



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Institut für Geotechnik; IGT

Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche

***Caractéristique de bruit de couches de roulement en
comparaison avec des couches d’asphalte coulé
(Gussasphalt) avec surface structurée***

***Comparison of noise characteristics of wearing courses
with Mastic Asphalt (Gussasphalt) with designed
surface***

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Institut für Geotechnik

Dr. Markus Caprez, dipl. Ing. ETH

Trombik Ingenieure AG, Zürich

Peter Trombik, dipl. Ing. ETH
Pascal Fleischer, dipl. Ing. ETH

Forschungsauftrag VSS 2003/503 auf Antrag der Fachkommission 5 der
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)

Zürich, November 2007

Inhalt

1	EINLEITUNG	1
1.1	VORWORT, THEMATIK	1
1.2	AUFTRAG	2
1.3	ZIELE DER ARBEIT UND METHODIK	2
2	VORGEHEN	3
2.1	NORMVORSCHRIFTEN	3
2.1.1	Anwendungsbereich EN ISO 11819	3
2.1.2	Messprinzip gem. EN ISO 11819	3
2.1.3	Messort gemäss EN ISO 11819	4
2.1.4	Anmerkung zu Messort ISO 11819	4
2.1.5	Freifeldbedingungen	4
2.1.6	maximaler Schallpegel	4
2.2	VERSUCHSFELDER	5
2.2.1	Splittmastix, SMA8	6
2.2.2	Asphaltbeton, AC8	6
2.2.3	Rauhasphalt, Macrorugueux, AC MR8	7
2.2.4	Drainasphalt, PA8	7
2.2.5	Gussasphalt mit Absplittung 3/6mm MA8 (3/6)	8
2.2.6	Gussasphalt mit Absplittung 2/4mm, MA8(2/4)	8
2.2.7	Lage der Versuchsfelder	8
2.2.8	Oberflächen der Versuchsfelder	9
2.3	FAHRBAHNZUSTAND	11
2.3.1	Längsebenheit	11
2.3.2	Querebenheit	12
2.3.3	Griffigkeit	13
2.4	FAHRZEUGE	14
2.5	LÄRMESSEINRICHTUNG, SCHALLPEGELMESSER	16
2.5.1	Lage der Messmikrophone	17
2.6	GESCHWINDIGKEITSMESSUNG	18
2.7	TEMPERATURMESSUNG	18
3	GERÄUSCHPEGELMESSUNGEN	19
3.1	MESSPRINZIP	19
3.2	AUSWERTUNG DER LÄRMMESSUNG	19
3.3	BEZEICHNUNGEN UND ABKÜRZUNGEN	20
3.4	NORMIERUNG DER DATEN	21
3.4.1	Regressionsanalyse	21
3.4.2	Vorbeifahrtgeschwindigkeiten	21
3.4.3	Fahrzeuggeräuschpegel bei den Referenzgeschwindigkeiten	21
3.4.4	Ermittlung des statistischen Vorbeifahrtindex (SPBI)	22
3.5	MESSANORDNUNG	22
3.6	UNTERSCHIED ANTRIEBSGERÄUSCH – REIFEN/FAHRBAHN-GERÄUSCH	23
3.7	EINZELVORBEIFAHRTEN	23
3.8	AUFBEREITUNG DER MESSDATEN	23
3.9	PEGELDIFFERENZEN DER 4 MIKROPHONE	24
4	MESSRESULTATE	26
4.1	NULL -MESSUNGEN AM 2. OKT. 2003	26
4.2	MESSUNGEN AM 24. MAI 2004	26
4.3	MESSUNGEN AM 24. NOVEMBER 2004	30
4.4	MESSUNGEN AM 10. OKTOBER 2005	32
5	ZUSAMMENFASSUNG	34
6	SCHLUSSFOLGERUNG UND EMPFEHLUNG	37
7	LITERATURVERZEICHNIS	38

7.1	GESETZE UND VERORDNUNGEN.....	38
7.2	NORMEN:.....	38
7.3	LITERATUR	38
7.4	LÄRMBERECHNUNGSMODELLE	38
7.5	FORSCHUNGSBERICHTE	39
8	ANHANG.....	40
8.1	DARSTELLUNG DER RESULTATE IN REGRESSIONSGERADEN	40
8.1.1	<i>Belag 1: Splittmastix, SMA8; PW</i>	<i>40</i>
8.1.2	<i>Belag 2: Asphaltbeton, AC8; PW.....</i>	<i>41</i>
8.1.3	<i>Belag 3: Rauhasphalt, Macrorugueux, AC MR8; PW</i>	<i>42</i>
8.1.4	<i>Belag 4: Drainasphalt, PA8; PW.....</i>	<i>43</i>
8.1.5	<i>Belag 5: Gussasphalt mit Absplittung 3/6mm MA8 (3/6); PW.....</i>	<i>44</i>
8.1.6	<i>Belag 6: Gussasphalt mit Absplittung 2/4mm, MA8(2/4); PW.....</i>	<i>45</i>
8.1.7	<i>Belag 1: Splittmastix, SMA8; LW3.....</i>	<i>46</i>
8.1.8	<i>Belag 2: Asphaltbeton, AC8; LW3</i>	<i>47</i>
8.1.9	<i>Belag 3: Rauhasphalt, Macrorugueux, AC MR8; LW3.....</i>	<i>48</i>
8.1.10	<i>Belag 4: Drainasphalt, PA8; LW3</i>	<i>49</i>
8.1.11	<i>Belag 5: Gussasphalt mit Absplittung 3/6mm MA8 (3/6); LW3</i>	<i>50</i>
8.1.12	<i>Belag 6: Gussasphalt mit Absplittung 2/4mm, MA8(2/4); LW3</i>	<i>51</i>
8.2	ANHANG FOTODOKUMENTATION	52

Zusammenfassung

Die Oberflächen von Strassen können mit geeigneten Massnahmen lärmtechnisch optimiert werden. Das trifft vor allem bei Deckschichten aus Gussasphalt zu, da diese Bauart eine Abstreuerung mit ausgewählten Splitten zulässt.

Die Versuchsfelder im Kanton Aargau bilden eine ideale Gelegenheit die zeitliche Entwicklung der Lärmeigenschaften zu erheben.

Für die Feststellungen in der Zusammenfassung wurde die Messart „hohe Geschwindigkeit“ berücksichtigt, da diese für die vorliegende Untersuchung von grosser Relevanz ist, weil die Untersuchungen im Zusammenhang mit der Deckbelagswahl für die Autobahn A2 im Kanton Uri gemacht wurden. Diese Auswertung für die Messarten „maximaler Pegel“ und „hohe Geschwindigkeit“ und „leicht gemittelter Pegel“ und „hohe Geschwindigkeit“ zeigt folgendes Bild:

- Die Deckschichten aus Splittmastix und aus Asphaltbeton sind die lautesten
- Die Deckschichten aus Rauhasphalt (Macrorugueux) und Drainasphalt sind die leisesten
- Die Deckschichten aus Gussasphalt mit konstruierter Oberfläche liegen lärmtechnisch zwischen den oben erwähnten Deckschichten
- In den hohen Geschwindigkeitsbereichen zeigen die Messungen lärmtechnische Vorteile der Gussasphaltstrecken gegenüber der Asphaltbetonstrecke.

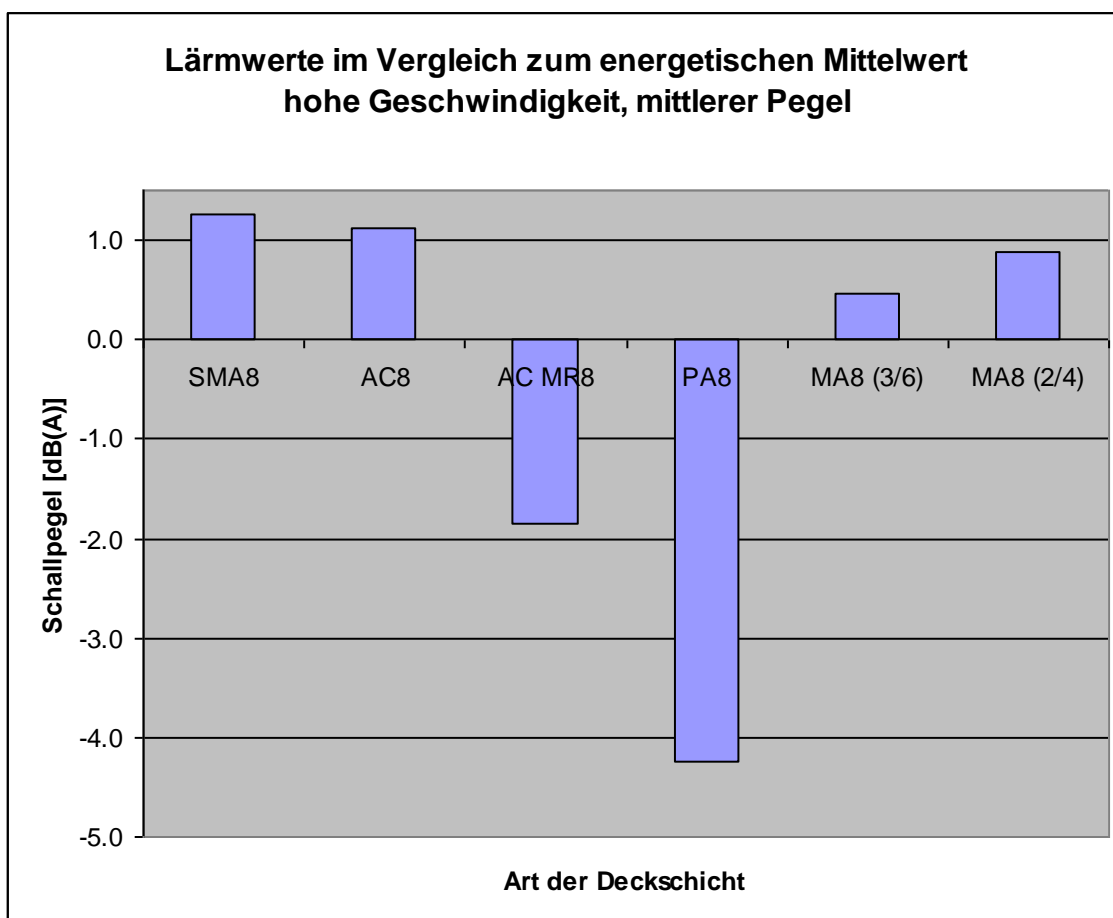


Bild 1: Schallpegelwerte der verschiedenen Deckschichten im Vergleich zum Mittelwert aller Messungen

Resumé

Les surfaces de chaussées peuvent être optimisées par des mesures appropriées. Cela s'applique surtout aux couches de surface en asphalte coulé.

Des planches d'essais dans le canton d'Argovie sont une occasion idéale d'évaluer l'évolution dans le temps des performances vis-à-vis du bruit.

Cette évaluation, pour les types de mesure "niveau maximal" et "vitesse élevée" et "niveau moyen" et "vitesse élevée" donne les résultats suivants:

- Les couches de surface en SMA et en béton bitumineux sont les plus bruyantes
- Les couches de surface en macrorugueux et enrobé drainant sont les plus silencieux
- Les couches de surface en asphalte coulé avec un traitement de surface se situent du point de vue du bruit entre les deux types mentionnés ci-dessus.

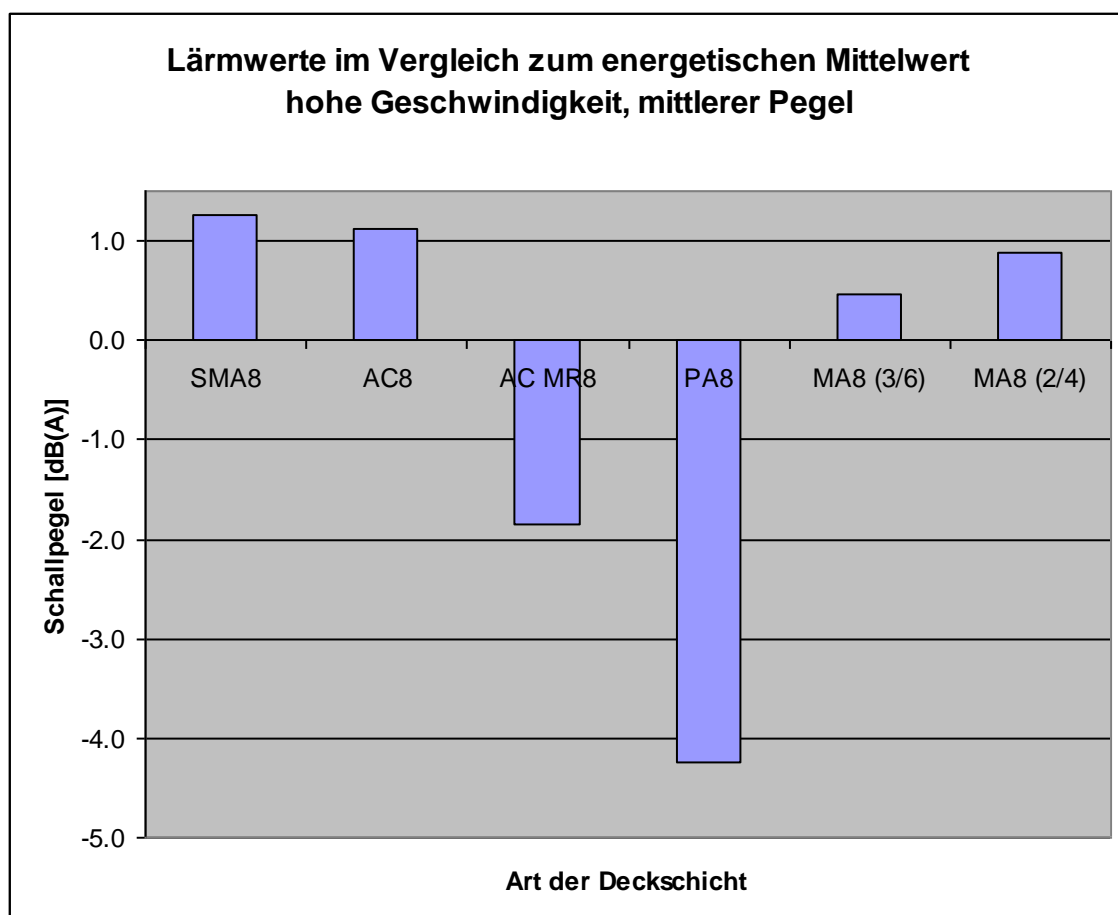


Bild 2: Schallpegelwerte der verschiedenen Deckschichten im Vergleich zum Mittelwert aller Messungen

Abstract

In high speed contests the experimental results show the advantages of the mastic asphalt against the concrete asphalt fields. In a test section in the Canton Aargau six sections, each in a length of about 100 m, with different wearing course will be placed.

Road wearing courses can be optimized against noise using more adequate bituminous mixture recipes. This is particularly true for mastic asphalt, since its recipe allows for choosing different types of crushed stones in the mixture.

The field tests in the Aargau County represent an ideal opportunity for measuring the time dependent development of the noise characteristics for different pavements.

The experimental results for the measurement type "high speed" are analyzed in the summary, since these data are of great relevance for this research project (A2 Highway in Uri County). The experimental results for the measuring types "highest peak", "high speed" and "lightly averaged peak" allow for the following conclusions:

- The split mastic and asphalt concrete wearing courses are the most noisy
- The raw asphalt and the draining asphalt are the less noisy
- The mastic asphalt with added minerals for the grip show noise level between the ones of the two precedent materials

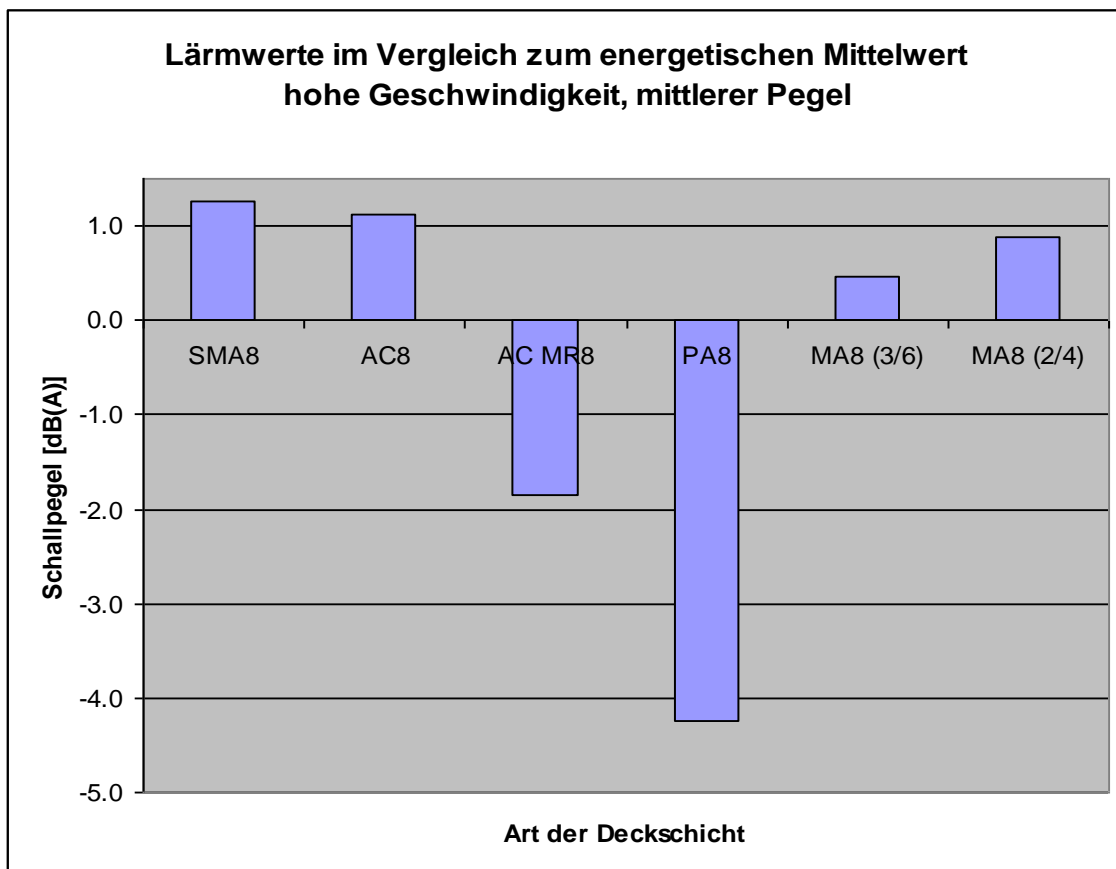


Bild 3: Schallpegelwerte der verschiedenen Deckschichten im Vergleich zum Mittelwert aller Messungen

Sommario

Le miscele degli strati di usura delle pavimentazioni stradali possono essere ottimizzate in funzione dell'assorbimento del rumore. Questo è particolarmente vero per l'asfalto fuso, in quanto il tipo di minerale nella ricetta permette una certa variazione.

I campi di prova nel cantone Argovia rappresentano una opportunità ideale per misurare lo sviluppo temporale delle caratteristiche di rumorosità per le diverse pavimentazioni.

I risultati sperimentali per il tipo di misura "alta velocità" sono presentati nel sommario, in quanto questi dati rivestono una particolare importanza per questo progetto di ricerca (Autostrada A2 nel Cantone di Uri). I risultati sperimentali per il tipo di misurazione "picco Massimo", "alta velocità" e "media leggera del picco", permettono di giungere alle seguenti conclusioni:

- Lo spilttmastic e il conglomerato bituminoso (AC) sono i più rumorosi
- L'asfalto macrorugoso e l'asfalto drenante sono i più silenziosi
- L'asfalto fuso con superficie migliorata per l'aderenza presenta valori di rumorosità compresi tra quelli dei due precedenti materiali
- Ad alte velocità i risultati sperimentali mostrano i vantaggi dell'asfalto fuso nei confronti del conglomerato bituminoso tradizionale.

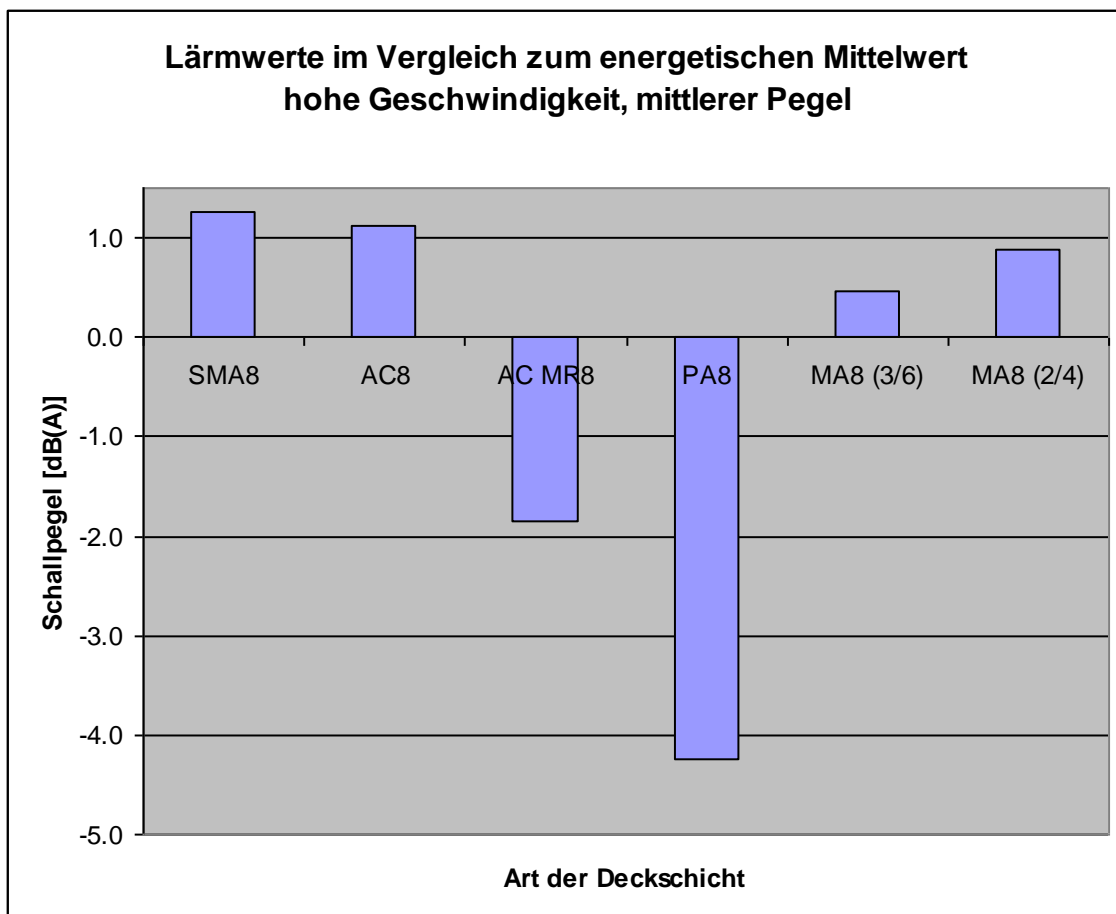


Bild 4: Schallpegelwerte der verschiedenen Deckschichten im Vergleich zum Mittelwert aller Messungen.

1 *Einleitung*

1.1 *Vorwort, Thematik*

Strassenlärm ist zunehmend ein sehr störender Faktor für die Umwelt. Im Bereich des Strassenlärms, wo dieser durch die Belagstechnik beeinflusst werden kann, ist noch Verbesserungspotenzial zu erwarten. Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet sind sehr aktuell. In naher Zukunft sind verschiedene interessante Forschungsergebnisse zu erwarten.

Grundsätzlich ist der Strassenlärm eine relativ komplexe Erscheinung. Durch die Art und Weise der Lärmmessung kann man sich auf einzelne Komponenten des Strassenlärms konzentrieren und diese vom Gesamtlärm isolieren. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich einzig auf die Lärmquelle Pneu/Fahrbahnoberfläche für einige verschiedene, repräsentative Deckschichten aus bitumenhaltigem Material.

Bei den Lärmmessungen werden die Vorbeifahrt- und Nahfeldmessungen unterschieden. Obwohl die Vorbeifahrtmessung den Vorteil hat, dass sie den gesamten Verkehrslärm wie Fahrzeuginnenlärm von Motor und Chassis, Rollgeräusch der Reifen, von der Umgebung reflektierter Lärm aber auch den Umgebungslärm erfasst, hat sie auch einige Nachteile. Für die Beurteilung der Lärmeigenschaften der verschiedenen Beläge scheint die Nahfeldmessung besser geeignet zu sein. Allerdings werden mit der Vorbeifahrtmessung die reflektierenden bzw. absorbierenden Eigenschaften besser erfasst. Für die Untersuchungen in dieser Arbeit wurde die Vorbeifahrtmessung unter speziellen Bedingungen angewendet.

Durch die hohe Beanspruchung des Verkehrs in Anzahl und Grösse der Achslasten werden hochstandfeste Beläge notwendig. Die Belagstechnik hat in den letzten Jahren grosse Fortschritte erzielt. Verschiedene Belagsarten wurden auf hohe Verschleissfestigkeit und hohe Deformationsresistenz getrimmt. Leider wurde dabei in einigen Fällen zuwenig auf die Lärmentwicklung geachtet.

Lärm gehört zu den gravierenden Beeinträchtigungen des Wohlbefindens des Menschen. Der Anteil an Umgebungslärm, welcher vom Verkehr und im speziellen von den Strassen herrührt, ist nicht unerheblich. Es ist deshalb angezeigt jede Lärmquelle zu untersuchen und das Potenzial von Reduktionen an der Quelle aufzuzeigen. Der Verkehrslärm setzt sich aus verschiedenen Lärmquellen und Anteilen zusammen. Die Beschaffenheit der Strassenoberfläche ist eine der Ursachen für die Lärmentwicklung, vor allem im höheren Geschwindigkeitsbereich.

Im Rahmen der Erneuerung des Aufbaues und der Deckschichten auf der A2 im Kanton Uri wurden verschiedene Fragen bezüglich der möglichen Optimierung des Deckbelages aktuell. Eine zentrale Frage ist dabei die Lärmeigenschaft der Deckschicht. Natürlich sind die Gebrauchsdauer und andere Nutzungseigenschaften auch von grosser Bedeutung. Mit der vorliegenden Studie fokussieren wir jedoch hauptsächlich das Problem Lärmeigenschaften von verschiedenen Arten von Deckschichten.

Die Forschungsarbeit wird vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) finanziert. Die Arbeit wird projektbezogen mit den Bauarbeiten an der A2 im Kanton Uri durchgeführt.

1.2 Auftrag

Gemäss dem Auftragschreiben des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) vom 15. April 2004 wurde das Institut für Geotechnik an der ETH Zürich, mit dem Projektleiter Dr. Markus Caprez, beauftragt, das im Forschungsantrag formulierte Projekt „Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit konstruierter Oberfläche“, durchzuführen.

1.3 Ziele der Arbeit und Methodik

Das Ziel der Arbeit besteht darin, mit direkten Versuchen, die lärmtechnischen Eigenschaften von Deckschichten aus Gussasphalt mit konstruierter Oberfläche mit denjenigen von anderen häufig eingebauten Deckschichten zu vergleichen. Die Resultate sollen vor allem die Lärmwerte der verschiedenen Deckschichten in Vergleich gegeneinander zeigen.

Die Lärmeigenschaften der verschiedenen Beläge sollen über einen möglichst langen Zeitraum untersucht werden.

Es ist vorgesehen die Ziele des Forschungsauftrages mit experimentellen Untersuchungen an verschiedenen Oberflächen von Deckbelägen zu erreichen. Dazu werden geeignete Stellen im öffentlichen Strassennetz gesucht, wo Erneuerungen von Deckschichten vorgesehen sind. Das Tiefbauamt des Kantons Aargau hat in verdankenswerter Art diese Forschung mit der zur Verfügungstellung der nötigen Versuchsfelder als auch der ausgewählten Fahrzeuge unterstützt.

Das Tiefbauamt des Kantons Aargau hat im Rahmen einer tief greifenden Unterhaltmassnahme bzw. Erneuerung der Kantonsstrasse Böttstein-Leuggern die ganze Strecke zur Erstellung von sechs Versuchsfeldern zur Verfügung gestellt. Mit periodischen Messungen der Lärmeigenschaften der verschiedenen Deckschichten wird die Datenbasis für die Beurteilung der Deckschichten bezüglich Lärm erhoben.

