

Der Einfluß der Textur auf Reifen/ Fahrbahngeräusch und Rollwiderstand

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 11

bast

Der Einfluß der Textur auf Reifen/ Fahrbahngeräusch und Rollwiderstand

**- Untersuchungen
im Prüfstand
Fahrzeug/Fahrbahn -**

von

Siegfried Ullrich
Klaus-Peter Glaeser
Klaus Sander

unter Mitarbeit von

Michael Chudalla
Hakki Hasskelo
Udo Löffler
Ellen Sievert

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 11

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, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Am Alten Hafen 113 – 115, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 4 60 93 – 95, 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, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zu den Forschungsprojekten 93530:

„Messungen der Griffigkeit, der Textur und des Rollwiderstandes von lärm mindernden Probebelägen im PFF im Rahmen von Rollgeräuschmessungen“ und **90618:**

„Pkw-Geräuschemission auf Gußasphalt, Oberflächenbehandlungen, Dünnschicht- und Splittmastix-Belägen

Herausgeber:

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon (0 22 04) 43 – 0
Telefax (0 22 04) 43 – 6 74

Redaktion:

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon (04 71) 4 60 93 – 95
Telefax (04 71) 4 27 65

ISSN 0943-9323

ISBN 3-89429-927-4

Bergisch Gladbach, Januar 1996

Kurzfassung · Abstract · Résumé

Der Einfluß der Textur auf Reifen/Fahrbahn- geräusch und Rollwiderstand

Etwa ab Fahrgeschwindigkeiten von 60 km/h wird bei Pkw das Abrollgeräusch der Reifen auf der Straße zur dominierenden Geräuschquelle. Maßnahmen zur Minderung der Geräuschemission von Pkw auf schnell befahrenen Straßen müssen daher primär an den Entstehungsmechanismen dieser Reifen/Fahrbahngeräusche ansetzen. Bisher sind im wesentlichen zwei Hauptursachen für die Geräuscherzeugung gefunden worden: die Schwingungsanregung der Reifendecke und die Bildung aerodynamischer Schallquellen im Reifenprofil.

Aus früheren Untersuchungen am Innentrommelprüfstand der Bundesanstalt für Straßenwesen und Messungen an Autobahnfahrbahnen mit Zementdeckschichten ist bekannt, daß Feinsplittabstreuungen die Reifengeräuschemissionen absenken können. Am Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn der BAST wurden Reifengeräusch-, Rollwiderstands-, Griffigkeits- und Texturmessungen an Abstreuungen verschiedener Körnungen durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es dabei, festzustellen, ob durch Splittabstreuungen der Geräuschpegel von Pkw-Reifen abgesenkt werden kann, wie die Reifengeräuschemission von der Texturtiefe der Abstreuung abhängt und wie sich Rollwiderstand, Griffigkeit und Textur abgestreuter Decken mit der Verringerung der Größe des Abstreukorns verändern.

Die günstigsten Ergebnisse bei Rollgeräusch und Rollwiderstand wurden im Bereich von Korndurchmessern zwischen 1–2 mm gefunden, zudem weisen die untersuchten Fahrbahndecken in diesem Kornbereich eine gute Griffigkeit auf.

Surface Texture Effects on the Levels of Traffic Noise at the Tyre/Road Interface and on Rolling Resistance

Above driving speeds of about 60 km/h, the tyre rolling noise of passenger cars on the highway is the predominating source of traffic noise. Measures to reduce car noise emissions on fast highways have to primarily target the mechanisms causing the noise at the tyre/road interface. Up to the present, the following two main factors have been found to be responsible for the development of traffic noise: the vibration excitation of the tyre

cover and the development of aerodynamic sound sources in the tyre tread.

Past studies using the Interior Drum Testing Facility of the Federal Highway Research Institute (BAST) and measurements on autobahns with cement wearing courses have shown that fine-grained chips spread on the surface can reduce tyre noises. Using the Wheel-Pavement Surface Interaction Facility of BAST, measurements of tyre noise, rolling resistance, skid resistance and surface texture have been carried out on differently sized grittings. The objective of the studies has been to find out whether the noise level of car tyres can be reduced by the spreading of chips, how tyre noise emissions depend on the texture depth of the gritting, and how the rolling resistance, skid resistance and the texture of gritted wearing courses vary with the reduction of the aggregate size used for the gritting.

Aggregate diameters between 1 and 2 mm have yielded the most favourable tyre noise and rolling resistance results. In this aggregate size range, the wearing courses also yielded good skid resistance values.

L'impact de la texture sur le bruit de contact pneumatique/chaussée et sur la résistance au roulement

A partir de vitesses de roulement d'environ 60 km/h, le bruit de contact pneumatiques/chaussée devient la source de bruit prédominante. Les mesures visant à réduire les émissions sonores des voitures sur les chaussées à trafic rapide doivent donc s'attaquer aux mécanismes d'origine du bruit de roulement. Selon les connaissances actuelles, l'émission du bruit est essentiellement à imputer à deux raisons: la mise en vibration du pneumatique et la création de bruits d'origine aérodynamique dans la sculpture des pneumatiques.

Des études précédentes réalisées dans le tambour giratoire expérimental de l'Institut fédéral de recherches routières (BAST) ainsi que des mesures effectuées sur des autoroutes à revêtement en béton de ciment ont fait ressortir que les émissions sonores des pneumatiques peuvent être réduites par une couverture de la chaussée de gravillons fins. Sur le manège d'essai véhicule/chaussée de la BAST, des mesures du bruit de roulement, de la résistance au roulement, de l'adhérence et de la tex-

ture ont été effectuées sur des surfaces à gravillons de granulométries différentes. L'objectif des études était de déterminer si le niveau sonore du bruit de roulement peut être baissé au moyen d'un gravillonnage, dans quelle mesure les émissions sonores des pneus dépendent de la profondeur de la texture du gravillonnage et comment la résistance au roulement, l'adhérence et la texture des surfaces gravillonnées changent en fonction des dimensions des gravillons.

Les résultats les plus favorables en ce qui concerne le bruit de contact pneumatique/chaussée et la résistance au roulement ont été atteints avec des gravillons d'une granulométrie entre 1 et 2 mm, les revêtements de cette granularité présentant également une bonne adhérence.

Inhalt

1	Straßenseitige Möglichkeiten zur Minderung des Reifen/Fahrbahngeräusches	7	7	Verknüpfung der Meßergebnisse	41
			7.1	Rollgeräusch und Textur	41
			7.2	Rollwiderstand und Fahrbahneigenschaften	43
			7.2.1	Rollwiderstand in Abhängigkeit von Rauhtiefe und Griffigkeit	44
			7.2.2	Rollwiderstand und Textur	44
			7.2.3	Rollwiderstand und Belagsart	45
			7.3	Rauhtiefe und Griffigkeit	47
			7.4	Rollwiderstand und Rollgeräusch	48
2	Frühere Erfahrungen und Erkenntnisse.	7	8	Zusammenfassung	50
3	Der Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn	9	9	Literatur	52
3.1	Konstruktionsmerkmale des PFF	9	Anhang I	Ergebnisse der Geräuschmessung „Mittelwerte über die GEstro-Reifen“	55
3.2	Zur Eignung des PFF für Untersuchungen des Reifen/Fahrbahngeräusches	10	Anhang II	Oktavpegel, gemittelt über die GEstro-Reifen	70
4	Versuchsparameter	11	Anhang III	Terzpegel, gemittelt über die GEstro-Reifen	79
4.1	Auswahl und Herstellung von Prüfbelägen	11			
4.2	Standard- bzw. Referenzfahrbahnen	11			
4.2.1	Asphaltbeton 0/11 unbewittert.	11			
4.2.2	Asphaltbeton 0/11 bewittert	11			
4.2.3	Asphaltbeton 0/8 unbewittert	11			
4.2.4	Asphaltbeton 0/8 bewittert.	11			
4.3	Dünnschichtbeläge	14			
4.3.1	Schmirgelleinen als Dünnschichtbelag	14			
4.3.2	Dünnschichtbeläge in Kaltplastik	14			
4.4	Auswahl der Reifen	20			
4.5	Auswahl der Geschwindigkeiten	20			
5	Meßtechnik	20			
5.1	Geräuschmessung.	20			
5.2	Rauhtiefe.	21			
5.2.1	Sandflächenmessung	21			
5.2.2	Laserabtastung	22			
5.3	Griffigkeit.	25			
5.4	Textur	26			
5.5	Rollwiderstand.	27			
5.5.1	Definition des Rollwiderstandes	28			
5.5.2	Mechanik	28			
5.5.3	Meßmethode.	29			
5.5.4	Versuchsdurchführung.	31			
6	Meßergebnisse	33			
6.1	Reifen/Fahrbahngeräusch	33			
6.1.1	A-bewertete Summenpegel	33			
6.1.2	Frequenzspektren	35			
6.2	Rauhtiefe und Griffigkeit	37			
6.3	Textur	39			
6.4	Rollwiderstand.	39			

1 Straßenseitige Möglichkeiten zur Minderung des Reifen/Fahrbahngeräusches

Etwa ab Fahrgeschwindigkeiten von 60 km/h wird bei Pkw das Abrollgeräusch der Reifen auf der Straße, das Reifen/Fahrbahngeräusch, zur dominierenden Geräuschquelle. Maßnahmen zur Minderung der Geräuschemission von Pkw auf schneller befahrbaren Straßen müssen daher primär an den Entstehungsmechanismen der Reifen/Fahrbahngeräusche ansetzen. Bislang sind im wesentlichen zwei Hauptursachen für die Geräuscherzeugung gefunden worden: die Schwingungsanregung der Reifendecke und die Bildung aerodynamischer Schallquellen im Reifenprofil.

- Schwingungsanregung der Reifendecke
Beim Überrollen z. B. von Splittkörnern auf der Fahrbahndeckschicht wird die Reifendecke eingedrückt. Durch das nachfolgende Ausfedern der Decke strahlt der Reifen Luftschall ab, vornehmlich im Frequenzbereich unter 1000 Hz. Das durch Schwingungsanregung erzeugte Reifengeräusch ist umso intensiver, je rauher die Fahrbahnoberfläche ist. Es kann durch eine Verringerung der mittleren Rauhtiefe der Fahrbahndeckschicht abgeschwächt werden.
- Aerodynamische Schallquellen (Air-Pumping)
In der Kontaktfläche Reifen/Straße werden die Querschnitte von Rillen des Reifenprofils deformiert, so daß im Reifeneinlauf Luft aus dem Profil herausgepreßt und im Reifenauslauf wieder eingesaugt wird. Beides ist mit Abstrahlen von Luftschall, hauptsächlich im höherfrequenten Bereich über 800 Hz, verbunden. Dieses „Air-Pumping“ genannte Geräusch ist umso intensiver, je glatter die Straßenoberfläche ist.

Zur Verringerung des Anteils der Reifen/Fahrbahngeräusche, der durch Schwingungsanregung der Reifendecke erzeugt wird, kann die mittlere Rauhtiefe einer Fahrbahndecke vermindert werden. Eine zu starke Reduzierung gefährdet aber die Sicherheit von Fahrzeugen bei nasser Fahrbahn. Da bei sehr geringen Rauhtiefen außerdem die Air-Pumping-Geräusche ansteigen, sind diese für eine erfolgversprechende Suche nach einer Lösung des Zielkonfliktes Fahrzeugsicherheit gegen minimierte Reifengeräuschemission zu unterdrücken. Dazu ist für eine gute Entlüftung der Kontaktfläche Reifen/Straße zu sorgen, damit im Reifen- oder Straßenprofil keine hohen Luftdrücke aufgebaut werden,

die maßgebend bei der Entstehung von Air-Pumping-Geräuschen beteiligt sind.

Eine gute Entlüftung der Kontaktfläche Reifen/Straße kann auf zwei Wegen erreicht werden:

- Bei einer offenporigen, hohlraumreichen Deckschicht, beispielsweise einem Dränasphalt, kann die Luft durch die Straßenoberfläche in das Deckeninnere entweichen.
- Durch die Abstreuerung einer Straße mit Splitt entsteht auf ihrer Oberfläche zwischen den Splittkörnern ein zusammenhängendes Kanalsystem, durch das die Luft seitwärts der rollenden Reifen entweichen kann.

Die Wirkung offenporiger, hohlraumreicher Deckschichten auf die Geräuschemission des Straßenverkehrs wurde durch die bei der Bundesanstalt für Straßenwesen eingerichtete Projektgruppe „Lärm-mindernde Deckschichten“ in den Jahren 1986 bis 1993 untersucht [1]. Die anfangs erzielte Minderung des Vorbeifahrtpegels von Pkw lag im Vergleich zu Asphaltbeton 0/11S bei 3–6 dB (A). Diese Minderung hatte allerdings nur etwa 2 Jahre Bestand. Mit zunehmendem Deckenalter wurden wegen zunehmender Verschmutzung der offenen Decken immer geringere Minderungswerte gemessen.

In einer geplanten weiteren Untersuchung soll die Minderungswirkung durch Splittabstreuerungen in-situ untersucht werden. Zur Senkung des dafür erforderlichen erheblichen monetären und zeitlichen Aufwandes wurden vor Beginn dieser Untersuchungen Messungen der Reifengeräuschemission auf Splittabstreuerungen unterschiedlichster Art am „Prüfstand Reifen/Fahrbahn“ der Bundesanstalt für Straßenwesen durchgeführt, die im vorliegenden Bericht dargestellt werden.

An dieser Stelle sei angemerkt, daß es sich bei diesem Bericht um eine Art Pilotstudie handelt, die nicht das Ziel hat, neue lärmarme Fahrbahndecken zu beschreiben. Dieses ist erst nach einer großtechnischen bzw. großflächigen Anlage der entsprechenden Beläge und deren Untersuchung auf Griffigkeit Reifen/Fahrbahngeräusch, Rollwiderstand und Lebensdauer möglich.

2 Frühere Erfahrungen und Erkenntnisse

In [2] sind die Ergebnisse von 3 Untersuchungen zur Reifengeräuschemission auf Straßenoberflächen unterschiedlicher Texturtiefen aus den späten siebziger Jahren zusammengefaßt:

- Am „Transport and Road Laboratory (TRL)“ in Großbritannien wurde die Emission mehrerer Testfahrzeuge mit unterschiedlichen Reifensätzen auf Asphaltbetondecken gemessen (Geschwindigkeit 70 km/h, Meßentfernung 7,5 m) [3]. Eine Regressionsanalyse (Pegel gegen den Logarithmus der Geschwindigkeit) ergibt einen mittleren Pegelzuwachs von etwa 1 dB (A) pro Verdoppelung der mittleren Rauhtiefe.
- Am „Centre de Recherches Routières (CRR)“ in Belgien wurden mit einem Testwagen auf Asphalt- und Zementbetondecken Untersuchungen zur Geräuschemission durchgeführt [4]. Die Rollgeschwindigkeit lag zwischen 80 km/h und 120 km/h. Die Meßentfernung betrug 7,5 m. Separat für die Asphalt- und Betondecken durchgeführte Regressionsanalysen ergeben für jede der Bauarten eine Erhöhung des Rollgeräuschpegels von 1,0...1,5 dB (A) pro Verdoppelung der mittleren Rauhtiefe.
- Am Innentrommelprüfstand der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde die Rollgeräuschemission von 7 Reifen auf Splittabstreuungen untersucht (Bild 2.1) [5]. Gefunden wurde eine schwache Abhängigkeit des Rollgeräuschpegels von der mittleren Rauhtiefe von etwa 1,5 dB (A) pro Verdoppelung der Rauhtiefe der größeren Beläge. Es zeigte sich ferner (Bild 2.2), daß die Geräuschemission im Frequenzbereich unter 1000 Hz mit zunehmender Rauhtiefe ansteigt (Schwingungsanregung der Reifendecke), im Frequenzbereich über 1000 Hz dagegen abfällt (Air-Pumping).

