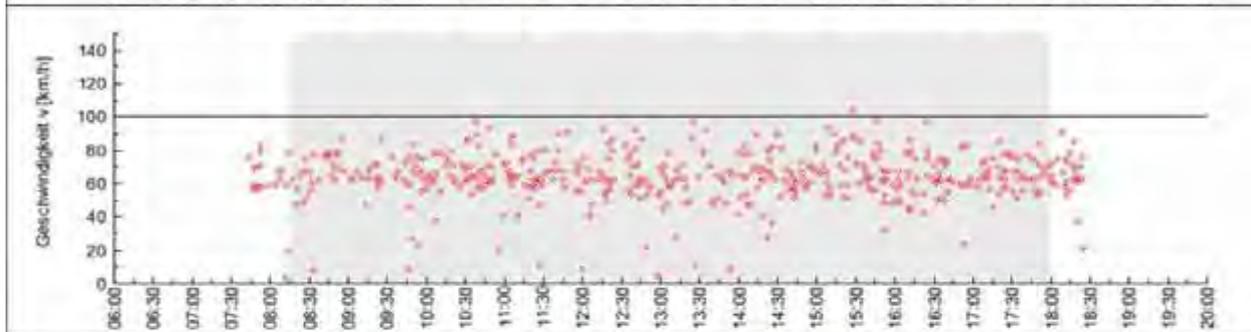
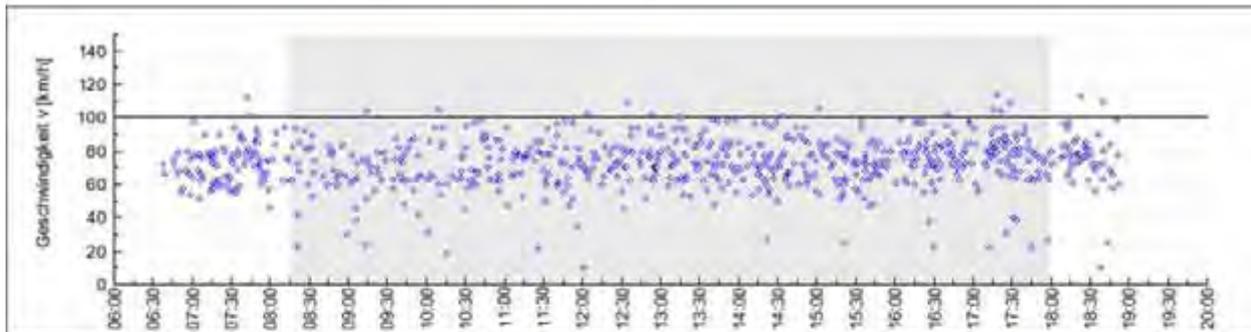
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 150.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-06-17 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 600 Kfz)	59,25	72,20	85,45	95,00
Messung 2 (Q = 590 Kfz)	51,75	61,27	73,05	79,64
Änderung (M1 - M2)	-7,50	-10,93	-12,40	-15,36

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	2,00	105,33	0,17	114,00
Messung 2	0,17	101,00	-	-
Änderung (M1 - M2)	-1,83	-4,33	-0,17	-

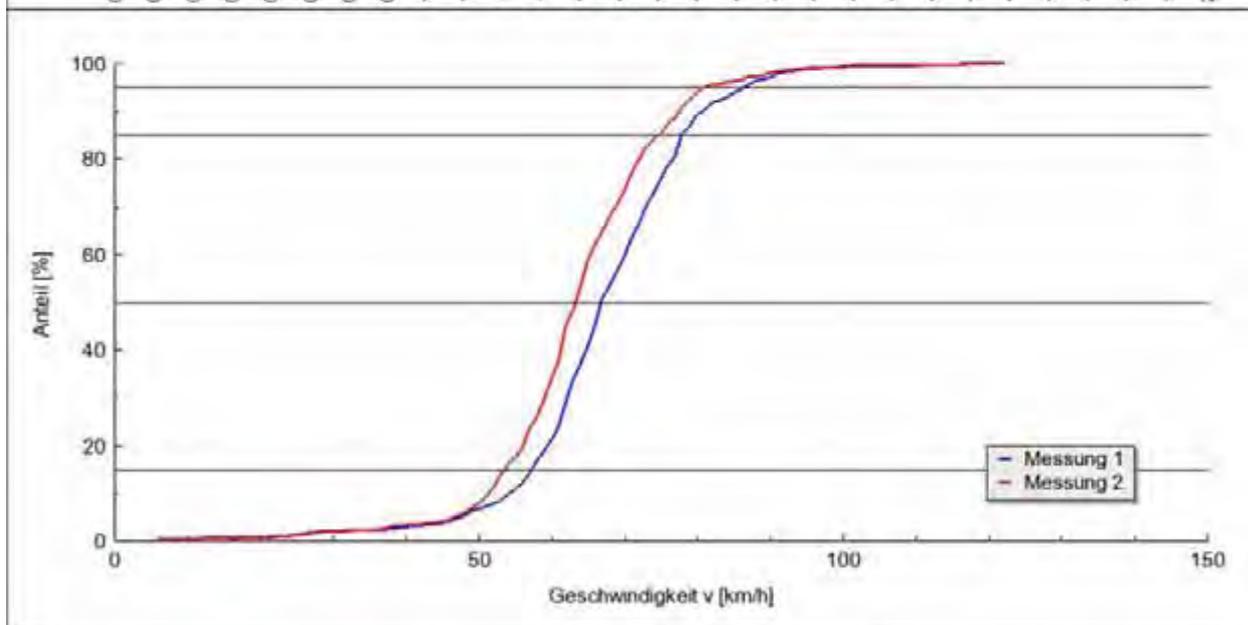
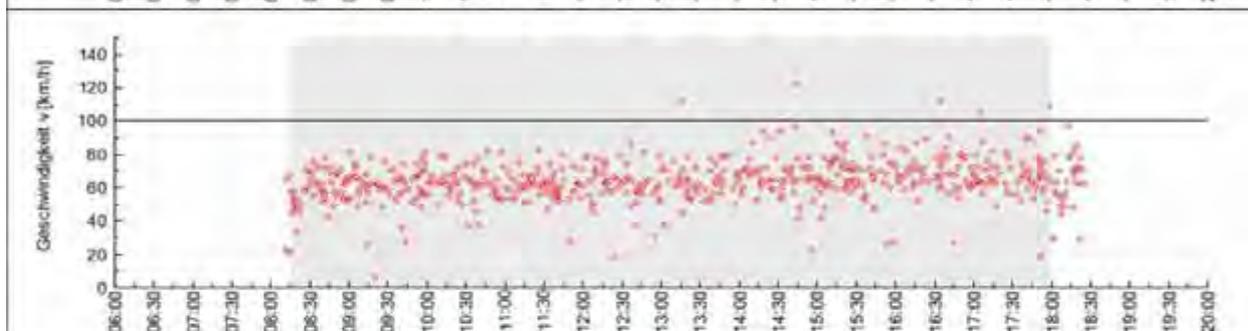
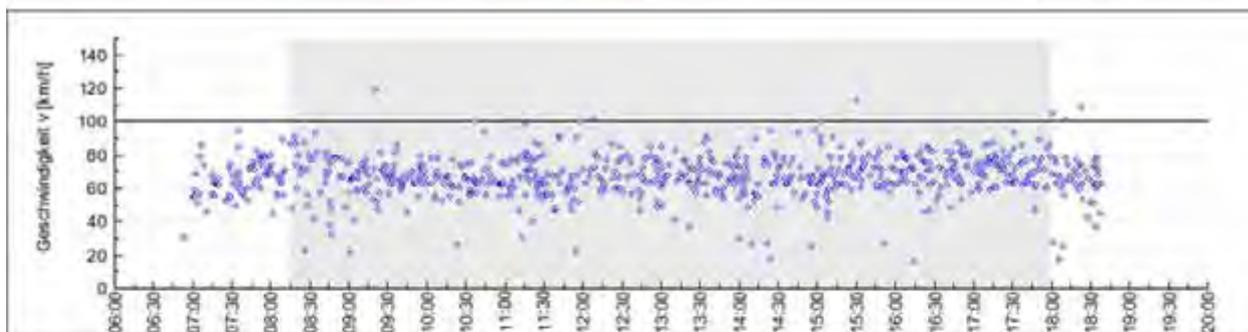
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 150.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 600 Kfz)	59,25	72,20	85,45	95,00
Messung 2 (Q = 462 Kfz)	52,41	62,40	76,47	85,30
Änderung (M1 - M2)	-6,84	-9,80	-8,98	-9,70