Obwohl eine lange Beobachtungsperiode wünschbar wäre, sind wir aus terminlichen und budgetmässigen Gründen gezwungen die Messungen mit der Messung im Frühjahr 2007 abzuschliessen und den Schlussbericht zu erstellen.

2 Vorgehen

Die Lärmmessungen wurden gemäss den gültigen Internationalen und nationalen Normen durchgeführt, wo dies möglich war. Die Norm ISO EN 11819-1 „Akustik - Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche - Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren“ wurde sinngemäss angewendet.

Um die Lärmeigenschaften der verschiedenen Deckschichten möglichst frei von störenden Einflüssen wie Temperatur, Wind, zeitlicher Versatz, Art der Lärm erzeugenden Fahrzeuge, Reflektionen, fremde Lärmquellen u.s.w. messen zu können, wurde die Erstellung von nahe beieinander liegenden Versuchsfeldern auf der selben Strecke auf einer Strasse ausserorts geplant. Dies und die zeitgleiche Messung der Lärmeigenschaften der verschiedenen Deckschichten erlauben einen realistischen Vergleich.

Durch das freundliche Entgegenkommen des Tiefbauamtes des Kantons Aargau konnte eine solche Strecke auf der Kantonsstrasse Leuggern – Böttstein (Bruggerstrasse) erstellt werden. Das Tiefbauamt des Kantons Aargau erklärte sich bereit, die geplanten Versuchsfelder im Rahmen einer Sanierung des Oberbaus der erwähnten Strasse zu erstellen.

Um die Umgebungseinflüsse, vorgängig ohne die Einflüsse der verschiedenen Deckschichten, lärmtechnisch quantifizieren zu können wurden auf der Strecke vor dem Einbau der verschiedenen Deckschichten Lärmmessungen auf der Binderschicht, welche in allen Versuchsfeldern die selbe ist, durchgeführt. Die Resultate dieser Messungen zeigten, dass keine für die Lärmmessung relevanten Geländebesonderheiten vorhanden sind.

Als Lärmquellen wurden immer dieselben Fahrzeuge während der Vorbeifahrt gemessen. Es wurde je ein Fahrzeug der Kategorie Personenwagen, Geländewagen, zweiachsiger Lastwagen und dreiachsiger Lastwagen eingesetzt. In den zusammenfassenden Resultaten und Quervergleichen sind die Resultate des Personenwagens und des dreiachsigen Lastwagens berücksichtigt worden. Die anderen Fahrzeuge wurden nicht mehr für die Vergleichsberechnungen berücksichtigt, weil deren Verhältnis von Motorlärm zu Abrolllärm ungünstig ist und im Falle des zweiachsigen Lastwagens die Geschwindigkeiten nicht erreicht wurden.

Die Fahrzeuge wurden in verdankenswerter Weise vom Tiefbauamt des Kantons Aargau zur Verfügung gestellt und sind von dessen Fahrern gefahren worden.

Die Geräuschmessungen wurden periodisch durchgeführt. Zusätzlich wurden die mechanischen Belageigenschaften und die Oberflächeneigenschaften beurteilt.

2.1 Normvorschriften

2.1.1 Anwendungsbereich EN ISO 11819

ISO 11819 legt ein Verfahren zum Vergleich des Verkehrsgeräusches auf unterschiedlichen Straßenoberflächen bei verschiedenen Verkehrszusammensetzungen fest, um die einzelnen Arten von Straßenoberflächen zu bewerten. Schallpegel, die leichte oder schwere Fahrzeuge bei bestimmten Geschwindigkeiten repräsentieren, werden bestimmten Straßenoberflächen zugeschrieben.

2.1.2 Messprinzip gem. EN ISO 11819

Für den Bericht über die akustischen Eigenschaften der Straßenoberfläche werden die Fahrzeuggeräuschpegel energetisch addiert, wobei ein bestimmtes Verhältnis zwischen den Fahrzeugkategorien angenommen wird.

Dadurch ergibt sich ein einziger Kennwert, der das Endergebnis darstellt. Dieser Kennwert ist der statistische Vorbeifahrtindex (SPBI). Er kann für den Vergleich von Straßenoberflächen verwendet werden, sodass ihr Einfluss auf den Schallpegel des Verkehrs der angenommenen Zusammensetzung bestimmt werden kann.

2.1.3 Messort gemäss EN ISO 11819

Die Norm schreibt die folgenden Punkte für den Messort vor:

- Straßenstück muss zu beiden Seiten des Mikrofons je mindestens 30 m lang sein
- Straßen mit leichten Kurven oder mit Steigungen $< 1\%$ sind für die Zwecke dieses Teils von ISO 11819 als Messobjekt geeignet
- Fahrzeuge müssen mit konstanter Geschwindigkeit fahren
- Anforderung an das Fremdgeräusch am Messort ist zu beachten
- Straßenoberfläche sollte auf dem gesamten zu prüfenden Straßenabschnitt homogen und in gutem Zustand sein

2.1.4 Anmerkung zu Messort ISO 11819

Da einige Arten von Straßenoberflächen ihre Geräuschcharakteristik ziemlich schnell nach der Verkehrsübergabe ändern, sind Messungen an frisch verlegten Straßendecken von begrenzter Gültigkeit. In unseren Untersuchungen haben wir deshalb vorgesehen, die Messungen periodisch durchzuführen. Die Messungen wurden jeweils im Frühjahr und im Spätherbst durchgeführt.

2.1.5 Freifeldbedingungen

Es herrschen dann angenähert Freifeldbedingungen, wenn sich innerhalb eines Radius von 25 m um das Mikrophon außer dem Erdboden keine reflektierenden Flächen befinden.

Im Falle unserer Versuchsfelder ist diese Bedingung weitgehend erfüllt. Vorgängige Schallpegelmessungen zeigten, dass keine für die Lärmresultate massgebenden Geländebesonderheiten vorhanden sind. Wir können deshalb die Freifeldbedingungen als gegeben annehmen.

2.1.6 maximaler Schallpegel

Gemäss Norm ISO EN 11819 ist der maximale Schallpegel wie folgt definiert: Höchster vom Messgerät während einer Fahrzeugvorbeifahrt aufgenommener Schalldruckpegel unter Verwendung der festgelegten Frequenzbewertung und Zeitbewertung.

In unseren Messungen und Auswertungen wurden die Frequenzbewertung „A“ (A-Filter) und die Zeitbewertung „F“ (fast = 0.125 s) und zusätzlich auch „S“ (slow = 1 s) angewendet. Die Fahrzeuge müssen akustisch trennbar sein, d. h., ihre Schallpegel dürfen durch andere Fahrzeuge nicht signifikant beeinträchtigt werden.

Auch die Bedingung der Trennbarkeit der einzelnen Fahrzeugdurchfahrten haben wir bei unseren Versuchsfeldern erfüllen können. Durch die Tatsache, dass wir die Strecke für den Verkehr sperren konnten und nur unsere ausgewählten Fahrzeuge vorbeifahren konnten, hatten wir optimale Voraussetzungen. Wir haben beidseitig der Strasse im Abstand von 7,5 m von der Strassenachse je zwei Mikrofone aufgestellt. Dadurch waren wir in der Lage allfällige Abweichungen im Einhalten der vorgegebenen Fahrspuren statistisch zu kompensieren.

2.2 *Versuchsfelder*

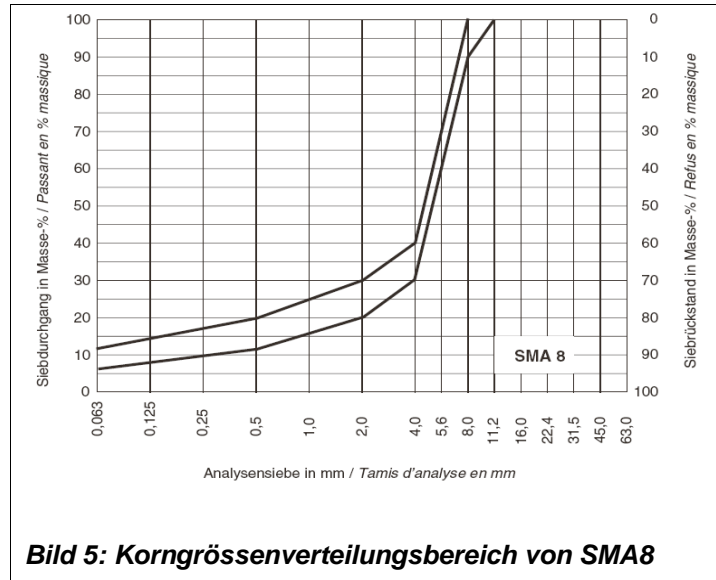
Die Versuchsfelder wurden auf der Kantonsstrasse Leuggern – Böttstein (Bruggerstrasse) ca. 300 m vor der Ortseinfahrt Leuggern erstellt. Diese Strasse stand zur Sanierung an. Das Tiefbauamt des Kantons Aargau willigte ein, auf einem Abschnitt von 500 m verschiedene Versuchsfelder zu erstellen. Über die gesamte Strecke wurde dieselbe Trag- und Binderschicht eingebaut. Die verschiedenen Versuchsfelder unterscheiden sich einzig in der Art der Deckschicht. Die verschiedenen Deckschichten wurden alle mit dem Grösstkorn 8 mm eingebaut.

2.2.1 Splittmastix, SMA8

Das Versuchsfeld mit der Deckschicht aus Splittmastix-Asphalt hat eine Länge von 90 m. Der Sollwertebereich für die Dicke der Schichtdicken von SMA 8 beträgt 25 bis 35 mm.

Der minimale Bindemittelgehalt von SMA8 beträgt 6.4 Masse-%. Der Hohlraumgehalt muss zwischen 2 und 5 Volumen-% liegen. Der Sollwertbereich der Korngrössenverteilung des Mineralstoffgemisches ist in Bild 5: Korngrössenverteilungsbereich von SMA8 wiedergegeben.

Beim SMA handelt es sich um eine relativ dichte Deckschicht mit grossem Bindemittel- und Feinanteilegehalt. Der grosse Vorteil des SMA liegt in der hohen Stabilität gegen Verformungen und der langen Gebrauchsdauer. Durch die relativ bindemittel- und mastixreiche Mischung ist die Alterung dieser Deckschichtart positiv beeinflusst. Die grosse Standfestigkeit wird unter Anderem durch das gute Stützgerüst der Splittanteile gewährleistet.

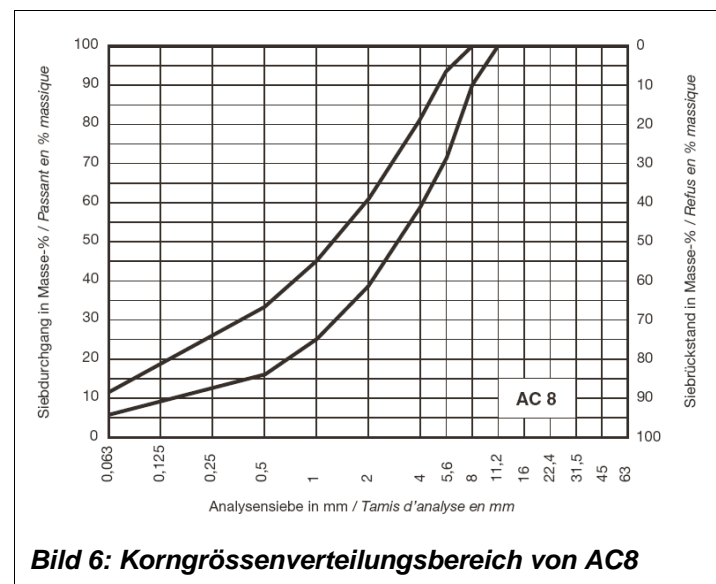


2.2.2 Asphaltbeton, AC8

Das Versuchsfeld mit der Deckschicht aus Asphaltbeton hat eine Länge von 90 m. Der Sollwertebereich für die Schichtdicken von AC8 beträgt 20 bis 35 mm.

Der minimale Bindemittelgehalt von AC8 beträgt 6 Masse-%. Der Hohlraumgehalt muss normgemäss zwischen 2 und 6 Volumen-% liegen. Der Sollwertbereich der Korngrössenverteilung des Mineralstoffgemisches ist in Bild 6: Korngrössenverteilungsbereich von AC8 wiedergegeben.

Beim AC8 handelt es sich um ein Deckschichtmaterial, welches für den allgemeinen Strassenbau am häufigsten verwendet wurde. Die Vorteile dieses Materials sind die grosse Verfügbarkeit, die gute Einbaubarkeit, der günstige Preis und die lange Gebrauchsdauer. Diese Deckschicht wurde in der vorherigen Normengeneration als Asphaltbeton bezeichnet.



2.2.3 Rauhasphalt, Macrorugueux, AC MR8

Das Versuchsfeld mit der Deckschicht aus Rauhasphalt, auch Macrorugueux genannt, hat eine Länge von 90 m. Der Sollwertebereich der Schichtdicken von AC MR 8 beträgt 20 bis 30 mm.

Der minimale Bindemittelgehalt von MR8 beträgt 5,7 Masse-%. Der Hohlraumgehalt muss zwischen 3 und 7 Volumen-% liegen. Der Sollwertbereich der Korngrößenverteilung des Mineralstoffgemisches ist in Bild 7: Korngrößenverteilungsbereich von AC MR8 wiedergegeben.

Beim Rauhasphalt oder auch Macrorugueux genannt handelt es sich um eine Deckschicht mit relativ grossem Hohlraumgehalt. Dieser ist zwar immer noch wesentlich geringer als der Hohlraumgehalt des offenporigen Asphalt. Er ist aber grösser als derjenige der dichten Asphaltdeckschichten. Der Vorteil des MR liegt in der hohen Stabilität gegen Verformungen und der langen Gebrauchsdauer.

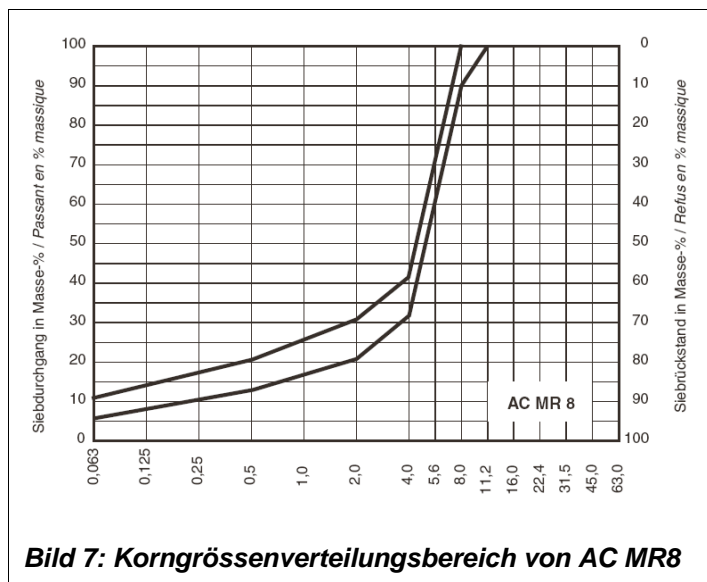


Bild 7: Korngrößenverteilungsbereich von AC MR8

2.2.4 Drainasphalt, PA8

Das Versuchsfeld mit der Deckschicht aus offenporigem Asphalt, auch Drainasphalt genannt, hat eine Länge von 90 m. Der Sollwertebereich der Schichtdicken von PA8 beträgt 25 bis 35 mm.

Der minimale Bindemittelgehalt gemäss Schweizer Norm beträgt bei PA8 5 Masse-%. Der minimale Hohlraumgehalt ist 20%. Der Sollwertbereich der Korngrößenverteilung des Mineralstoffgemisches ist in Bild 8: Korngrößenverteilungsbereich von PA8 wiedergegeben.

Beim offenporigen Asphalt handelt es sich um eine Deckschicht mit grossem Hohlraumgehalt. Dadurch werden die vertikalen Drainageeigenschaften von Wasser positiv beeinflusst. Das Drainagevermögen von offenporigem Asphalt kann entweder durch den minimalen Hohlraumgehalt oder durch die vertikale oder horizontale Durchlässigkeit definiert werden.

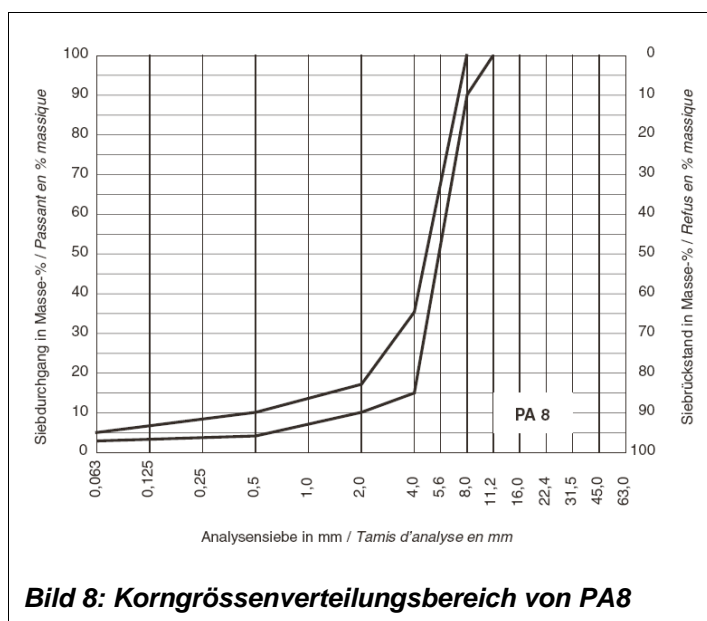


Bild 8: Korngrößenverteilungsbereich von PA8

Der Vorteil des PA liegt in den guten Drainageeigenschaften. Die Stabilität gegen Verformungen wie Spurrinnen ist in der Regel gut. Allerdings ist die Gebrauchsdauer gegenüber den anderen

Arten von Deckschichten erheblich kürzer. Durch den grossen Hohlraum und das fehlende Korngerüst in den feineren Korngrössen müssen die Mineralstoffe hohe Anforderungen an Festigkeit und Polierfähigkeit erfüllen. Die erheblich kürzere Gebrauchsdauer von OPA-Deckschichten ist die Folge von grossen Korn-zu-Korn Kontaktkräften und der grösseren Exposition des Bindemittels an die Umgebung; Luft, Wasser, Lösungen etc.

2.2.5 Gussasphalt mit Absplittung 3/6mm MA8 (3/6)

Das Versuchsfeld mit der Deckschicht aus Gussasphalt MA8 mit einer Abstreuerung mit Splitt der Korngrösse 3/6 mm ist 60 m lang. Der Sollwertebereich der Schichtdicken von PA8 beträgt 20 bis 35 mm.

Gussasphalt ist giessfähiges Mischgut für Deck-, Binder- oder Schutzschichten. Der minimale Bindemittelgehalt gemäss Schweizer Norm beträgt bei MA8 7.5 Masse-%. Der minimale Hohlraumgehalt ist nicht normiert. Der Sollwertbereich der Korngrössenverteilung des Mineralstoffgemisches ist in Bild 9: Korngrössenverteilungsbereich von MA8 wiedergegeben.

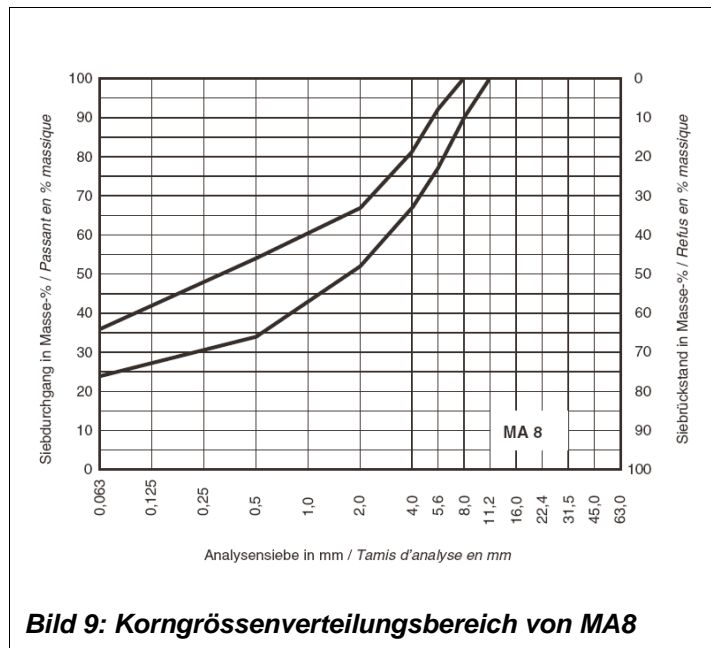


Bild 9: Korngrössenverteilungsbereich von MA8

Beim Gussasphalt handelt es sich um eine dichte, holraumarme Deckschicht, welche auch zu Abdichtungszwecken eingesetzt wird. Durch die dichte, bindemittelreiche Struktur weist Gussasphalt ein sehr gutes Alterungsverhalten auf. Die Vorteile von Gussasphaltdeckschichten liegen in der grossen Stabilität gegen Verformungen und in der langen Gebrauchsdauer.

2.2.6 Gussasphalt mit Absplittung 2/4mm, MA8(2/4)

Das Versuchsfeld mit der Deckschicht aus Gussasphalt MA8 mit einer Abstreuerung mit Splitt der Korngrösse 2/4 mm ist 60 m lang. Die Eigenschaften dieser Deckschicht entsprechen bis auf die Oberflächenstruktur wegen der feineren Körnung der Absplittung denjenigen der Deckschicht aus MA8(3/6). Der Sollwertbereich der Korngrössenverteilung ist derselbe wie beim Gussasphalt mit der Absplittung 3/6mm und ist in Bild 9: Korngrössenverteilungsbereich von MA8 dargestellt.

2.2.7 Lage der Versuchsfelder

Die Lage der einzelnen Versuchsfelder mit den entsprechenden Deckschichten ist in der Lageskizze in Bild 10: Lage der Versuchsfelder, ersichtlich.

Die gesamte Strecke der Versuchsfelder liegt in nicht überbautem Gebiet. Auf beiden Seiten der Versuchsfelder sind landwirtschaftliche Nutzflächen oder Wald. Auf der Nordseite der Versuchsfelder bei den Deckschichten aus SMA8, AC8 und AC MR8 ist nicht sehr dicht bewachsener Wald in einem Abstand von ca. 3 bis 5 m ab Strassenrand. Auf der Südseite der Versuchsfelder und auf der Nordseite bei den Feldern aus PA8, GA8(3/6) und GA8 (2/4) ist auf der ganzen Länge landwirtschaftlich genutzter Boden. Es sind dies Ackerfelder mit Fruchtflächen. Die Bewachsung während der Messungen im Frühjahr und im Herbst ist immer tiefer als ein Meter.

Die Versuchsfelder liegen weiter als ca. einen Kilometer vom nächsten Dorf weg. Umgebungslärm, welcher die Messungen beeinflussen würde, ist keiner vorhanden.

Die Norm beschreibt: Es herrschen dann angenähert Freifeldbedingungen, wenn sich innerhalb eines Radius von 25 m um das Mikrophon außer dem Erdboden keine reflektierenden Flächen befinden. Diese Verhältnisse können in unserem Fall vorausgesetzt werden.

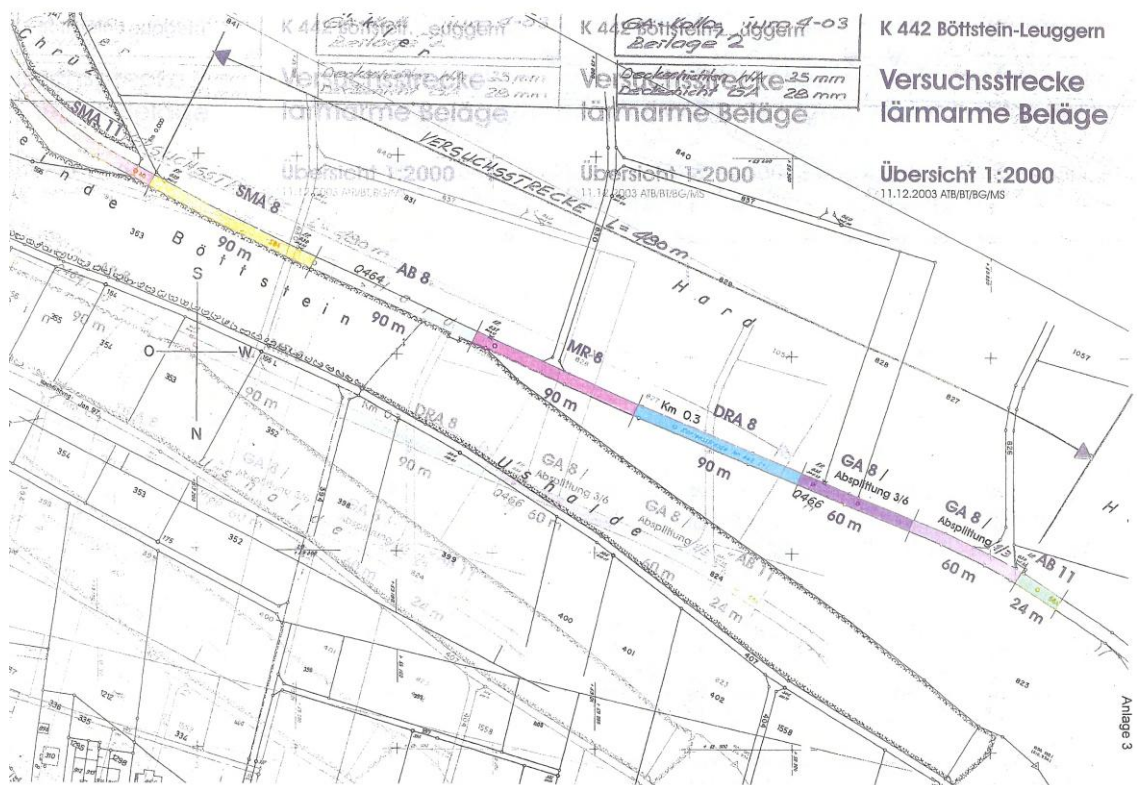


Bild 10: Lage der Versuchsfelder

2.2.8 Oberflächen der Versuchsfelder

Die Oberflächen der sechs Versuchsfelder vor der ersten Lärmmessung, am 24. Mai 2004 sind in Bild 11: Oberflächen der Versuchsfelder vor der ersten Messung, dargestellt. Zum Größenvergleich sind weiße Streifen auf die Deckschichten aufgeklebt. Die weißen Streifen haben eine reale Breite von 19 mm.

Die Oberflächen der einzelnen Versuchsfelder wurden sehr homogen erstellt. Es konnten keine sichtbaren Fehlstellen festgestellt werden.