Insgesamt gesehen waren die früher gewonnenen Erkenntnisse zum Emissionsverhalten auf Texturen unterschiedlicher Rauhtiefe wenig ermutigend, auf diesem Gebiet weiter zu arbeiten.

Eher zufällig wurde dann bei späteren Untersuchungen am Innentrommelprüfstand der Bundesanstalt für Straßenwesen [6] gefunden, daß durch Feinsplittabstreuungen auch höhere Pegelminderungen möglich sind, wenn sie sorgfältig ausgeführt werden und qualitativ dem damals vermessenen groben Schmirgelleinen entsprechen.

Aus diesen Untersuchungen ergaben sich folgende Forderungen an eine lärmarme Feinsplittabstreuung:

- Der Maximaldurchmesser der Splittkörner sollte geringer als 5 mm sein, um zu verhindern, daß die Geräusche durch Schwingungsanregung der Reifendecke ansteigen.

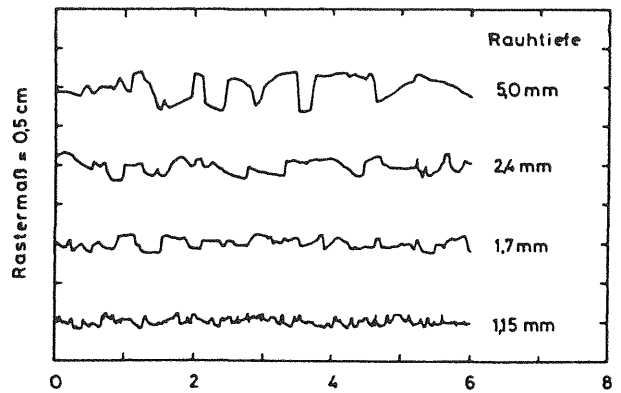


Bild 2.1: Profilschnitte von fünf der getesteten Texturen. Die Texturen wurden mit einem Profilometer mit Schrittweiten von 0,4 mm (A, B), 0,25 mm (C, D) und 0,1 mm (F) abgetastet

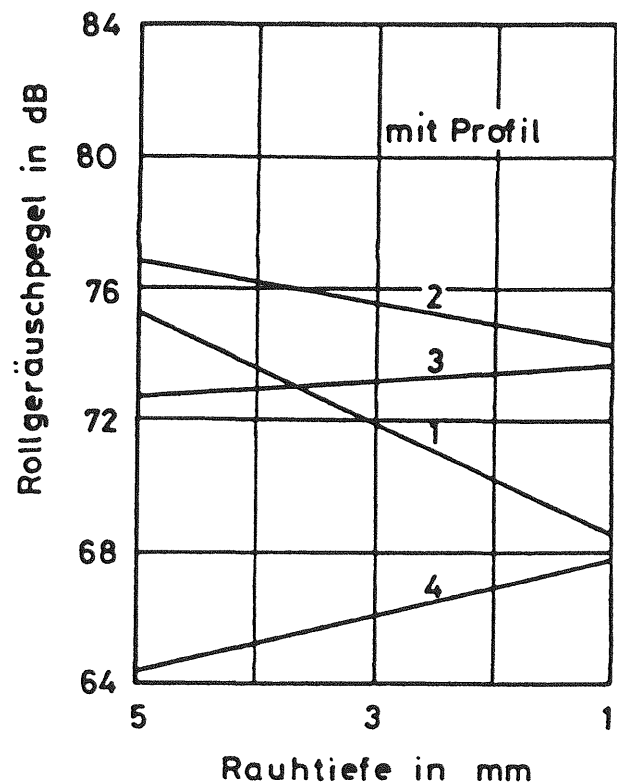


Bild 2.2: Rollgeräuschpegel auf den Oberflächen des Bildes 2.1, gemittelt über 7 Teststreifen in den Frequenzbereichen 250...500 Hz (1), 500...1000 Hz (2), 1...2 kHz (3) und 2...4 kHz (4)

- Es sind Monofractionen geringer Breite zu verwenden. Zum Beispiel sollten die Korngrößen nicht über einen Bereich von 2...5 mm verteilt sein, sondern über einen Bereich von 3...4 mm. Bei gegebenem Größtkorndurchmesser werden so die Querschnitte der Kanäle zwischen den einzelnen Splittkörnern maximal, so daß eine ausreichend schnelle Entwässerung und Entlüftung der Kontaktfläche Reifen/Straße möglich wird.

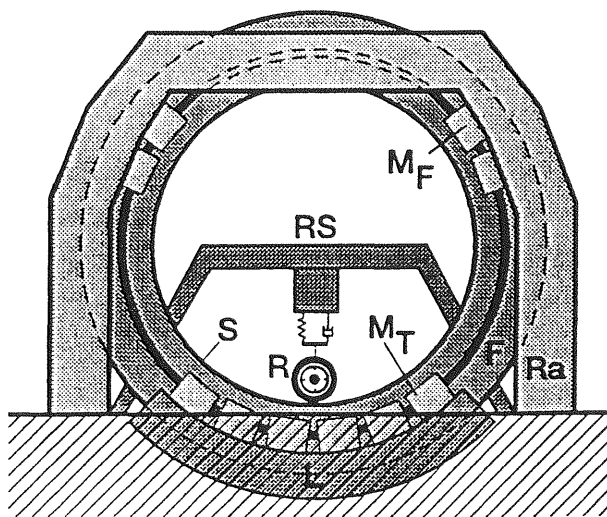
- Überkorn ist weitestgehend zu vermeiden.
- Eine Abstreifung ist als dicht gepackte Monoschicht ohne Fehlstellen aufzubringen.
- Vor dem Aufbringen von Abstreifungen sind die Fahrbahnoberflächen zu glätten, damit sich vorhandene Grobstrukturen des Unterbaus nicht durchdrücken können.

3 Der Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn

Um die Probleme zu untersuchen, die sich aus der Wechselwirkung Reifen und Fahrbahnoberfläche ergeben, hat die Bundesanstalt für Straßenwesen den „Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn“ (PFF) errichtet. Auf ihm können verschiedene Straßenbeläge und Fahrzeugreifen hinsichtlich der Lärmemission, der Griffbarkeit und des Rollwiderstandes unter Laborbedingungen getestet werden.

3.1 Konstruktionsmerkmale des PFF

Der Prüfstand arbeitet nach dem Innentrommelprinzip, Bild 3.1 [7].



Ra = Prüfstandsrahmen

F = Fahrbahnring

S = Straßenbelag

M_T = Tragmagnete

M_F = Fühmagnete

L = Linearantrieb

RS = Radstation

R = Pkw-Rad

Bild 3.1: Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn

In Tab. 3.1 sind die technischen Daten des Prüfstandes PFF aufgelistet.

Innendurchmesser des Fahrbahnringes:	5,50 m
Breite der Fahrbahn:	0,50 m
Dicke des Fahrbahnbelages:	40 mm
Dimensionen der Pkw-Räder:	4 × 13 ... 7 × 15
Fahrgeschwindigkeit:	0 ... ± 260 km/h
Schlupf:	0 ... ± 100 %
Radlast:	0 ... 10 kN
Rollspur:	0 ... ± 200 mm
Schräglaufwinkel:	0 ... ± 30° (... -75°)
Sturzwinkel:	0 ... ± 6°
Nachlaufwinkel:	0 ... ± 6°
Leistungsaufnahme der Magnetlagerung:	16 kW
Antriebsleistung der Trommel:	200 kW
Antriebsleistung des Rades:	50 kW

Tab. 3.1: Technische Daten des PFF

Der beiderseits offene Fahrbahnring mit einem Gewicht von ca. 18 t und einem Innendurchmesser von 5,50 m ist berührungsfrei elektromagnetisch gelagert und wird am Umfang durch einen Linearantrieb angetrieben. Dadurch schwebt der Fahrbahnring völlig frei im Prüfstand. Die offene Bauweise von Fahrbahnring und Prüfstand bietet die Voraussetzung dafür, die Lärmemission des darin laufenden Rades praxisnah zu messen. Begünstigt wird dies noch durch die schallschützende Verkleidung der Wand hinter dem Prüfstand: Der Schall, der gemessen werden soll, kann sich zwar nach vorn ausbreiten, wird jedoch nicht von hinten zurückgestrahlt. Zur Nachbildung einer praxisgerechten Fahrbahnoberfläche werden auf der Innenseite des Ringes Fahrbahnbeläge aus Asphaltmischgut (oder auch Zementbeton) in Kassetten angebracht. Darüber hinaus können sogenannte Dünnschichtbeläge aufgeklebt werden, siehe Kap. 4.1.

Ein Testrad fährt mit bis zu 260 km/h über diese herkömmlichen oder synthetischen Straßenbeläge. Das Pkw- oder auch Leicht-Lkw-Rad wird pneumatisch mit üblichen Radlasten beaufschlagt.¹

Bei dieser Untersuchung wurden die Reifen/Fahrbahngeräusche und der Rollwiderstand des frei rollenden, geradeaus laufenden Rades untersucht.

¹ Über die Verbindung des Prüfrades mit Hilfe einer Gelenkwelle mit einem Elektromotor/Generator kann das Prüfrad auch angetrieben oder gebremst werden. Mittels elektrischer Stellzylinder kann das Rad auch während des Laufes in alle Richtungen verfahren werden. (Rollspur, Schräglaufwinkel, Sturzwinkel, Nachlaufwinkel).

3.2 Zur Eignung des PFF für Untersuchungen des Reifen/Fahrbahngeräusches

Wegen der magnetischen Lagerung der PFF-Trommel und des berührungslosen Antriebs durch Linearmotoren war man zunächst davon ausgegangen, daß der Prüfstand wesentlich geräuschärmer sei als solche mit mechanisch angetriebenen Trommeln. Tatsächlich weist aber auch der PFF eine Reihe von Störschallquellen auf: Schwingungsanregung der Trommelaufhängung, schallabstrahlende Turbulenzen durch die Trommel und mechanische

Geräuschquellen, die durch die schnelle Regelung der auf konstanter Höhe gehaltenen, bewegten Trommel angeregt werden.

Die Eigengeräusche des Prüfstandes machen sich vor allem im tieffrequenten Bereich (Bild 3.2) und bei niedrigeren Geschwindigkeiten bemerkbar. Nach Voruntersuchungen mit mehreren Reifen an verschiedenen Meßorten zeigte sich, daß eine einwandfreie Messung des Reifen/Fahrbahngeräusches für den Geschwindigkeitsbereich über 50 km/h und den Frequenzbereich über 160 Hz (Terzmittenfrequenz) möglich ist [8].

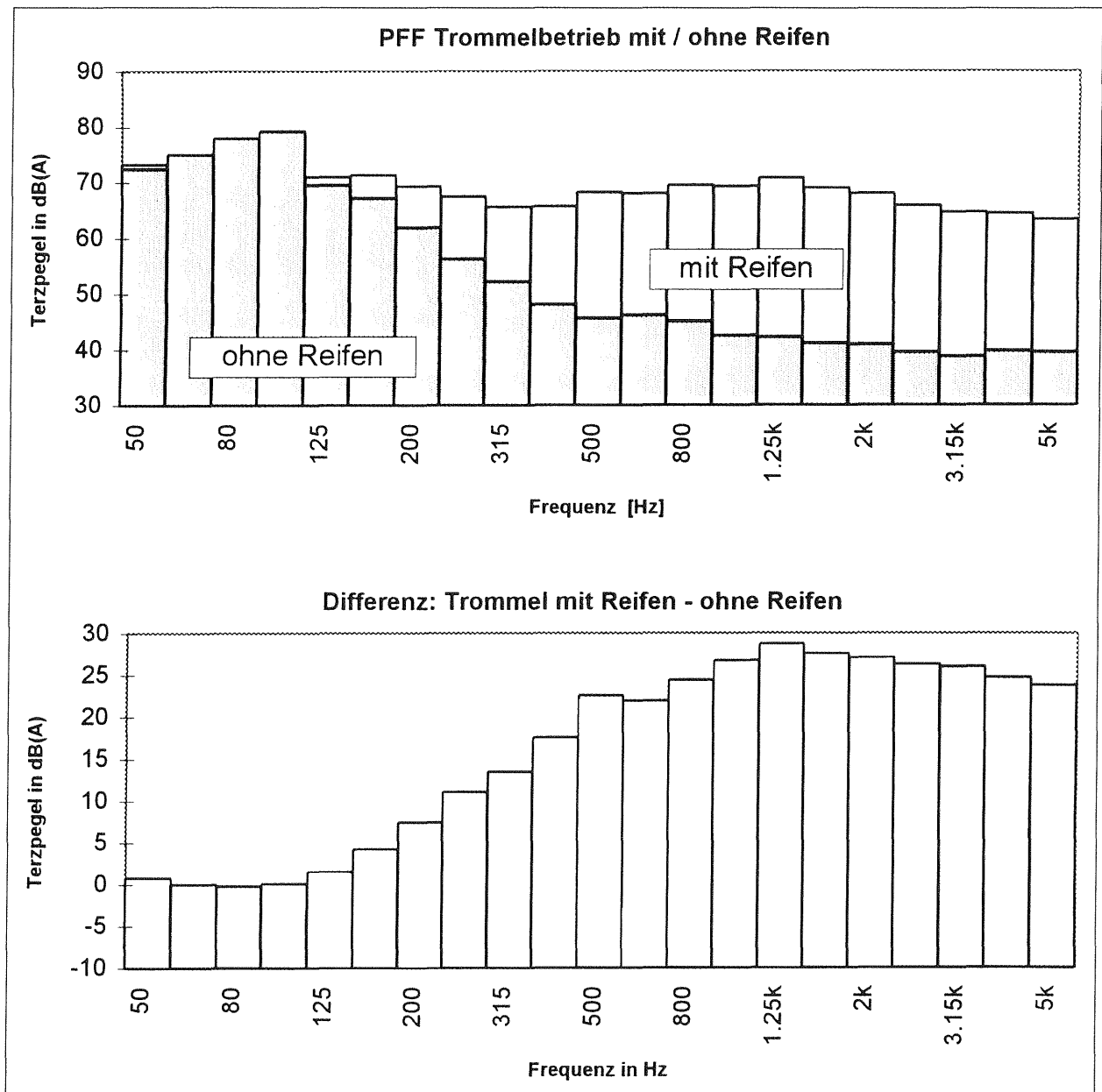


Bild 3.2: Das Eigengeräusch des PFF (ohne Reifen gefahren) im Vergleich zum Geräusch eines leisen, profillosen Reifens auf einem feinkörnigen Schmirgelleinen. Geschwindigkeit: 60 km/h, Meßort: 1 m von der Mitte der Reifenaufgabe entfernt unter 45° zur Laufrichtung

4 Versuchsp Parameter

4.1 Auswahl und Herstellung von Prüfbelägen

Bei der Konzeption von Deckschichten mit einem hohen Lärminderungspotential ist nach dem bisherigen Kenntnisstand dreierlei zu beachten:

- Die Textur der Deckschicht darf nur wenig (Reifen-) Schwingungsgeräusche erzeugen.
- Die Kontaktfläche Reifen/Straße muß möglichst schnell entlüftet werden können, um Air-Pumping-Effekte zu unterdrücken.
- Die Deckschicht soll hohe Schallabsorption ermöglichen [1].

Bei der Entwicklung offenporiger Deckschichten wurde der letztgenannte Punkt vorrangig betrachtet.

Bei geschlossenen Deckschichten muß – wie oben bereits ausgeführt – einerseits eine ausreichende Porosität vorhanden sein, um Air-Pumping-Effekte zu unterdrücken, andererseits soll die Reifenschwingungsanregung minimal sein. Die mittlere Rauhtiefe der Oberfläche einer Deckschicht ist in erster Näherung dem Maximalkorndurchmesser proportional. Es liegt insofern nahe, den prinzipiellen Einfluß der Korngröße auf das Reifen/Fahrbahngeräusch unter Verwendung von Monofractionen ohne Über- und Unterkorn zu untersuchen [9].