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	2,00	105,33	0,17	114,00
Messung 2	0,22	104,00	-	-
Änderung (M1 - M2)	-1,78	-1,33	-0,17	-

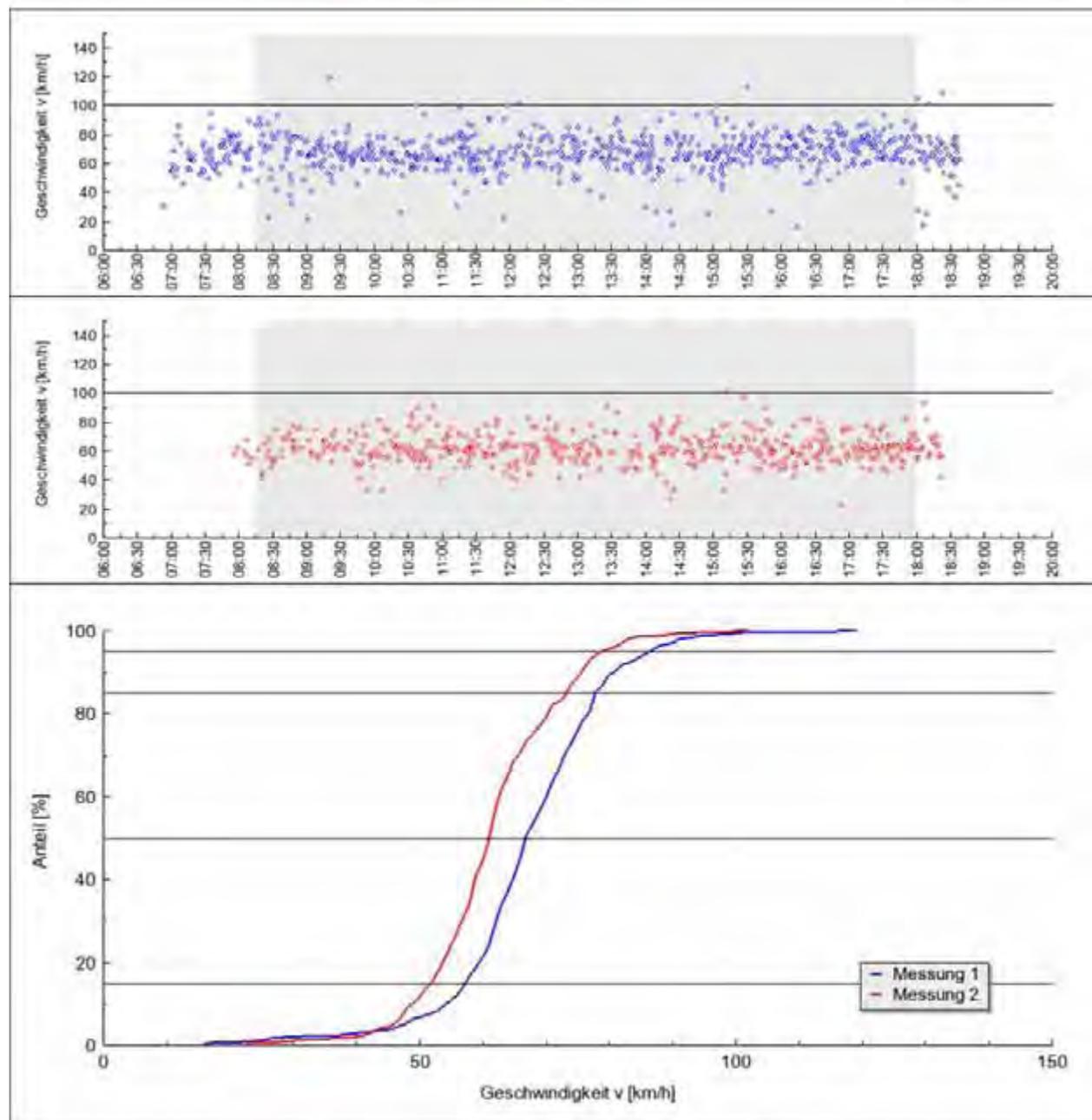
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 270.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-06-17 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 643 Kfz)	56,34	65,84	76,95	85,48
Messung 2 (Q = 600 Kfz)	52,60	62,34	73,67	80,00
Änderung (M1 - M2)	-3,74	-3,50	-3,28	-5,48

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	0,47	111,33	0,31	116,00
Messung 2	0,83	112,00	0,50	115,33
Änderung (M1 - M2)	0,36	0,67	0,19	-0,67

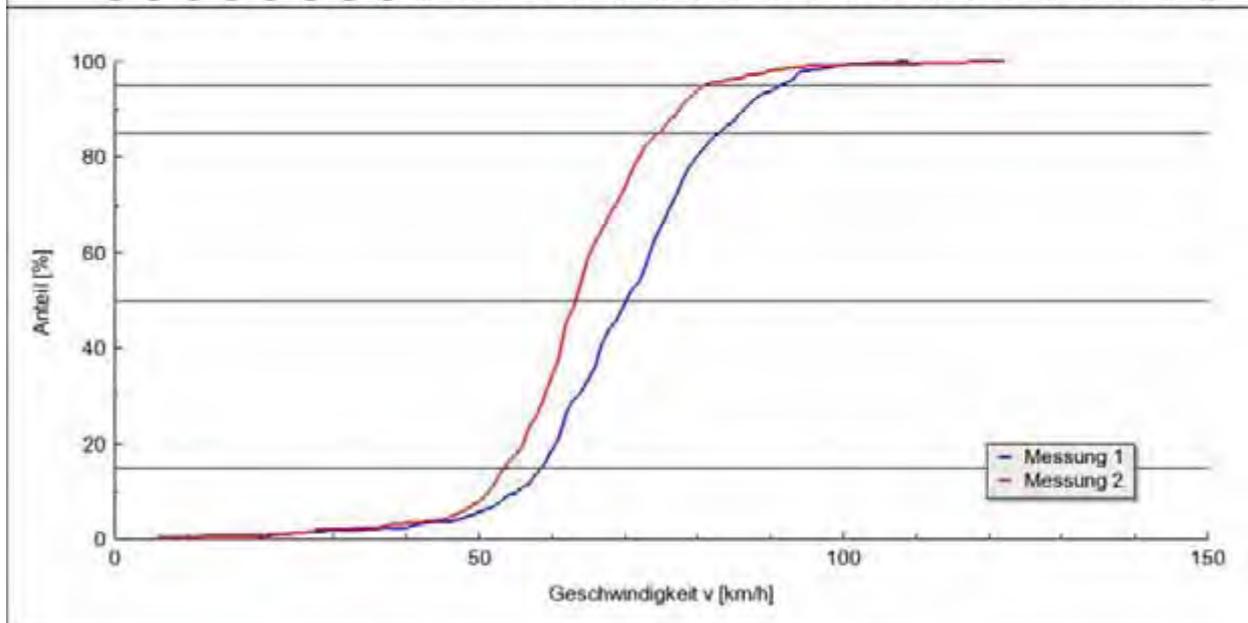
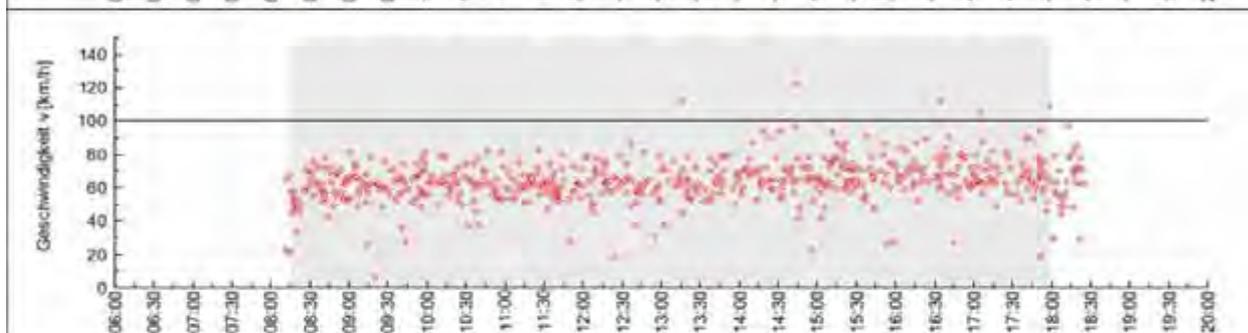
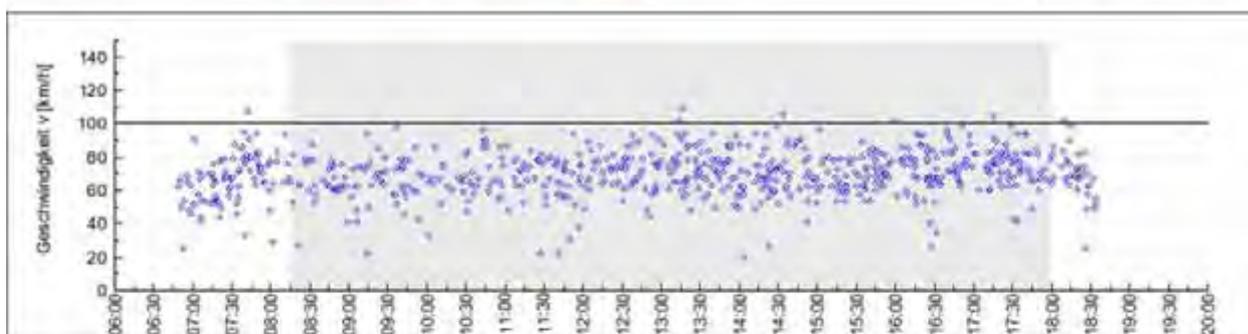
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 270.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 643 Kfz)	56,34	65,84	76,95	85,48
Messung 2 (Q = 473 Kfz)	51,07	60,12	72,27	78,12
Änderung (M1 - M2)	-5,27	-5,72	-4,68	-7,36