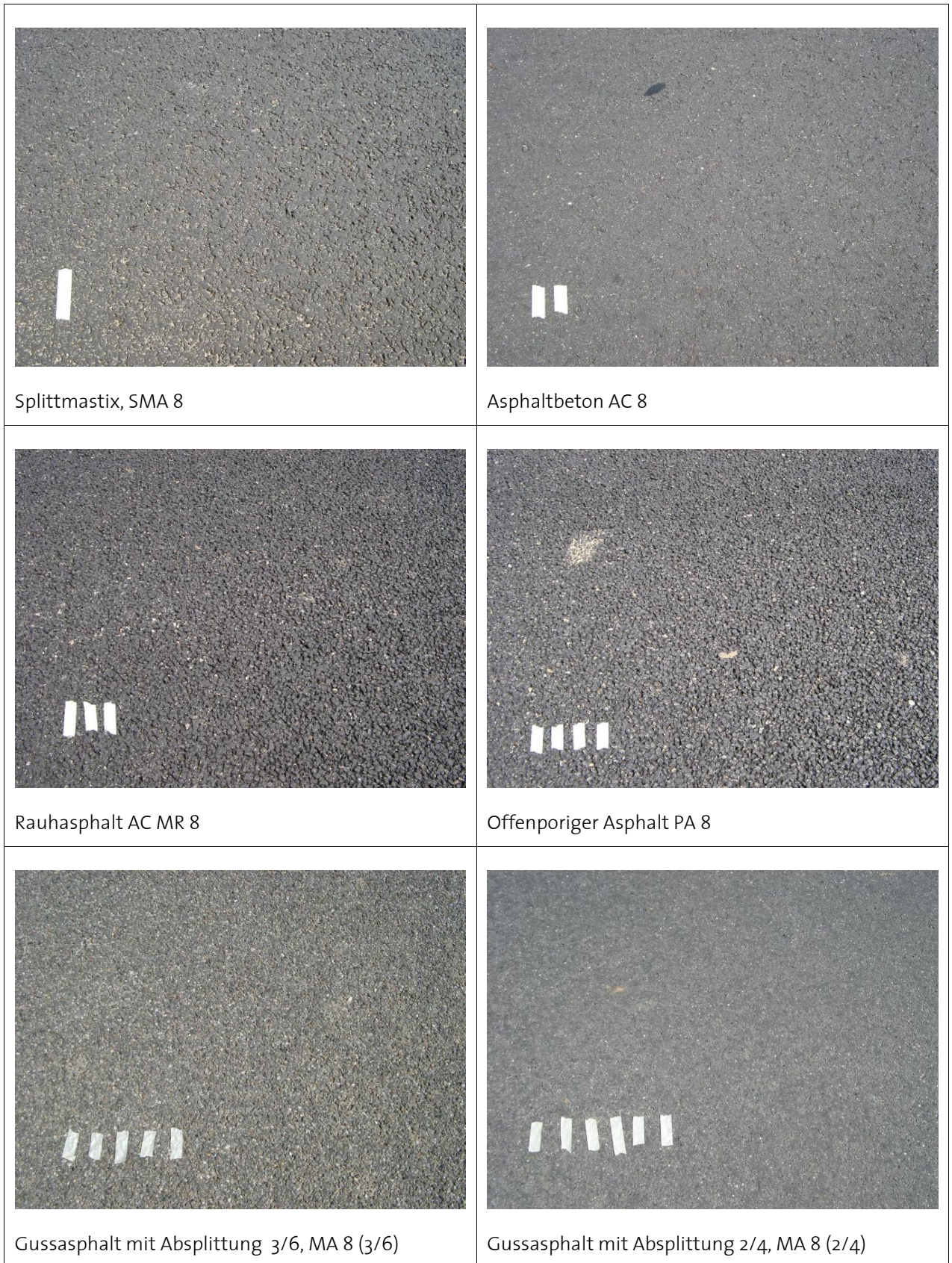


Bild 11: Oberflächen der Versuchsfelder vor der ersten Messung

2.3 Fahrbahnzustand

Die Versuchsfelder wurden grundsätzlich mit dem Ziel erstellt, die lärmtechnischen Eigenschaften der verschiedenen Deckschichten zu untersuchen und miteinander zu vergleichen. Um sicher zu stellen, dass es sich bei den eingebauten Deckschichten um für die Schweiz repräsentative Deckschichten handelt, wurden die „klassischen“ Oberflächeneigenschaften auch gemessen. Insbesondere die Ebenheitswerte können die Lärmeigenschaften erheblich beeinflussen. Mit den Erhebungen, welche in diesem Kapitel dargestellt sind, konnte die „ordnungsgemässe“ Erstellung und Repräsentativität der verschiedenen Deckschichten gezeigt werden.

2.3.1 Längsebenheit

Die Längsebenheiten in beiden Fahrstreifen –Richtung Ost und Richtung West- sind in Bild 12 grafisch dargestellt. Die Interpretation der Längsebenheitsmessung lässt die Qualifikation: Gut bis sehr gut, zu.

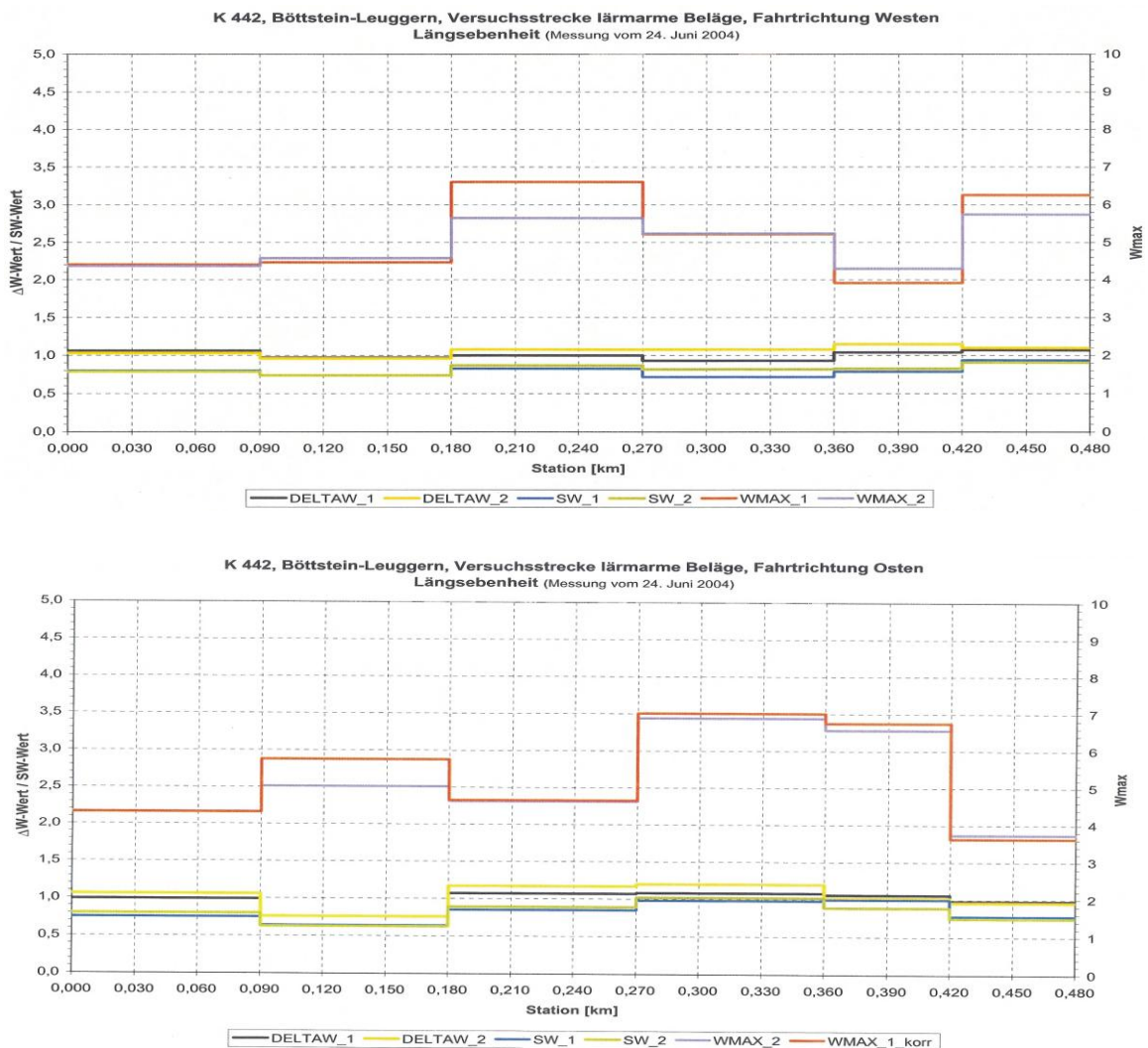


Bild 12: Längsebenheiten der Versuchsfelder

2.3.2 Querebenheit

Die Ebenheiten in Querrichtung in beiden Fahrstreifen –Richtung Ost und Richtung West- sind in Bild 13: Querebenheiten der Versuchsfelder, grafisch dargestellt. Die Querebenheit ist gut bis sehr gut. Spurrinntiefen von 2 mm werden kaum überschritten.

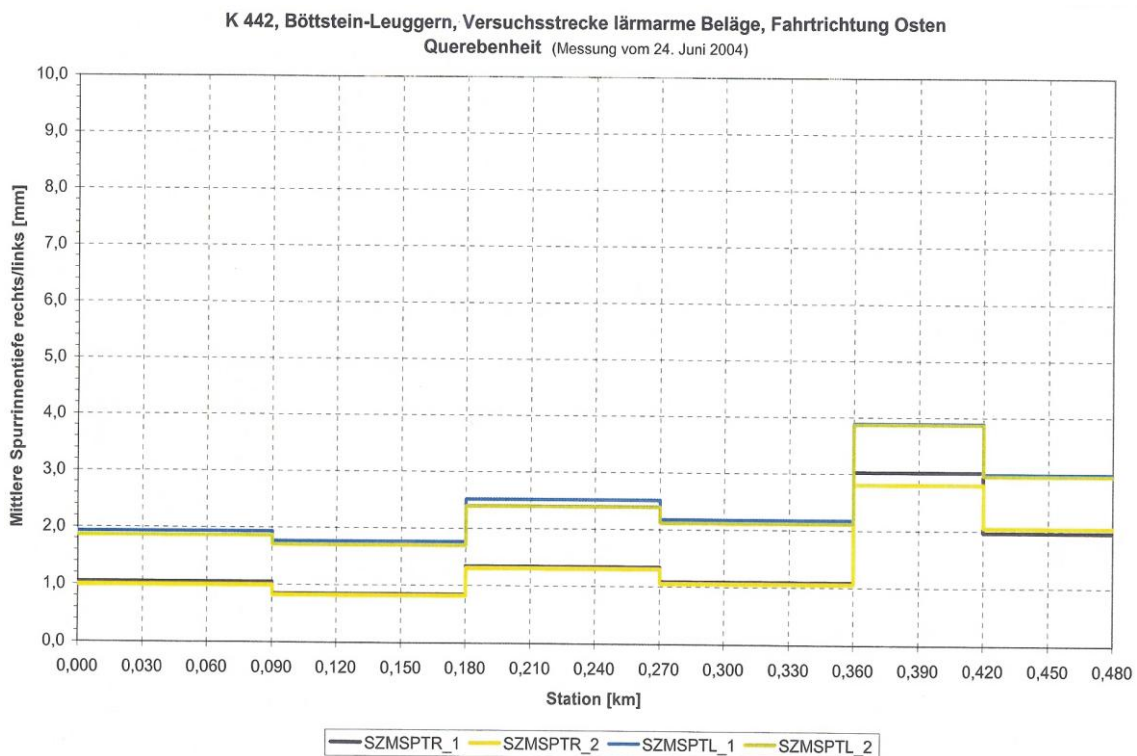
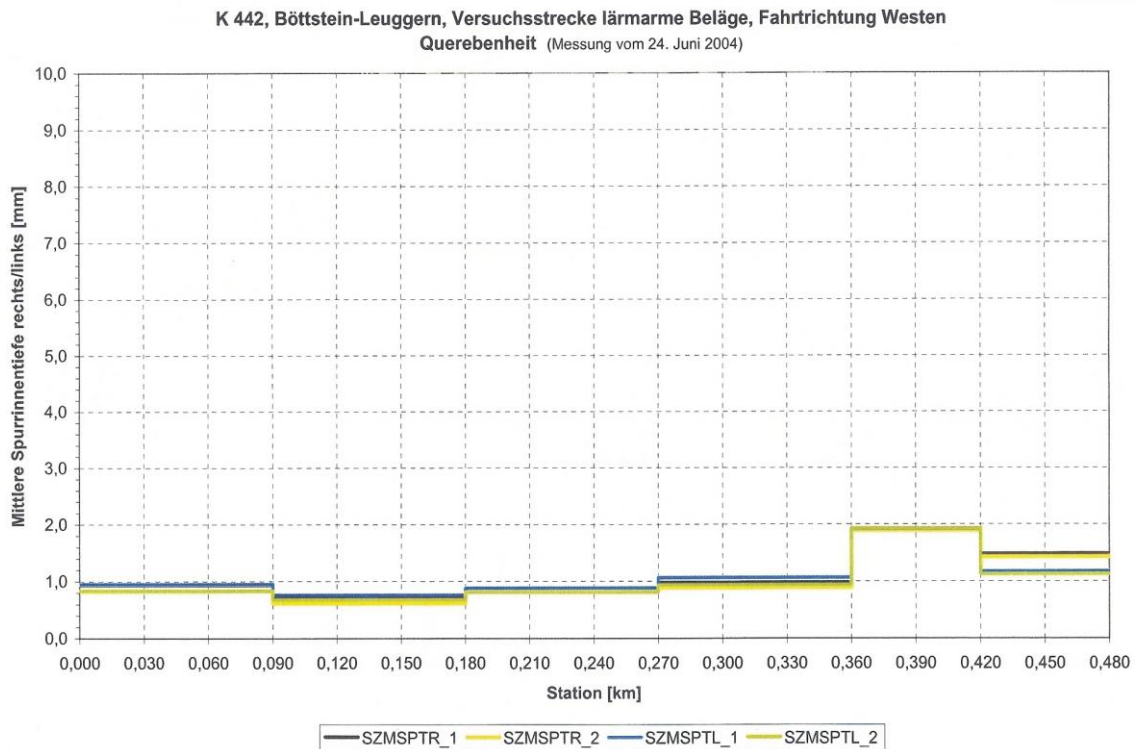


Bild 13: Querebenheiten der Versuchsfelder

2.3.3 Griffigkeit

Die Griffigkeitswerte, gemessen mit dem SCRIM-Gerät in beiden Fahrstreifen –Richtung Ost und Richtung West- sind in Bild 14: Griffigkeitswerte der Versuchsfelder (SCRIM), dargestellt. Die Griffigkeit der beiden Felder aus Gussasphalt und des Feldes aus SMA zeigen die besten Werte.

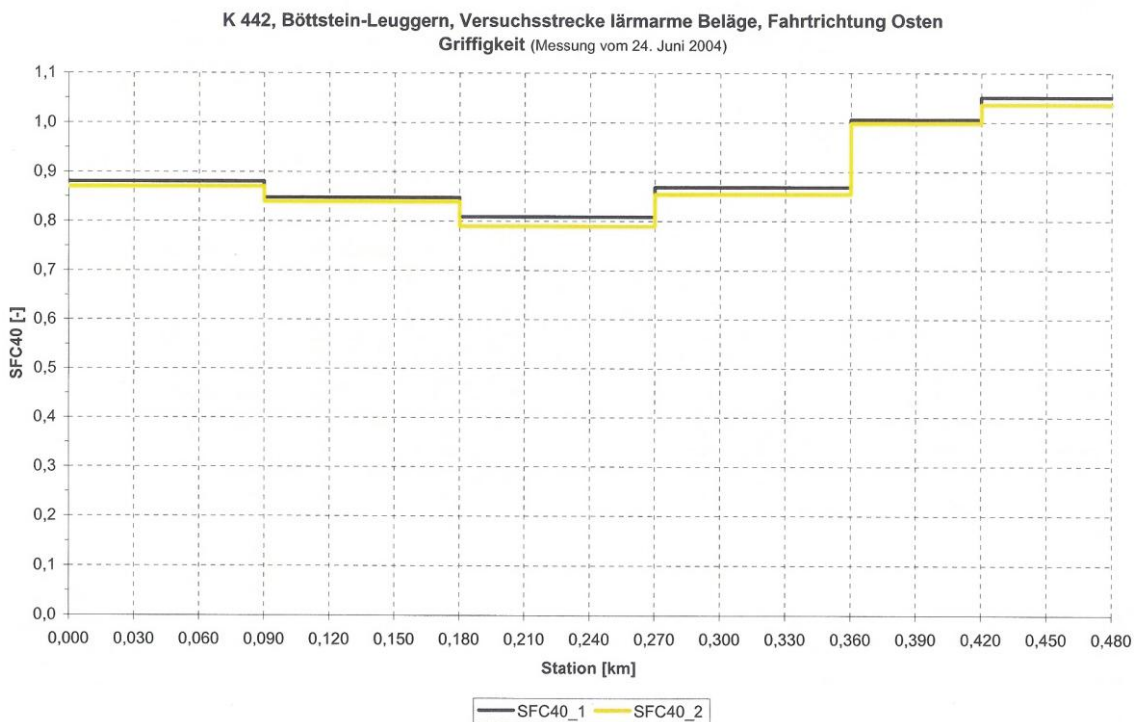
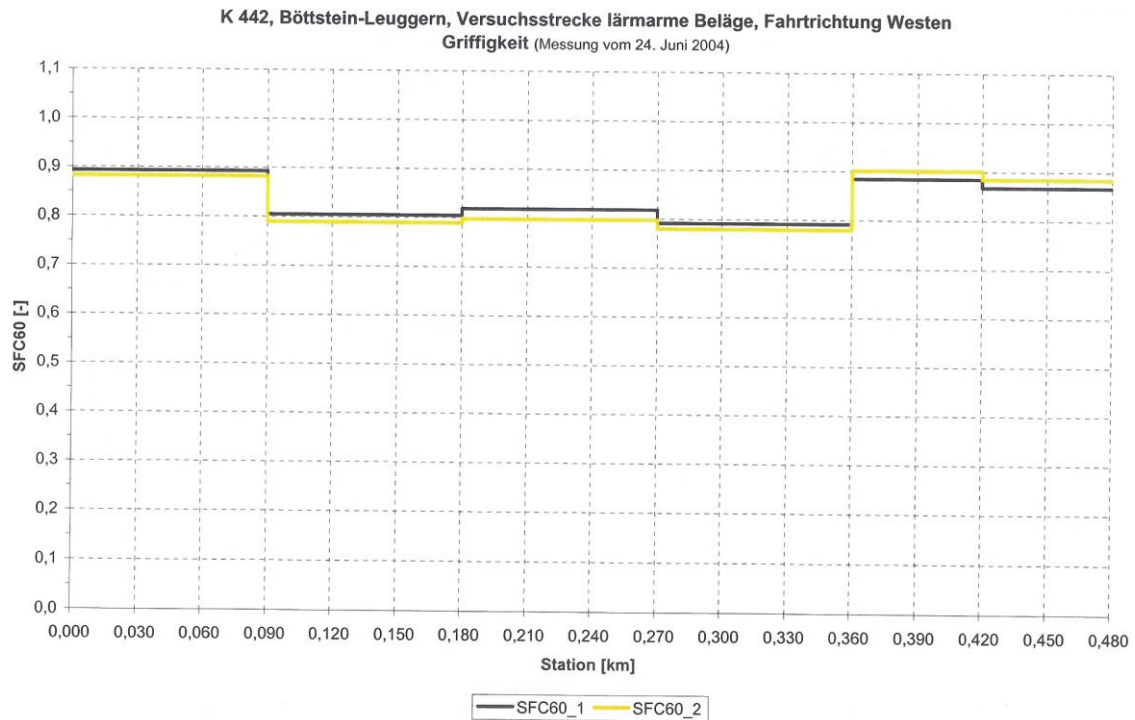


Bild 14: Griffigkeitswerte der Versuchsfelder (SCRIM)

2.4 Fahrzeuge

Um die verschiedenen Lärmessungen besser miteinander vergleichen zu können wurden nach Möglichkeit immer dieselben Fahrzeuge als Lärmquelle bei der Einzelvorbeifahrt eingesetzt.

Das Forschungs-Programm sieht vor, dass die zeitliche Entwicklung der Lärmeigenschaften über eine Periode von ca. 3 Jahren gemessen wird. Das Tiefbauamt des Kantons Aargau stellte die Fahrzeuge zur Verfügung. Es wurden ein Personenwagen, ein Geländewagen, ein zweiachsiger Lastwagen und ein dreiachsiger Lastwagen eingesetzt.

Der eingesetzte Fahrzeugpark ist in Bild 15: Fahrzeugpark für die Lärmessungen, ersichtlich.



Bild 15: Fahrzeugpark für die Lärmessungen

Für den Quervergleich zwischen den einzelnen Messungen und Versuchsfeldern wurden nur die beiden Kategorien Personenwagen und dreiachsiger Lastwagen in die Berechnungen miteinbezogen. Die anderen Fahrzeuge, der Geländewagen und der zweiachsige Lastwagen eigneten sich nicht für die Vergleiche zwischen den verschiedenen Arten der Deckschichten, weil der Lärm aus den Quellen Chassis, Motor und Auspuff sehr dominant im Vergleich zum von der Strassenoberfläche generierten Lärm war. Zudem wurde die gewünschte Vorbeifahrt-Geschwindigkeit vom zweiachsigen Lastwagen nicht erreicht.

Personenwagen. Kategorie 1 Pkw
gemäss ISO EN 11819-1.

Für die Messungen vom Oktober 2003, Mai 2004 und November 2004 wurde der im Bild dargestellte Personenwagen benutzt. Für die Messkampagnen Oktober 2005 und 2006 wurde ein anderer Personenwagen, Grossraumlimousine, verwendet.



Geländefahrzeug. Kategorie 1 Pkw
gemäss ISO EN 11819-1.

Das abgebildete Geländefahrzeug wurde für die ersten Messkampagnen verwendet. Es zeigte sich aber, dass die Lärmquellen Motor und Karosserie, dieses Fahrzeuges dominierten und daher die Auswertung zum Vergleich der Eigenschaften der Deckschichten ungeeignet war. In der Auswertung wird dieses Fahrzeug nur teilweise berücksichtigt.

In den Quervergleichen wurde dieses Fahrzeug nicht berücksichtigt.



Zweiachsiger Lastwagen. Kategorie 2a Lkw
gemäss ISO EN 11819-1.

Der abgebildete Lastwagen wurde für die Messkampagnen eingesetzt. Auch bei diesem Fahrzeug wurde ähnlich wie beim Geländefahrzeug festgestellt, dass die Lärmquellen Motor und Chassis relativ dominant waren. Die Auswertungen wurden sowohl mit als auch ohne dieses Fahrzeug durchgeführt.

In den Quervergleichen wurde dieses Fahrzeug nicht berücksichtigt.



Dreiachsiger Lastwagen. Kategorie 2b Lkw gemäss ISO EN 11819-1.

Dieses Fahrzeug wurde bei allen Messkampagnen eingesetzt und in die Berechnungen und Auswertungen eingesetzt.



Bild 16: Beschreibung der Fahrzeuge

2.5 Lärmmeßeinrichtung, Schallpegelmesser

Die Lärmmessungen wurden von Technikern und mit Messausrüstungen des Ingenieurbüros Trombik AG, Zürich durchgeführt.

Unsere Anforderungen an die Messausrüstung wurden wie folgt festgelegt: Der Schallpegelmesser (oder ein äquivalentes Messsystem) muss die Anforderungen der Klasse 1 nach IEC 60651 erfüllen.

Das eingesetzte Mess-System der Firma Trombik AG erfüllt diese Anforderungen.

Trombik setzte die folgenden Messausrüstungen ein:

Normalausrüstung NORSONIC RT-840, bestehend aus:

- 1 Echtzeit-Terzband-Analysator Norsonic Typ RT-840, zweikanalig
- 4 Hochpräzisions-Messmikrofone Norsonic Typ 1220
- 4 Hochpräzisions-Messmikrofon-Vorverstärker Typ Norsonic 1201
- 1 Akustische Eingangseinheit Brüel & Kjaer 4-Kanal Typ 5968
- Aufzeichnung auf PCM/DAT-Recorder SONY Digital Audio Recorder Typ PC 204
- geeicht durch EAM, Klasse 1, für amtliche Messungen
- Akustischer Kalibrator Brüel & Kjaer Typ 4230

Schallpegelmesser für Stichproben, bestehend aus:

- rechnender Präzisions-Schallpegelmesser CEL-393-B/K1
- rechnender Sekundärprozessor und Grafikdrucker CEL-238-A

Die Messausrüstung wird periodisch geeicht durch EAM, Klasse 1, für amtliche Messungen

2.5.1 Lage der Messmikrophone

Gemäss Norm ISO EN beträgt der horizontale Abstand des Messmikrofons von der Mitte des Fahrstreifens, auf dem die zu messenden Fahrzeuge fahren, 7.5 ± 0.1 m. Die Mikrofonhöhe beträgt $1.2 \text{ m} \pm 0.1$ m über der Fahrbahnoberfläche.



Bild 17: Messmikrofone auf der Südseite

Diese Normvorschrift konnte bei allen Versuchsfeldern eingehalten werden. Weil in unserem Fall die Führer der Fahrzeuge angewiesen wurden in der Strassenmitte zu fahren – die Strasse war für den übrigen Verkehr gesperrt – wurden die entsprechenden Abstände von der Strassenmitte aus gemessen.

Um vorteilhafte statistische Daten zu generieren wurden die Schallpegelmessungen jeweils auf beiden Strassenseiten gleichzeitig durchgeführt. Die Repräsentativität wurde zusätzlich nochmals verbessert, indem

auf beiden Strassenseiten je zwei Messmikrofone nebeneinander im Abstand von 2 m aufgestellt wurden. Dies bedingte den gleichzeitigen Einsatz von vier Mikrofonen. Dadurch konnten leicht abweichende Distanzen der vorbeifahrenden Fahrzeuge ausgemittelt werden und der Einfluss lokaler Ungleichheiten der Deckschichtoberfläche minimiert werden.

Bei den ersten Versuchsfeldern SMA8 und AC8 welche auf der Nordseite im Anstand von ca. 5 m an Wald und an einen steilen Abhang grenzen, wurde eine Messbühne konstruiert, damit die normgemässen Abstände eingehalten werden konnten. Die Messbühnen ist in Bild 18: Messbühne für Mikrofone abgebildet.

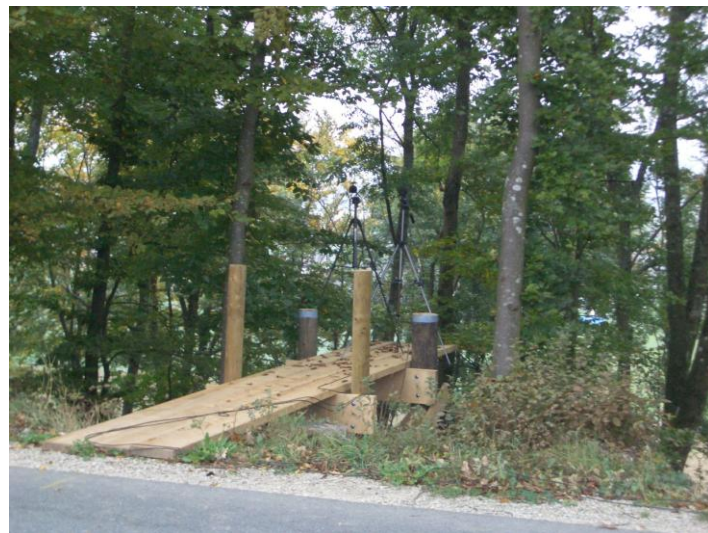


Bild 18: Messbühne für Mikrofone

2.6 *Geschwindigkeitsmessung*

Die Fahrzeuggeschwindigkeit in dem Augenblick, da das Fahrzeug das Mikrofon passiert, ist mit einer Standardunsicherheit von weniger als 3% zu messen. Es dürfen keine Messeinrichtungen verwendet werden, die auf die Straßenoberfläche gelegt werden und auf die Überfahrt durch die Reifen reagieren.

Das eingesetzte Gerät zur Geschwindigkeitsmessung war eine Radarpistole des Typs Kustom Signals. Das Gerät wurde vor den Messungen bei jedem Versuchsfeld kalibriert. Dazu stand eine Kalibriergabel zur Verfügung. Das Gerät erfüllt die nach ISO EN 11819-1 geforderten Werte.

Bei jeder Durchfahrt wurde die zugehörige Geschwindigkeit auf der Höhe der Messmikrofone gemessen. Dazu bediente ein Techniker die Radarpistole von hand und trug die Vorbeifahrtgeschwindigkeit in das vorgefertigte Protokoll ein.

2.7 *Temperaturmessung*

Jede Messkampagne auf allen Versuchsfeldern wurde jeweils am gleichen Tag durchgeführt. Die Messungen wurden immer bei Umgebungs- und Fahrbahnoberflächentemperaturen welche für alle Versuchsfelder gleich waren, durchgeführt. Die Temperaturen wurden nicht für Korrekturen der Schalldruckwerte verwendet.

Da das Hauptziel der Versuchsfelder der Vergleich der Lärmeigenschaften untereinander war, wurden die direkten nicht temperaturkompensierten Werte in die Vergleiche genommen.

3 *Geräuschpegelmessungen*

Die Messungen wurden in Anlehnung an die Norm EN ISO 11819-1 „Akustik – Messung des Einflusses von Strassenoberflächen auf Verkehrsgeräusche – Teil 1: Statistische Vorbeifahrten“ durchgeführt und ausgewertet. Ein genaues, normgemässes Vorgehen war in Ermangelung genügend zahlreicher Vorbeifahrten nicht möglich, jedoch auch nicht nötig. Primäres Ziel war der Lärmvergleich der verschiedenen Belagsabschnitte durch Befahren mit „normierten“ Fahrzeugtypen und Fahrgeschwindigkeiten. Da ein erheblicher Teil der „fehlenden Statistik“ durch eine aufwendige Mikrofonanordnung mit 4 Mikrofonen sowie Messungen in beiden Fahrrichtungen und Mittelwertbildung kompensiert werden konnte, war zudem ein vernünftiges Herleiten des statistischen Vorbeifahrindex SPBI für die verschiedenen Belagstypen trotzdem möglich. Alle Mikrofone wurden jeweils vor und nach den Messungen mit dem Kalibrator (siehe 2.5 Lärmmeßeinrichtung, Schallpegelmesser) kalibriert.