Zur Untersuchung des Einflusses der Oberflächentextur auf das Reifenrollgeräusch, die Griffigkeit und den Rollwiderstand wurden neben zwei „Standardfahrbahnen“ die im folgenden beschriebenen Dünnschichtbeläge hergestellt und untersucht.

4.2 Standard- bzw. Referenzfahrbahnen

4.2.1 Asphaltbeton 0/11S unbewittert

Die erste Kassettenfüllung des PFF bestand aus Asphaltbeton 0/11S, der mittels einer Spezialfüllmaschine in die Aluminiumdruckgußkassetten eingefüllt und der Krümmung der Trommel entsprechend eingewalzt wurde. Der Belag zeichnet sich durch einen hohen Bindemittelgehalt an der Oberfläche aus, der auch beim Neubau von Fahrbahndecken ohne Splittabstreuung vorzufinden ist¹. Bild 4.1 zeigt die (sehr glatte) Fahrbahnoberfläche².

4.2.2 Asphaltbeton 0/11S bewittert

Nach Vermessung der unbewitterten AB 0/11S Fahrbahn diente diese Oberfläche als Träger der Dünnschichtbeläge (Kap. 4.3). Nach der Durchführung aller Versuche mit den aufgeklebten Dünnschichtbelägen wurde diese Kassettenfüllung unter Einsatz einer Sandbeimischung gedampfstrahlt und der Bindemittelüberschuß an der Oberfläche abgetragen, so daß die Körnung 0/11 an die Oberfläche trat (Bild 4.2). Die Oberfläche entsprach nun einer unter Verkehr liegenden Asphaltbetondecke 0/11S. Sie wird im folgenden auch „Referenzfahrbahn“ genannt. Im zeitlichen Ablauf war diese Decke die letzte, die untersucht wurde.

4.2.3 Asphaltbeton 0/8 unbewittert

Als weitere Standardfahrbahn stand ein mit einem Asphaltbeton 0/8 befüllter Kassettenatz zur Verfügung. Das Mischgut entspricht ISO 10844, die Deckschicht wird deshalb auch verkürzt als ISO-Fahrbahn bezeichnet.

Auch hier befindet sich herstellungsbedingt ein Bindemittelüberschuß an der Oberfläche, so daß im Ausgangszustand diese Fahrbahn ähnlich glatt war wie die zuvor beschriebene Asphaltbeton-Decke 0/11S. (Es kann davon ausgegangen werden, daß Rollwiderstand und Griffigkeit auf den beiden Neubelegungen 0/8 und 0/11S ähnlich sind, geräuschmäßig besteht ebenso kein gravierender Unterschied (siehe Kap. 6)). Bild 4.3 zeigt ein Foto der Fahrbahndecke.

4.2.4 Asphaltbeton 0/8 bewittert

Ebenso wie die Asphaltbetonbahn 0/11S wurde die Asphaltbetondecke 0/8 als bewitterte (unter Verkehr liegende) Fahrbahn untersucht. Die Bindemittelschicht an der Oberfläche wurde mit Sandzusatz gedampfstrahlt, jedoch nicht in gleichem Maße wie die 0/11S Decke. Die Körner und das Bindemittel bildeten im Anschluß an die Behandlung eine ebene Oberfläche, ohne daß die Körner „herausgearbeitet“ wurden. Die Rauigkeit der Fahrbahndecke wurde nicht erhöht, jedoch wurde die Griffigkeit verbessert. Bild 4.4 zeigt die Fahrbahnoberfläche.

1 Die geplante Reifenrollwiderstandsmessung konnte auf diesem Belag nicht durchgeführt werden, weil das dazu notwendige Meßgestänge der Radaufhängung noch nicht einsatzfähig war.

2 Die Rauigkeits- und Griffigkeitswerte der einzelnen Deckschichten befinden sich in Kapitel 6.



Bild 4.1: Kassettenfüllung Asphaltbeton 0/11S (unbewittert)



Bild 4.2: Kassettenfüllung Asphaltbeton 0/11S (bewittert), Referenzfahrbahn



Bild 4.3: Asphaltbeton 0/8 unbewittert



Bild 4.4: Asphaltbeton 0/8 bewittert

Die bewitterte und unbewitterte Asphaltbetonfahrbahn 0/8 wurde in einem Kassettensatz realisiert. Jede Kassette wurde in Längsrichtung hälftig „bewittert“, so daß ein 25 cm breiter vorderer und ein 25 cm breiter hinterer Fahrbahnring entstand, der einzeln untersucht wurde, indem die Rollspur des Prüfreifens vor- bzw. zurückverfahren wurde.

Da es sich bei allen hier untersuchten Asphaltbetondecken um herkömmlich gefertigte und aus standardisiertem Mischgut und Bindemittel hergestellten Deckschichten handelt, werden diese für die geräuschtechnische Beurteilung zusammengefaßt.

4.3 Dünnschichtbeläge

Zwei Arten von Dünnschichtbelägen wurden untersucht:

- Schmirgelleinen mit unterschiedlichem Korundkorn
- Kaltplastik mit unterschiedlicher Splitt- (bzw. auch eine Korund-) abstreuung.

Bei den Schmirgelleinen handelt es sich um handelsübliches Schleifmaterial mit unterschiedlichen Kornfraktionen für die Holzbearbeitung der Fa. Klingspor. Das scharfkantige Korundmaterial wird bei der Fertigung elektrostatisch aufgeladen und wird dadurch vom Trägermaterial in der Weise angezogen, daß das Korn meist mit seiner größten Fläche in den Kleber fällt. Aufgrund der Tetraederform des Kornes weist es mit der Spitze nach oben. Dieses Verfahren bedingt eine gute Kornhaftung und eine scharfe Oberfläche.

Kaltplastik ist eine Zweikomponentenvergußmasse (Debutz) auf Acrylharzbasis. Der flüssige Kunststoff wurde in eine mit Teflonfolie ausgekleidete Form von 2,50 m Länge und 35 cm Breite gegossen und zur Verstärkung eine Glasfasermatte eingelegt. Die Beläge wurden durch gleichmäßige Aufstreuung von eigens ausgesiebttem Splittmaterial (dito ein Korundmaterial) per Hand von der Fa. Debuschewitz hergestellt und anschließend das nicht haftende Korn abgesaugt. Es wurde darauf geachtet, daß keine Doppelbelegung der Körner erfolgte, d. h. eine dicht gepackte Monokornschicht entstand. Ein Kunstharzfinish zur dauerhaften Fixierung der Körner wurde im Anschluß an den Aufstreuprozeß aufgebracht.

Die Bahnlänge betrug bei beiden Arten der Dünnschichtbeläge 2 m. Die Enden der Bahnen waren auf 45° abgekantet, um Stöße in der Oberfläche zu

vermeiden. Die biegsamen Belagstücke wurden mit doppelseitigem Klebeband Typ Acrylice Foam 4930, weiß, 350 mm Breite der Fa. 3M flächenbündig und blasenfrei auf die an den Kassettenstößen verspachtelte Asphaltbetonfahrbahn 0/11S unbewittert aufgeklebt und „festgefahren“.¹

4.3.1 Schmirgelleinen als Dünnschichtbelag

Bei dem Korundbelag 24 handelt es sich um ein sehr feines Korundkorn der Körnung 0,6–1,0 mm. Bild 4.5 zeigt die Oberfläche des Belages.

Etwas gröberes Korn wurde im Belag Korund 20 verwendet. Der Korndurchmesser betrug 0,7–1,2 mm. Bild 4.6 zeigt die Belagsoberfläche.

Eine noch gröbere Körnung hat der Belag Korund 16. Sie liegt zwischen 1,0 und 1,7 mm. Bild 4.7 zeigt diesen Belag.

Alle Korund-Schmirgelleinenbeläge wurden mit dem zuvor beschriebenen elektrostatischen Verfahren hergestellt und im Prüfstand verklebt.

4.3.2 Dünnschichtbeläge in Kaltplastik

Der zuerst hergestellte Dünnschichtbelag bestand aus speziell unter Laborbedingungen ausgesiebttem Splittmaterial der Korngröße 2,0 mm bis 2,8 mm.

Das Material wurde mit einer Walze leicht in das Kaltplastikmaterial eingedrückt. Dadurch kam es jedoch zum „Umfallen“ der Körner, und es entstand – auch durch das Kunstharzfinish bedingt – eine unrealistisch glatte Oberfläche. Bild 4.8 zeigt die Oberfläche. Bei einer Rauhtiefe von 1,03 mm betrug die Griffigkeit der Oberfläche nur 35,3 SRT-Einheiten. Dieser Wert liegt deutlich unterhalb des Schwellenwertes für die Bewertung von Fahrbahnoberflächen mit dem SRT-Gerät [10] (siehe auch Kap. 5.3).

Daher wurde dieser Dünnschichtbelag nicht weiter untersucht. Bei einer zweiten Herstellung desselben Belages wurde auf das Festdrücken per Walze verzichtet. Das Splittmaterial 2,0–2,8 mm wurde nur aufgestreut und die nicht haftenden Körner abgesaugt. Bild 4.9 zeigt die Oberfläche der 2. Herstellung.

¹ Andere Klebeverfahren, z. B. mit Bitumenmaterial oder Heißkleber, wurden zuvor getestet, aber verworfen, weil entweder die Klebung nicht ausreichend war oder die Entfernung des Belages nicht restlos erfolgen konnte.

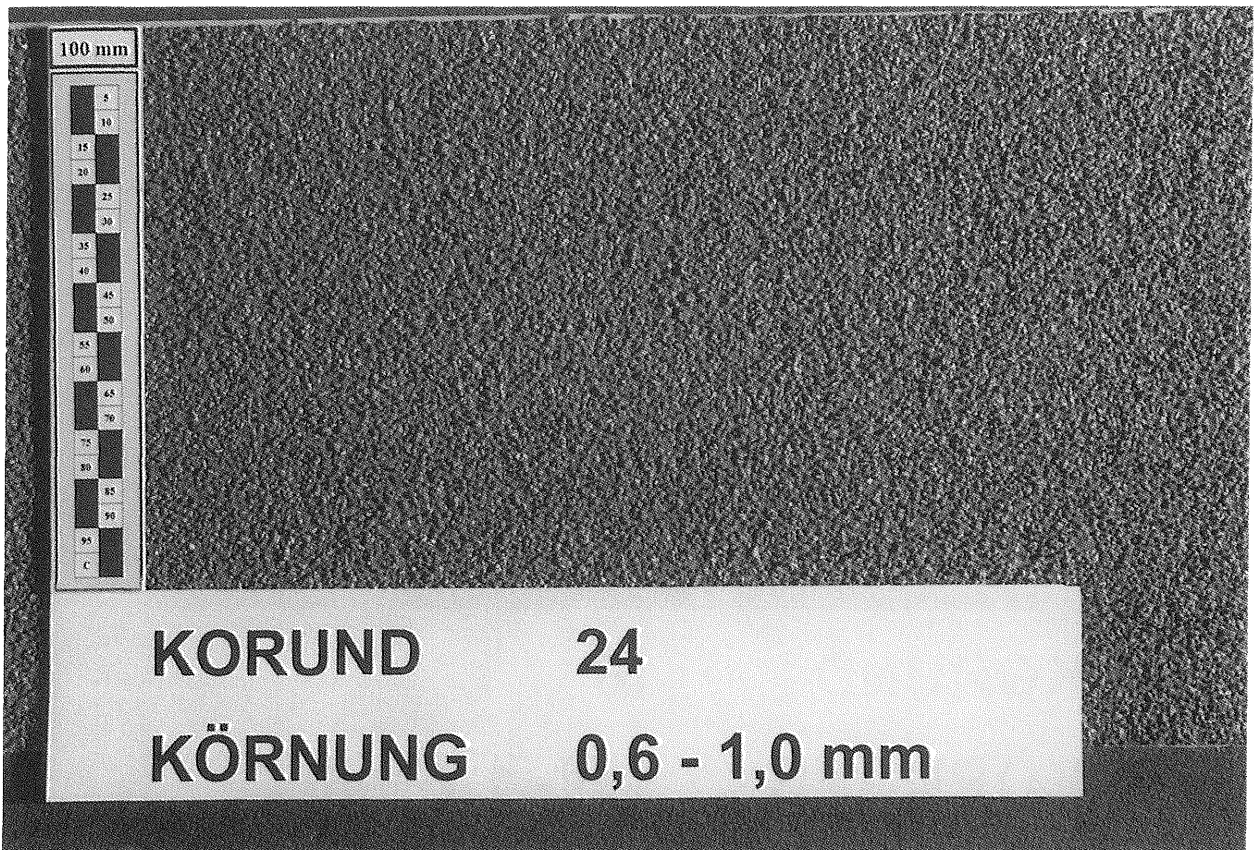


Bild 4.5: Schmirgelleinen Korund 24

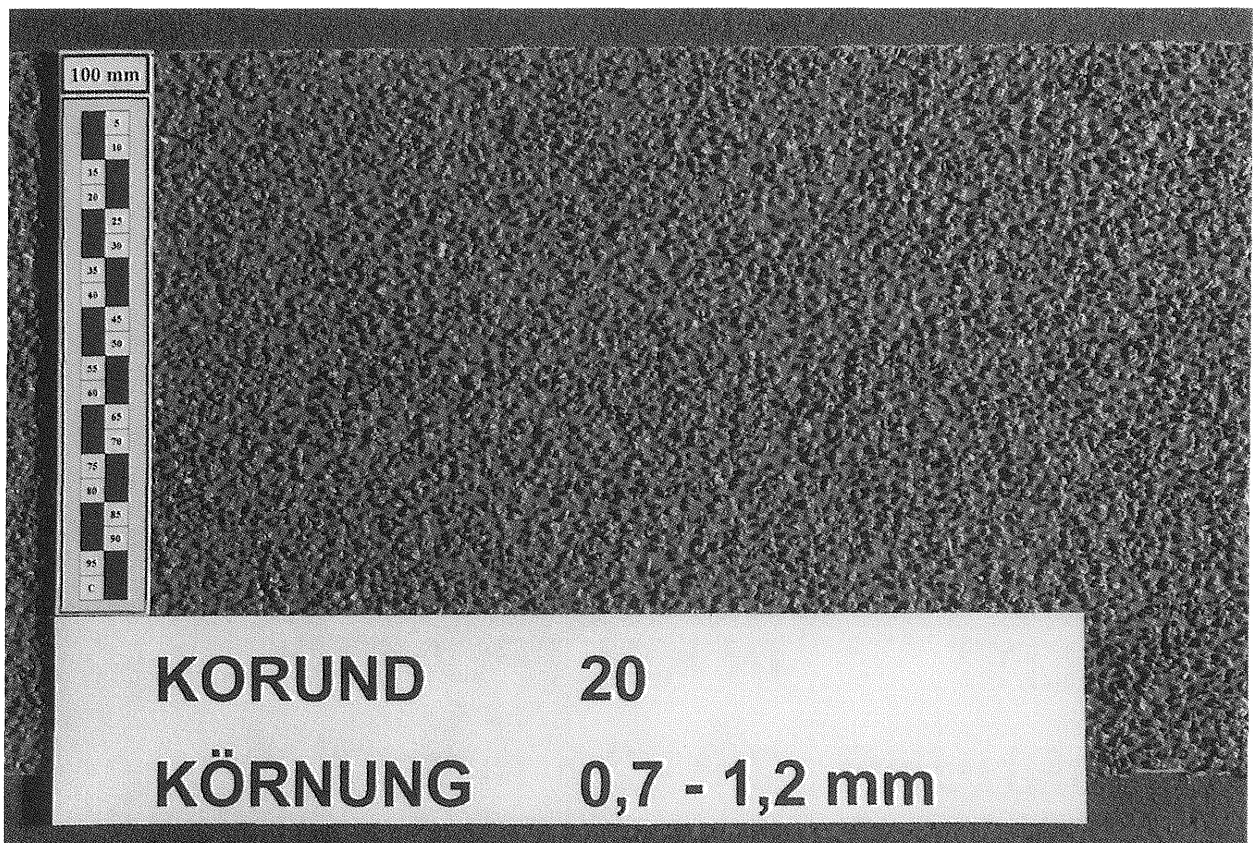


Bild 4.6: Schmirgelleinen Korund 20



Bild 4.7: Schmirgelleinen Korund 16



Bild 4.8: Dünnschichtbelag Splitt in Kaltplastik 2,0–2,8 mm, gewalzt

Die Erfahrung des ersten Herstellungsversuchs führte dazu, daß alle folgenden Beläge ohne Andrücken des Kornes hergestellt wurden.