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	0,47	111,33	0,31	116,00
Messung 2	0,21	102,00	-	-
Änderung (M1 - M2)	-0,26	-9,33	-0,31	-

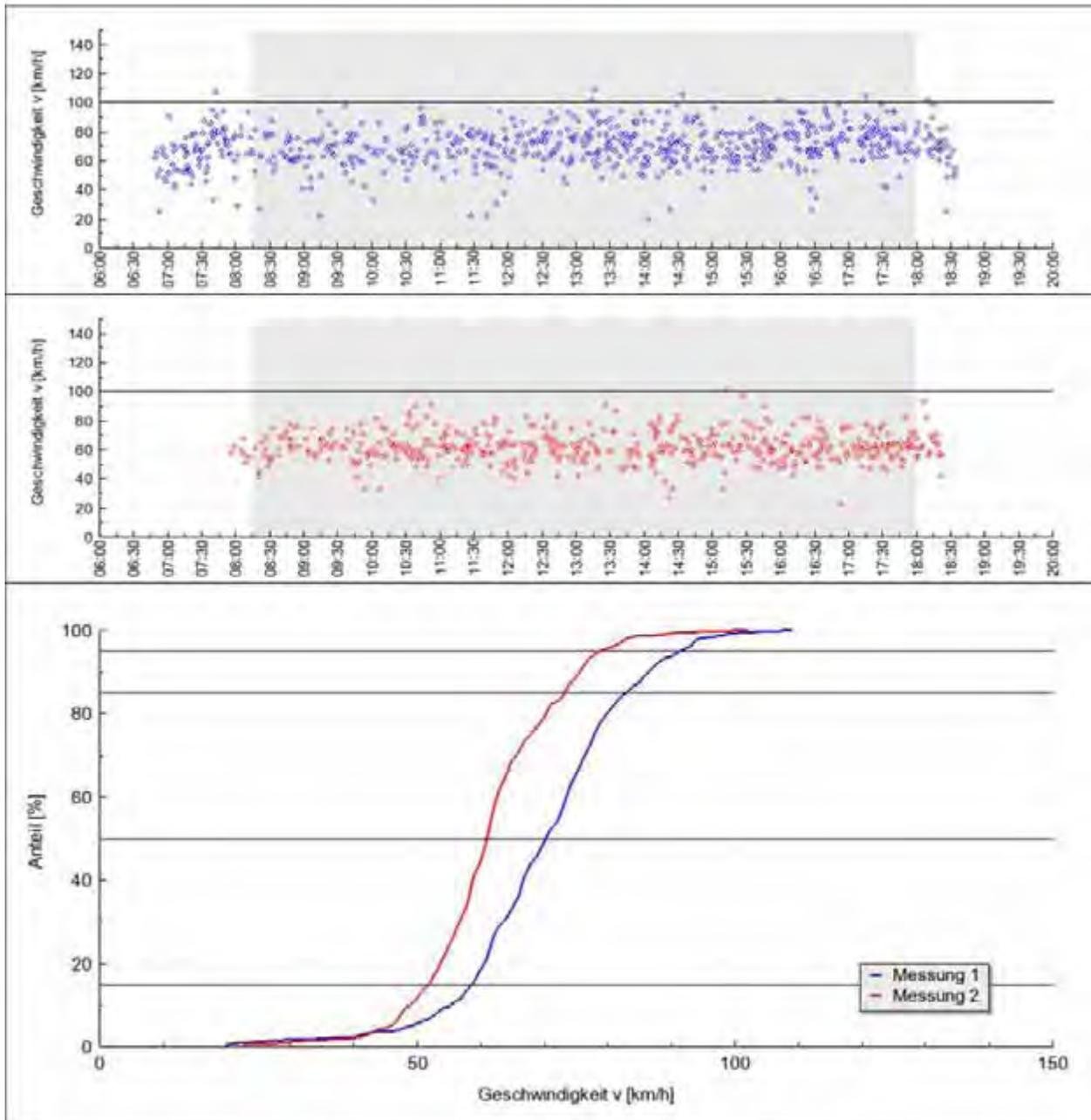
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 270.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-06-17 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 578 Kfz)	57,74	69,25	82,04	89,47
Messung 2 (Q = 600 Kfz)	52,60	62,34	73,67	80,00
Änderung (M1 - M2)	-5,14	-6,91	-8,37	-9,47

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	0,87	104,80	-	-
Messung 2	0,83	112,00	0,50	115,33
Änderung (M1 - M2)	-0,04	7,20	0,50	-