3.1 *Messprinzip*

Gemäss Norm ISO EN werden bei dem statistischen Vorbeifahrt-(SPB-)Verfahren die maximalen A-bewerteten Schalldruckpegel und die Geschwindigkeiten einer statistisch signifikanten Anzahl einzelner Fahrzeuge während ihrer Vorbeifahrt an einem festgelegten Ort in Straßennähe gemessen. Jedes gemessene Fahrzeug wird einer der drei Kategorien „Pkw“, „zweiachsige Lkw“ und „mehrachsige Lkw“ zugeordnet. Weitere Fahrzeugkategorien werden hier nicht verwendet, da sie keine zusätzlichen Informationen zum Einfluss der Straßenoberfläche liefern. In den Berechnungen der Quervergleiche zwischen den verschiedenen Arten von Deckschichten wurden nur der Personenwagen und der dreiachsige Lastwagen berücksichtigt.

Für die definierten Geschwindigkeitsbereiche und jede der drei Fahrzeugkategorien ist eine Referenzgeschwindigkeit festgelegt. Jeder einzelne Vorbeifahrtpegel wird zusammen mit der gemessenen Fahrzeuggeschwindigkeit aufgezeichnet. Für jede Fahrzeugkategorie wird eine Regressionsgerade der maximalen Geräuschpegel über dem Logarithmus der Geschwindigkeiten berechnet. Daraus wird der mittlere A-bewertete Schalldruckpegel für die Referenzgeschwindigkeiten mittel und hoch bestimmt. Dieser Pegel ist der entsprechende Fahrzeuggeräuschpegel. $L_{x,y,z}$ In unseren Messungen haben wir zusätzlich zur Zeitbewertung „F“ (fast, 0.125 s) auch die Zeitbewertung „S“ (slow, 1 s) durchgeführt. Dies wurde gemacht um kleine lokale Fahrbahnoberflächenunstetigkeiten zu eliminieren. Durch die Zeitbewertung „S“ werden die Schallpegelwerte leicht gemittelt.

Für den Bericht über die akustischen Eigenschaften der Straßenoberfläche werden die Fahrzeuggeräuschpegel der Pkw, der zwei- und der mehrachsigen Lkw energetisch addiert, wobei ein bestimmtes Verhältnis zwischen diesen Fahrzeugkategorien angenommen wird. Dadurch ergibt sich ein einziger Kennwert, der das Endergebnis darstellt. Dieser Kennwert ist der statistische Vorbeifahrtindex (SPBI). Er kann für den Vergleich von Straßenoberflächen verwendet werden, sodass ihr Einfluss auf den Schallpegel des Verkehrs der angenommenen Zusammensetzung bestimmt werden kann. Dieser Wert eignet sich jedoch nicht zur Berechnung des tatsächlichen Verkehrsgeräusches. Er dient zum Vergleich der unterschiedlichen Lärmcharakteristiken der verschiedenen untersuchten Deckschichten.

3.2 *Auswertung der Lärmmessung*

In dieser Forschungsarbeit sind die einzelnen Schalldruckpegel der Versuchsfelder absolut ausgewertet und angegeben. Diese absoluten Werte sollen nur dazu benutzt werden, die verschiedenen Lärmeigenschaften der Deckschichten untereinander zu vergleichen.

Zusätzlich zu den Absolutwerten werden die Lärmwerte auf eine ideelle Referenzdeckschicht normiert. Das jeweilige Mittel der Schalldruckpegel aller Versuchsfelder je Messperiode wird zu 0 dB normiert und die Abweichungen der einzelnen Versuchsfelder werden ausgewertet und

dargestellt. Zusätzlich wurden in der Zusammenfassung die Abweichungen vom energetischen Mittelwert der Messungen aller Messperioden arithmetisch gemittelt. Bei der Referenzdeckschicht handelt es sich somit um die Oberfläche mit dem mittleren Schalldruckpegel.

Der hauptsächliche Zweck des Verfahrens besteht darin, Straßenoberflächen hinsichtlich der Verkehrsgeräuschemission zu vergleichen. Die bei einer bestimmten Oberfläche gemessenen Schallpegel können daher auch im Vergleich zu den bei einer anderen Oberfläche gemessenen Geräuschpegeln angegeben werden.

3.3 *Bezeichnungen und Abkürzungen*

In diesem Bericht werden die in der folgenden Tabelle aufgeführten Bezeichnungen und die entsprechenden Umsetzungen angewendet. Die Messungen und die Berechnungen und Auswertungen in diesem Bericht sind alle „A-bewertet“ (Frequenzbewertung = „A“)

Abkürzung	Beschreibung
$L_{\text{hoch,F}}$	Schalldruckpegel energieäquivalenter, hoher Geschwindigkeitsbereich, Zeitbewertung fast= 0.125 s „F“
$L_{\text{hoch,S}}$	Schalldruckpegel energieäquivalenter, hoher Geschwindigkeitsbereich, Zeitbewertung slow= 1.0 s „S“
$L_{\text{mittel,F}}$	Schalldruckpegel energieäquivalenter, mittlerer Geschwindigkeitsbereich, Zeitbewertung fast= 0.125 s „F“
$L_{\text{mittel,S}}$	Schalldruckpegel energieäquivalenter, mittlerer Geschwindigkeitsbereich, Zeitbewertung slow= 1.0 s „S“
$L_{\text{Pw,hoch,F}}$	Schalldruckpegel Fahrzeugkategorie Personenwagen, hoher Geschwindigkeitsbereich, Zeitbewertung fast= 0.125 s „F“
$L_{\text{Pw,hoch,S}}$	Schalldruckpegel Fahrzeugkategorie Personenwagen, hoher Geschwindigkeitsbereich, Zeitbewertung slow= 1.0 s „S“
$L_{\text{Pw,mittel,F}}$	Schalldruckpegel Fahrzeugkategorie Personenwagen, mittlerer Geschwindigkeitsbereich, Zeitbewertung fast= 0.125 s „F“
$L_{\text{Pw,mittel,S}}$	Schalldruckpegel Fahrzeugkategorie Personenwagen, mittlerer Geschwindigkeitsbereich, Zeitbewertung slow= 1.0 s „S“
$L_{\text{Lw,hoch,F}}$	Schalldruckpegel Fahrzeugkategorie Lastwagen, hoher Geschwindigkeitsbereich, Zeitbewertung fast= 0.125 s „F“
$L_{\text{Lw,hoch,S}}$	Schalldruckpegel Fahrzeugkategorie Lastwagen, hoher Geschwindigkeitsbereich, Zeitbewertung slow= 1.0 s „S“
$L_{\text{Lw,mittel,F}}$	Schalldruckpegel Fahrzeugkategorie Lastwagen, mittlerer Geschwindigkeitsbereich, Zeitbewertung fast= 0.125 s „F“
$L_{\text{Lw,mittel,S}}$	Schalldruckpegel Fahrzeugkategorie Lastwagen, mittlerer Geschwindigkeitsbereich, Zeitbewertung slow= 1.0 s „S“

Tabelle 1: Bezeichnungen und Abkürzungen

3.4 Normierung der Daten

3.4.1 Regressionsanalyse

Gemäss Norm wurde mit den Wertepaaren maximaler A-bewerteter Geräuschpegel und dekadischer Logarithmus der Fahrzeuggeschwindigkeit jeder Vorbeifahrt eine lineare Regression durchgeführt. Für jede Fahrzeugkategorie wurde eine Regressionsgerade nach dem Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate durch die Messwerte gelegt.

3.4.2 Vorbeifahrtsgeschwindigkeiten

Die Personenwagenlenker wurden angehalten mit Geschwindigkeiten von 50 km/h, 80 km/h und 100 km/h an den Messmikrofonen vorbeizufahren. Die Lastwagen sollten Vorbeifahrtsgeschwindigkeiten von 50 km/h und von 100 km/h einhalten. Die Abweichungen der gefahrenen Geschwindigkeiten von den Sollgeschwindigkeiten betrug bis zu 10 Prozent. Das spielte für die Genauigkeit der Resultate aber keine Rolle, da die Geschwindigkeiten bei jeder Vorbeifahrt gemessen wurden und in die Auswertung mit einberechnet wurden.

3.4.3 Fahrzeuggeräuschpegel bei den Referenzgeschwindigkeiten

Die Referenzgeschwindigkeiten für die Fahrzeugkategorien Pkw und Lkw werden in den Geschwindigkeitsklassen mittel und hoch ausgewertet. Die Referenzgeschwindigkeiten für die beiden Lkw-Kategorien sind gleich. Der mithilfe der Regressionsgeraden für jede Fahrzeugkategorie bei der jeweiligen Referenzgeschwindigkeit berechnete Schallpegel ist der Fahrzeuggeräuschpegel L_{veh} . Dadurch ergeben sich an jedem Versuchsfeld zwei L_{veh} -Werte: für den Pkw, für den zweiachsigen Lkw und für den dreiachsigen Lkw. Gemäss Norm sind alle Pegel auf zwei Dezimalstellen zu berechnen und dann auf eine Dezimalstelle zu runden.

Die Referenzgeschwindigkeiten sind in Tabelle 2: Referenzgeschwindigkeiten aufgeführt.

Fahrzeugkategorie		Geschwindigkeitsklasse der Strasse			
		Mittel		Hoch	
Bezeichnung	Kat.-Nr	Referenzgeschwindigkeit [km/h]	W_x	Referenzgeschwindigkeit [km/h]	W_x
Pkw	1	80	0.800	110	0.700
Zweiachsiger Lkw	2a	70	0.100	85	0.075
Mehrachsiges Lkw	2b	70	0.100	85	0.225
Eingesetzter Lkw (3.Achs)	2	70	0.200	85	0.300

Tabelle 2: Referenzgeschwindigkeiten

3.4.4 Ermittlung des statistischen Vorbeifahrtindex (SPBI)

Um bei einer gemischten Verkehrszusammensetzung den Einfluss der Straßenoberfläche auf das Verkehrsgeräusch durch eine einzige (Summen-)Pegelangabe ausdrücken zu können, wird der statistische Vorbeifahrtindex berechnet. Dieser Wert gibt den Indexwert bzw. den Summenpegel der entsprechenden Strassenoberfläche für eine „repräsentative Verkehrszusammensetzung“ an. In unserem Fall haben wir die einzelnen Fahrzeugkategorien speziell ausgewählt und die Anteile gemäss Norm gewichtet. Die Berechnungsformel für den Summenpegel ist im folgenden angegeben:

$$SPBI = 10 \lg [W_1 \times 10^{L_1/10} + W_2 (v_1/v_2) \times 10^{L_2/10}] \text{ dB} \quad (1)$$

Dabei ist

SPBI	der statistische Vorbeifahrtindex für eine Standardzusammensetzung aus Pkw und Lkw;
L ₁ , L ₂	die Fahrzeuggeräuschpegel der Fahrzeugkategorien 1 und 2 nach Tabelle 2: Referenzgeschwindigkeiten;
W ₁ und W ₂	die Bewertungsfaktoren nach Tabelle 2: Referenzgeschwindigkeiten, die den angenommenen Anteilen der Fahrzeugkategorien am Verkehrsaufkommen entsprechen;
v ₁ und v ₂	die Referenzgeschwindigkeiten der einzelnen Fahrzeugkategorien nach Tabelle 2: Referenzgeschwindigkeiten

Der SPBI kann für den Vergleich einer Straßenoberfläche mit einer Referenzdeckschicht benutzt, und eine Pegeldifferenz angegeben werden. Diese Differenz entspricht der Differenz der äquivalenten Dauerschallpegel, für die angenommenen Referenzgeschwindigkeiten und Lkw-Anteile nach Tabelle 2: Referenzgeschwindigkeiten.

Der SPBI ist kein äquivalenter Dauerschallpegel (Leq) des Verkehrs, kann aber zur Beschreibung des relativen Einflusses der Straßenoberfläche auf solche Pegel benutzt werden. Der SPBI-Wert ergibt sich durch energetische Addition der L_{PW} und L_{LW}-Werte, die jeweils mit dem erwarteten typischen Anteil der betreffenden Fahrzeugkategorie bewertet sind. Der SPBI-Zahlenwert liegt in der Nähe des L_{veh}-Mittelwertes. Der SPBI gilt nur für die Pkw und Lkw-Geschwindigkeiten nach Tabelle 2: Referenzgeschwindigkeiten. Der statistische Vorbeifahrtindex kann nicht dazu verwendet werden, die Auswirkungen der Geschwindigkeit abzuschätzen.

3.5 Messanordnung

Die kontrollierten Vorbeifahrtmessungen wurden auf der für den Verkehr gesperrten Kantonsstrasse Leuggern – Böttstein (Bruggerstrasse) mit der oben beschriebenen Mikrofonanordnung durchgeführt: Abstand zur Strassenachse: 7,5m horizontal, Höhe der Messmikrofone über der Strassenachse: 1,2m vertikal.

Die Vorbeifahrten wurden bei jedem Strassenabschnitt mit je 2x2 Mikrofonen gleichzeitig gemessen und registriert. Fotos der Messungen und der Mikrofonanordnungen befinden sich im Anhang.

Dank dieser Messanordnung konnte über die energetische Mittelung der vier einzelnen Mikrofonmessungen pro Vorbeifahrt ein repräsentativer Vorbeifahrtspegel bezogen auf die Strassenachse entsprechend der Geschwindigkeit gewonnen werden. Die statistische Messgenauigkeit wurde so erheblich vergrössert.

3.6 Unterscheidung Antriebsgeräusch – Reifen/Fahrbahn-Geräusch

Bei Vorbeifahrtsmessungen kann nicht direkt ermittelt werden, welcher Anteil des Fahrzeuggeräusches auf das Antriebsgeräusch (Motor, Getriebe, Antriebsstrang, Strömungsgeräusche, usw.) und welcher Anteil auf das Reifen/Fahrbahn-Geräusch zurückzuführen ist. Eine indirekte Unterscheidung über Frequenzanalysen wäre theoretisch möglich, wird jedoch (auch normgemäss) nicht durchgeführt. Fundierte Annahmen zeigen, dass bei höheren Geschwindigkeiten das Reifen/Fahrbahn-Geräusch den A-bewerteten Vorbeifahrtspegel dominiert. Bei langsam fahrenden Lastwagen in Steigungen (volle Motordrehzahl, kleiner Gang) dürfte dies jedoch nicht immer der Fall sein.

3.7 Einzelvorbeifahrten

Ausgewertet wurden die Vorbeifahrtspegel für jedes einzelne Mikrofon bezüglich:

$L_{\text{hoch},F}$	Maximaler A-bewerteter Geräuschpegel mit der Zeitbewertung F („Fast“, 0.125s) für Geschwindigkeitsbereich „hoch“
$L_{\text{hoch},S}$	Leicht gemittelter A-bewerteter Geräusch-pegel mit der Zeitbewertung S („Slow“, $t = 1.00s$) für Geschwindigkeitsbereich „hoch“
$L_{\text{mittel},F}$	Maximaler A-bewerteter Geräuschpegel mit der Zeitbewertung F („Fast“, 0.125s) für Geschwindigkeitsbereich „mittel“
$L_{\text{mittel},S}$	Leicht gemittelter A-bewerteter Geräusch-pegel mit der Zeitbewertung S („Slow“, $t = 1.00s$) für Geschwindigkeitsbereich „mittel“

Diese ‚Rohdaten‘ befinden sich in den Anhängen zu diesem Bericht.

3.8 Aufbereitung der Messdaten

Für jede Deckschicht auf den einzelnen Versuchsfeldern wurden die Messdaten wie folgt aufbereitet:

- Vorbeifahrtspegel
- Vergleich Mikrofone (tabellarisch und grafisch, $L_{Pw,F}$, $L_{Pw,S}$ und $L_{Lw,F}$ und $L_{Lw,S}$)
- Vergleich Maximalwert (F) und Mittelwert (S)
- Fahrzeuggeräuschepegel in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

Dank der Messanordnung mit vier Mikrofonen und der energetischen Mittelung der einzelnen Messungen bezieht sich der für die Auswertung verwendete Vorbeifahrtspegel L_{Fi} exakt auf die Strassenachse. Zudem werden Messschwankungen geglättet und die Messgenauigkeit stark erhöht.

3.9 Pegeldifferenzen der 4 Mikrofone

Für diesen Versuch existiert in der Schweiz noch keine Norm. Das Ziel dieses Versuches bzw. dieser Auswertung der Signale aus den vier Messmikrofonen war, die verschiedenen Elemente, welche das Messresultat arbiträr beeinflussen können, zu ermitteln. In der Praxis wird nur mit einem Mikrofon und nur auf einer Strassenseite gemessen.

Zu den Elementen, welche die Messresultate beeinflussen, gehören hauptsächlich Wind und andere Klimaeinflüsse. Eine starke Beeinflussung des Messresultates wird auch durch die nicht immer gleiche Vorbeifahrt-Distanz der Fahrzeuge vom Messmikrofon verursacht. Obwohl wir in unseren Versuchen Berufsschauffeure auf den Fahrzeugen hatten und diese angewiesen waren, möglichst genau in Strassenmitte zu fahren, wurden kleinere Abweichungen in der Spurhaltung festgestellt. Solche Abweichungen können optisch oder auch messtechnisch festgestellt werden, den Einfluss auf den Lärmesspegel kann man aber zuverlässig nur messtechnisch ermitteln, weil die Berechnungen mittels den Ausbreitungsgesetzen nur bei idealen Verhältnissen mit der Realität übereinstimmen.

In der untenstehenden Graphik sind die Abweichungen der Schallpegelmessungen zwischen den vier Mikrofonen ausgewertet. Die einzelnen Messungen sind immer bei derselben Vorbeifahrt des Fahrzeuges simultan gemessen und aufgezeichnet worden. Es wurden jeweils die Differenzen zwischen den Aufnahmen der Mikrofone auf der rechten Strassenseite und diejenigen zwischen den Mikrofonen auf der linken Strassenseite sowie die Differenzen zwischen den Mikrofonen auf der linken gegenüber der rechten Strassenseite ausgewertet und aufgezeichnet.

Auf der x-Achse sind eine Auswahl Vorbeifahrten aufgetragen. Die drei Balken auf der Ordinate bedeuten:

Linker Balken:	Schallpegeldifferenz zwischen den Mikrofonen auf der linken Strassenseite
Mittlerer Balken:	Schallpegeldifferenz zwischen den Mikrofonen auf der rechten Strassenseite
Rechter Balken:	Schallpegeldifferenz zwischen den Mikrofonen auf der linken zu denjenigen auf der rechten Strassenseite

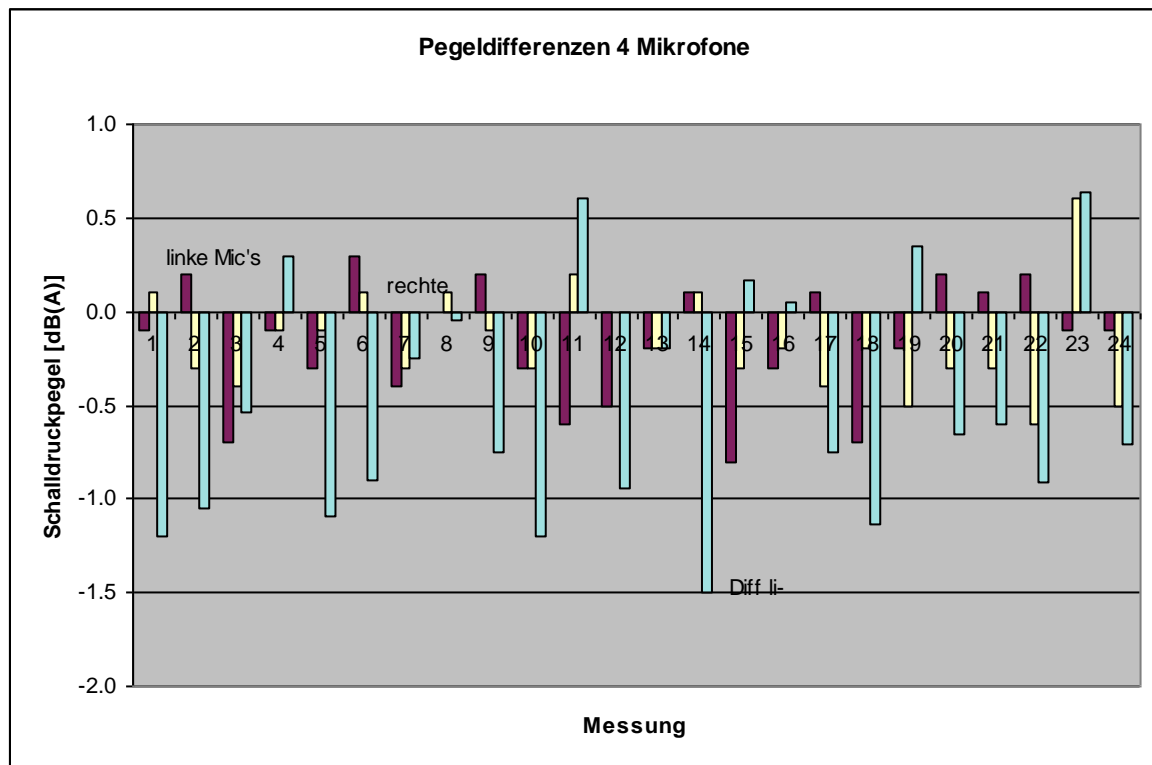


Bild 19: Pegeldifferenzen zwischen den vier Mikrofonen, denen auf der rechten Seite und denen auf der linken Seite sowie denen zwischen rechter und linker Strassenseite

Die Auswertung der Pegeldifferenzen zeigen die folgenden Eigenschaften der Lärmmessungen:

- Die Messunsicherheit der Schallpegelmessungen bei normgemässer Messung mit einem Mikrofon ist in der Grössenordnung von 1 dB(A)
- Die Differenz, welche zwischen zwei normgemäss kalibrierten und geeichten Messmikrofonen, welche im Abstand längs zur Strassenachse von zwei Metern auf der selben Strassenseite bei der gleichen Fahrzeugvorbeifahrt gemessen wird beträgt in der Grössenordnung 0.3 – 0.5 dB(A)
- Die Differenz, welche zwischen zwei Mikrofonen auf der rechten Strassenseite und zwei Mikrofonen auf der linken Strassenseite gemessen wird beträgt in der Grössenordnung 1 dB(A)

4 *Messresultate*

In der Folge werden die Resultate der einzelnen Messkampagnen aufgeführt. Für jede einzelne Deckschicht wurden die Messdaten wie folgt aufbereitet:

- Vorbeifahrtspegel
- Vergleich Mikrofone (tabellarisch und grafisch, $L_{eq,max}$ und $L_{eq,m}$)
- Vergleich Max ($L_{eq,max}$) und Mittelwert ($L_{eq,m}$)
- Fahrzeuggeräuschepegel in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

Dank der Messanordnung mit vier Mikrofonen und der energetischen Mittelung der einzelnen Messungen bezieht sich der für die Auswertung verwendete Vorbeifahrtspegel L_{Fi} exakt auf die Strassenachse. Zudem werden Messschwankungen geglättet und die Messgenauigkeit stark erhöht.

Mit den maximalen A-bewerteten Geräuschpegeln L_{Fi} (gemittelte $L_{eq,max}$ –Werte) und dem dekadischen Logarithmus der Fahrzeuggeschwindigkeit jeder Vorbeifahrt wurde eine lineare Regression durchgeführt (Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate). Diese Regressionsgeraden pro Deckschicht und Fahrzeugtyp werden miteinander verglichen und dienen der Bestimmung des Fahrzeuggeräuschepegels L_{veh} bei der entsprechenden Referenzgeschwindigkeit. (Verfahren in Anlehnung an Norm EN ISO 11819-1 „Akustik – Messung des Einflusses von Strasseoberflächen auf Verkehrsgeräusche – Teil 1: Statistische Vorbeifahrten“)

Diese Daten und Diagramme sind in den folgenden Kapiteln und den Anhängen aufgeführt.

4.1 *Null -Messungen am 2. Okt. 2003*

Um die Einflüsse allfälliger Geländebesonderheiten und Reflexionseigenschaften zu erheben wurden so genannte Nullmessungen durchgeführt. Diese wurden auf der neu eingebauten bitumenhaltigen Tragschicht, welche bei allen Versuchsfeldern dieselbe ist durchgeführt. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass der Einfluss der Fahrbahnoberfläche bei allen Messungen derselbe ist, und nur die Lärmeigenschaften des Geländes isoliert gemessen werden konnten.

Diese Nullmessungen führten zu folgenden Erkenntnissen:

- Es wurden keine für die Schallmessungen massgebenden Geländebesonderheiten festgestellt.
- Die Fahrzeuggeschwindigkeit ist bei den periodischen Vergleichsmessungen genauer zu messen.

Dies führte dazu, dass für die nachfolgenden Messungen Geschwindigkeitsmessungen mit dem Radargerät durchgeführt wurden.

4.2 *Messungen am 24. Mai 2004*

Die ersten Schallpegelmessungen auf den neuen Deckschichten wurden am 24. Mai 2004 durchgeführt. Die Deckschichten waren zu diesem Zeitpunkt relativ neu. Das Alter der Deckbeläge betrug zu diesem Zeitpunkt 7 Monate. Da die Strecke nicht mit sehr grossem Verkehr befahren wurde und wird, wurde an der einen oder anderen Stelle noch der umhüllende Bindemittelfilm an den Mineralstoffen festgestellt.