Es folgte die Herstellung, Verklebung und Untersuchung der Splittabstreuung in Kaltplastik mit der Korngröße 4,0–5,6 mm, Bild 4.10.

Anschließend wurde die Splittabstreuung mit der Korngröße 8–11 mm hergestellt und untersucht, siehe Bild 4.11.

Die letzte Belegung der Trommel des PFF erfolgte durch zwei Dünnschichtbeläge. Einerseits sollte eine im Handel erhältliche Abstreuung untersucht werden – hierbei handelt es sich um Splittmaterial der Korngröße 0,7–1,4 mm, welches z. B. bei der Beseitigung von Fahrbahnmarkierungen nach Ausfräsung zur Oberflächenangleichung in Kaltplastik vergossen verwendet wird –, und andererseits sollte das Korundmaterial der Körnung 1,0–1,7 mm, welches als Schmirgelleinen 16 untersucht worden war, im Herstellungsprozeß durch Aufstreuen in Kaltplastik (nicht elektrostatische Aufbringung wie beim Schmirgelleinen) untersucht werden.

Bei gleicher Korngröße des Korundmaterials kann der Einfluß des Herstellungsprozesses (Aufstreuen gegenüber elektrostatischer Aufbringung) auf das Reifen/Fahrbahngeräusch bzw. den Rollwiderstand untersucht werden.

Je eine Umfangshälfte der Trommel des PFF wurde mit dem einen bzw. dem anderen Dünnschichtbelag belegt. Die Meßtechnik bei der Geräuschemessung wurde so geschaltet, daß bei kontinuierlichem Umlauf der Trommel die Meßwerte des einen Belages in einem Speicher und die Meßwerte des anderen Belages in einem anderen Speicher abgelegt werden konnten.

Dieses meßtechnische und versuchstechnische Verfahren wurde hier erstmalig ausprobiert und war sehr zufriedenstellend. Eine erhebliche Kostensparnis für zukünftige Versuche wird durch die Anwendung dieser Technik erreicht.

Die Bilder 4.12 und 4.13 zeigen die beiden letztgenannten Dünnschichtbeläge.



Bild 4.9: Dünnschichtbelag Splitt in Kaltplastik 2,0–2,8 mm, aufgestreut



Bild 4.10: Dünnschichtbelag Splitt in Kaltplastik 4,0–5,6 mm, aufgestreut



Bild 4.11: Dünnschichtbelag Splitt in Kaltplastik 8–11 mm, aufgestreut



Bild 4.12: Dünnschichtbelag Splitt in Kaltplastik 0,7 – 1,4 mm, aufgestreut



Bild 4.13: Dünnschichtbelag Korund in Kaltplastik, Körnung 1,0 – 1,7 mm, aufgestreut

4.4 Auswahl der Reifen

Die Messungen sollten primär mit den in den „Verfahren zur Messung der Geräuschemission von Straßenoberflächen (GStrO-92)“ [11] empfohlenen Reifen

- BAST-Nr. 21 Continental 195/65 HR 15
 22 Pirelli 205/60 VR 15
 23 Goodyear 175/70 SR 13
 24 Michelin 155/70 SR 13

durchgeführt werden. Es wird erwartet, daß der Pegel-Mittelwert über diese Reifen den Mittelwert eines statistisch ausreichenden Reifenensembles innerhalb einer Meßunsicherheit von ± 1 dB (A) repräsentiert. Für die Differenz der Emissionen auf zwei unterschiedlichen Decken bedeutet dies eine Meßunsicherheit von $\pm 1,5$ dB (A).

Die Reifen wurden bei einer Radlast von 3,5 kN und einem Innendruck von 2 bar gefahren.

Die Rollwiderstandsmessungen wurden mit den gleichen vier Reifen durchgeführt.

Reifengröße	Hersteller Bemerkungen	Felgenreöße	Baujahr
195/65 R 15	Conti	6 J 15 H2	31/91
91 H CH 90	GStrO-92		
205/60 R 15	Pirelli	7 J 15 H2	36/91
91 V (P 600)	GStrO-92		
175/70 R 13	Good Year (Vector)	5,5 J 13 H2	27/91
82 T	GStrO-92		
155/70 R 13	Michelin	4,5 J 13 H2	51/90
75 T	GStrO-92		
185 R 14	Uniroyal (Leicht-Lkw)	5,5 J 14	1/92
185 R 14	Uniroyal (Leicht-Lkw)	5,5 J 14	39/92
155 R 13	Conti (Notreifen)	4,5 J 13	01/85
78 M CST 16			
165 R 15	Majola (Längsrillen)	4 J 15	1990
PIARC			
165 R 15	Majola (Slick)	4 J 15	1990
PIARC			
175/70 R 13	Michelin	4,5 J 13	15/87
82 T			
195/70 R 14	Continental	5,5 J 14	03/88
CH 51			

Tab. 4: Reifenauswahl zur Geräuschemessung

Zur Absicherung der akustischen Meßergebnisse wurden zwei weitere Pkw-Reifen sowie zwei Reifen für leichte Lkw vermessen. Um möglicherweise den Einfluß der beiden Erzeugungsmechanismen für

die Reifen/Fahrbahngeräusche – Schwingungsanregung der Reifendecke und Air-Pumping-Effekte – zu trennen, wurden zusätzlich zwei Sonderreifen – ein glatter Reifen ohne Profil und ein Reifen mit Längsrillen – verwendet. Die Ergebnisse dieser zusätzlichen Untersuchungen sind allerdings nicht Gegenstand dieses Berichtes. Sie werden gesondert ausgewertet. Tab. 4.1 gibt einen Überblick über die verwendeten Reifen.

4.5 Auswahl der Geschwindigkeiten

Der Geschwindigkeitsmeßbereich wurde auf 60 km/h bis 120 km/h festgelegt. Zur Einsparung von Meßzeit wurden die Geräusche innerhalb dieses Bereiches nicht kontinuierlich aufgenommen, sondern bei diskreten Geschwindigkeiten: 60, 80, 100 und 120 km/h. Eventuell für Zwischengeschwindigkeiten benötigte Geräuschpegel können interpoliert werden.

Für die Rollwiderstandsmessung wurden nach DIN ISO 8767 50 km/h, 90 km/h und 120 km/h als Prüfungsgeschwindigkeiten gewählt.

5 Meßtechnik

5.1 Geräuschemessung

Auswahl der Meßorte:

Zur Bewertung des Reifen/Fahrbahngeräusches von Pkw-Reifen sind zwei Meßverfahren gebräuchlich:

- Messung des maximalen Vorbeifahrtpegels eines angetriebenen oder frei rollenden Pkw in 7,5 m Entfernung und 1,2 m Höhe über der Straßenoberfläche
- Messung des Abrollgeräusches eines Reifens, der in einem Anhänger hinter einem Zugfahrzeug geschleppt wird. Die Meßentfernungen sind naturgemäß geringer. Sie liegen unter einem Meter. Bei so geringen Meßentfernungen wirkt sich die Abstrahlcharakteristik der Schallquelle „Reifen“ in erheblichem Maße auf den Meßwert aus. Daher werden in der Regel zwei Messungen durchgeführt, jeweils unter einem Winkel von 45° zur und entgegen der Rollrichtung und die Ergebnisse energetisch gemittelt.

Beide Meßverfahren sollten am PFF nachgebildet und miteinander verglichen werden. Somit ergaben sich sechs Meßorte, je drei in 1 m und 7,5 m Entfernung zur Mitte der Reifenaufstandsfläche, ausge-

richtet unter 45° zur und entgegen der Reifenrollrichtung sowie senkrecht unter 0° (Bild 5.1). Die Meßhöhe in 1,5 m Entfernung betrug 1,2 m, in 1 m Entfernung 0,28 m.

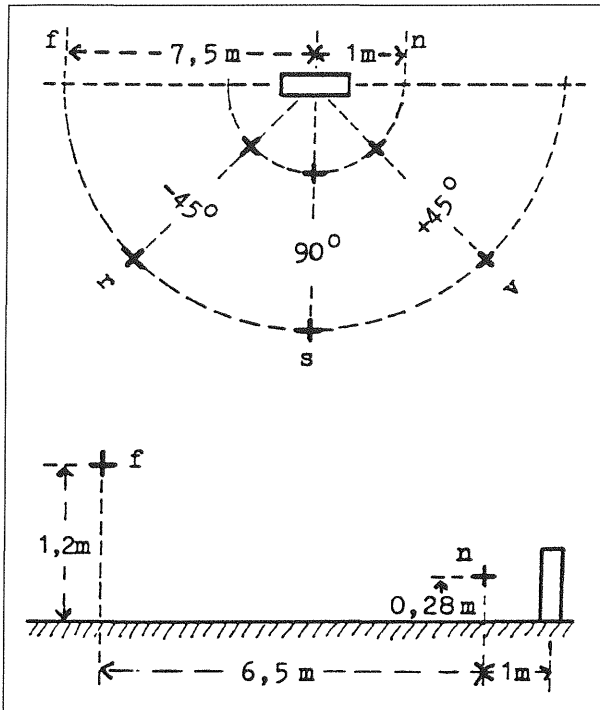


Bild 5.1: Mikrofonanordnung zur Messung der Reifen/Fahrbahngeräusche am PFF

Meßkette und Meßverfahren:

Die Reifen/Fahrbahngeräusche wurden, wie in Bild 5.2 dargestellt, über die Meßkette

- Mikrofon (Typ B+K 4165)
- Vorverstärker (Typ 2639)
- Zweikanalechtzeitanalysator (Typ 2133) zur Direktauswertung der A-bewerteten Summenpegel und Terzspektren (bzw. parallel dazu Registrierung durch ein Zweikanaltonbandgerät) aufgenommen.

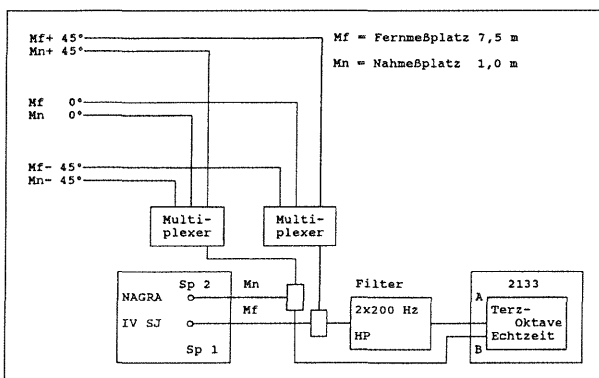


Bild 5.2: Skizze der Meßkette zur Aufnahme der Reifen/Fahrbahngeräusche am PFF

Zur Messung der Reifengeräuschpegel wurde die Trommel etwas über die gewünschte Geschwindigkeit hochgefahren, z. B. auf 65 km/h, der Trommelantrieb abgeschaltet und das Geräusch 30 Sekunden lang während des Trommelauslaufs aufgenommen, z. B. zwischen den Geschwindigkeiten 61 km/h bis 59 km/h.

An jeweils 2 einander zugeordneten Meßorten in 7,5 m und 1 m Entfernung wurde gleichzeitig gemessen (Pegelaufnahme durch den Zweikanal-Echtzeitanalysator Typ B+K 2133). Befanden sich zwei verschiedene Beläge hintereinander auf der Trommel, wurde nur an einem Ort gemessen, und die Meßsignale der beiden Beläge wurden, durch einen Chopper getrennt, in die Analysator Kanäle A und B eingegeben.

5.2 Rauhtiefe

In der Straßenbautechnik wurden zur Charakterisierung der Eigenschaften von Fahrhahnoberflächen unterschiedliche Verfahren und Geräte entwickelt, mit denen eine meßtechnische Beschreibung der wichtigsten Oberflächenkennwerte ermöglicht wird. Eine schematische Darstellung (Bild 5.3) verdeutlicht die Zusammenhänge und die vielfältigen und gegenseitigen Abhängigkeiten der Faktoren, die aus bautechnischer Sicht zwischen den Eingangs- und Zielgrößen bei der Optimierung der Oberflächeneigenschaften von Fahrhahnbelägen wirksam werden. Als Grundeigenschaften sind hierbei die Ebenheit und die Rauheit der Fahrhahnen als wichtigste Kenngröße zur Beschreibung der Paarung Reifen/Fahrbahn von besonderem Interesse. Hiermit eng verknüpft sind die Griffigkeit, das Rollgeräusch und der Rollwiderstand als abgeleitete Eigenschaften neben der sicherheitsrelevanten Beschaffenheit der Fahrhahn – Wasserabfluß und fahrdynamische Wirksamkeit [12].

Für Messungen der Griffigkeit, Rauheit und Ebenheit im Labor und auf der Straße werden stationäre oder mobile Meßverfahren oder -systeme eingesetzt, wobei zur Bestimmung der Rauheit das Sandflächenverfahren [13] und zur Griffigkeitsmessung das SRT-Pendel [18] (s. Kap. 6.3) häufig verwendet werden.

5.2.1 Sandflächenmessung

Unter Rauheit versteht man die geometrische Gestalt von Fahrhahnoberflächen (Makro- oder Grobtextur). Zur weitgehend einfachen meßtechnischen Erfassung der Rauheit von Straßen hat sich in der Straßenbautechnik die Sandflächenmethode be-

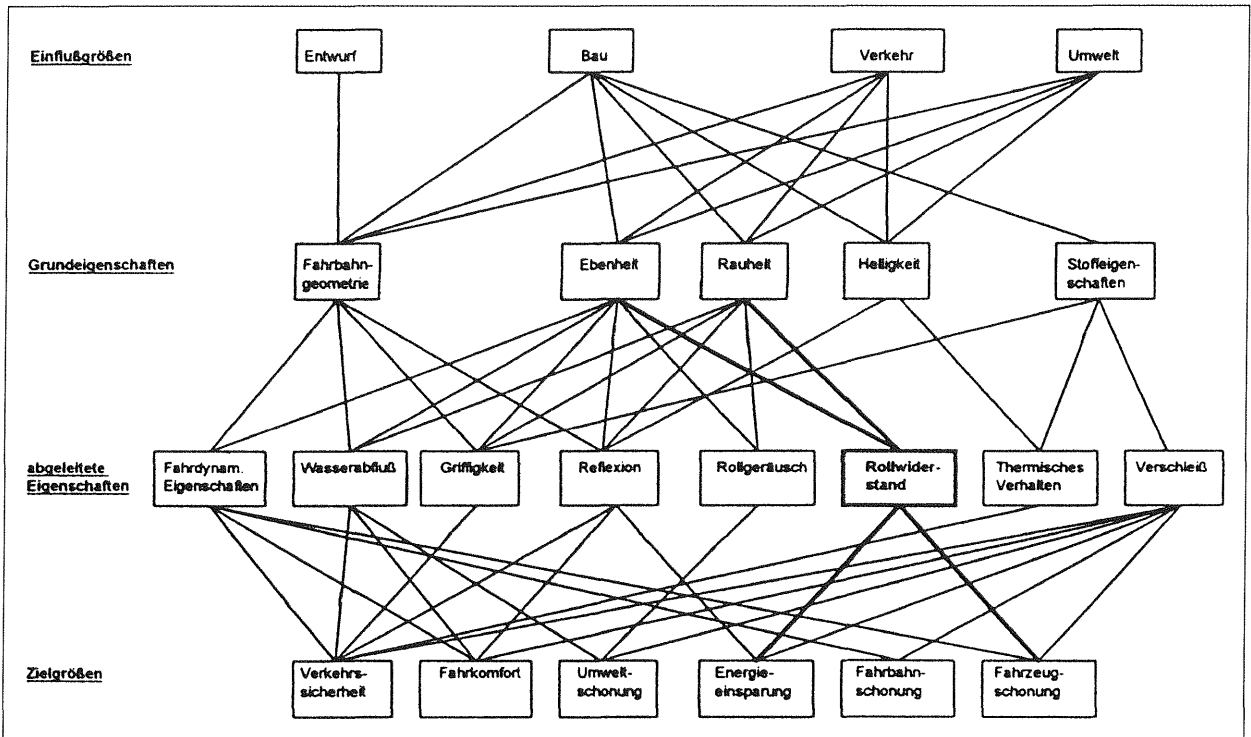


Bild 5.3: Zusammenhang zwischen den Eingangs- und Zielgrößen bei der Optimierung der Oberflächeneigenschaften von Straßen

währt. Hierbei wird ein bekanntes Volumen von Quarzsand der Körnung 0,08 mm bis 0,2 mm mit Hilfe einer 5 – 10 cm im Durchmesser messenden Holz- oder Hartgummischeibe so lange auf der Belagsoberfläche kreisförmig verteilt, bis alle Hohlräume zwischen den Gesteinsspitzen aufgefüllt sind. Die mittlere Glättungstiefe R_p als Maß für die Makrotextur wird dadurch bestimmt, indem das Materialvolumen durch die erhaltene Fläche dividiert wird (Bild 5.4).