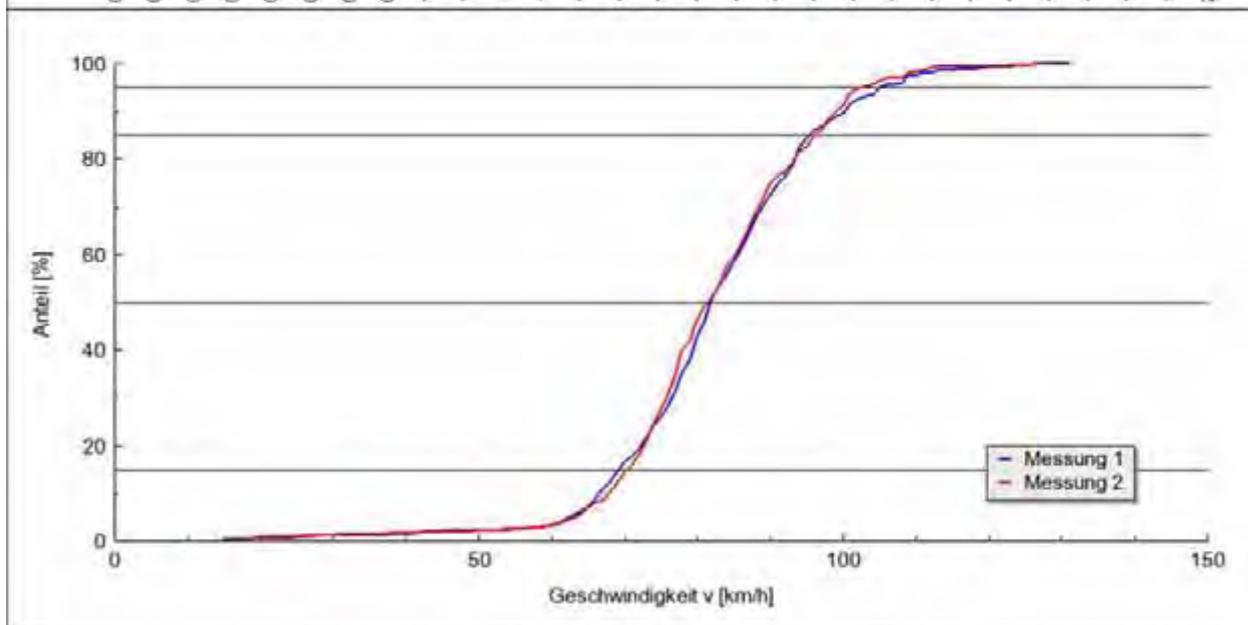
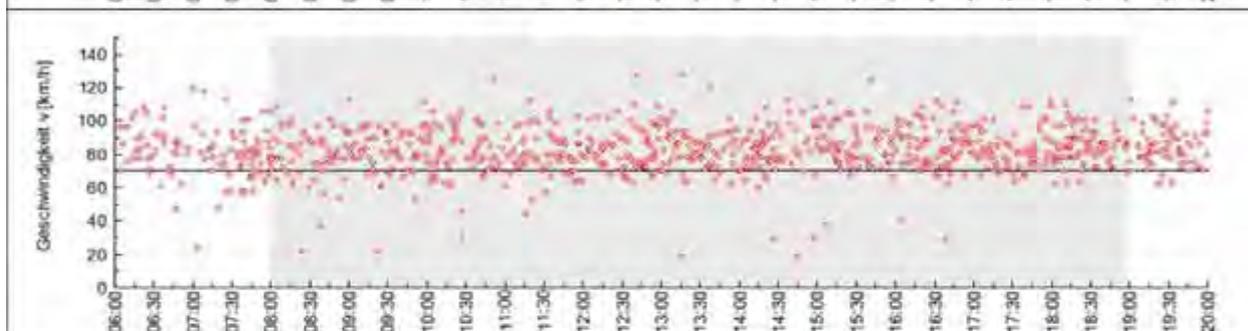
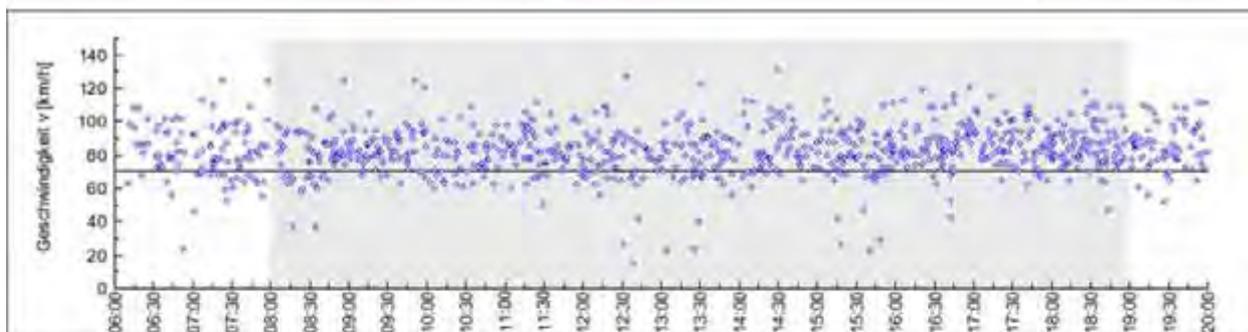
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - ohne Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	Station: 270.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - mit Streifen Auswertzeitraum: 08:15:00 bis 18:00:00 Uhr	$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 578 Kfz)	57,74	69,25	82,04	89,47
Messung 2 (Q = 473 Kfz)	51,07	60,12	72,27	78,12
Änderung (M1 - M2)	-6,67	-9,13	-9,77	-11,35

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	0,87	104,80	-	-
Messung 2	0,21	102,00	-	-
Änderung (M1 - M2)	-0,66	-2,80	0,00	-

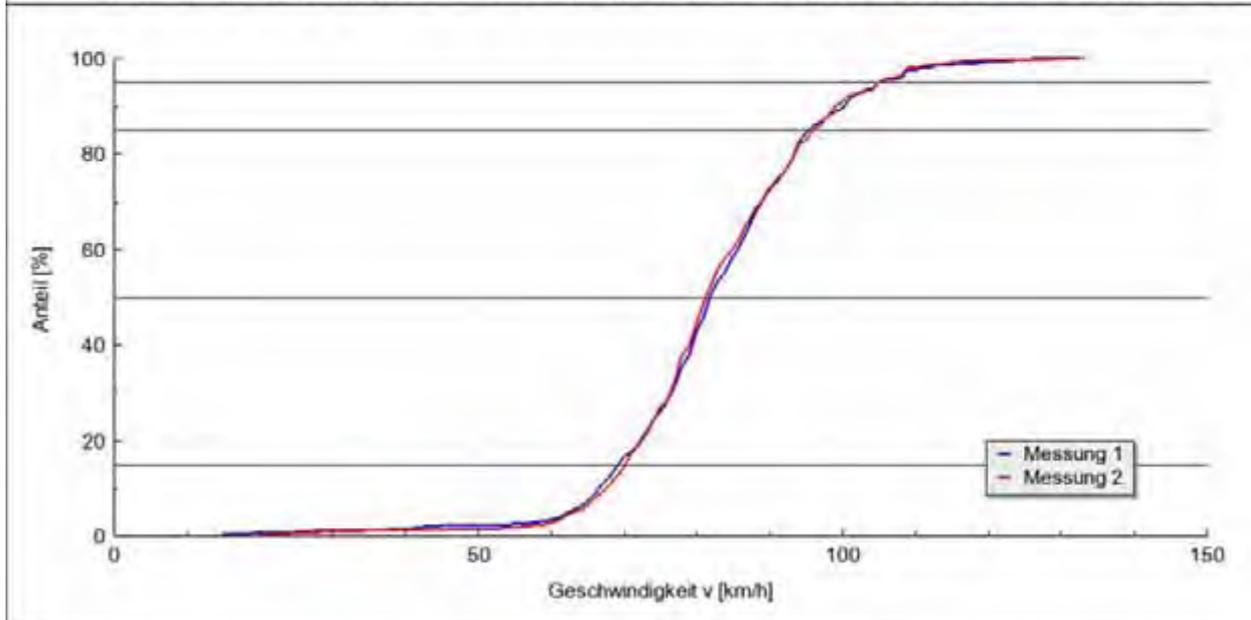
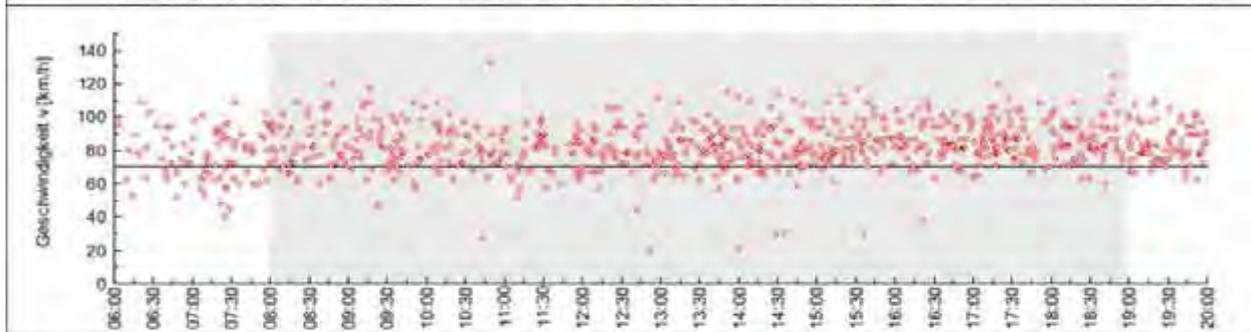
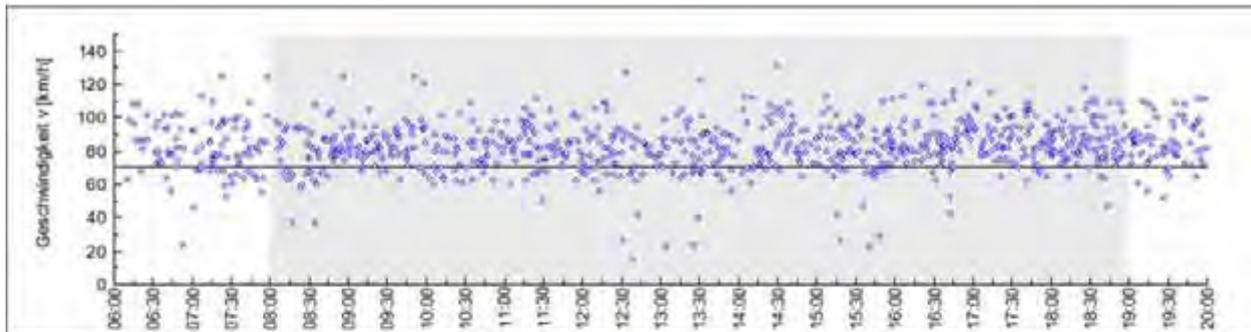
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 769 Kfz)	68,31	80,95	94,29	104,31
Messung 2 (Q = 756 Kfz)	69,45	80,54	95,15	101,73
Änderung (M1 - M2)	1,14	-0,41	0,86	-2,58