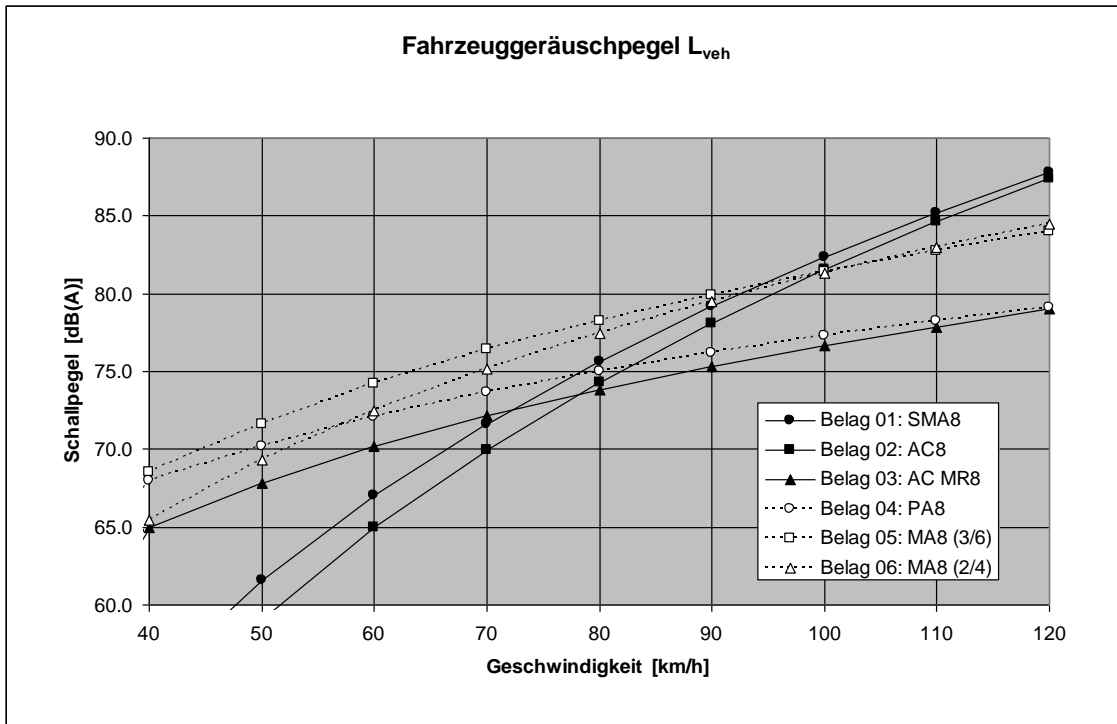


Bild 20: Vorbeifahr-Geräuschpegel des Personenwagens

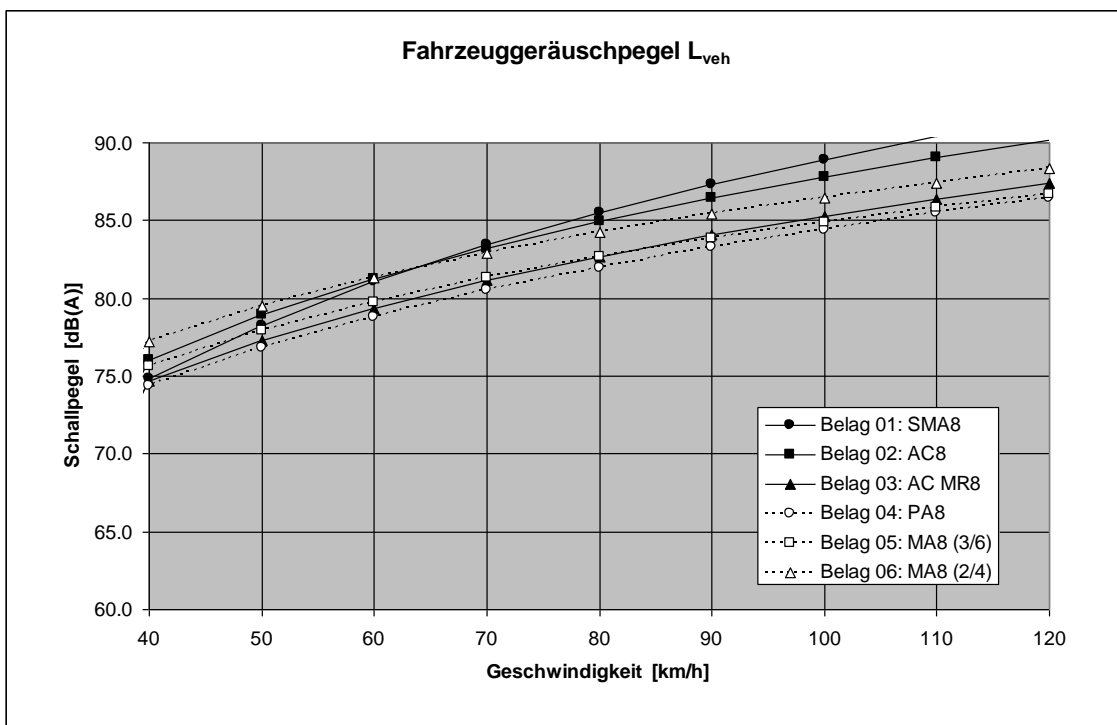


Bild 21: Vorbeifahr-Geräuschpegel des dreiachsigen Lastwagens

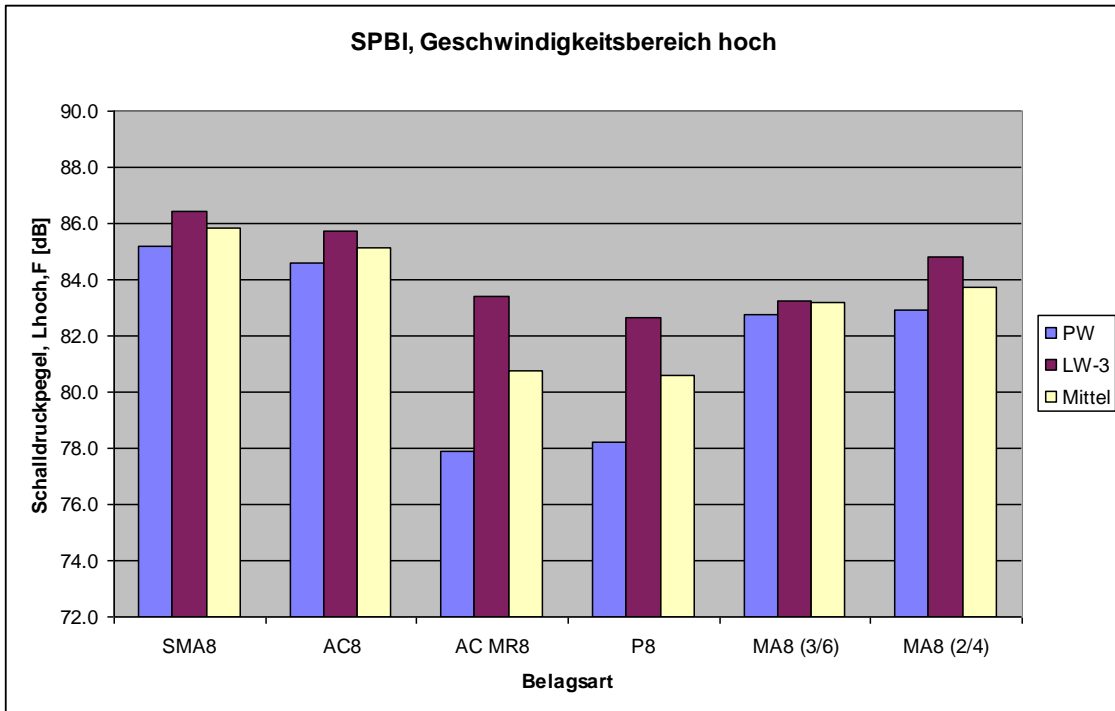


Bild 22: Mittel der maximalen Pegelwerte bei hoher Geschwindigkeit

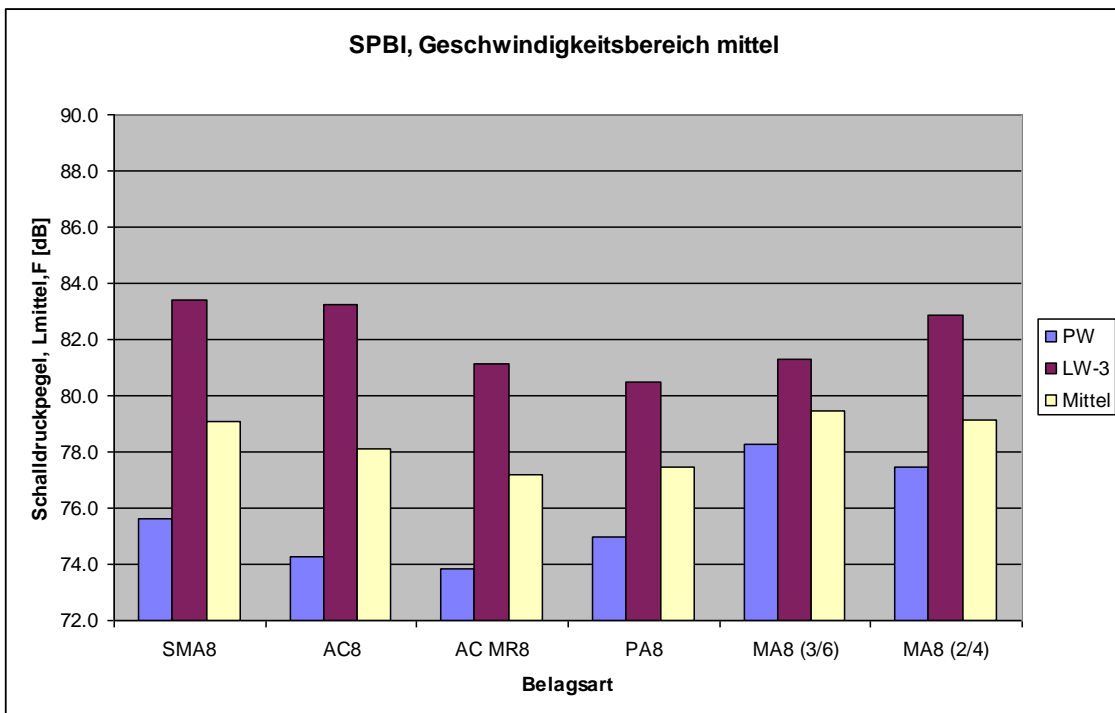


Bild 23: Mittel der maximalen Pegelwerte bei mittlerer Geschwindigkeit

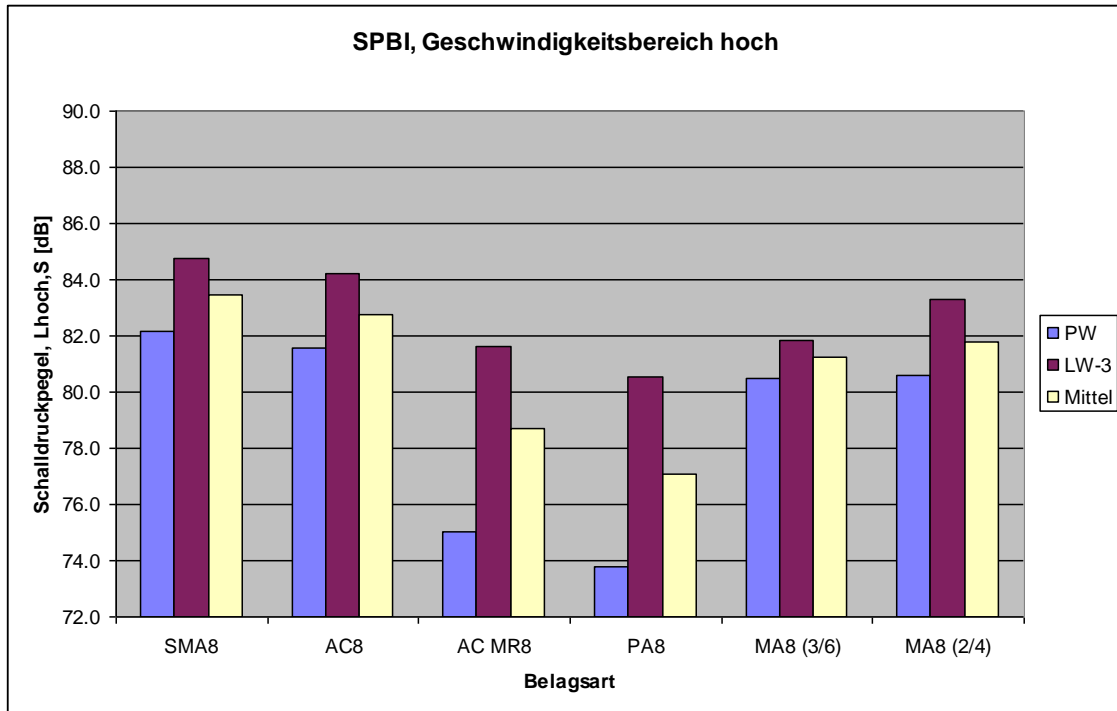


Bild 24: Mittel der mittleren Pegelwerte bei hoher Geschwindigkeit

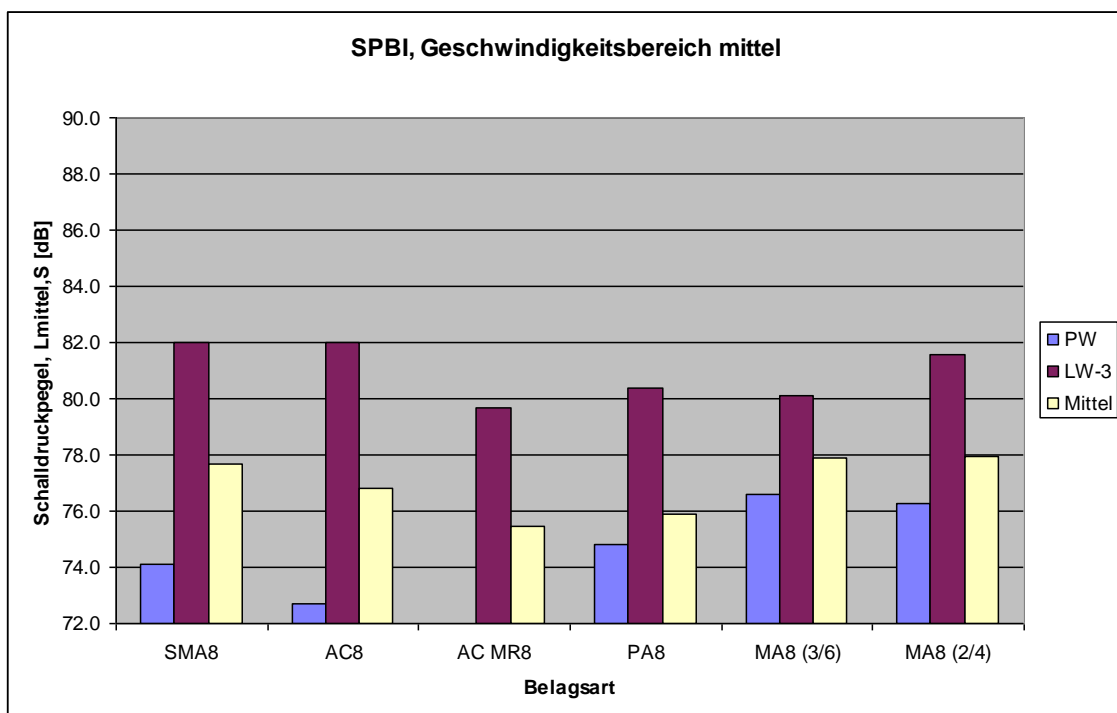


Bild 25: Mittel der mittleren Pegelwerte bei mittlerer Geschwindigkeit

4.3 Messungen am 24. November 2004

Die Messresultate der Messungen vom 24. Nov. 2004 sind in den folgenden Bildern dargestellt.

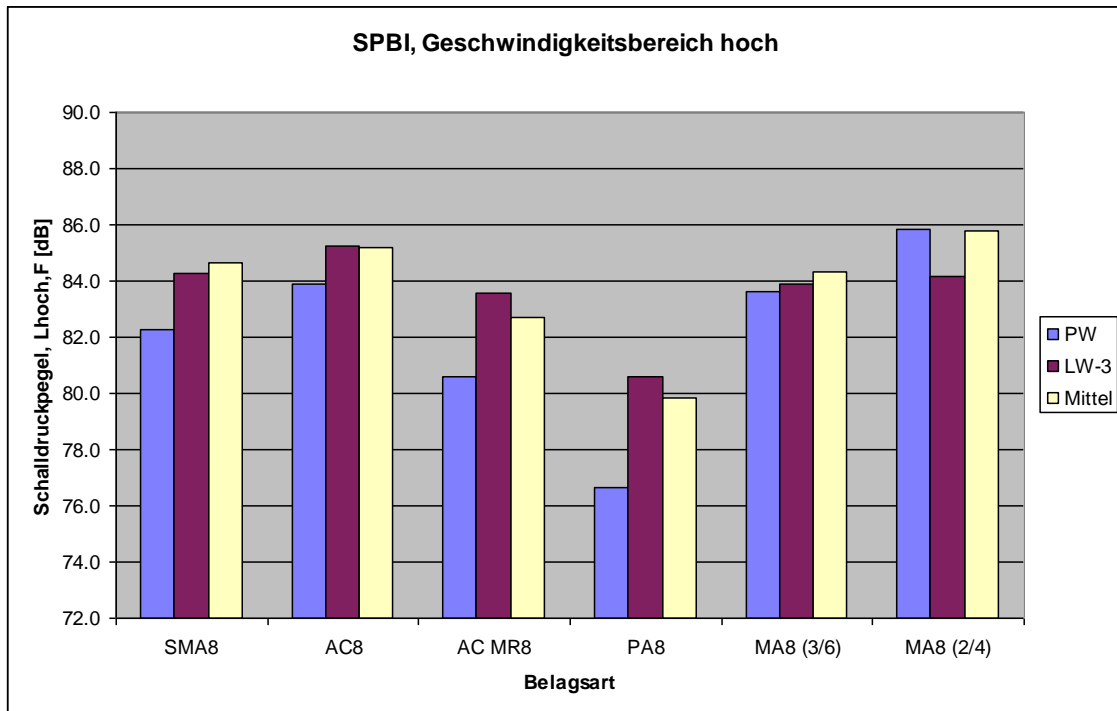


Bild 26: Mittel der maximalen Pegelwerte bei hoher Geschwindigkeit

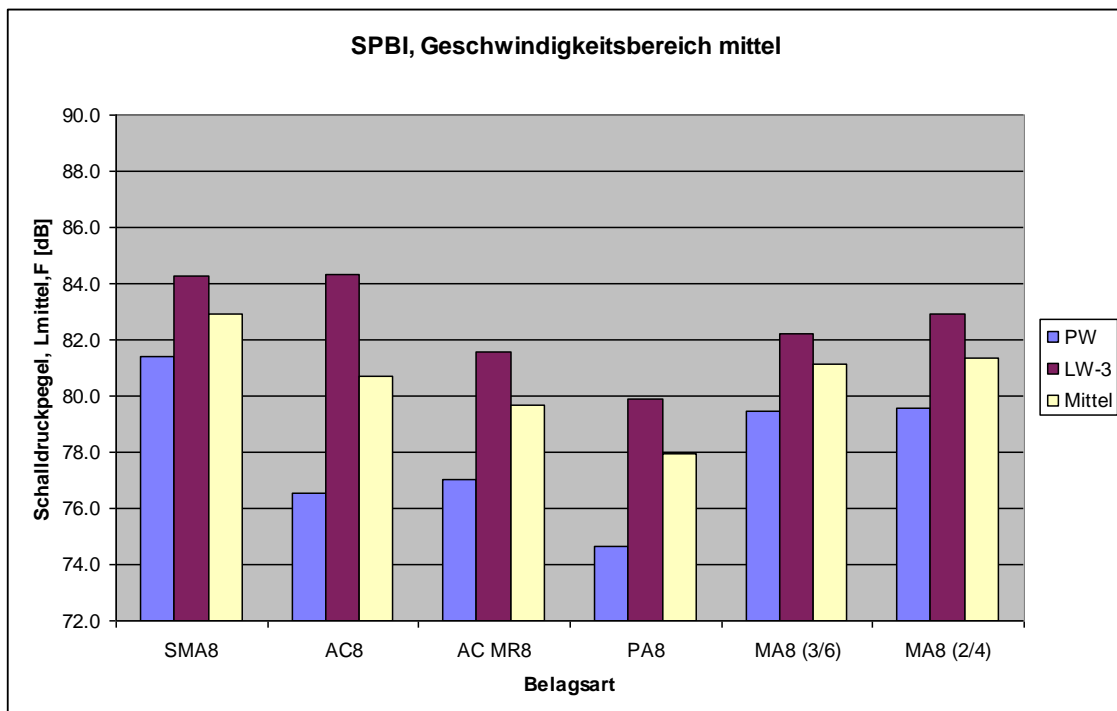


Bild 27: Mittel der maximalen Pegelwerte bei mittlerer Geschwindigkeit

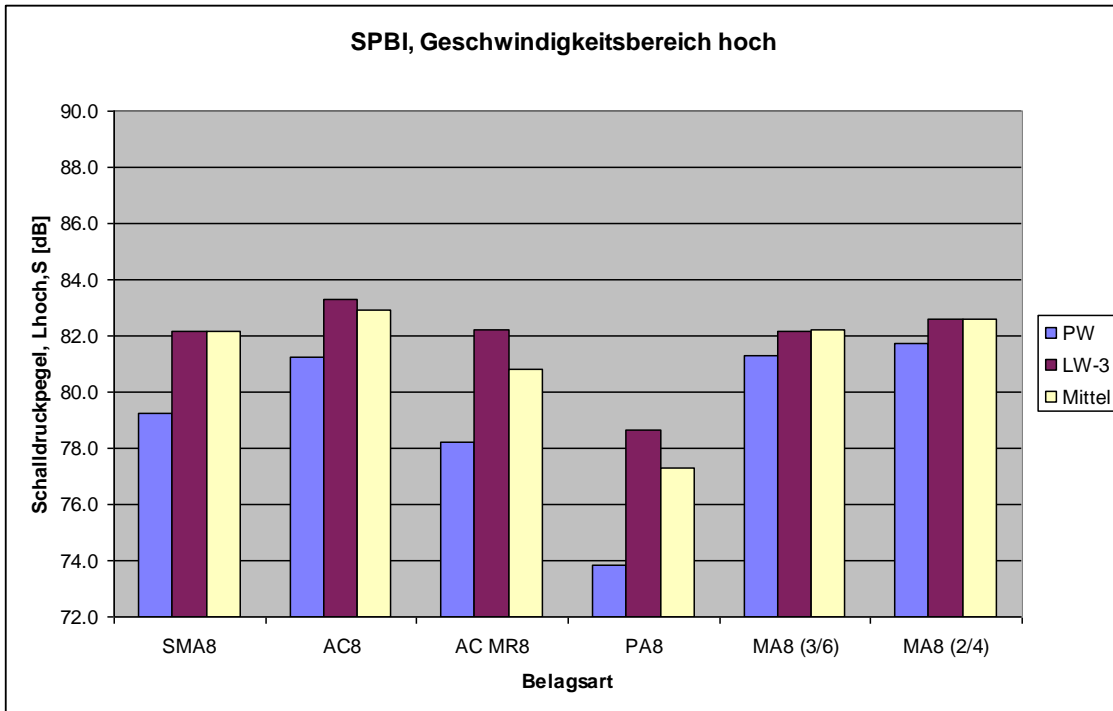


Bild 28: Mittel der mittleren Pegelwerte bei hoher Geschwindigkeit

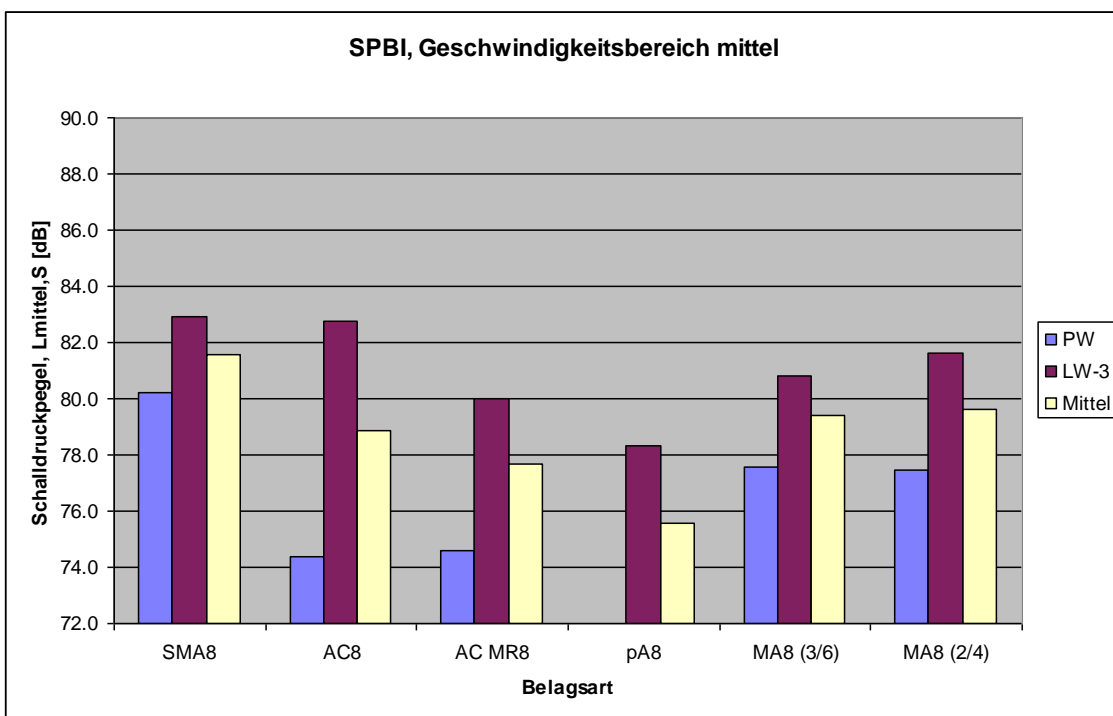


Bild 29: Mittel der mittleren Pegelwerte bei mittlerer Geschwindigkeit

4.4 Messungen am 10. Oktober 2005

Die Messresultate der Messungen vom 10. Okt. 2005 sind in den folgenden Bildern dargestellt.