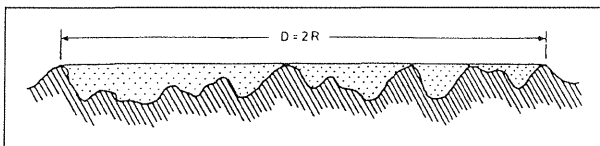


Bild 5.4: Schnitt (vergrößert) durch die Fahrbahndecke, mit Sand ausgefüllt

Die Messung wird üblicherweise an sechs Stellen der Fahrbahnoberfläche durchgeführt und ein Mittelwert der Rauhtiefe aus den sechs Meßwerten bestimmt.

Die Sandflächenmethode eignet sich besonders zur Unterscheidung von Oberflächen mit wenig Grobrauheit von solchen mit viel Grobrauheit homogener, gleichartiger Struktur. Sobald jedoch der Grad der Grobrauheit sehr gering wird und die Vertiefungen zwischen den Rauheitselementen sich

der Korngröße des verwendeten Sandes nähern, läßt das Unterscheidungsvermögen dieser Methode nach. Bei größeren Rauhtiefen werden – insbesondere bei freistehendem Korn – und bei offenporigen Decken wegen des hohen Hohlraumgehaltes und hiermit verbunden durch eine erhöhte Aufnahme des Sandes, scheinbar höhere Rauhtiefenwerte gemessen. Bei der praktischen Anwendung des Verfahrens sind daher die prinzipbedingten physikalischen Grenzen des Sandflächenverfahrens zu berücksichtigen.

5.2.2 Laserabtastung

Wegen der zuvor genannten Schwierigkeiten des Sandflächenverfahrens bei der Anwendung auf Oberflächen mit geringer Rauhtiefe oder mit hohem Hohlraumgehalt (z. B. Drainasphalt oder lärmarme Decken, sog. Flüsterasphalt) wurde ein neues Meßsystem auf optischer Basis entwickelt. Das Lasermeßsystem besteht aus einem optischen Meßkopf zur Höhenmessung des Oberflächenprofils und aus einer mechanischen Lineareinheit zum Verfahren und Positionieren des Meßkopfes. Das System ist sowohl am Prüfstand für Messungen der Quer- und Längsebenheit – die Fahrbahn wird im letzteren Fall unterhalb des Systems bewegt – als auch bei mobilen Einsätzen auf der Straße verwendbar. Hier wird die Meßlänge lediglich durch die maximale Verfah-

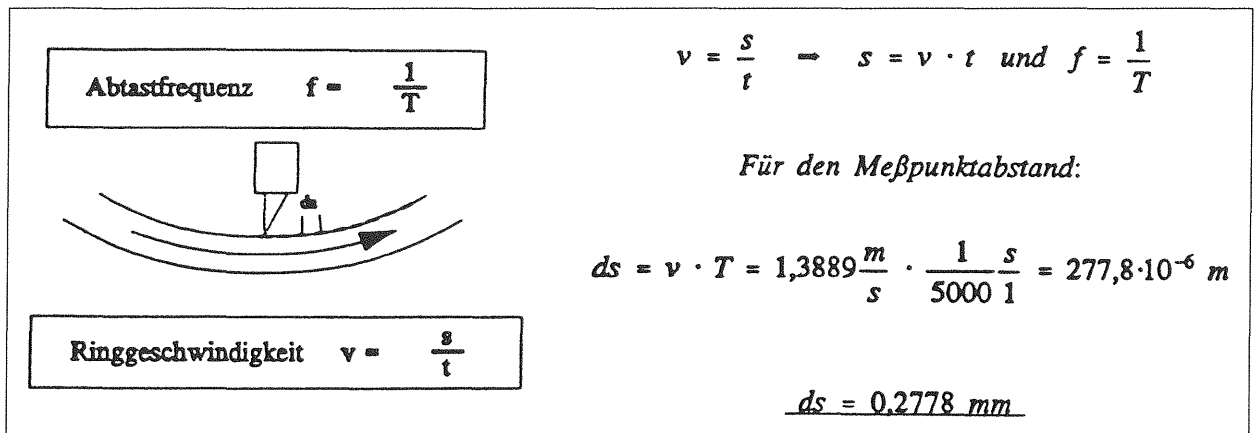


Bild 5.5: Prinzip der optischen Abtastung

breite der Lineareinheit begrenzt. Die Steuerung der Lineareinheit und die Meßdatenerfassung erfolgen zentral von einem PC aus. Die Meßeigenschaften des Gesamtsystems werden hauptsächlich von den optischen Daten des Meßkopfes und der nachgeschalteten Systeme der Datenverarbeitung bestimmt. Folgende Systemparameter sind daran beteiligt:

- Leuchtfleckdurchmesser des Laserlichtstrahls
- Datenrate der internen Signalverarbeitung des Meßkopfes
- Abtastrate der PC-gestützten Analog-Digital-Wandlung
- Abtastgeschwindigkeit (im Prüfstand Fahrgeschwindigkeit der Fahrbahn)
- bei Querebenen- oder Straßenmessung Verfahrensgeschwindigkeit des Meßkopfes bzw. der Lineareinheit.

Mit den Kenndaten des realisierten Meßsystems (Bild 5.5)

- Lichtpunktdurchmesser = 0,2 mm
- Abtastrate = 5000/s
- Fahrbahngeschwindigkeit = 1,389 m/s

ergibt sich für Längsebenenmessungen im Prüfstand eine Ortsauflösung von 0,28 mm.

Durch Verringerung der Geschwindigkeit des Kreisringes – die kleinste einstellbare Geschwindigkeit im PFF beträgt 1 km/h = 0,28 m/s – oder durch Erhöhung der Abtastfrequenz auf der Datenerfassungsseite ist eine Steigerung der Auflösung bis zur theoretischen Grenze von 0,1 mm möglich (vgl. hierzu [14]). Die Anordnung der Komponenten des Gesamtsystems und deren Verknüpfung sind in Bild 5.6 dargestellt.

Die Erfassung der Meßdaten des Lasers, sowie die Ansteuerung und Überwachung der Lineareinheit geschieht durch ein Steuer- und Meßprogramm, das mit Hilfe der Echtzeitprogramm-bibliothek RTEDAS entwickelt wurde [15].

Die Messung des Längsprofils erfolgte an vier vorher festgelegten Meßspuren, von denen drei im Bereich der Rollspur der Prüfreifen und eine außerhalb der Fahrspur festgelegt wurden (Bild 5.7). Nach der Profilmessung wurden mit einem Hilfsprogramm Meßaussetzer, die bei einer optischen Abtastung unvermeidlich sind, durch Interpolation zwischen benachbarten Meßdaten ersetzt und die Datensätze auf die Länge einer Umdrehung der Fahrbahn mit einem Umfang von 17 m gekürzt.

Für die Rauhtiefenbestimmung von Fahrbahnprofilen, die mit mechanischen oder optischen Abtastern gemessen worden sind, wurden in der Vergangenheit verschiedene Verfahren entwickelt, deren internationale Normung demnächst zu erwarten ist. Von diesen bekannten Auswertansätzen hat sich das Verfahren nach FIGE bewährt, das in Anlehnung an das Sandflächenverfahren die Einhüllende der Maxima der Profilhöhenwerte ermittelt [16]. Diese Methode ist Grundlage der hier angewandten Rauhtiefenbestimmung.

Dem gemessenen Profil mit äquidistanten Meßwerten wird zunächst eine Gerade mit geringer Steigung ($m < 1\%$) überlagert. Weiterhin wird eine Treppenfunktion bestimmt, die durch die Maxima des Profils verläuft und das momentane Maximum bis zum nächsthöheren Wert beibehält. Durch diese Treppenfunktion wird eine Ausgleichsgerade gelegt. Die Ausgleichsgerade wird nunmehr von der Profilkurve, der die Gerade mit geringer Steigung noch überlagert ist, subtrahiert, so daß die

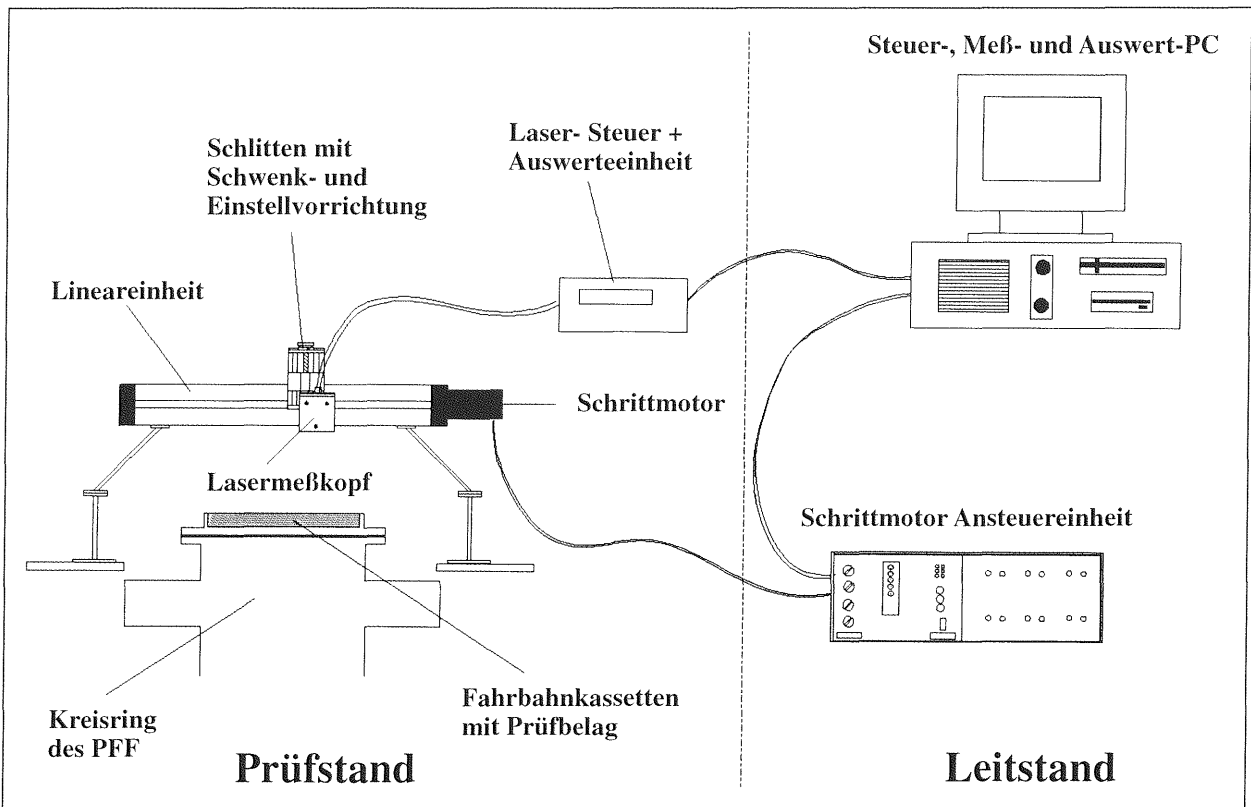


Bild 5.6: Verknüpfung der einzelnen Komponenten des Laser-Meßsystems

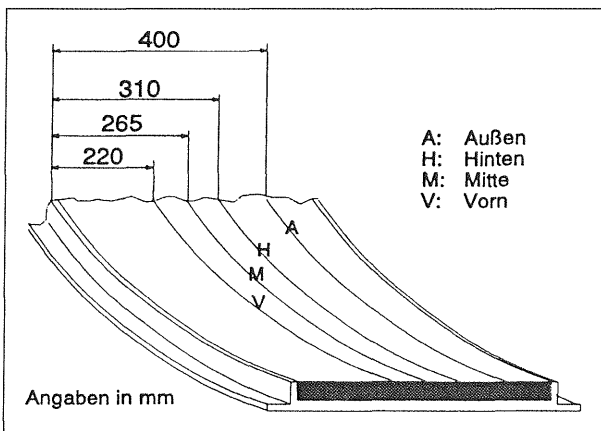


Bild 5.7: Lage der Meßspuren der Längsprofilmessung im PFF

Maxima des Originalprofils auf einer Hüllkurve mit der Steigung Null liegen. Nach Abzug des gefundenen Maximums von der rektifizierten Kurve läßt sich der Wert der mittleren Rauhtiefe unmittelbar bestimmen. Die einzelnen Schritte dieses Verfahrens sind in Bild 5.2.6 dargestellt.

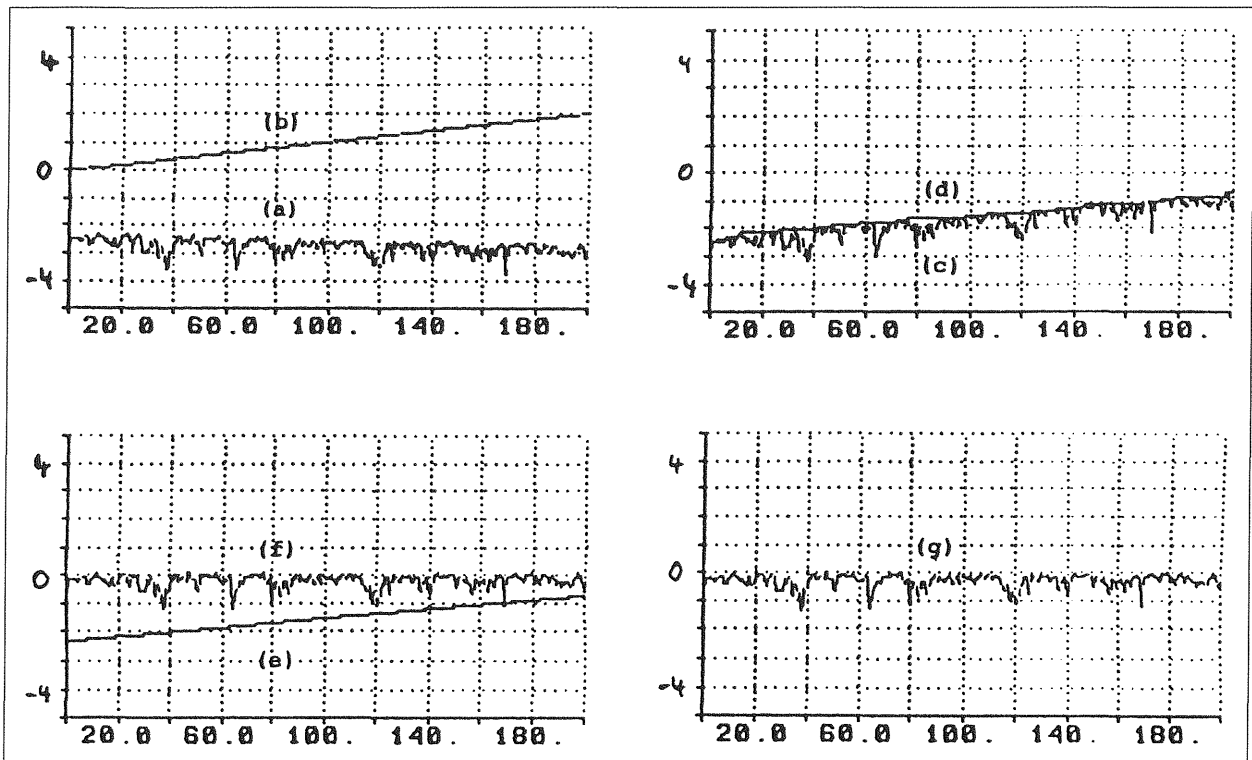
Ein vereinfachter Ansatz, der auf die Überlagerung mit der Geraden verzichtet und eine Rektifizierung durch Bestimmung einer Ausgleichsfunktion des gemessenen Profils vornimmt, wurde für den bei der BASt vorhandenen DIRA-Taster entwickelt und

mit ebenso gutem Ergebnis wie mit der Bewertungsmethode nach FIGE erprobt [17].