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	83,49	87,19	57,48	92,06
Messung 2	85,71	86,14	53,84	92,09
Änderung (M1 - M2)	2,22	-1,05	-3,64	0,03

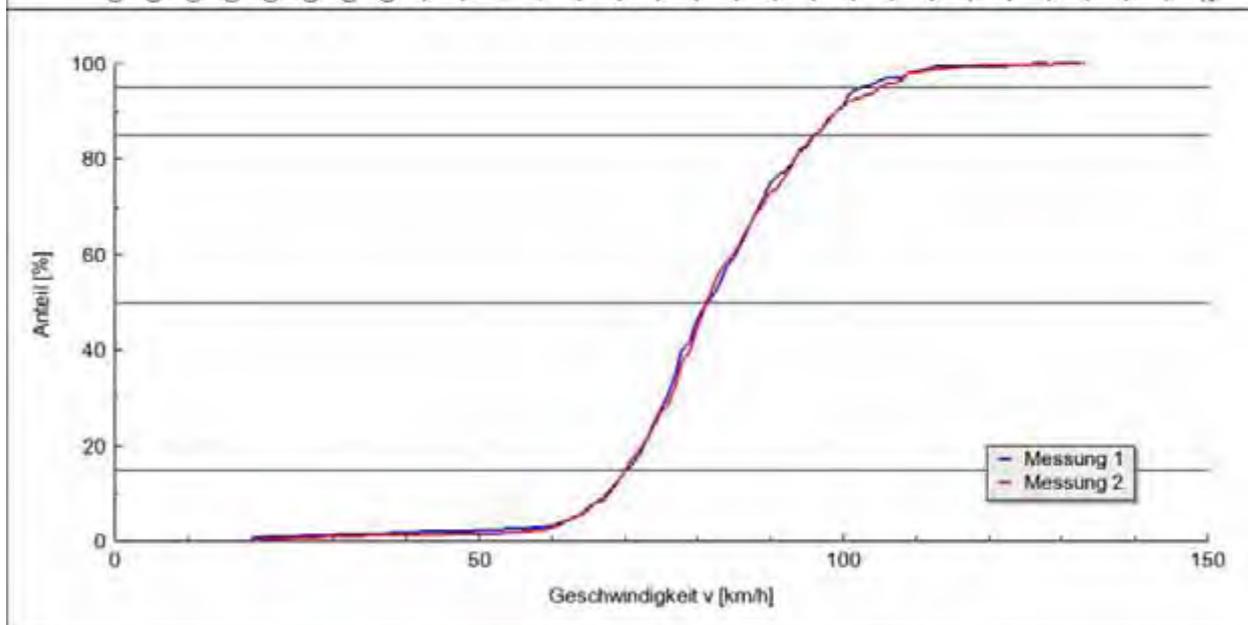
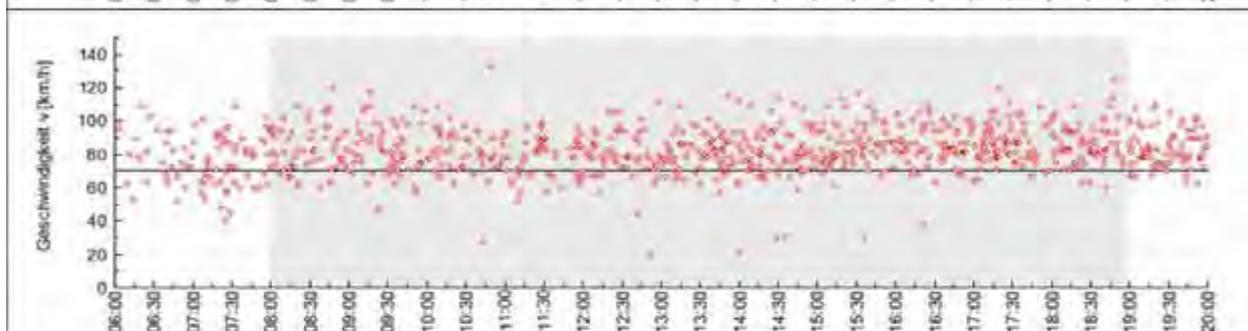
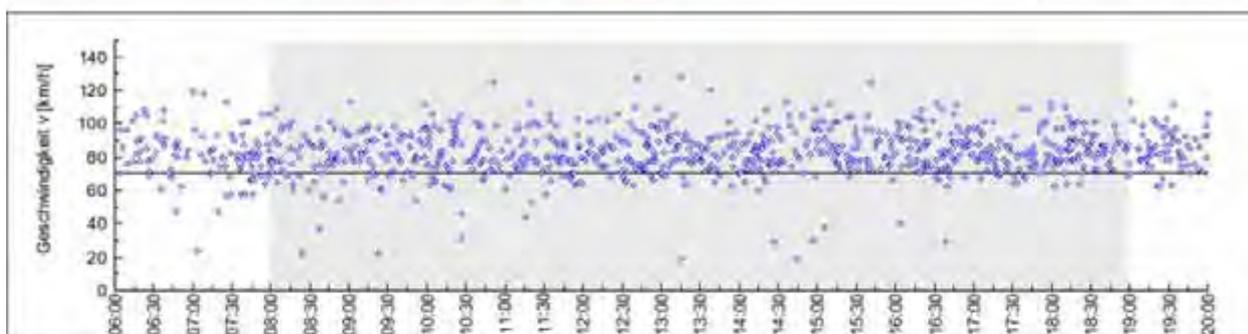
Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-05 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 769 Kfz)	68,31	80,95	94,29	104,31
Messung 2 (Q = 724 Kfz)	69,19	80,30	94,96	104,23
Änderung (M1 - M2)	0,88	-0,65	0,67	-0,08