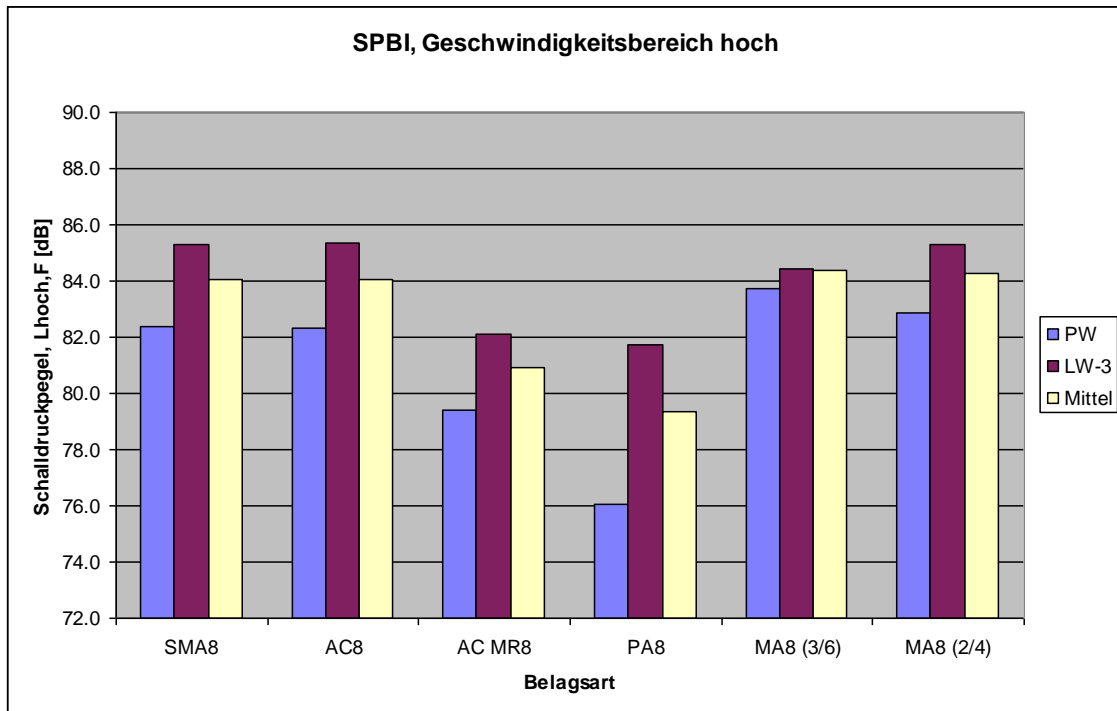


Bild 30: Mittel der maximalen Pegelwerte bei hoher Geschwindigkeit

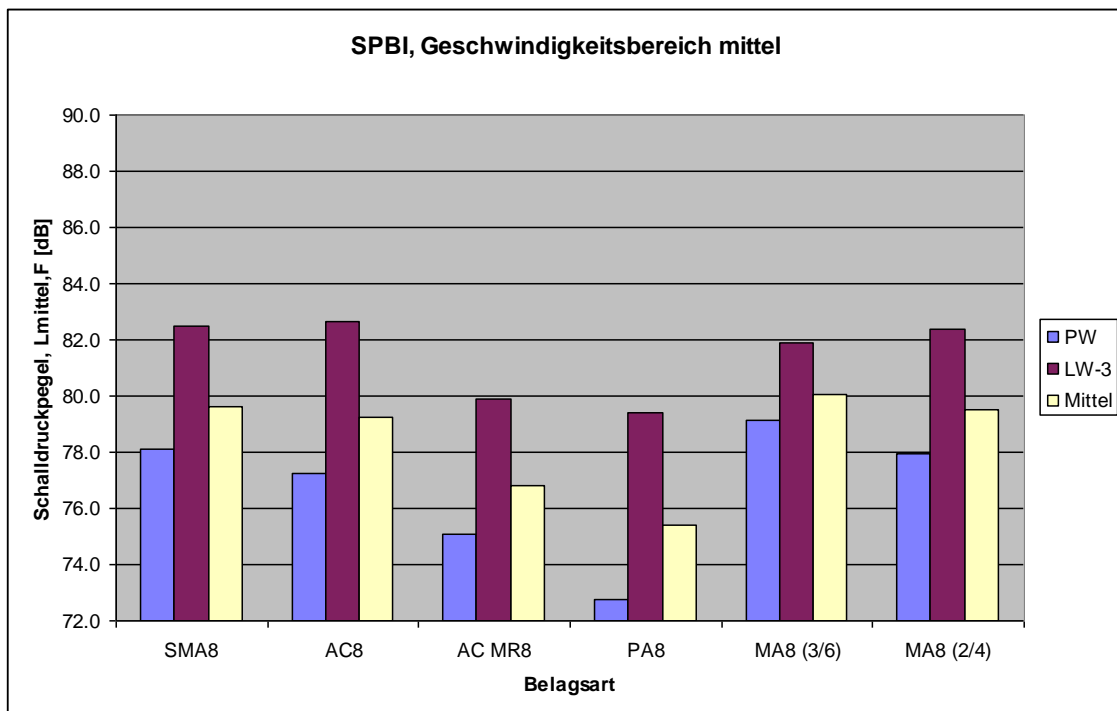


Bild 31: Mittel der maximalen Pegelwerte bei mittlerer Geschwindigkeit

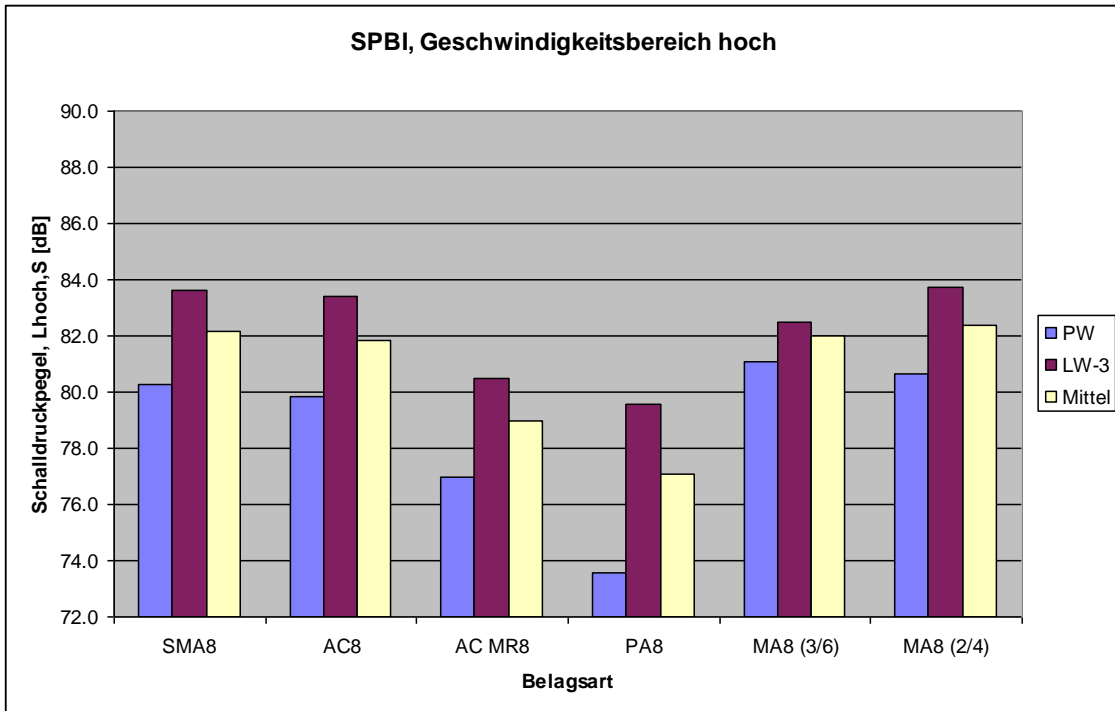


Bild 32: Mittel der mittleren Pegelwerte bei hoher Geschwindigkeit

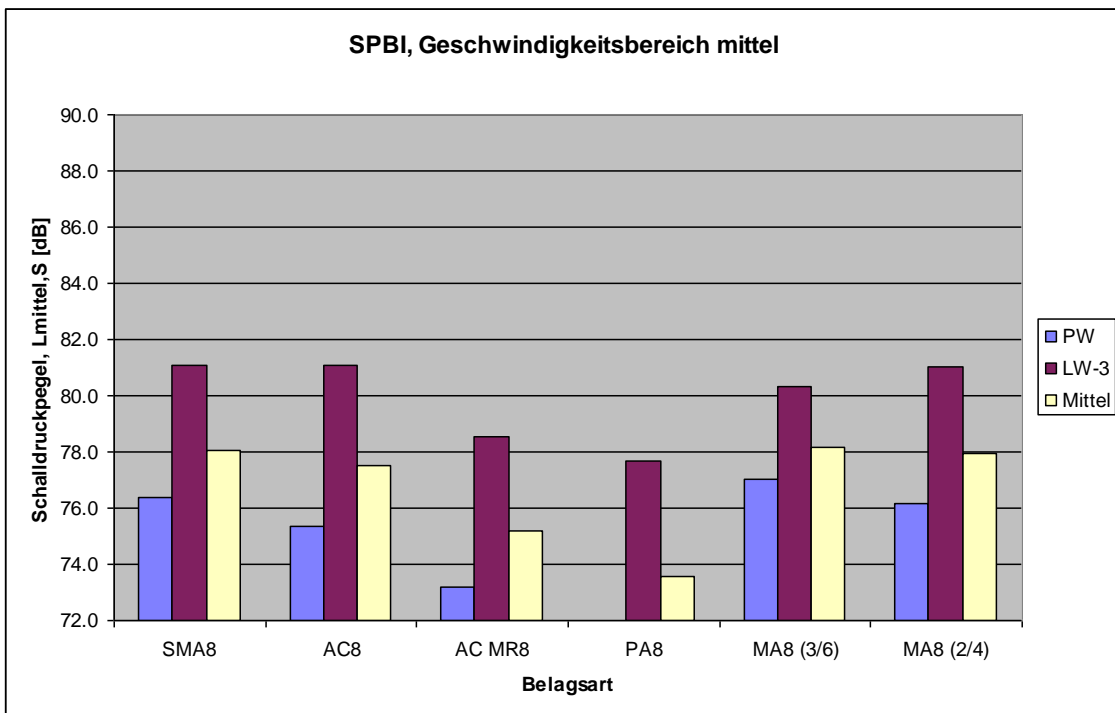


Bild 33: Mittel der mittleren Pegelwerte bei mittlerer Geschwindigkeit

5 Zusammenfassung

Aus den vorliegenden Messresultaten können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Durch die Konstruktion der Oberfläche der Deckschichten aus Gussasphalt (MA8) können die Schallpegelwerte erheblich beeinflusst werden
- Die Abstreuerung der Gussasphalt Deckschichten mit der Körnung 3/6 mm hat sich im hohen Geschwindigkeitsbereich als lärmtechnisch besser gezeigt als die Abstreuerung mit dem feineren Splitt. Im mittleren Geschwindigkeitsbereich zeigt die Abstreuerung mit feinerem Splitt (2/4) bessere Resultate als diejenige mit größerem Splitt.

In der Auswertung aller Messdaten aller Messperioden haben wir das energetische Mittel als Null-Referenz genommen und alle gemessenen Deckschichten mit diesem Mittelwert verglichen.

Zusätzlich zu den Absolutwerten werden die Lärmwerte auf eine ideelle Referenzdeckschicht normiert. Das jeweilige Mittel der Schalldruckpegel aller Versuchsfelder je Messperiode wird zu 0 dB normiert und die Abweichungen der einzelnen Versuchsfelder werden ausgewertet und dargestellt. Zusätzlich werden in der Zusammenfassung die Abweichungen vom energetischen Mittelwert der Messungen aller Messperioden arithmetisch gemittelt. Bei der Referenzdeckschicht handelt es sich somit um die Oberfläche mit dem mittleren Schalldruckpegel.

Diese Auswertungen für die Messarten „maximaler Pegel“ bzw. Zeitbewertung fast „F“ und „hoher Geschwindigkeitsbereich“ und „leicht gemittelter Pegel“ bzw. Zeitbewertung slow „S“ und „hoher Geschwindigkeitsbereich“ zeigen folgendes Bild:

- Die Deckschichten aus Splittmastix und aus Asphaltbeton sind die lautesten
- Die Deckschichten aus Rauhasphalt (Macrorugueux) und Drainasphalt sind die leisesten
- Die Deckschichten aus Gussasphalt mit konstruierter Oberfläche liegen lärmtechnisch zwischen den oben erwähnten Deckschichten.
- Bei den Auswertungen für mittlere Geschwindigkeiten sind die Deckschichten aus Splittmastix immer noch diejenigen mit den grössten Schallpegeln, die Deckschichten aus Asphaltbeton sind bei „ v_{mittel} “ jedoch erheblich besser als bei „ v_{max} “

In den Graphiken, Bild 34: Abweichungen vom Mittelwert, Messart: hoher Geschwindigkeitsbereich, leicht gemittelte Schallpegel, $L_{\text{hoch,S}}$ und Bild 35: Abweichungen vom Mittelwert, Messart: hoher Geschwindigkeitsbereich, maximale Schallpegel, $L_{\text{hoch,F}}$, sind die Abweichungen der Schallpegel der einzelnen Arten der Deckschichten von den energetischen Mittelwerten aller sechs geprüften Deckschichten über alle Messperioden ersichtlich.

Numerisch sind die Werte „SPBI“ der mittleren Abweichungen vom Mittelwert in Tabelle 3: Wertetabelle der Abweichung der Lärmwerte der einzelnen Deckschichten vom energetischen Mittelwert, $L_{\text{hoch,S}}$, leicht gemittelte Schallpegel bei hohem Geschwindigkeitsbereich und Tabelle 4: Wertetabelle der Abweichung der Lärmwerte der einzelnen Deckschichten vom energetischen Mittelwert, $L_{\text{hoch,F}}$, maximale Schallpegel bei hohem Geschwindigkeitsbereich enthalten.

In den Graphiken Bild 36: Regressionsgeraden SMA8, PW, natürlicher Massstab bis Bild 59: Regressionsgeraden MA8 (2/4), LW3, logarithmischer Massstab im Anhang dieses Berichtes sind alle Messwerte in den linearen und logarithmischen Regressionsgeraden dargestellt.

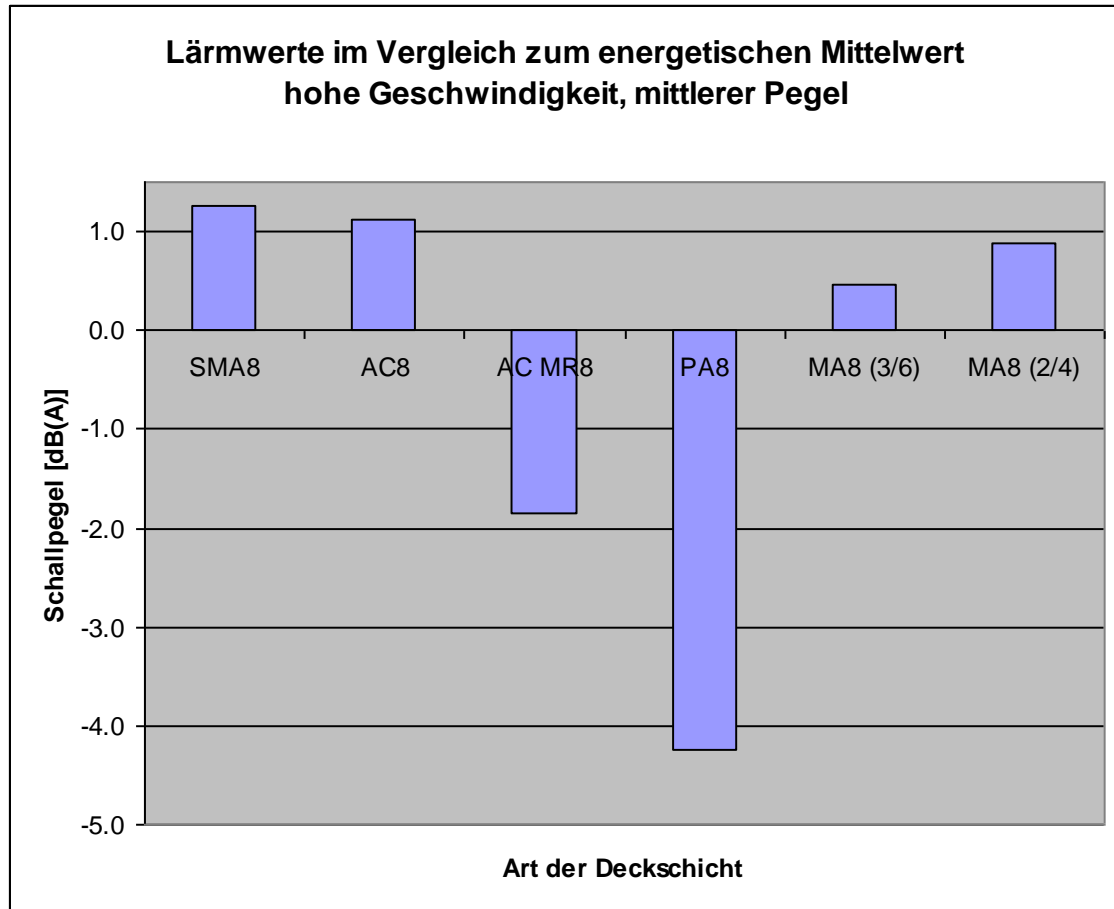


Bild 34: Abweichungen vom Mittelwert, Messart: hoher Geschwindigkeitsbereich, leicht gemittelte Schallpegel, $L_{hoch,S}$

	Abweichung Messung 05/04	Abweichung Messung 11/04	Abweichung Messung 10/05	Abweichung Mittelwert
SMA8	2.1	0.5	1.0	1.3
AC8	1.4	1.2	0.7	1.1
MR8	-2.7	-0.9	-2.2	-1.8
PA8	-4.3	-4.4	-4.0	-4.2
MA8 (3/6)	-0.1	0.6	0.9	0.5
MA8 (2/4)	0.4	0.9	1.2	0.9

Tabelle 3: Wertetabelle der Abweichung der Lärmwerte der einzelnen Deckschichten vom energetischen Mittelwert, $L_{hoch,S}$, leicht gemittelte Schallpegel bei hohem Geschwindigkeitsbereich

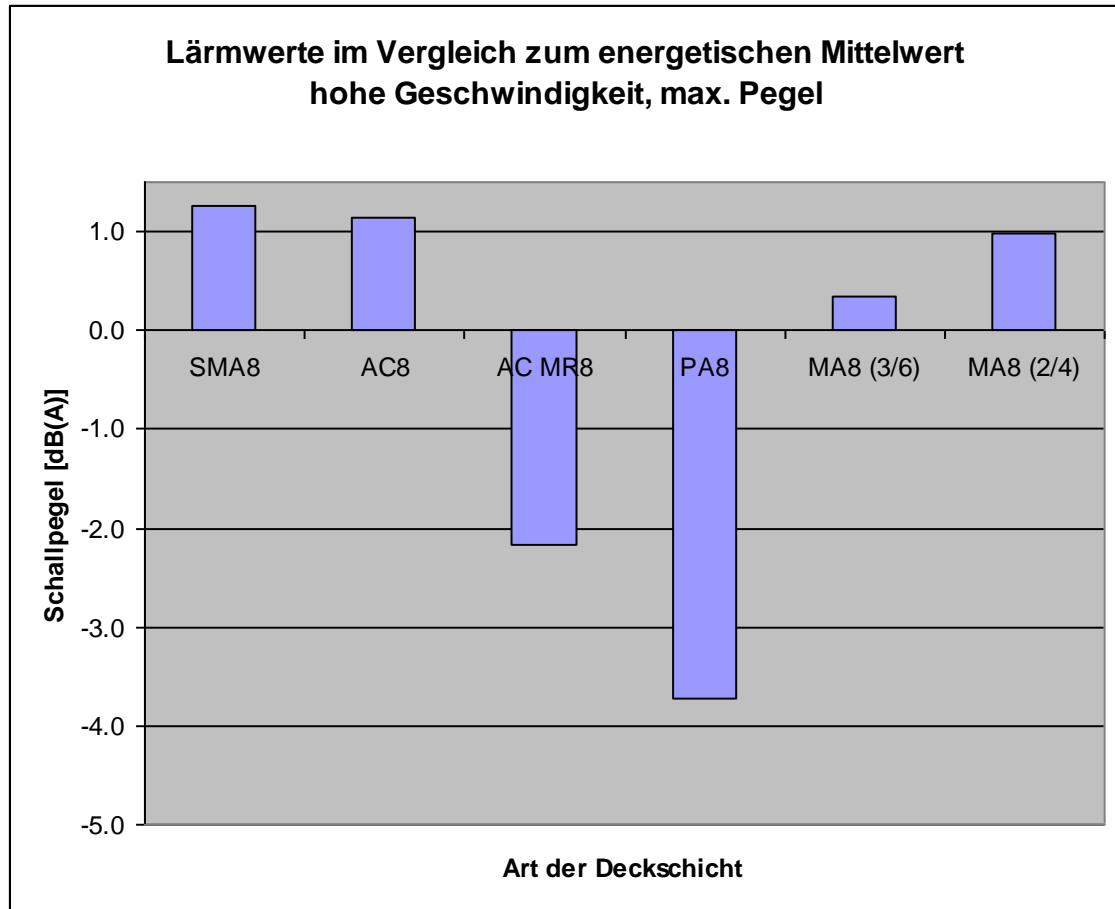


Bild 35: Abweichungen vom Mittelwert, Messart: hoher Geschwindigkeitsbereich, maximale Schallpegel, $L_{hoch,F}$

	Abweichung Messung 05/04	Abweichung Messung 11/04	Abweichung Messung 10/05	Abweichung Mittelwert
SMA8	2.2	0.5	0.8	1.3
AC8	1.5	1.1	0.8	1.1
MR8	-2.9	-1.5	-2.3	-2.2
PA8	-3.1	-4.3	-3.9	-3.7
MA8 (3/6)	-0.5	0.2	1.2	0.3
MA8 (2/4)	0.1	1.7	1.0	1.0

Tabelle 4: Wertetabelle der Abweichung der Lärmwerte der einzelnen Deckschichten vom energetischen Mittelwert, $L_{hoch,F}$, maximale Schallpegel bei hohem Geschwindigkeitsbereich

6 *Schlussfolgerung und Empfehlung*

Die Oberflächen von Strassen können mit geeigneten Massnahmen lärmtechnisch optimiert werden. Das trifft vor allem bei Deckschichten aus Gussasphalt zu, da bei diesen Deckbelagsarten das Abstreuen der Oberfläche mit verschiedenen Splitten möglich ist.

Die Versuchsfelder im Kanton Aargau bilden eine ideale Gelegenheit die zeitliche Entwicklung der Lärmeigenschaften zu erheben. Wir empfehlen in zeitlichen Abständen von ein bis zwei Jahren die Lärmessungen zu wiederholen.

Die Lage der Versuchsfelder war für die vorgesehene Messkampagne und den Vergleich der Lärmeigenschaften sehr gut gewählt. Allerdings ist die verkehrliche Belastung dieser Strecke relativ gering, sodass sich die zeitliche Veränderung der Lärmeigenschaften nicht in der kurzen Untersuchungszeit bewerkstelligen lässt. Die geringen Veränderungen der Oberfläche in der Beobachtungszeit ist mit der Beurteilung der Oberflächenaufnahmen (siehe Bilder 11, 60 und 61) ersichtlich.

7 Literaturverzeichnis

7.1 Gesetze und Verordnungen

USG	Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 7. Okt. 1983
RPG	Bundesgesetz über die Raumplanung vom 22. Juni 1979
LSV	Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986
VIL	Verordnung über die Infrastruktur der Luftfahrt vom 23. November 1994.
PBG	Planungs- und Baugesetz des Kantons Zürich vom 7. September 1975 mit seitherigen Änderungen (700.1)
BBV I	Besondere Bauverordnung I: Verordnung über die ordentlichen technischen und übrigen Anforderungen an Bauten, Anlagen, Ausstattungen und Ausrüstungen vom 6. Mai 1981 mit seitherigen Änderungen (700.21)
BVV	Bauverfahrensverordnung: Verordnung über das baurechtliche Verfahren vom 19. April 1978 mit seitherigen Änderungen (700.6)

7.2 Normen:

- EN ISO 11819-1, August 2001. Akustik - Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche - Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren (ISO 11819-1:1997)
- SN 640 575; VSS Norm. Lärmimmissionen von Parkieranlagen, Berechnung der Immissionen. Januar 2006

7.3 Literatur

- Grolimund H.-J.; Attinger R.; Meister A.; Lärmarme bituminöse Strassenbeläge inner- und ausserorts. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.); Bern 2002
- Kölz, A., Müller, H.U. et al. (Hrsg.): Kommentar zum Umweltschutzgesetz. Zürich, 1986 ff.

7.4 Lärmberechnungsmodelle

- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): SonRoad, Berechnungsmodell für Strassenlärm; Schriftenreihe Umwelt Nr. 366, Bern 2004
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): Strassenlärm: Korrekturen zum Strassenlärm-Berechnungsmodell. Mitteilung zur Lärmschutzverordnung (LSV) Nr. 6 (1995)
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): Anleitung zur Ermittlung und Beurteilung von Lärmimmissionen an Strassen. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 57, Bern, Januar 1987
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm; Bedienungsanleitung zum Computerprogramm StL-86. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 60, Bern, März 1987

Listing des Computerprogrammes StL-86. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 61, Bern, März 1987.

EMPA Dübendorf. Bericht zum F+E-Projekt "Neues EMPA-Modell für Strassenlärm" Teil Quellenbeschreibung EMPA Nr. Nr. 156'479, Januar 1997

7.5 *Forschungsberichte*

Pestalozzi H.; Grolimund H.-J.; Lärmarme Strassenbeläge innerorts, Statusbericht 2003; Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): Bern 2004

Trombik P, Fleischer P., Messbericht vom 30. Juli 2004. Bericht Nr. 03.02599.ADS.002.o. Trombik Ingenieure AG, Zürich

Shojaati M. Blötz A. Horat M. Caprez M.; Lärmverhalten verschiedener Belagsoberflächen, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation / Bundesamt für Strassen (ASTRA) Bericht zu Forschungsauftrag 16/92; Bericht Nr. 462; November 2000, Herausgabe Januar 2001