Für die Rauhtiefenbestimmung der in dieser Arbeit durchgeführten Profilmessungen wurde ein drittes Verfahren entwickelt. Hierbei wird auf die Berechnung einer Ausgleichsgeraden durch die Originalfunktion verzichtet und stattdessen eine Hochpaßfilterung der Zeitfunktion des Profils durchgeführt. Als Ergebnis erhält man einen Ausgleich und eine Rektifizierung des Profilverlaufs (Bild 5.9).

Der Vorteil des Verfahrens besteht insbesondere in dem geringen Rechenaufwand, so daß dieses Verfahren insbesondere für größere Datensätze und, hiermit verbunden, größere Profilmesslängen geeignet ist. Weiterhin sind auch komplexe Profile mit Gestaltabweichungen höherer Ordnung gut auszuwerten.

Das Maximum des gefilterten Profils entspricht der mittleren Rauhtiefe des betrachteten Intervalles. Aus dem Profilverlauf lassen sich nunmehr entweder für die gesamte erfaßte Länge (im PFF 17 m), für Teilbereiche – z. B. für Längen im Bereich von 15–20 cm – oder auch nur für 50 mm – dies entspräche dem Stempeldurchmesser des Sandflächenverfahrens – einzelne Rauhtiefenwerte entnehmen oder gemittelte Werte bestimmen.



(a) Ausgangszustand
 (b) Gerade
 (c) Addition: (a) + (b)
 (d) Hüllkurve der Maxima
 (e) Ausgleichsgerade der Hüllkurve
 (f) Subtraktion: (c) - (e)
 (g) normiertes Ausgangsprofil mit Maximum = 0

Bild 5.8: Prinzip der Methode FIGE

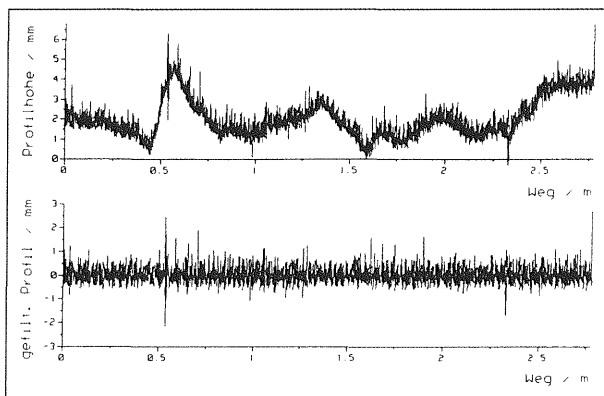


Bild 5.9: Rauhtiefenbestimmung nach dem Filterverfahren
 a) Original-Profil b) gefilterter Profilverlauf

Ein Vergleich der mittleren Rauhtiefen, die mit dem DIRA-Taster aufgenommen und nach der Methode FIGE bzw. BAST ausgewertet wurden [17], mit den Ergebnissen der Laserabtastung im PFF, die mit dem neuen Verfahren ermittelt wurden, ergab eine gute Übereinstimmung der unterschiedlichen Abtast- und Auswertemethoden [14].

5.3 Griffigkeit

Zum Erfassen der Griffigkeit einer Fahrbahnoberfläche ist das SRT-Pendelgerät (Skid Resistance Tester) das am meisten verbreitete Instrument (Bild

5.10). Hierbei handelt es sich um einen, an einem Dreipunktgestell gelagert aufgehängten Pendelarm, der mit einem federnden Gleitschuh aus Gummi versehen ist [18].

Beim Durchschwingen des Pendels sorgt die Feder des Gleitschuhes für eine annähernd konstante Kraft gegen die zu prüfende Oberfläche, die vor Beginn einer Messung angenäht wird. Die Geschwindigkeit des Pendels beträgt etwa 10 km/h. Das Maß für die Griffigkeit der Oberfläche ist der Verlust an potentieller Energie, den das Pendel durch das Gleiten der Gummikante über die eingestellte Reiblänge über die Prüfoberfläche erfährt. Der Energieverlust wird über die Steighöhe des Pendels mit Hilfe des Schleppteigers meßtechnisch erfaßt. Das Problem bei der Anwendung des Pendelmeßgerätes besteht darin, daß es infolge der niedrigen Meßgeschwindigkeit nur unter bestimmten Voraussetzungen einen Schluß auf die Griffigkeit bei höheren Fahrgeschwindigkeiten zuläßt. Dies ergaben Vergleiche zu der Standardmeßmethode des blockierenden Schlepprades. Des weiteren sind die Meßergebnisse des Pendelgerätes durch die sich ändernden Dämpfungseigenschaften des Gummis in nicht vernachlässigbarem Maße temperaturabhängig. Dieser Einfluß wird nach der Messung durch Anwendung einer Korrekturkurve, die den Meßwert auf eine Normaltemperatur bezieht, weitge-

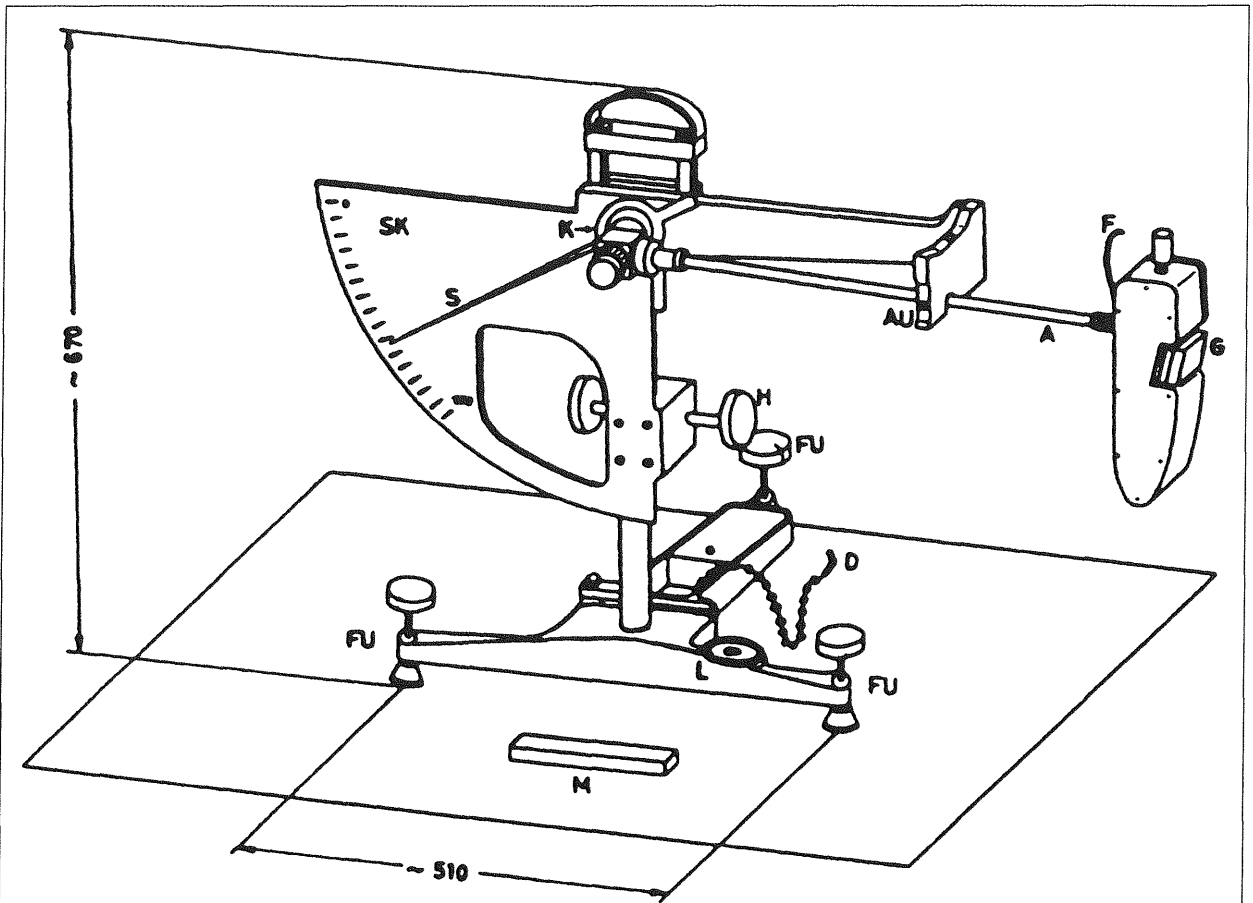


Abb. 1: Pendelgerät; Maße in mm

- | | | | |
|----|---|---|---|
| FU | Fußschrauben des Basisgestells | G | Gleitkörper gemäß Abb. 2 |
| L | Dosenlibelle | F | Federnder Hebel zum Anheben des Gleitkörpers |
| SK | Skalenschild | D | Distanzstück zur Grobeinstellung der Reiblänge |
| K | Lagerkopf | M | Maßstab für die Reiblänge mit der Aufschrift „Gemäß Arbeitsanweisung der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen“, siehe Abb. 4 |
| A | Pendelarm | | |
| S | Schleppzeiger | | |
| AU | Auslöseknopf | | |
| H | Handrad zum vertikalen Verschieben der Einheit Skalenschild/Lagerkopf | | |

Bild 5.10: SRT-Pendelgerät

hend ausgeschaltet. Durch Vergleich der Meßwerte des SRT-Pendels mit Ergebnissen von Messungen mit anderen Griffigkeitssystemen (SRM- und SCRIM-Fahrzeug)¹ wurden ein Grenz- und Schwellenwert für SRT-Messungen für eine noch ausreichende Griffigkeit eines Fahrbelages definiert (Tab. 5.1).

Beurteilungswert	SRT-Wert [-]
Warnwert	50
Schwellenwert	45

Tab. 5.1: Warn- und Schwellenwert in SRT-Einheiten zur Beurteilung der Griffigkeit von Fahrbelägen

5.4 Textur

Zur Erfassung der Längsebenheit auf der Straße werden vorwiegend Systeme mit optischen Abstandssensoren zur berührungslosen Höhenvermessung der Oberfläche eingesetzt. Zur Bewertung von Fahrbelagunebenheiten und zur Ermittlung von wellenlängenbezogenen Texturwerten aus den gemessenen Höhenprofilen der Oberflächen wurden weitgehend standardisierte Verfahren entwickelt [19] [20], bei denen drei Klassen von Wellen-

1 – Stuttgarter Reibungsmesser
– Side Force Coefficient Routine Investigation Machine

längen der Unebenheiten in Längsrichtung definiert werden:

- Megatextur (MT): 100–500 mm
- Grobtextur (GT) : 10–100 mm
- Feintextur (FT) : 0,3– 10 mm.¹

Als Texturkennwert wird der Effektivwert der Amplituden (RMS-Wert = Root Mean Square) der Profilhöhen innerhalb des jeweiligen Wellenlängenbereiches angegeben. Die jeweiligen Wellenlängenbereiche der Ortsfunktion des Profils können drei Frequenzbereichen der Zeitfunktion des Fahrprofil gleichgesetzt und durch eine frequenzselektive Filterung gewonnen werden, da die Wegfrequenz des abgetasteten Profils mit der dazugehörigen Wellenlänge über die Fahrgeschwindigkeit bei der Messung verknüpft ist nach:

$$f = \frac{v}{L}$$

mit f = Frequenz der Profil-Zeitfunktion
in Hz (1/s)

v = Fahrgeschwindigkeit während der
Messung in m/s

L = Wellenlänge des Profils der Fahrbahn in m.

Bei dem am PFF eingesetzten optischen Lasermeßsystem wurden rekursive, digitale Bandpaßfilter (Butterworth-Filter 4. Ordnung) für die drei Wellenlängenbereiche implementiert. Als Geschwindigkeit der Fahrbahn während der Profilmessung im Prüfstand wurde ein Wert von 5 km/h gewählt, so daß sich damit folgende Eckfrequenzen der Bewertungfilter ergeben:

- Megatextur (MT): 2,8–14 Hz
- Grobtextur (GT) : 14–139 Hz
- Feintextur (FT) : 139–2500 Hz¹).

5.5 Rollwiderstand

Im Interesse der Energieeinsparung und der hiermit verbundenen Abgasreduzierung von Fahrzeugen findet der Rollwiderstand von Kraftfahrzeugen zunehmende Beachtung sowohl auf Seiten der Reifentechnik als auch in der Straßenbautechnik. Neben den reifenspezifischen Aspekten aus Sicht der Reifenhersteller steht insbesondere aus dem Blickwinkel des Straßenbauers der Einfluß der Fahrbahndecke auf den Rollwiderstand im Mittelpunkt des Interesses. Die jeweiligen wesentlichen unterschiedlichen Gestaltungsmöglichkeiten von Reifen, bzw. Eigenschaften von Fahrbahnen im Hinblick auf den Rollwiderstand sind hierbei:

Für den Reifen:

- Konstruktion
Karkasse, Gürtel und Fußzone
- Laufflächenprofil
Lamellierung, Negativanteil und Breite
- Gummimischung
Modul und Dämpfung.

Für die Fahrbahn:

- Ebenheit
- Rauheit
- Griffbarkeit.

1 Die kleinste meßbare Wellenlänge wird durch die System-eigenschaften des Meßgerätes zur Profilhöhenmessung (Abtastgeschwindigkeit, Lichtpunktdurchmesser bei optischen Systemen und digitale Abtastrate der Datenerfassung) bestimmt.

2 Die maximale Frequenz wird durch die Abtastrate des Analog-Digital-Wandlers begrenzt und kann nicht größer als die Hälfte der Abtastrate (hier 5 kHz) betragen (s. a. [14]).