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	83,49	87,19	57,48	92,06
Messung 2	85,50	86,41	55,80	91,91
Änderung (M1 - M2)	2,01	-0,78	-1,68	-0,15

Messung 1	Messung B477 Eggersheim - 2007-09-11 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	Station: 5000.00
Messung 2	Messung B477 Eggersheim - 2008-10-07 - Kontrollgruppe Auswertzeitraum: 08:00:00 bis 19:00:00 Uhr	$v_{zul} = 70 \text{ km/h}$



Geschwindigkeiten	v_{15} [km/h]	v_{50} [km/h]	v_{85} [km/h]	v_{95} [km/h]
Messung 1 (Q = 756 Kfz)	69,45	80,54	95,15	101,73
Messung 2 (Q = 724 Kfz)	69,19	80,30	94,96	104,23
Änderung (M1 - M2)	-0,26	-0,24	-0,19	2,50

Überschreiter	$> v_{zul}$		$> v_{zul} + 10 \text{ km/h}$	
	Anteil [%]	v_0 [km/h]	Anteil [%]	v_0 [km/h]
Messung 1	85,71	86,14	53,84	92,09
Messung 2	85,50	86,41	55,80	91,91
Änderung (M1 - M2)	-0,21	0,27	1,96	-0,18

9 Anhang I: Umfahrungen Rüttelstreifen differenziert nach Ortslage

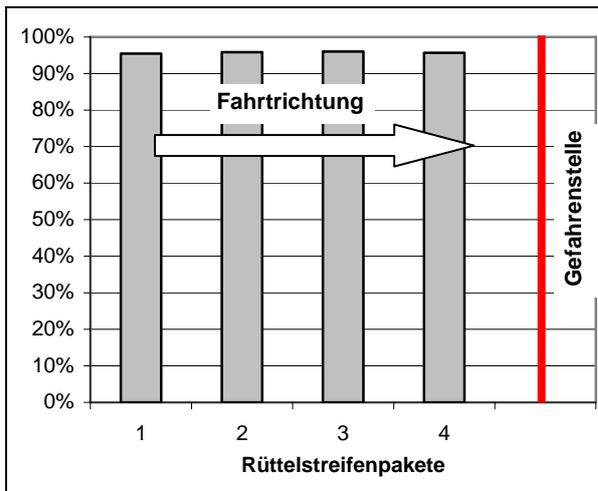


Bild 1: Anteil der regelkonform befahrenen Rüttelstreifenpakete – B477 Fahrtrichtung LUXHEIM

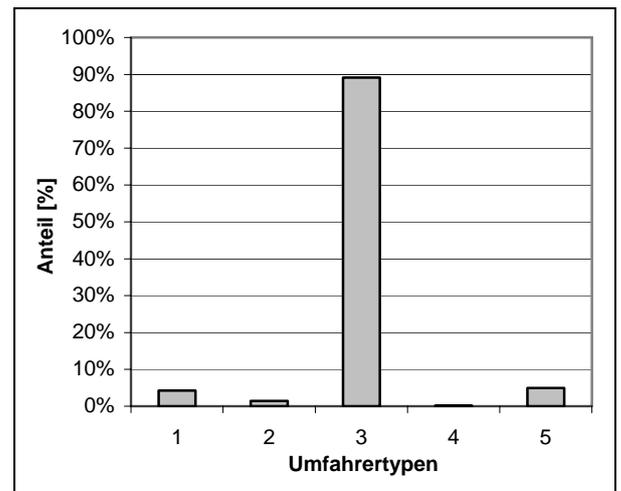


Bild 2: Anteil der unterschiedlichen Umfahrertypen – B477 Fahrtrichtung LUXHEIM

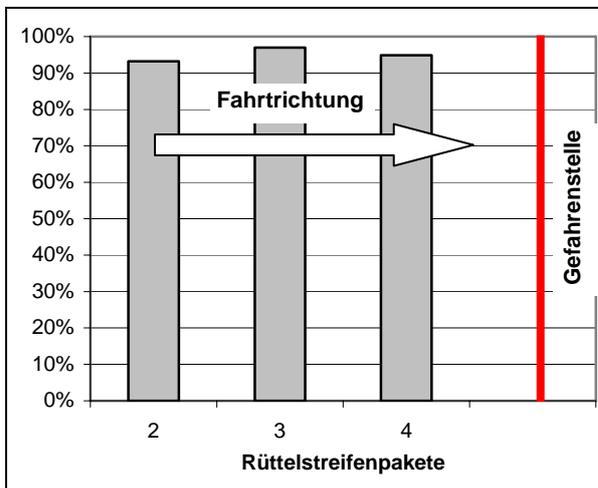


Bild 3: Anteil der regelkonform befahrenen Rüttelstreifenpakete – B399 Fahrtrichtung GEY

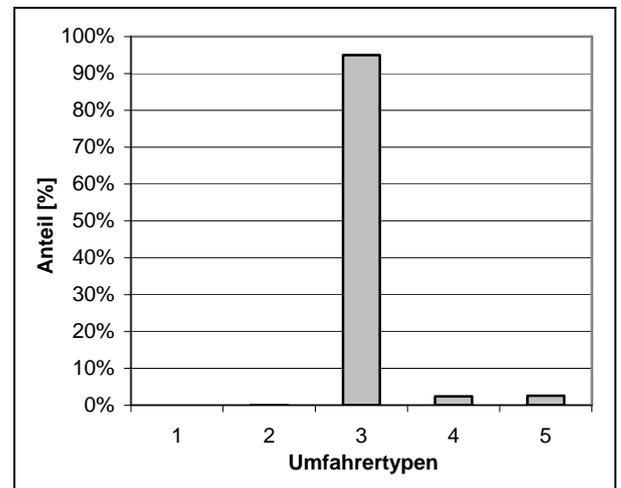


Bild 4: Anteil der unterschiedlichen Umfahrertypen – B399 Fahrtrichtung GEY

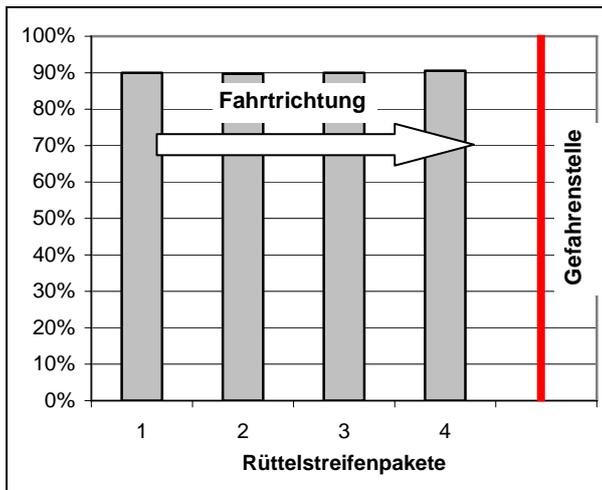


Bild 5: Anteil der regelkonform befahrenen Rüttelstreifenpakete – L257 Fahrtrichtung Morschenich

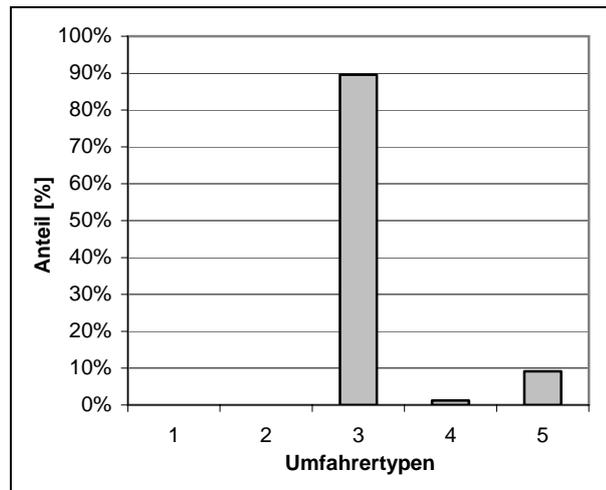


Bild 6: Anteil der unterschiedlichen Umfahrertypen – L257 Fahrtrichtung Morschenich