8 Anhang

8.1 Darstellung der Resultate in Regressionsgeraden

8.1.1 Belag 1: Splittmastix, SMA8; PW

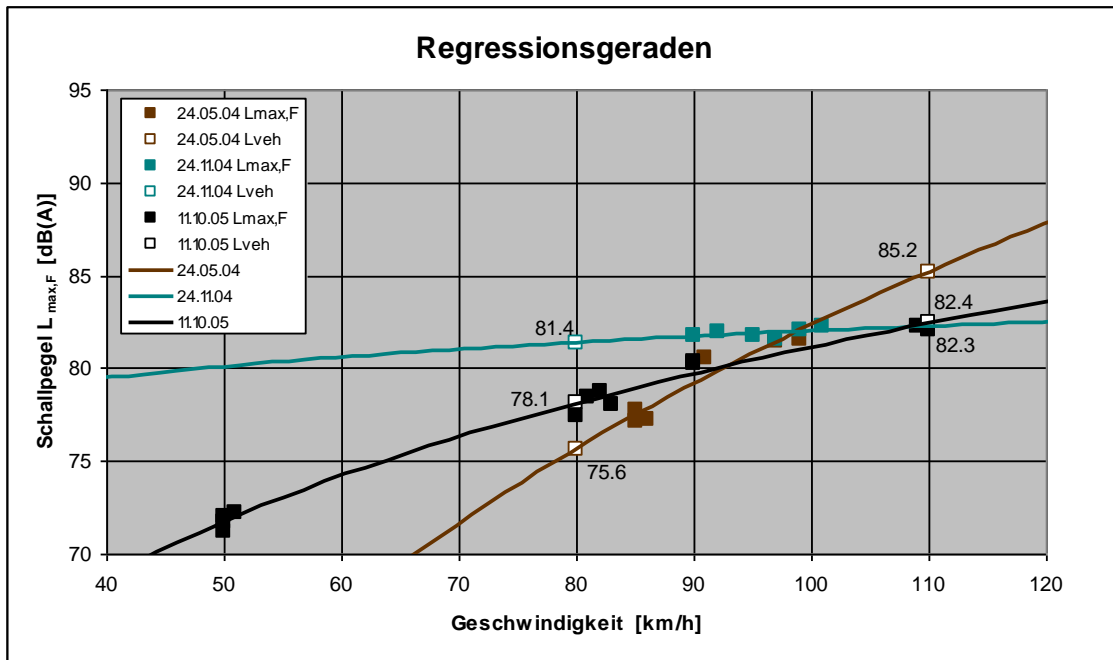


Bild 36: Regressionsgeraden SMA8, PW, natürlicher Massstab

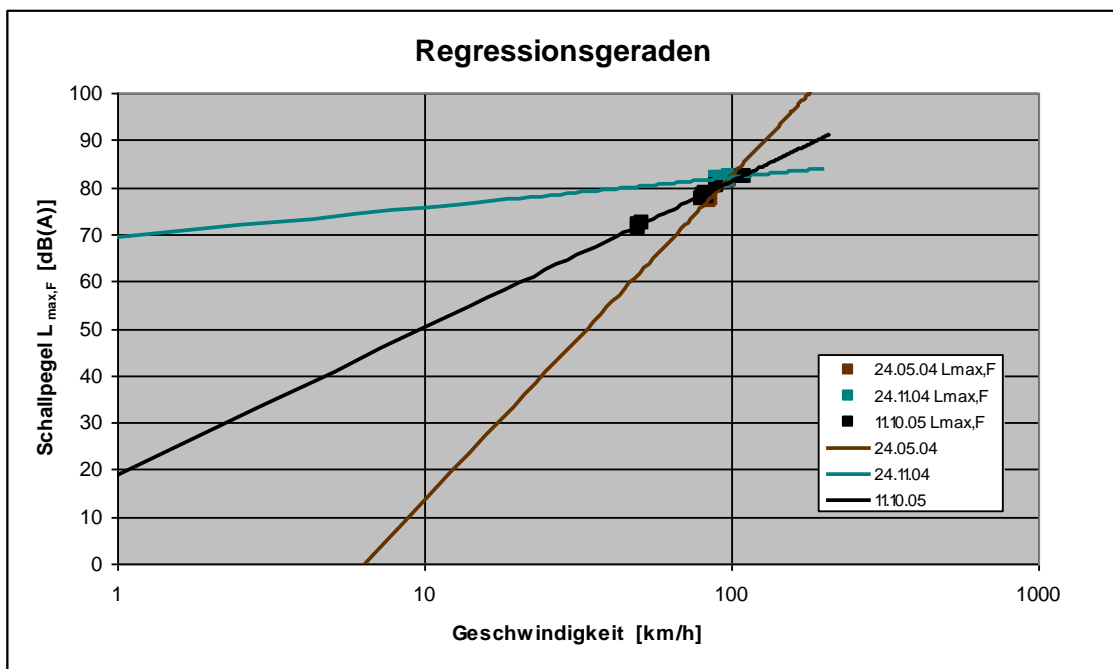


Bild 37: Regressionsgeraden SMA8, PW, logarithmischer Massstab

8.1.2 Belag 2: Asphaltbeton, AC8; PW

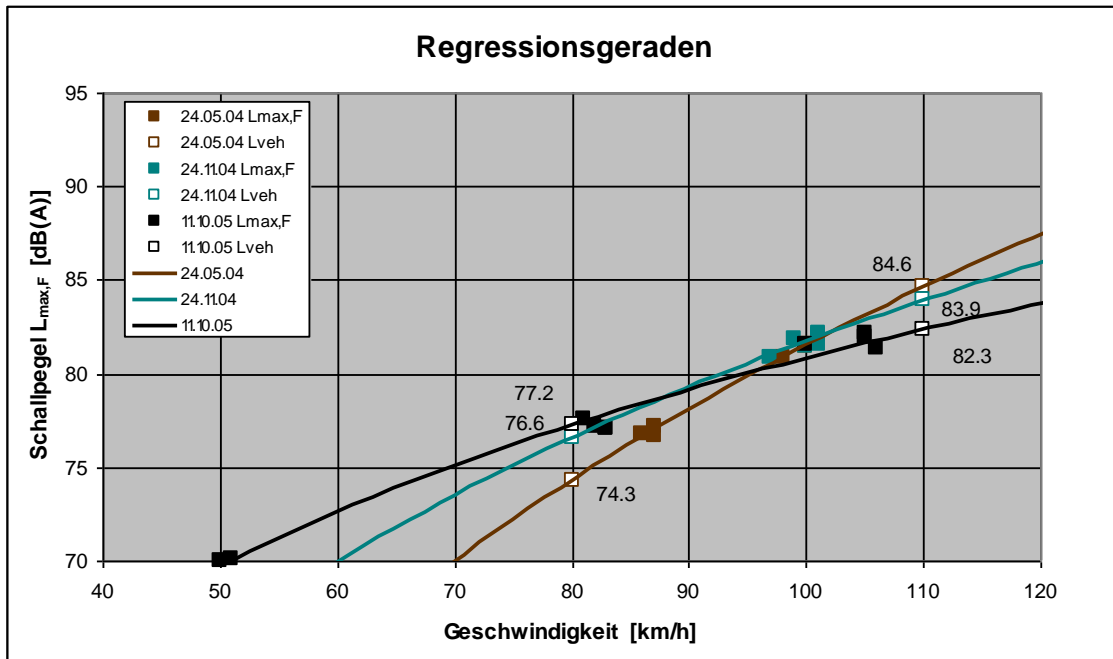


Bild 38: Regressionsgeraden AC8, PW, natürlicher Massstab

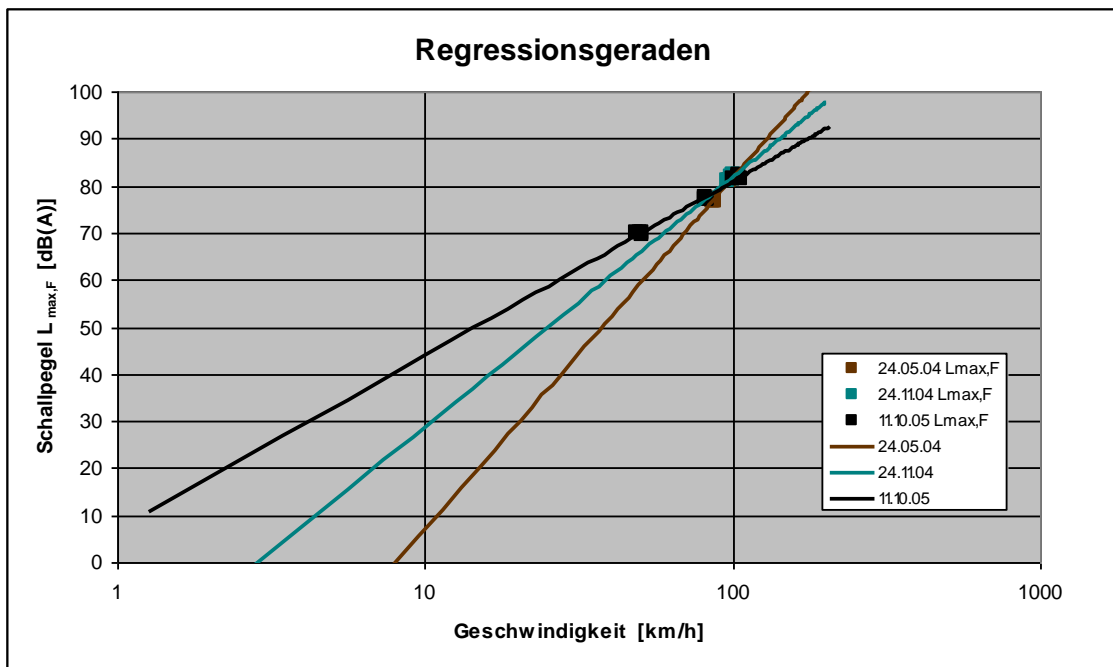


Bild 39: Regressionsgeraden AC8, PW, logarithmischer Massstab

8.1.3 Belag 3: Rauhasphalt, Macrorugueux, AC MR8; PW

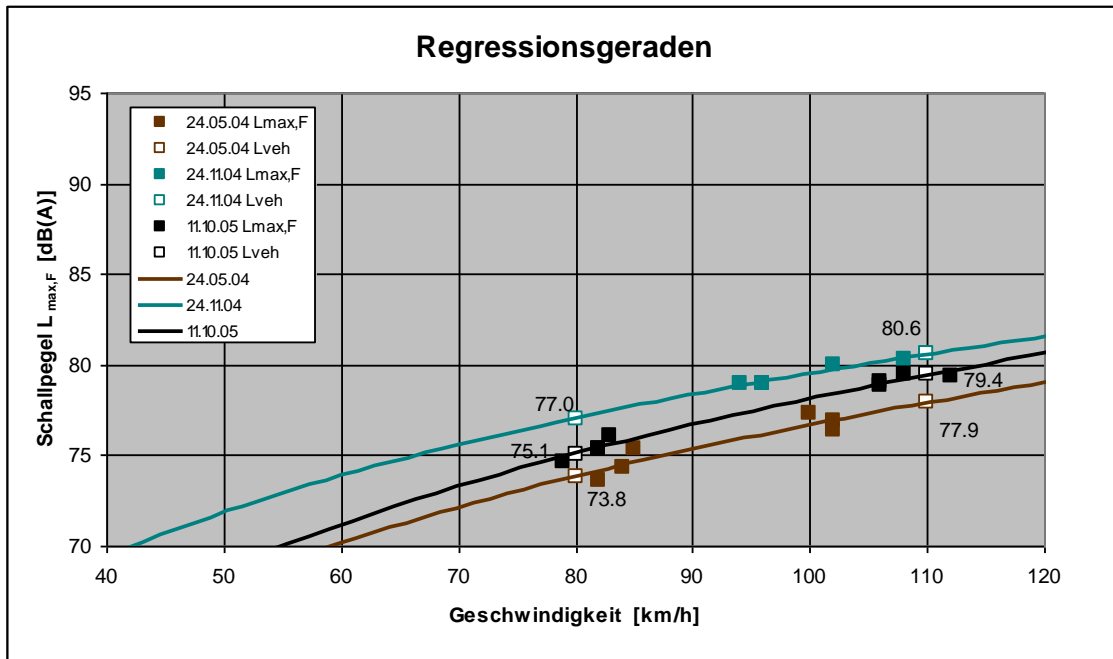


Bild 40: Regressionsgeraden AC MR8, PW, natürlicher Massstab

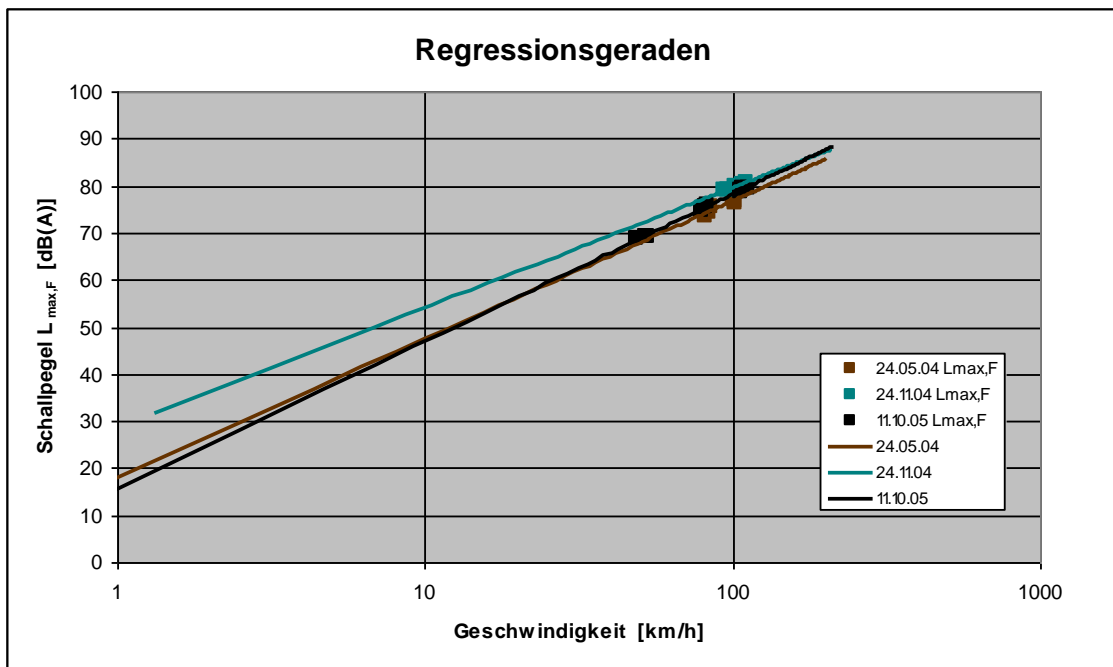


Bild 41: Regressionsgeraden AC MR8, PW, logarithmischer Massstab

8.1.4 Belag 4: Drainasphalt, PA8; PW

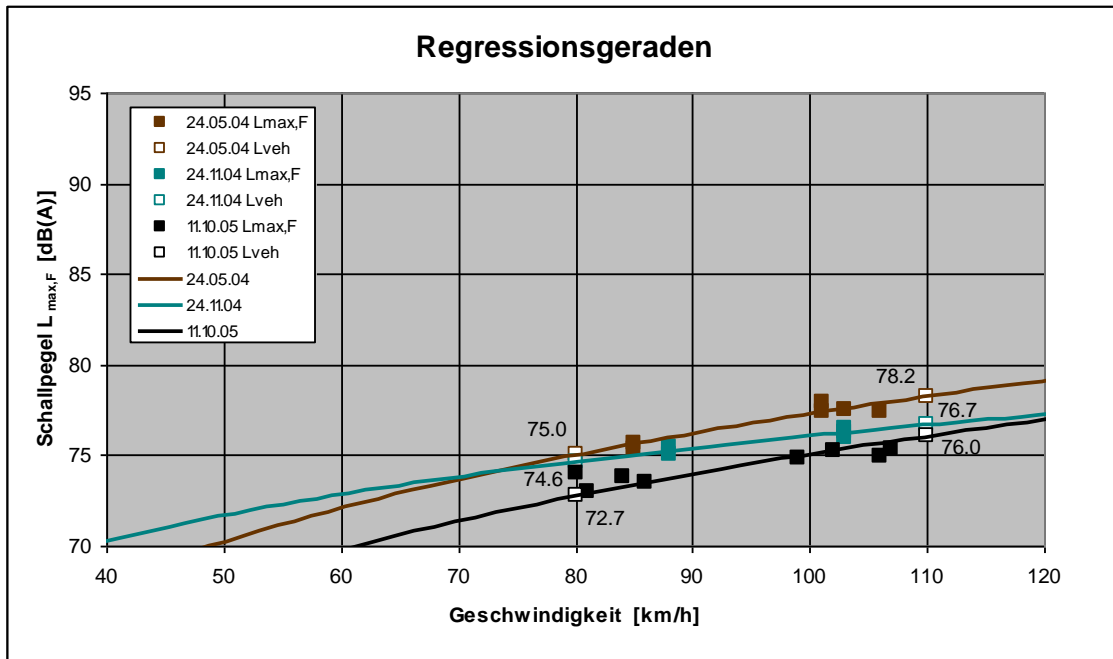


Bild 42: Regressionsgeraden PA8, PW, natürlicher Masstab

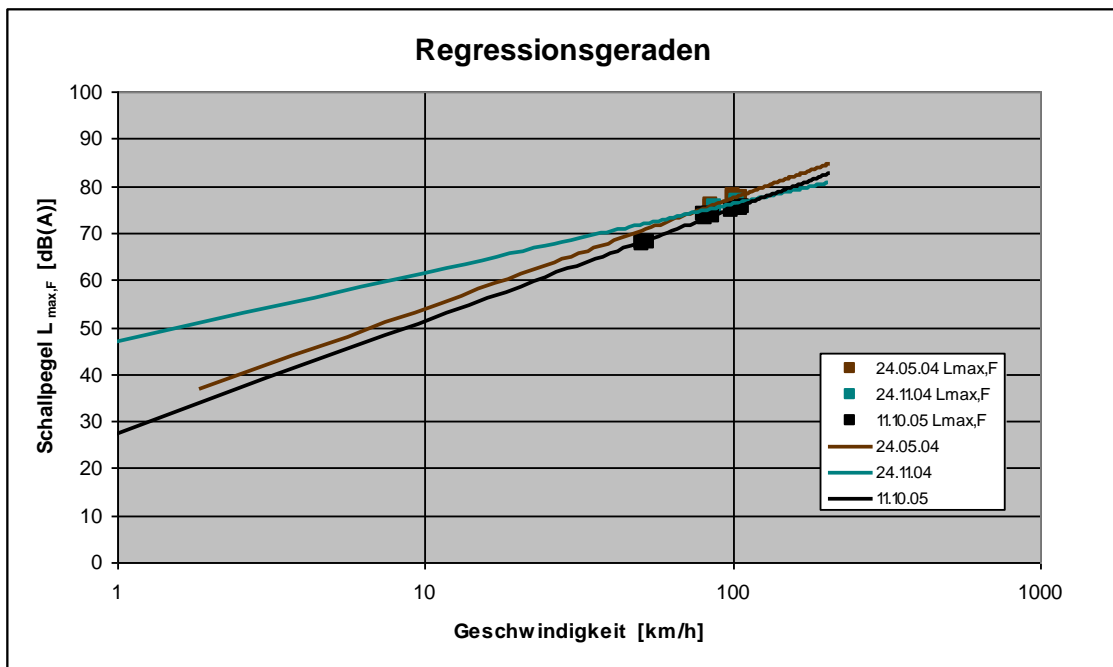


Bild 43: Regressionsgeraden PA8, PW, logarithmischer Masstab

8.1.5 Belag 5: Gussasphalt mit Absplittung 3/6mm MA8 (3/6); PW

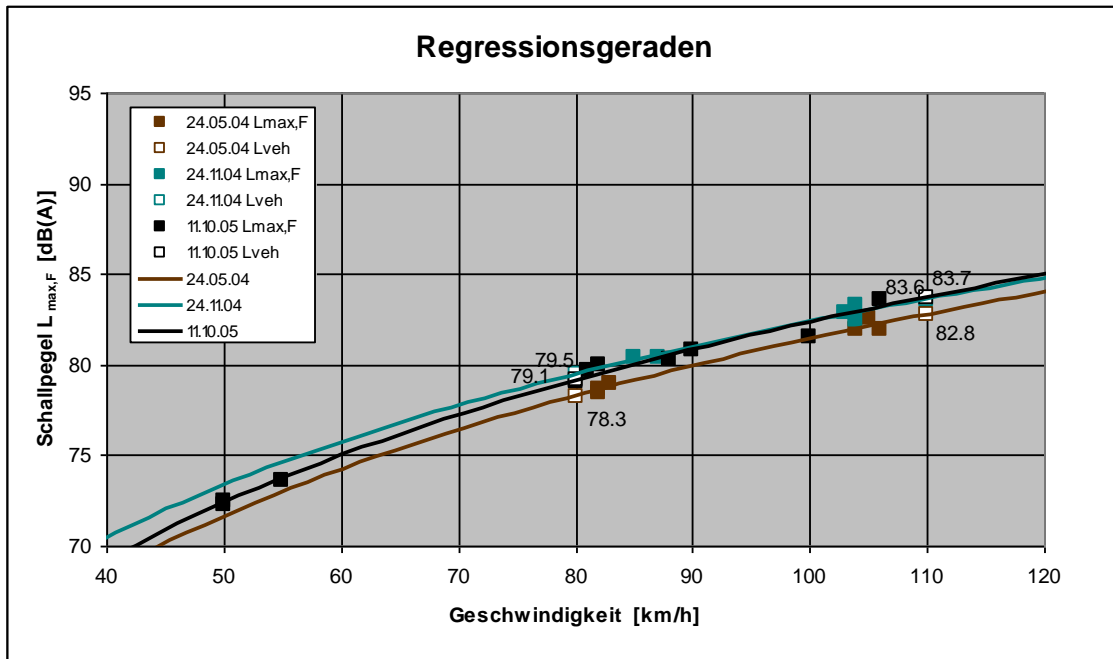


Bild 44: Regressionsgeraden MA8 (3/6), PW, natürlicher Massstab

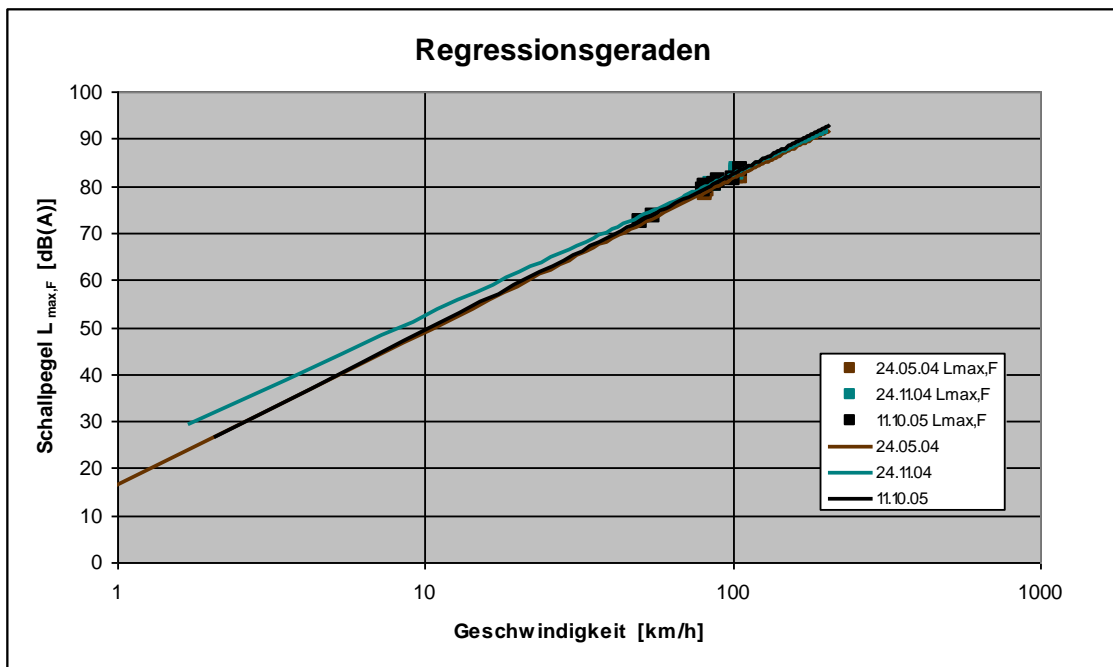


Bild 45: Regressionsgeraden MA8 (3/6), PW, logarithmischer Massstab

8.1.6 Belag 6: Gussasphalt mit Absplittung 2/4mm, MA8(2/4); PW

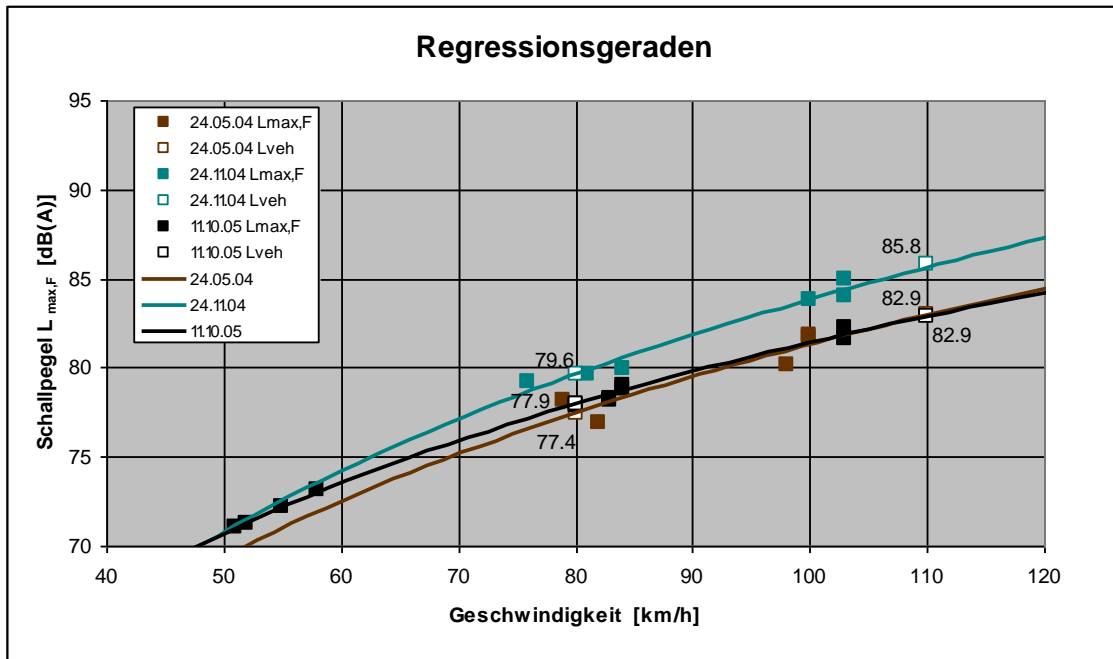


Bild 46: Regressionsgeraden MA8 (2/4), PW, natürlicher Massstab

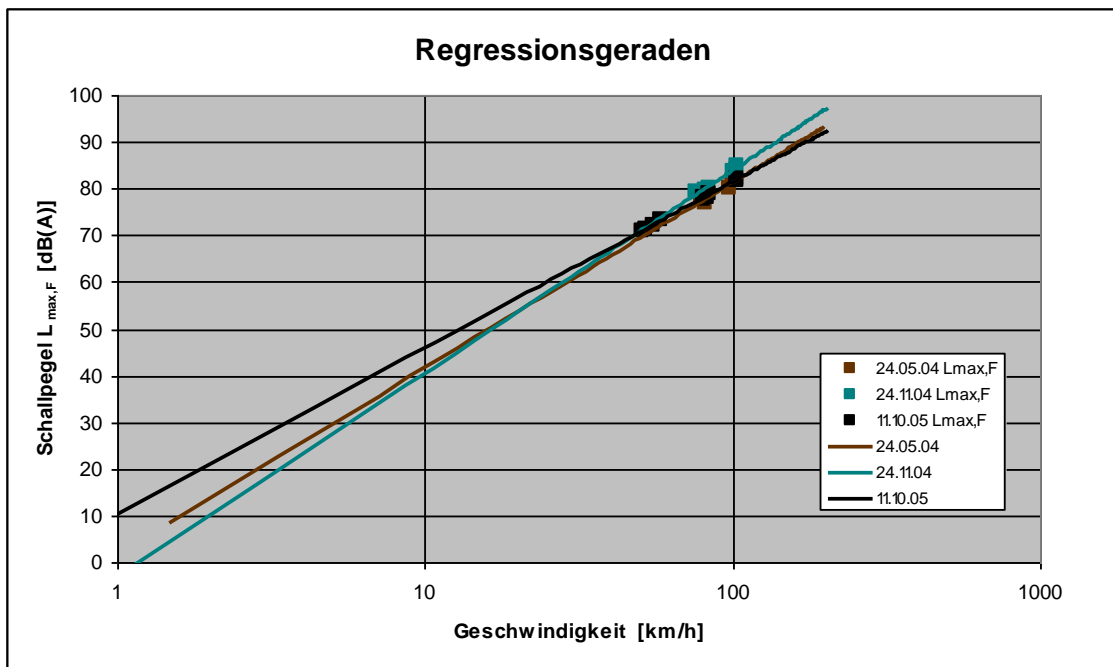


Bild 47: Regressionsgeraden MA8 (2/4), PW, logarithmischer Massstab

8.1.7 Belag 1: Splittmastix, SMA8; LW3

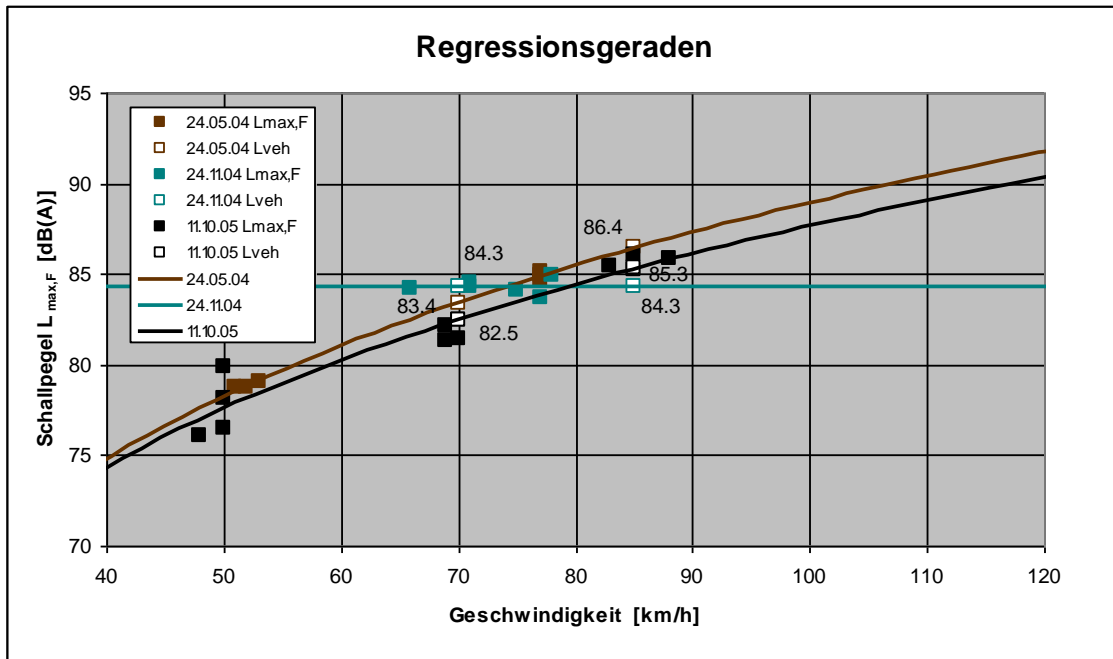


Bild 48: Regressionsgeraden SMA8, LW3, natürlicher Massstab

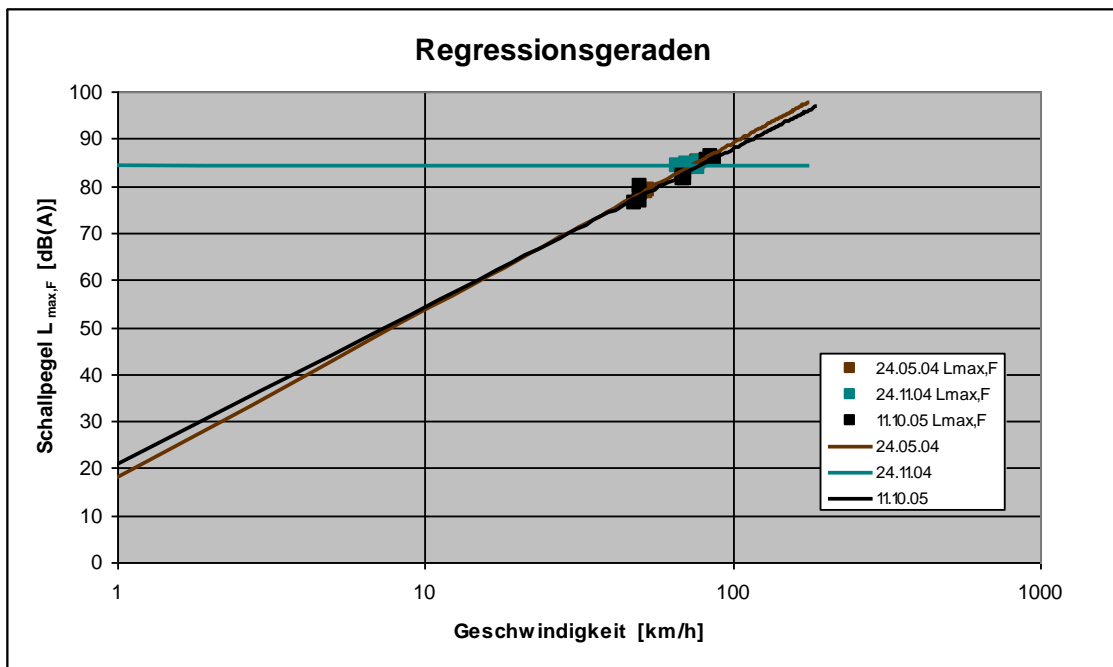


Bild 49: Regressionsgeraden SMA8, LW3, logarithmischer Massstab

8.1.8 Belag 2: Asphaltbeton, AC8; LW3

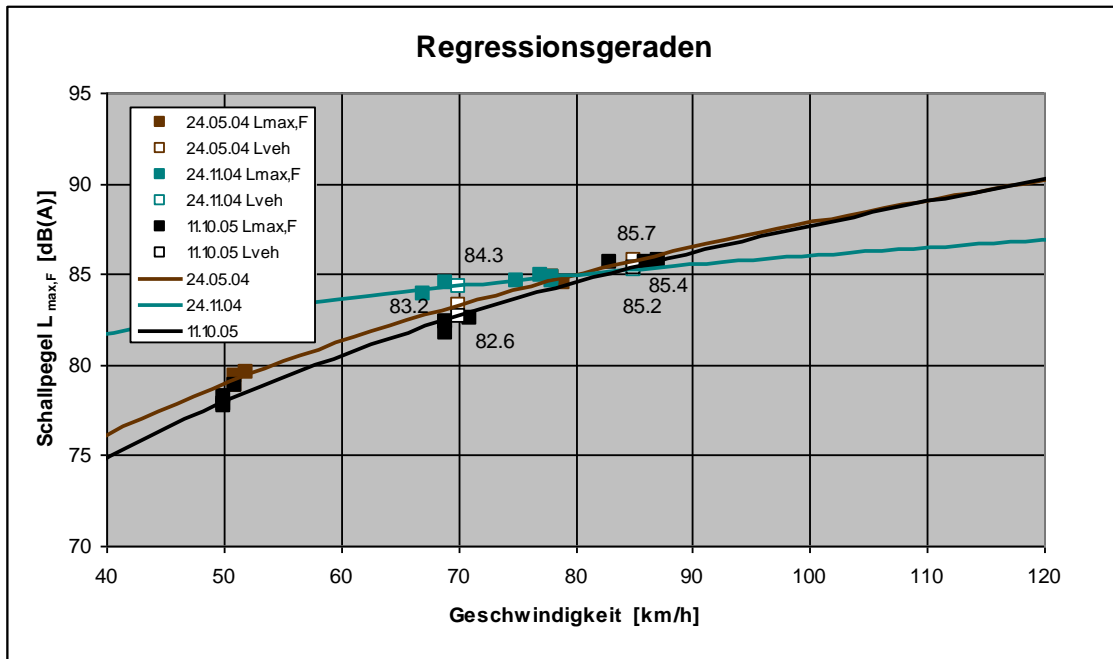


Bild 50: Regressionsgeraden AC8, LW3, natürlicher Massstab

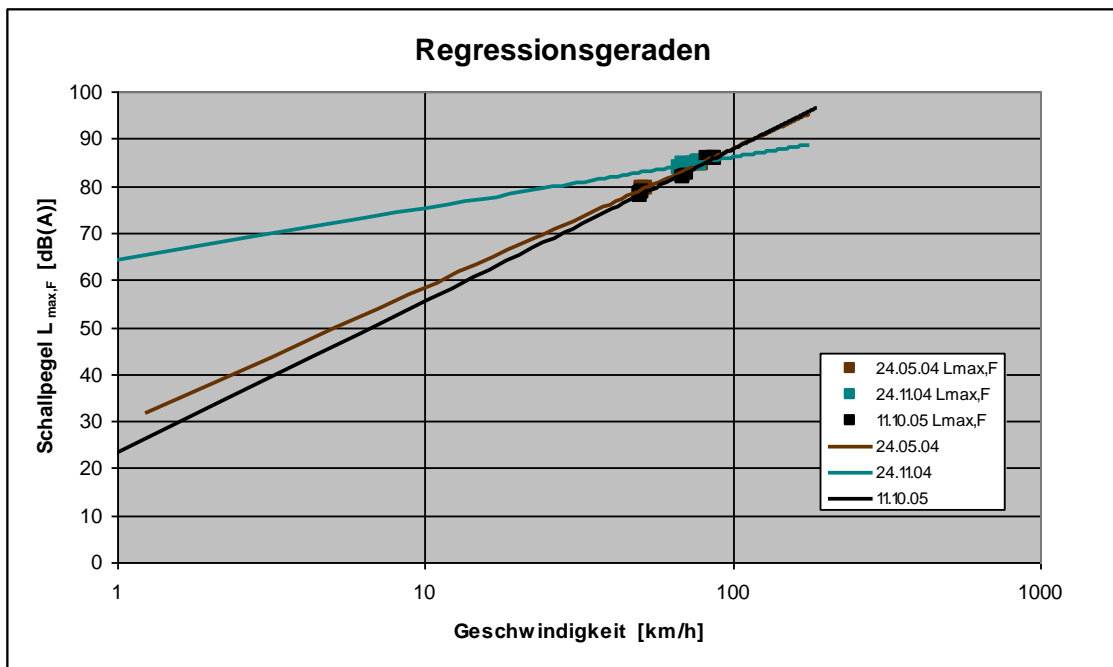


Bild 51: Regressionsgeraden AC8, LW3, logarithmischer Massstab