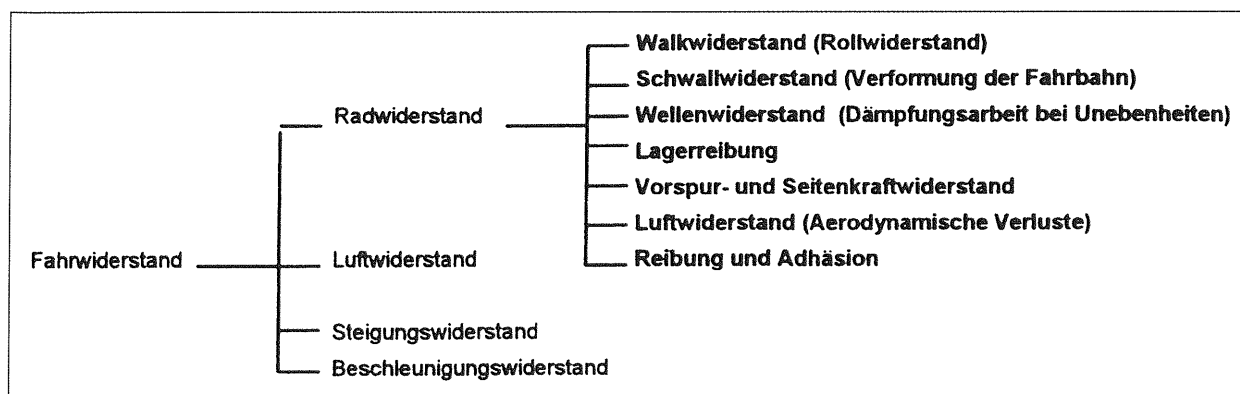


Bild 5.11: Fahr- und Radwiderstände eines Fahrzeugs

5.5.1 Definition des Rollwiderstandes

Der Radwiderstand ist Bestandteil des Fahrwiderstandes und setzt sich aus rad- und fahrbahnseitigen Komponenten zusammen (Bild 5.11). Der reifenspezifische Rollwiderstand besteht hauptsächlich aus der Walkarbeit des Reifengummis und aus Reibungs- und Haftungsverlusten zwischen Reifenlatsch und Fahrbahnoberfläche (Bild 5.12). Definitionsgemäß wird für den Rollwiderstand als Dimension der Energieverlust pro Wegeinheit mit Newtonmeter pro Meter (Nm/m) verwendet. Wird der Rollwiderstand auf die Radlast bezogen, erhält man den dimensionslosen Rollwiderstandsbeiwert c_R .

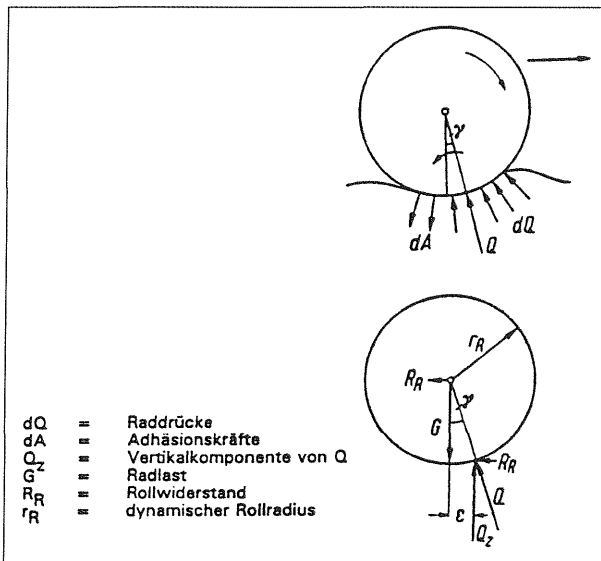


Bild 5.12: Verlustkräfte des rollenden Pkw-Reifens aufgrund von Anlaufwulst und Adhäsion

Aufgrund des geringen Luftwiderstandes heutiger moderner Fahrzeuge beträgt der Anteil des Rollwiderstandes am Gesamtwiderstand auf ebener Fahrbahn und bei Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit im städtischen Bereich ca. 80 % und selbst bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h noch 50 % (Bild 5.13) [22].

5.5.2 Mechanik

Wie bereits in Kapitel 3 ausgeführt, verfügt der Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn (PFF) über eine dynamisch verstellbare Führung des Prüfrades. Bei der konstruktiven Gestaltung der Radaufhängung des Prüfstandes wurden bereits die Anforderungen hinsichtlich der Messung von Rollwiderständen berücksichtigt. Die für Versuche mit hohen Umfangs- und Seitenkräften vorgesehene stabile Längs- und Querlenkereinheit wird dabei gegen eine leichte

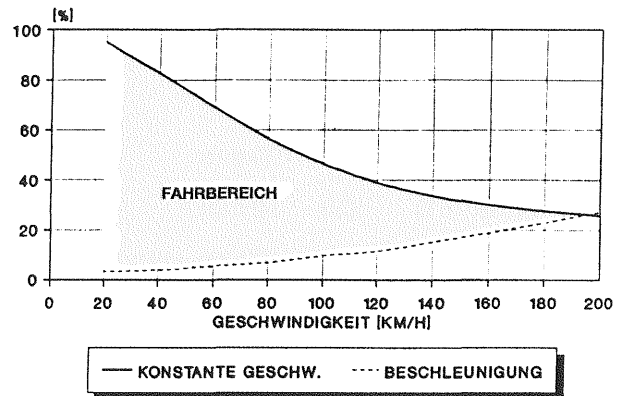


Bild 5.13: Anteil des Rollwiderstandes am Gesamtwiderstand eines modernen Fahrzeugs in Abhängigkeit von der Fahrweise

Radanlenkung mit integrierter Kraftmeßdose zur Messung der Längskraft ausgetauscht (Bild 5.14). Durch Verwendung von nadelgelagerten Gelenkköpfen mit bauartbedingter geringer Reibung und geringem Spiel sowohl für beide Querlenker als auch für den diagonal angeordneten Meßlenker wird eine präzise und weitgehend reibungs- und rückwirkungsfreie Führung des Prüfrades erzielt. Ein spezieller MS-Aufnehmer mit einem Meßbe-

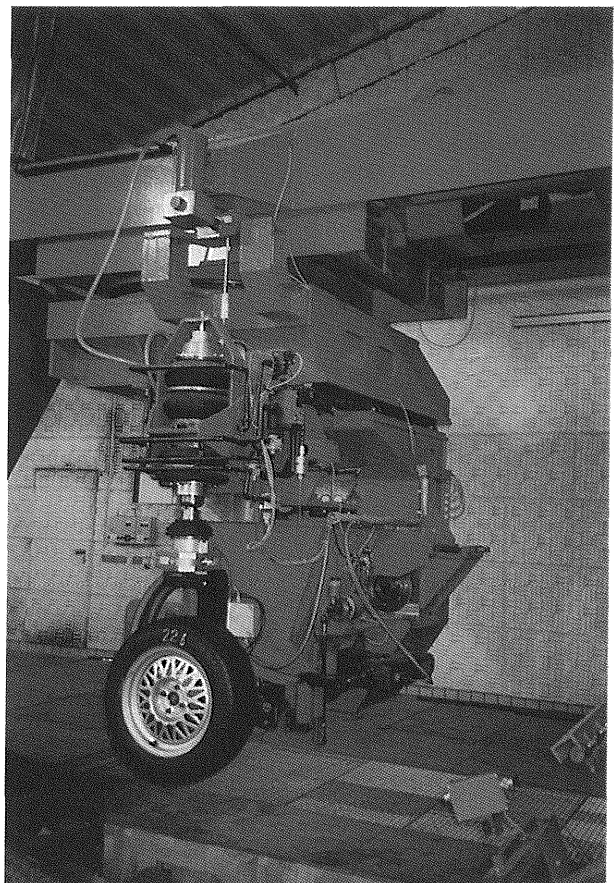


Bild 5.14: Radstation des PFF mit Radträgerinheit. Doppelluftfeder zur Radbelastung

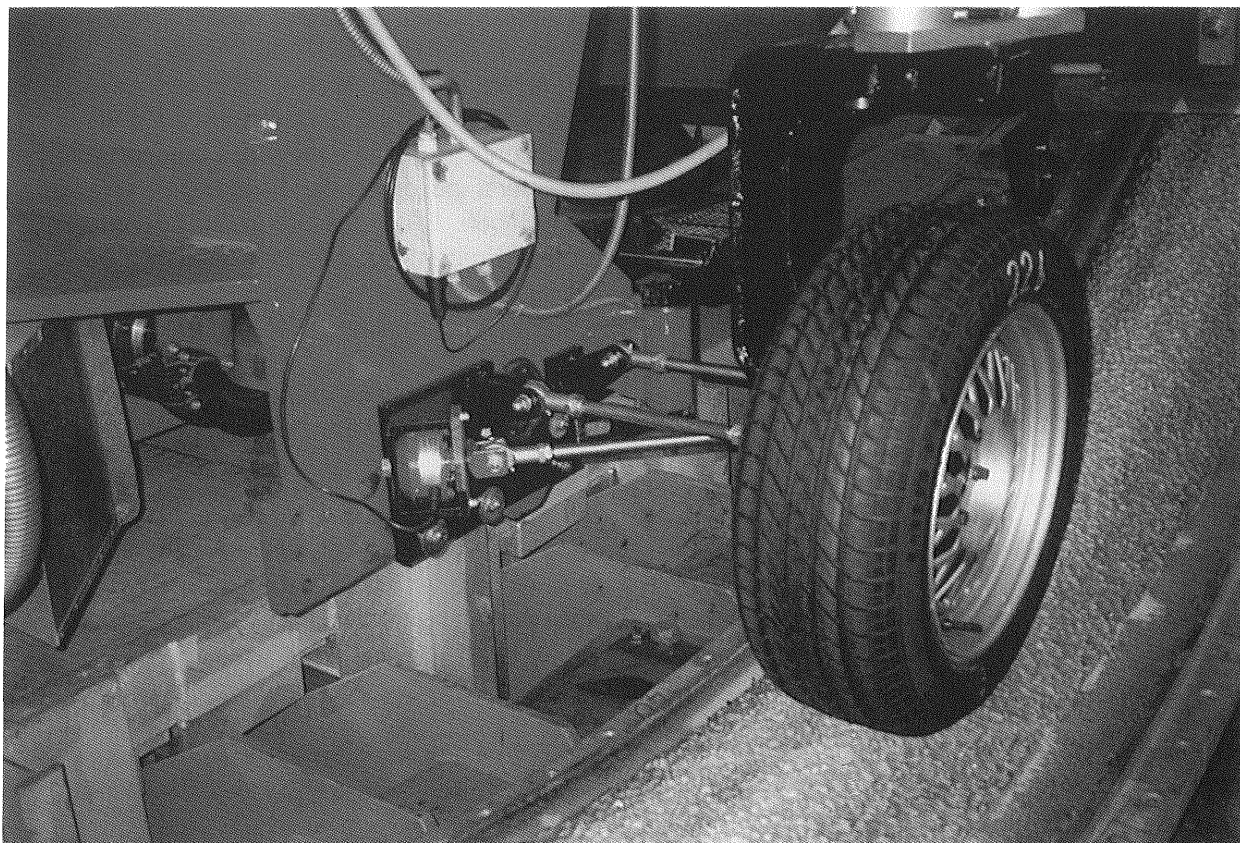


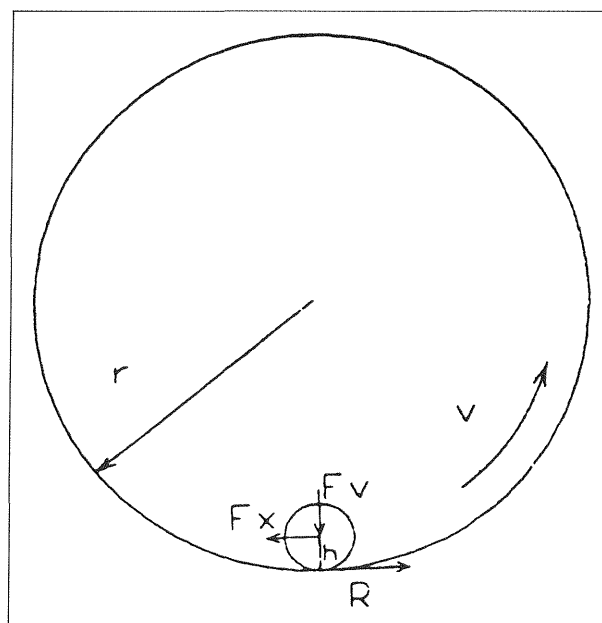
Bild 5.15: Anordnung des MS-Aufnehmers zur Messung der Längskraft

reich von $\pm 1,25$ kN – hohe dynamische Belastbarkeit bei hohen Querkräften – ist am prüfstandseitigen Gelenkpunkt des diagonal angeordneten Längsstabs angeordnet und erfährt nur die Horizontalkomponente der Stützkraft zwischen Diagonalenker und feststehender Radstation (Bild 5.15).

5.5.3 Meßmethode

Die Rollwiderstandskraft eines Reifens tritt als Längskraft im Latsch des Reifens auf. Die Meßmechanik des PFF hingegen erfährt die auf die Radachse wirkende Kraft. Da die Fahrbahn des PFF eine endliche Krümmung aufweist – nur auf einer ebenen Fahrbahn entspricht die in der Radachse gemessene Kraft der Rollwiderstandskraft im Latsch –, müssen für die Umrechnung der gemessenen Längskraft auf die jeweilige Latschfläche der dynamische Rollradius des Reifens und der wirksame Fahrbahnradius berücksichtigt werden. Der Kraftplan der Prüfstands-anordnung in Bild 5.16 verdeutlicht den Zusammenhang.

Bei einer Reaktionskraftmessung im Prüfstand werden neben dem Rollwiderstand zusätzliche Anteile der Längskraft am Prüfrad miterfaßt, deren Ursachen im wesentlichen auf



$$R = F_x \cdot \left(1 - \frac{h}{r}\right)$$

- F_v = Radlast
- F_x = Längskraft
- R = Rollwiderstand
- h = dynamischer Rollradius
- r = Fahrbahnradius
- v = Fahrbahngeschwindigkeit

Bild 5.16: Kraftplan des Reifen/Trommelsystems PFF

- Lagerreibung
- Strömungsverluste des Prüfrades durch Luftwirbel
- Luftwiderstand durch Fahrtwind
- Längskraft infolge einer vertikalen Fehlstellung der Radführung und -belastung
- elektrischer und mechanischer Nullpunktfehler der Meßdose aufgrund von Temperatur und mechanischer Wechselbelastung

zurückzuführen sind.

Die allgemeine Beziehung der Längskraft kann damit angegeben werden:

$$F_x = R + F_w + F_L + F_{xz} + F_0$$

- mit F_x = resultierende Längskraft
 R = Rollwiderstandskraft
 F_w = Luftwiderstand und Strömungsverlust
 F_L = Lagerreibung
 F_{xz} = Längskraftfehler aufgrund vertikaler Fehlstellung
 F_0 = zusammengefaßter Nullpunktfehler der Meßdose.

Für die Trennung der einzelnen Komponenten wird eine Methode in Form einer Zweipunktmessung nach [21] verwandt. Das Prinzip der Meßmethode zeigt Bild 5.17. Unter der Voraussetzung eines linearen Zusammenhangs zwischen der Längskraft F_x und der Radlast F_z wird in einer Zweipunktmessung die für jede Reifen/Fahrbahn-Kombination geltende typische Kennlinie bestimmt.

Bei einer idealen vertikalen Ausrichtung der Wirkungslinie der Radlast – der Anteil des Längskraftfehlers wird zu Null – oder bei weitgehend gleichbleibendem Längskraftfehler als prüfstands-spezifischer Konstante wird der reifenspezifische Rollwiderstand durch die Steigung m vollständig beschrieben. Durch die Differenzbildung werden additive Kraftanteile, die nicht ursächlich mit dem Rollwiderstand verknüpft sind – Nullpunktdrift der Meßdose, Lagerreibung, Luftwiderstand und strömungsbedingte Verluste am Prüfrad – eliminiert, so daß die durch das Prüfrad aufgrund der Radlast induzierte Rollwiderstandskomponente bestimmt werden kann.

Der noch unbestimmte Wert des Längskraftfehlers F_{xz} wird in einer gesonderten Messung bei geringer Geschwindigkeit der Fahrbahn in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung bestimmt nach

$$F_{xz} = \frac{F_{xv} + F_{xr}}{2}$$

- mit F_{xv} = Längskraft der Vorwärtsmessung
 F_{xr} = Längskraft der Rückwärtsmessung.