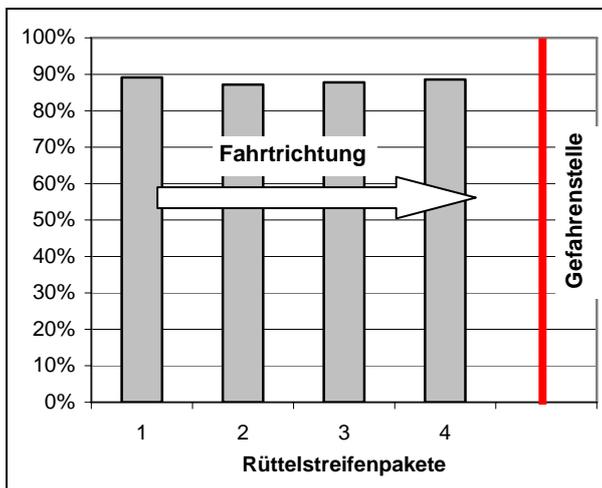


Bild 7: Anteil der regelkonform befahrenen Rüttelstreifenpakete – L257 Fahrtrichtung Buir

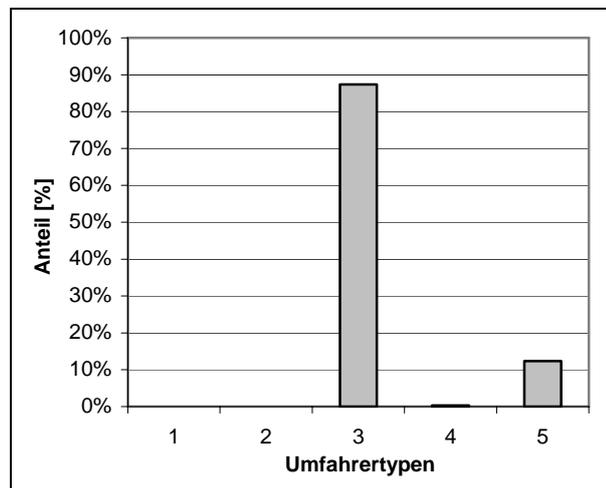


Bild 8: Anteil der unterschiedlichen Umfahrertypen – L257 Fahrtrichtung Buir

10 Anhang J: Ergebnisse der Akzeptanzerhebung

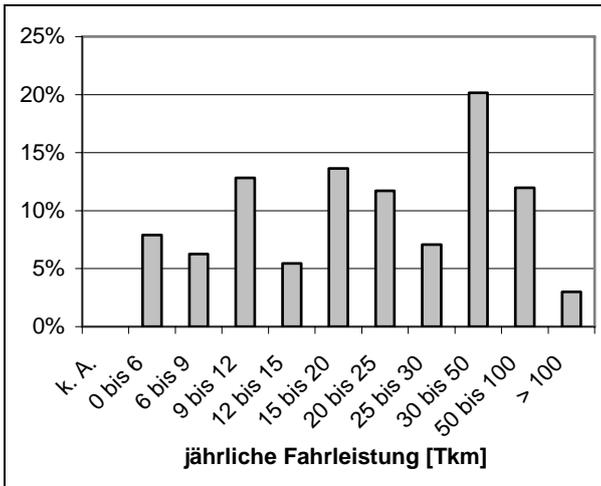


Bild 7: Jährliche Gesamtfahrleistung pro Jahr innerhalb der Befragtengruppe

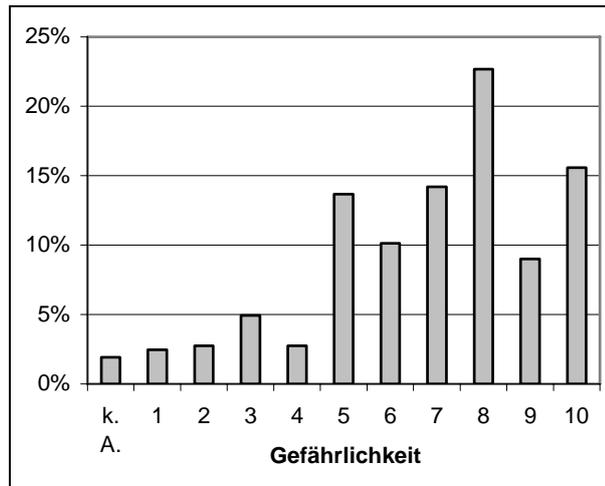


Bild 8: Einschätzung der Streckengefährlichkeit für ortsfremde Fahrer (1=ungefährlich bis 10=sehr gefährlich)

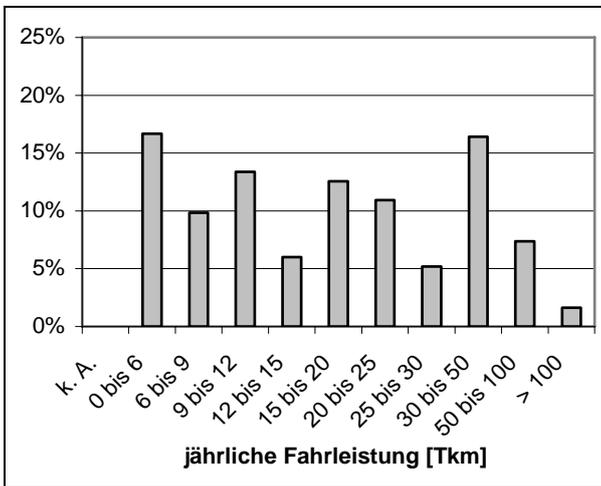


Bild 9: jährliche Fahrleistung pro Jahr mit aktuellem Fahrzeug innerhalb der Befragtengruppe

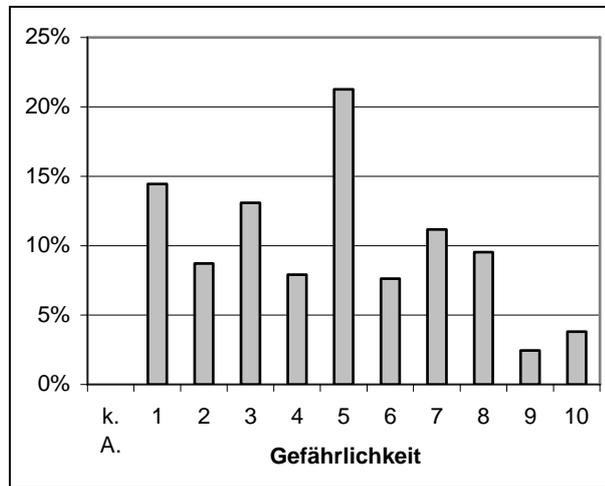


Bild 10: Einschätzung der Streckengefährlichkeit für den Befragten (1=ungefährlich bis 10=sehr gefährlich)

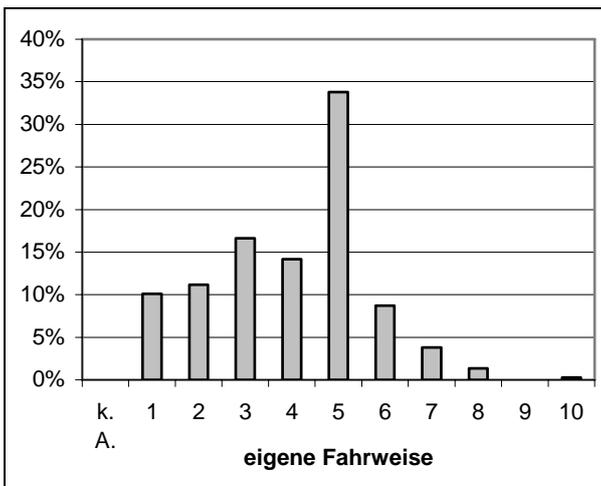


Bild 11: Einschätzung der eigenen Fahrweise innerhalb der Befragtengruppe (1=defensive Fahrweise bis 10=aggressive Fahrweise)