8.1.9 Belag 3: Rauhasphalt, Macrorugueux, AC MR8; LW3

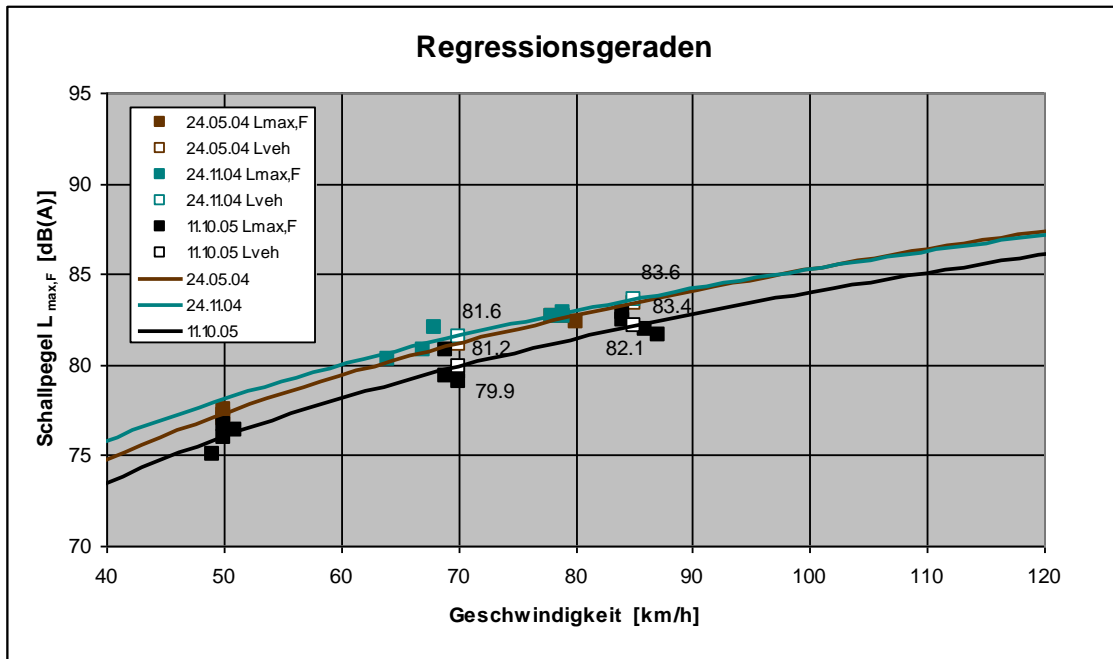


Bild 52: Regressionsgeraden AC MR8, LW3, natürlicher Masstab

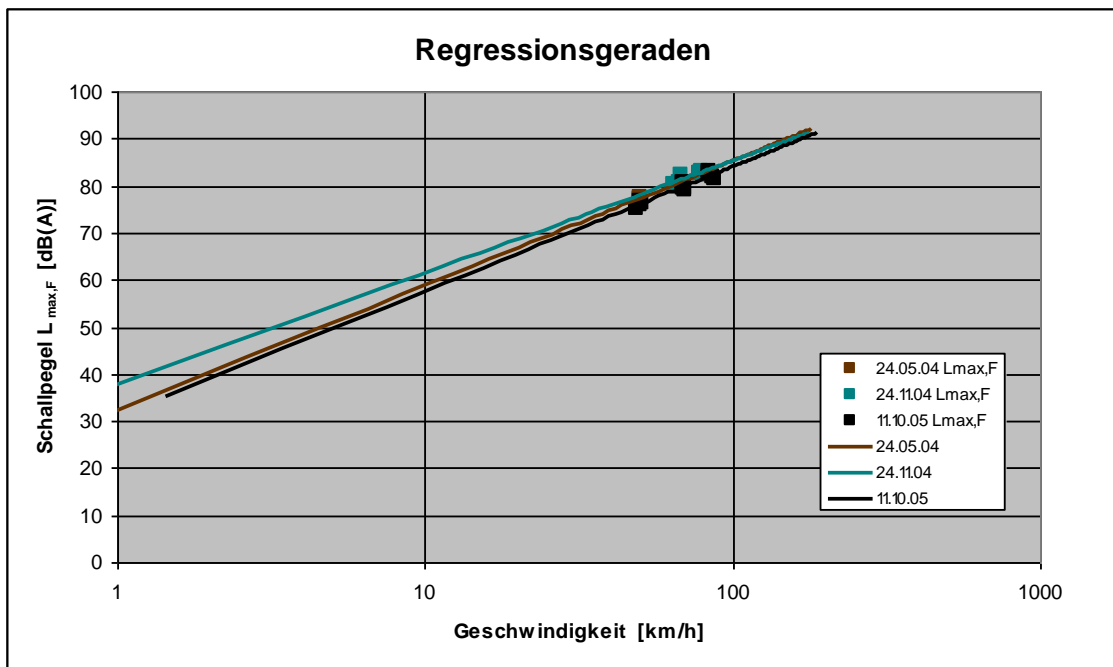


Bild 53: Regressionsgeraden AC MR8, LW3, logarithmischer Masstab

8.1.10 Belag 4: Drainasphalt, PA8; LW3

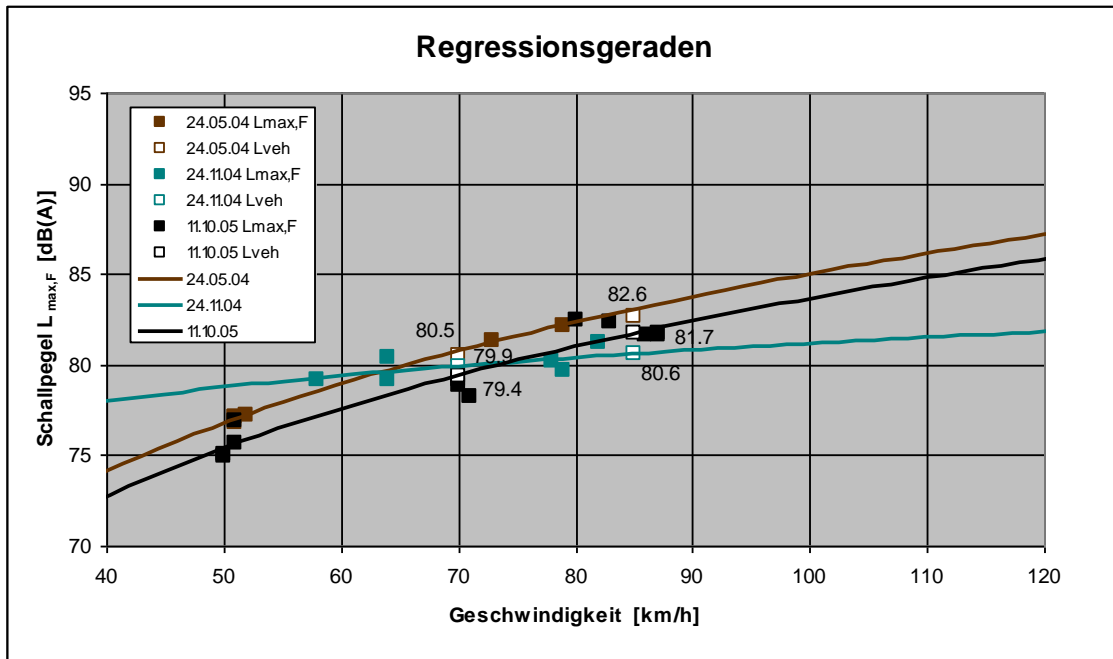


Bild 54: Regressionsgeraden PA8, LW3, natürlicher Massstab

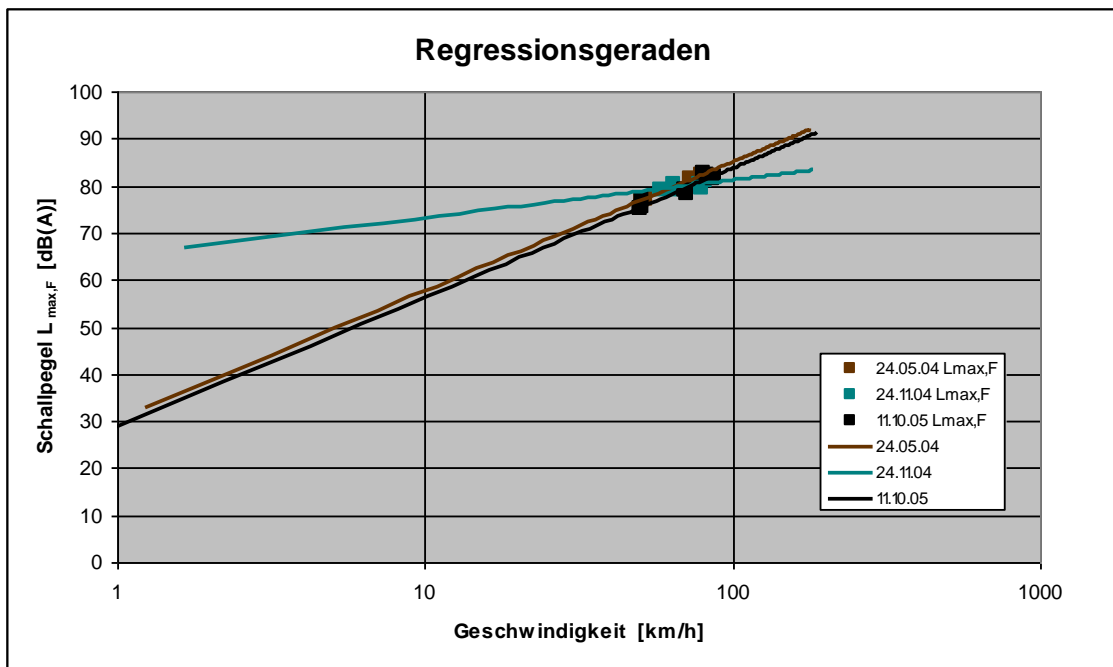


Bild 55: Regressionsgeraden PA8, LW3, logarithmischer Massstab

8.1.11 Belag 5: Gussasphalt mit Absplittung 3/6mm MA8 (3/6); LW3

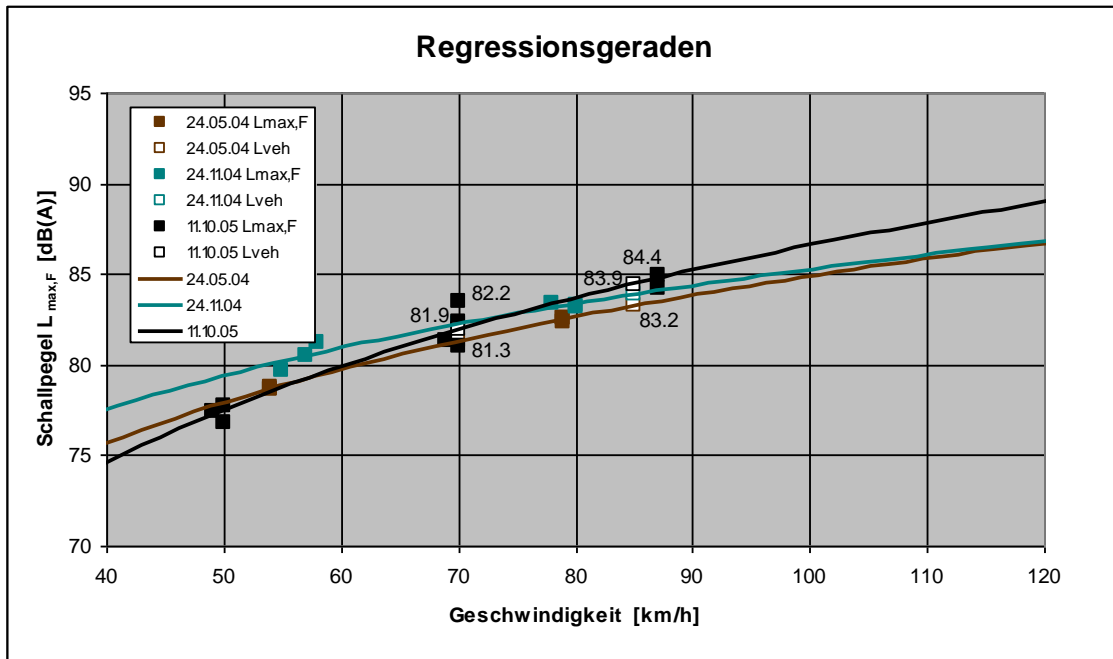


Bild 56: Regressionsgeraden MA8 (3/6), LW3, natürlicher Massstab

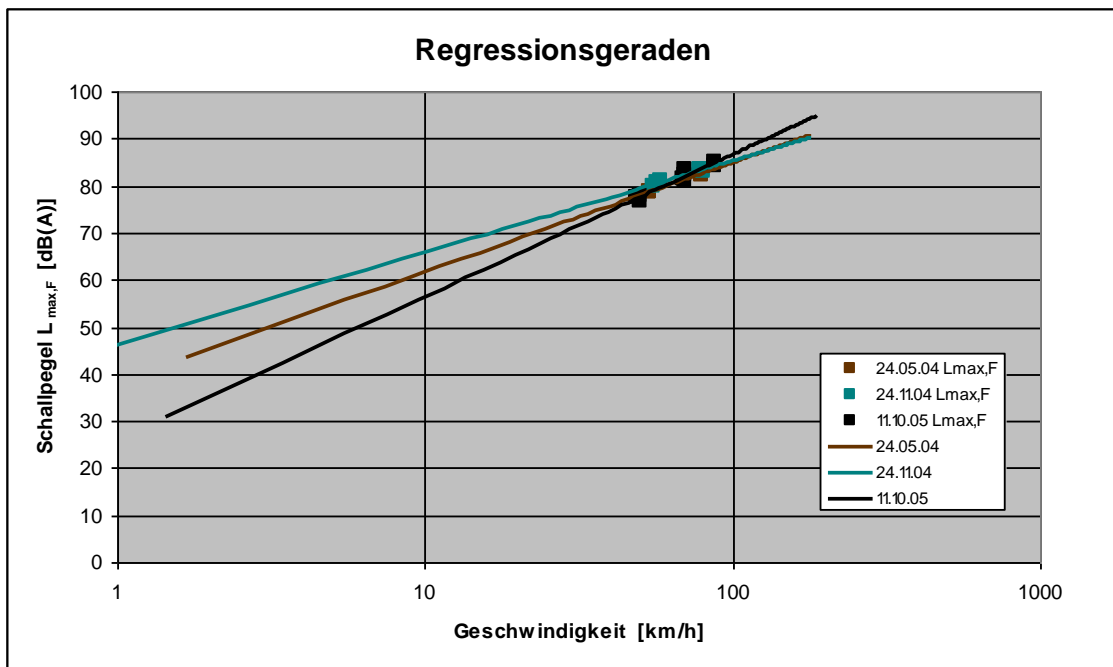


Bild 57: Regressionsgeraden MA8 (3/6), LW3, logarithmischer Massstab

8.1.12 Belag 6: Gussasphalt mit Absplittung 2/4mm, MA8(2/4); LW3

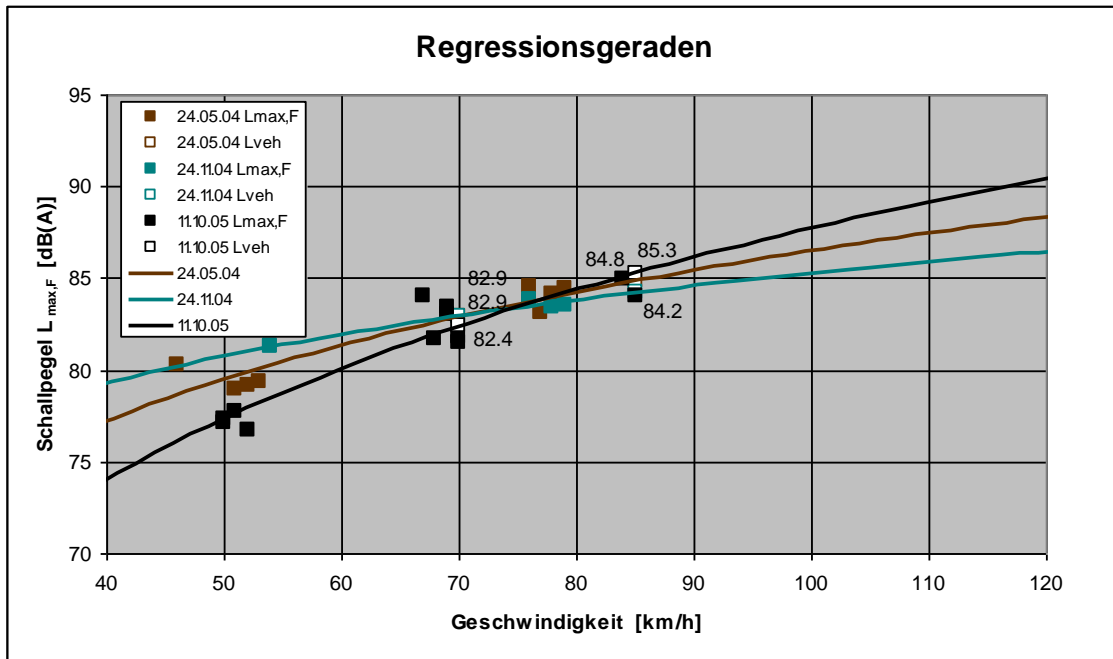


Bild 58: Regressionsgeraden MA8 (2/4), LW3, natürlicher Massstab

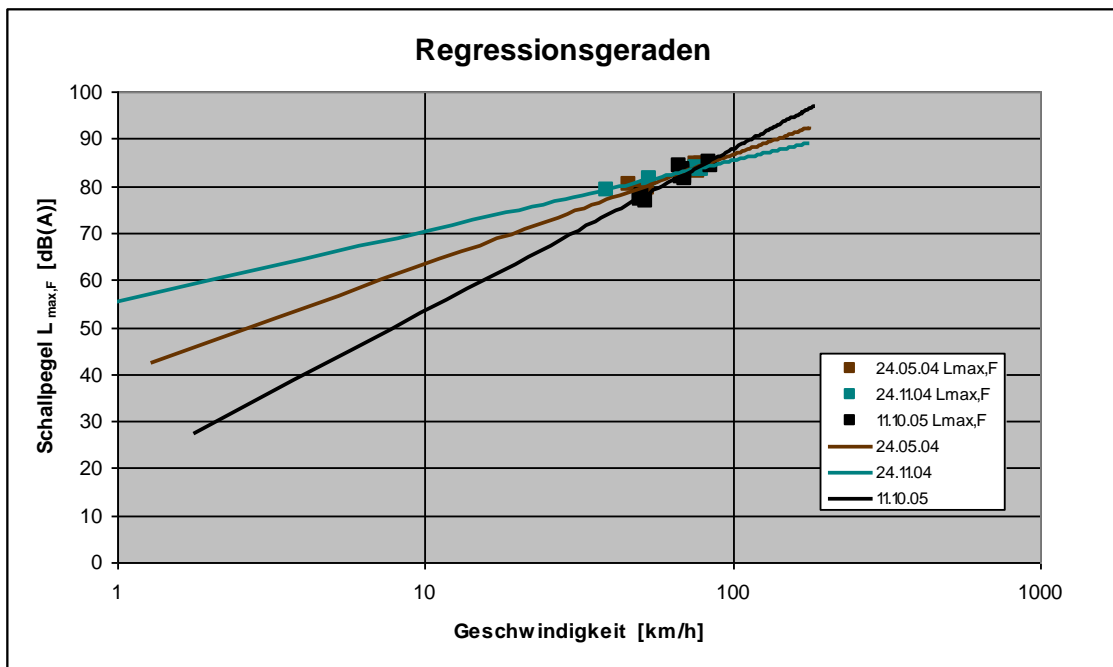


Bild 59: Regressionsgeraden MA8 (2/4), LW3, logarithmischer Massstab

8.2 *Anhang Fotodokumentation*

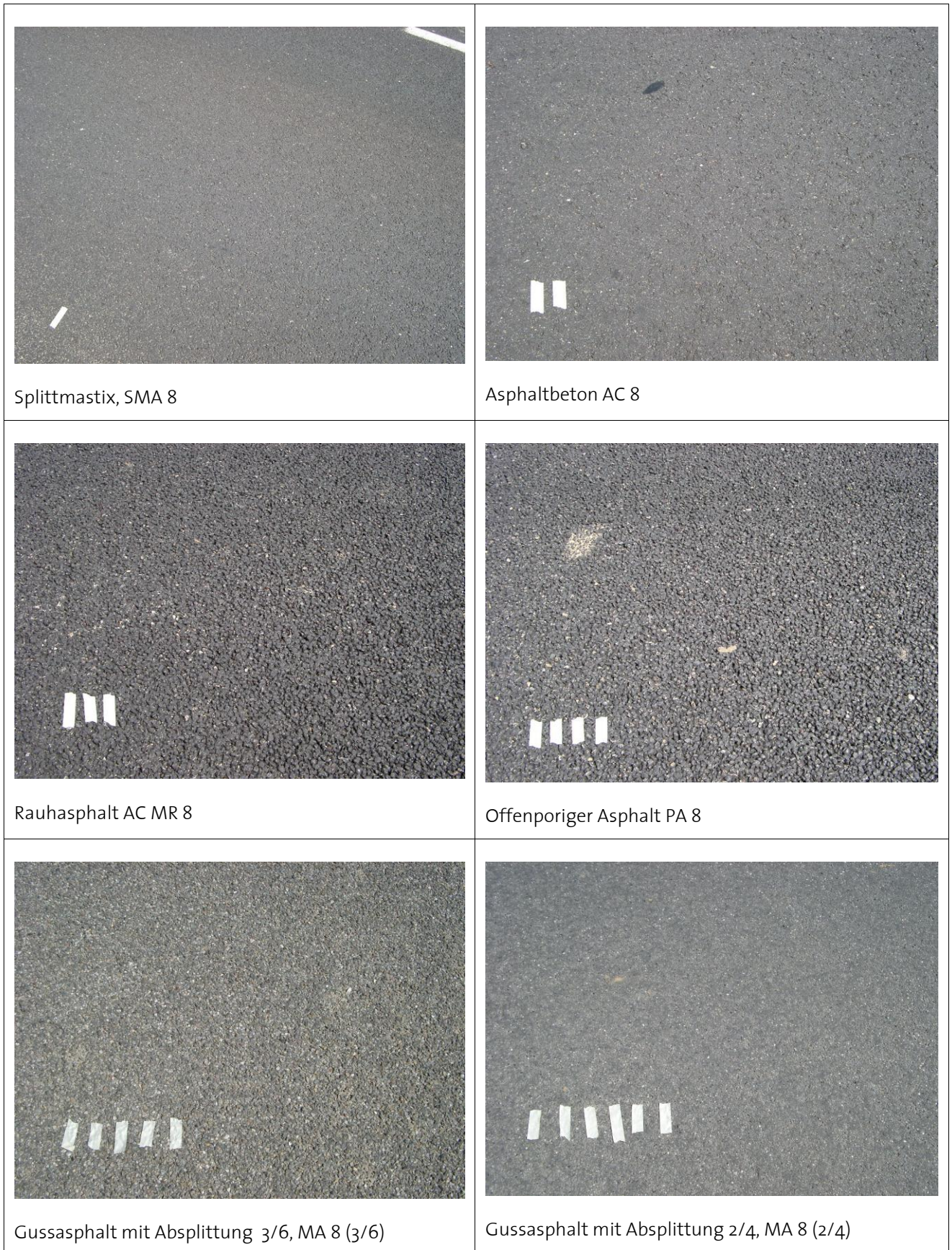


Bild 60: Oberflächen der Versuchsfelder anlässlich der Messung vom Mai 2004

	
<p>Splittmastix, SMA 8</p>	<p>Asphaltbeton AC 8</p>
	
<p>Rauhasphalt AC MR 8</p>	<p>Offenporiger Asphalt PA 8</p>
	
<p>Gussasphalt mit Absplittung 3/6, MA 8 (3/6)</p>	<p>Gussasphalt mit Absplittung 2/4, MA 8 (2/4)</p>

Bild 61: Oberflächen der Versuchsfelder anlässlich der Messung vom November 2005



Bild 62: Versuchsstrecken



Bild 63: Messwagen



Bild 64: Messmikrofone



Bild 65: Lage der Versuchsfelder (Freifeldbedingungen)



Bild 66: Konstruktion zur Aufstellung der Mikrofone im Abstand von 7.5 m ab Achse



Bild 67: Konstruktion wie oben für Messung Mai 2004



Bild 68: Geschwindigkeitsmessung jeder Vorbeifahrt



Bild 69: 3-Achs-LW bei Vorbeifahrt



Bild 70: 3-Achs-LW bei Vorbeifahrt



Bild 71: 3-Achs-LW bei Vorbeifahrt in Gegenrichtung



Bild 72: PW bei Vorbeifahrt



Bild 73: PW bei Vorbeifahrt in Gegenrichtung