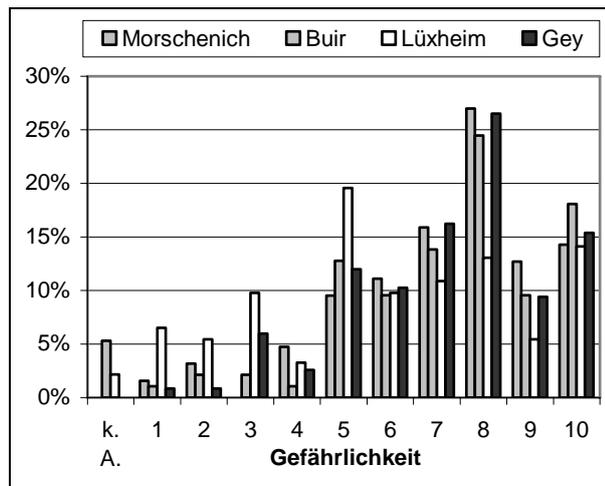


Bild 12: Einschätzung der Streckengefährlichkeit für Ortsfremde differenziert nach Strecken (1=ungefährlich bis 10=sehr gefährlich)

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2005

- V 111: Autobahnverzeichnis 2004 (erschienen 2005)
Kühnen € 21,50
- V 119: Alternative Methoden zur Überwachung der Parkdauer sowie zur Zahlung der Parkgebühren
Boltze, Schäfer, Wohlfarth € 17,00
- V 120: Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung
Hautzinger, Stock, Mayer, Schmidt, Heidemann € 17,50
- V 121: Fahrleistungserhebung 2002 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko
Hautzinger, Stock, Schmidt € 12,50
- V 122: Untersuchungen zu Fremdstoffbelastungen im Straßenseitenraum – Band 1 bis Band 5
Beer, Herpetz, Moritz, Peters, Saltzmann-Koschke, Tegethof, Wirtz € 18,50
- V 123: Straßenverkehrszählung 2000: Methodik
Lensing € 15,50
- V 124: Verbesserung der Radverkehrsführung an Knoten
Angenendt, Blase, Klöckner, Bonfranchi-Simović, Bozkurt, Buchmann, Roeterink € 15,50
- V 125: PM₁₀-Emissionen an Außenortsstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM₁₀-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsberechnungen
Düring, Bösinger, Lohmeyer € 17,00
- V 126: Anwendung von Sicherheitsaudits an Stadtstraßen
Baier, Heidemann, Klemps, Schäfer, Schuckliß € 16,50
- V 127: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2003 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 24,50
- V 128: Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen – Sicherheitsüberprüfung vorhandener Lichtsignalanlagen und Anpassung der Steuerung an die heutige Verkehrssituation
Boltze, Reusswig € 17,00
- V 129: Modell zur Glättewarnung im Straßenwinterdienst
Badelt, Breitenstein € 13,50
- V 130: Fortschreibung der Emissionsdatenmatrix des MLuS 02
Steven € 12,00
- V 131: Ausbaustandard und Überholverhalten auf 2+1-Strecken
Friedrich, Dammann, Irzik € 14,50
- V 132: Vernetzung dynamischer Verkehrsbeeinflussungssysteme
Boltze, Breser € 15,50

2006

- V 133: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge
Hübelt, Schmid € 17,50
- V 134: Qualifizierung von Auditoren für das Sicherheitsaudit für Innerortsstraßen
Gerlach, Kesting, Lippert € 15,50
- V 135: Optimierung des Winterdienstes auf hoch belasteten Autobahnen
Cypra, Roos, Zimmermann € 17,00
- V 136: Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen
Wermuth, Sommer, Wulff € 15,00

- V 137: PM_x-Belastungen an BAB
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 138: Kontinuierliche Stickoxid (NO_x)- und Ozon (O₃)-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,50
- V 139: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen
Wirtz, Moritz, Thesenvitz € 14,00
- V 140: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2004 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 15,50
- V 141: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2003
Lensing € 15,00
- V 142: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen
Fischer, Brannolte € 17,50
- V 143: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen
Roos, Hess, Norkauer, Zimmermann, Zackor, Otto € 17,50
- V 144: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis
Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer € 17,50
- V 145: Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland
Baier, Klemps, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: Prüfung von Sensoren für Glättmeldeanlagen
Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl € 18,50
- V 147: Luftschadstoffe an BAB 2005
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 148: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –
Becher, Baier, Steinauer, Scheuchenpflug, Krüger € 16,50
- V 149: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung
Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig € 18,50
- V 150: Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst
Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, Scholwin € 18,00

2007

- V 151: Städtischer Liefer- und Ladeverkehr – Analyse der kommunalen Praktiken zur Entwicklung eines Instrumentariums für die StVO
Böhl, Mause, Kloppe, Brückner € 16,50
- V 152: Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer
Gerlach, Oderwald € 15,50
- V 153: Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen
Lemke € 13,50
- V 154: Autobahnverzeichnis 2006
Kühnen € 22,00
- V 155: Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie in Deutsches Recht
Bartolomaeus € 12,50
- V 156: Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen
Badelt, Seliger, Moritz, Scheurl, Häusler € 13,00
- V 157: Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317
Klöckner, Fleisch, Balzer-Hebborn, Ellmers, Friedrich, Kübler, Lukas € 14,50
- V 158: Zustandserfassung von Alleebäumen nach Straßenbaumaßnahmen
Wirtz € 13,50

- V 159: Luftschadstoffe an BAB 2006
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 160: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2005 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 25,50
- V 161: Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe
Listl, Otto, Zackor € 14,50
- V 162: Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta
Grahl, Sander € 14,50
- V 163: Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und verkehrsabhängigen Steuerungen
Brilon, Wietholt, Wu € 17,50
- V 164: Straßenverkehrszählung 2005 – Ergebnisse
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,00

2008

- V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM₁₀-Emissionen von Straßen
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch, Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50
- V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 26,00
- V 167: Schadstoffe von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung
Kocher, Brose, Siebertz € 14,50
- V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit
Frost, Schulze € 15,50
- V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen
Wermuth, Wulff € 15,50
- V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen
Roos, Zimmermann, Riffel, Cypra € 16,50
- V 171: Pilotanwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)
Weinert, Vengels € 17,50
- V 172: Luftschadstoffe an BAB 2007
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 173: Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenerporiger Straßenbeläge
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00
- V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM_x-Belastung an Straßen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Düring, Lohmeyer, Moldenhauer, Knörr, Kutzner, Becker, Richter, Schmidt € 29,00
- V 175: Maßnahmen gegen die psychischen Belastungen des Personals des Straßenbetriebsdienstes
Fastenmeier, Eggerdinger, Goldstein € 14,50
- V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw
Schulze, Hübel € 13,00
- V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50
- V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen € 13,00
- V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50
- V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn
Hausmann € 14,50
- V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50
- V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00
- V 183: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen
Lank, Sümmermann, Steinauer, Baur, Kemper, Probst, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen, Jachtmann, Hebel € 24,00
- V 184: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern
Alrutz, Bohle, Müller, Prahlow, Hacke, Lohmann € 19,00
- V 185: Möglichkeiten zur schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit
Gerlach, Kesting, Thiemeyer € 16,00
- V 186: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst
Badelt, Moritz € 17,00
- V 187: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes
Kirschfink, Aretz € 16,50
- V 188:
- V 189:
- V 190: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Lank, Steinauer, Busen € 29,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.