Da am Prüfstand keine Konstanthaltung bzw. Regelung der Umgebungstemperatur möglich ist, muß deren Einfluß auf den Rollwiderstand kompensiert werden. Ein Korrekturansatz für PKW-Reifen nach [21] beseitigt weitgehend den vorhandenen Temperatureinfluß. Für den auf eine Raumtemperatur von 25 °C bezogenen Rollwiderstand R_{25} erhält man somit:

$$R_{25} = R \cdot (1 + K \cdot (T_u - T_b))$$

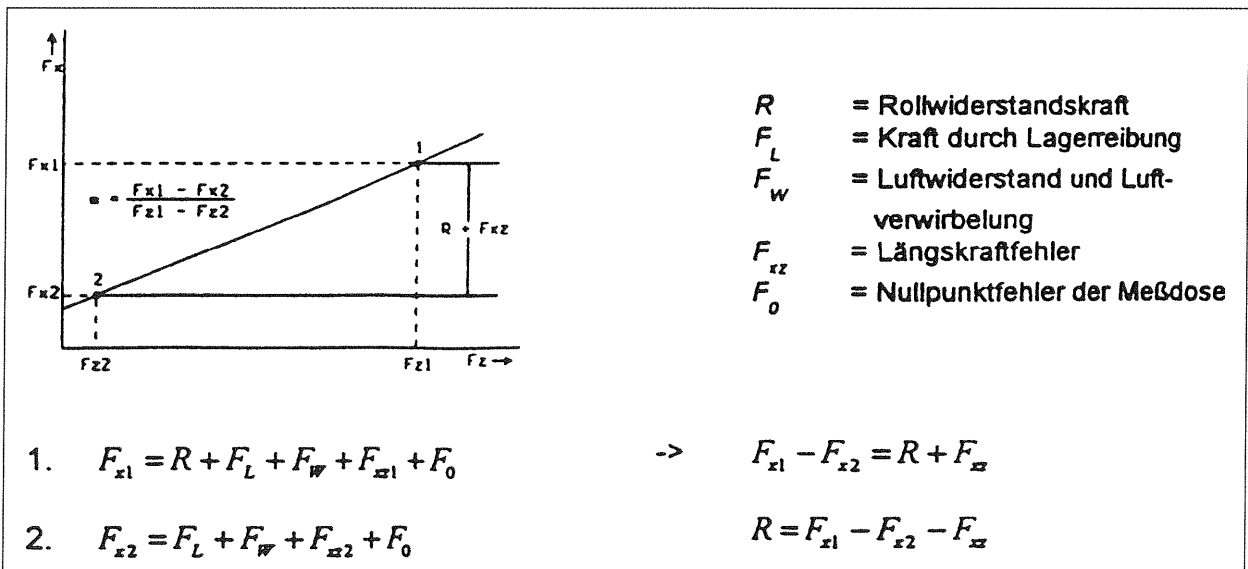


Bild 5.17: Prinzip der Zweipunktmessung

mit K = Konstante für PKW-Reifen = 0,01
 T_u = Umgebungstemperatur
 T_b = Bezugstemperatur, üblicherweise 25 °C.

5.5.4 Versuchsdurchführung

Die zuvor beschriebene Versuchsmethodik wurde zunächst auf einer Fahrbahn mit einem Schmirgelleinen (Körnung P24) an die Bedingungen des Prüfstands angepaßt und optimiert, so daß die regulären Rollwiderstandsmessungen erst ab Belag P20 aufgenommen werden konnten. Als Versuchsreifen für die Rollwiderstandsmessungen wurden vier Reifen eingesetzt, die als Standardreifen für Rollgeräuschmessungen definiert sind [11]. Die jeweiligen Daten der Reifen zeigt Tab. 5.18.

Bezeichnung	21b	22b	23b	24b
Hersteller	Continental	Pirelli	Goodyear	Michelin
Typ	CH90	P600	Vector	MXT
Größe	195/65 R 15	205/60 R 15	175/70 R 13	155/70 R 13
DOT-Nr.	311	361	271	510
LI / SSY ¹⁾	91H	91V	82T	75T
Felge	6 J 15	7 J 15	5 1/2 J 13	4 1/2 J 13
Abrollumfang (mm)	1939	1910	1770	1680

¹⁾ LI = Lastindex; SSY = Geschwindigkeitssymbol

Tab. 5.18: Daten der Versuchsreifen der Rollwiderstandsuntersuchung

Die Höhe des Rollwiderstandes wird neben der Textur der Fahrbahn auch durch die Ebenheit der Fahrbahn in Fahrtrichtung beeinflusst, da aufgrund der durch die Unebenheiten bedingten Radlastschwankungen zusätzliche Einfederungen im Reifen auftreten, die mit Hystereseverlusten im Reifengummi und damit mit größerem Energieverlust verbunden sind.

Die mit einer Laserabtastsonde gemessene Längsebenheit der Fahrbahn Schmirgelleinen P24, die sich auch bei den folgenden Belagswechseln nur unwesentlich änderte, zeigt Bild 5.19.

Die auftretenden Unebenheiten bis zu 5 mm Höhe sind zum einen auf die Fertigungsgenauigkeit der einzelnen Belagsabschnitte in den Fahrbahnkassetten, zum anderen aber auch auf anfängliche Probleme bei der Behandlung – Spachteln und Schleifen – der Asphaltoberfläche (AB 0/11S) zurückzuführen, die zur Schaffung eines glatten Untergrundes für die einzuklebenden Schmirgelleinen erforderlich waren. Zur Vereinheitlichung des Versuchablaufs der Rollwiderstandsmessungen wurde die Prüfung in Anlehnung an den Norm-Entwurf zur Rollwiderstandsmessung – DIN ISO 8767 – durchgeführt [23], der für eine geschwindigkeitsabhängige Messung des Rollwiderstandes die Prüfung bei einer Geschwindigkeit von 50, 90 und 120 km/h vorsieht.

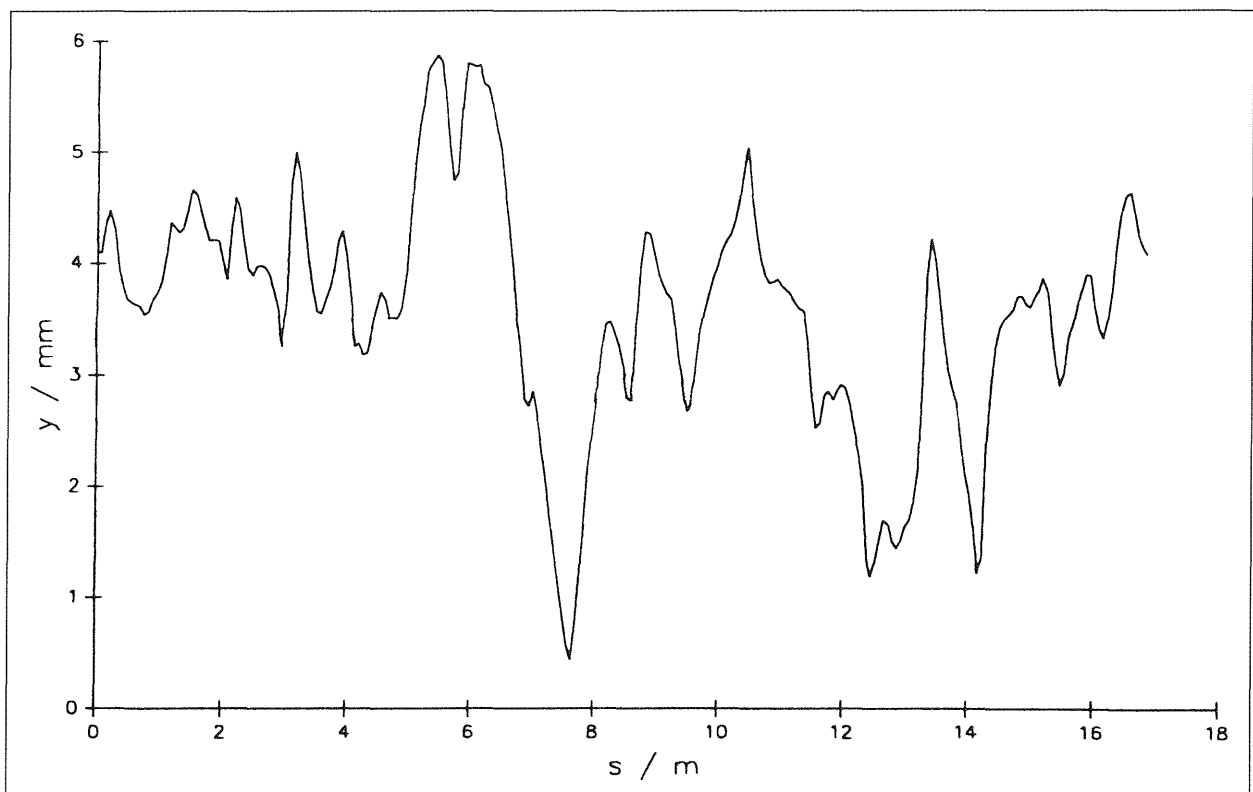


Bild 5.19: Längsprofilverlauf des Fahrbahnbelages P24 im PFF über die Länge des Umfangs von 17 m

Für den Sollwert der Radlast wurde der bei der Rollgeräuschmessung verwendete Wert von 3,5 kN übernommen und ein einheitlicher Luftdruck von 2 bar bei allen Reifen eingestellt.

Der Versuchsablauf erfolgte nach der Normvorschrift, die nach einer Aufwärmphase für den Reifen von 40 Minuten die Messung des Rollwiderstandes bei stufenweiser Erhöhung der Geschwindigkeit vorsieht, wobei nach Erreichen einer neuen Geschwindigkeitsstufe zunächst eine weitere Erwärmungsphase von 20 Minuten erfolgt. Die Längskraftmessung wird als Zweipunktmessung mit einer jeweiligen Dauer von 1 Minute durchgeführt, bei der jeweils ca. 50 gemittelte Längskraftwerte registriert werden.

Einen typischen Meßschrieb für einen kompletten Versuchslauf über drei Geschwindigkeitsstufen zeigt Bild 5.20. Deutlich ist die Zunahme der Laufflächentemperatur (T_r – untere Kurve) zu Beginn einer Geschwindigkeitsstufe und die spätere Stabilisierung zum Ende hin zu erkennen. Die Zweipunktmessung wird nach Ablauf der festgelegten Zeit bei der jeweiligen Geschwindigkeitsstufe durchgeführt, erkennbar an der Abnahme der Radlast F_z (1. Kurve) sowie an der Reduzierung der Schwin-

gungen der Längskraft F_x (2. Kurve) und an der Abnahme der Laufflächentemperatur. Zu Beginn des Schriebs sind noch die Vorwärts- und Rückwärtsmessung zur Bestimmung des Längskraftfehlers am Vorzeichenwechsel der Längskraft zu erkennen. Aufgrund der Betragsbildung für die Prüfstandsgeschwindigkeit werden in Kurve 3 nur positive Werte angezeigt.

Für die Ablaufsteuerung, Bedienerführung und Datenerfassung der Prüfstandsmeßwerte wurde ein speziell für Rollwiderstandsuntersuchungen entwickeltes Programm verwendet [21]. Für Versuche mit doppelter Belegung der Prüfstandsfahrbahn (Korund 1–1,7 mm und Splittabstreuerung 0,7–1,2 mm in Kunstharz) wurde zusätzlich eine Echtzeit-FFT-Analyse implementiert und soweit optimiert, daß bei Fahrbahnlängen bis herab zu 4 m eine Messung des Rollwiderstandes bei annähernd gleichbleibender Meßgenauigkeit möglich war. Weiterhin wurde für diese Versuchsreihe ein elektronischer Positionsmarkengeber eingesetzt, der mit seinen in Bezug zur Fahrbahn frei definierbaren Start- und Stopimpulsen die Triggersignale zum Umschalten der Mikrofone bei der Geräuschmessung und das Startsignal zur FFT-Messung bei der

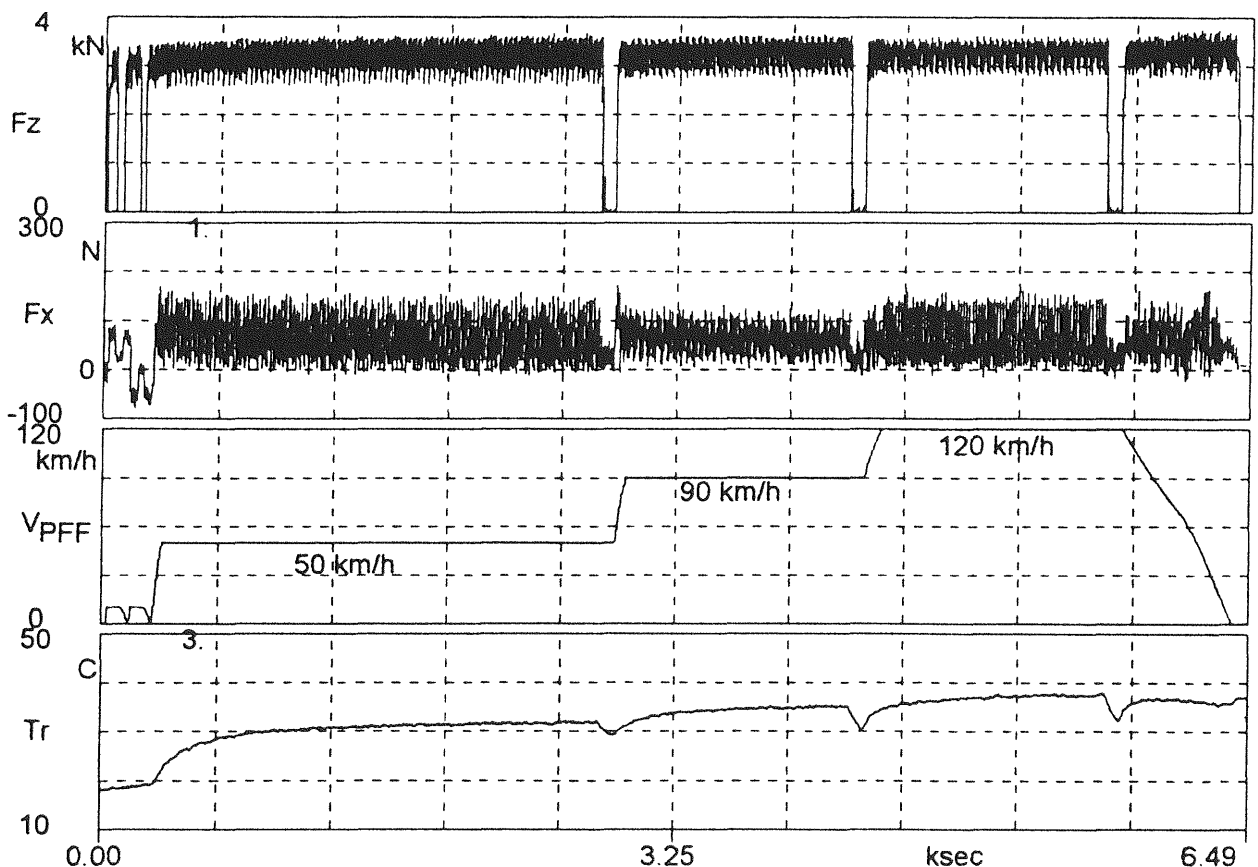


Bild 5.20: Meßschrieb eines Rollwiderstand-Versuches im PFF mit drei Geschwindigkeiten (50 km/h, 90 km/h u. 120 km/h), F_z ungefiltert, F_x über 2 s gleitend gemittelt

Rollwiderstandsmessung liefert. Die Lage der Start- und Stopmarken – je zwei für beide gleichzeitig in der Trommel verlegten Beläge – wurde so gewählt, daß sowohl Belagsübergänge als auch Unebenheiten der Fahrbahn einen nur geringen Einfluß auf das Rollgeräusch und auf den Rollwiderstand ausüben.

Zusätzlich zur Geschwindigkeit der Fahrbahn werden die Vertikalkraft, die Längskraft und die Umgebungstemperatur am Prüfrad erfaßt. Die Temperatur der Lauffläche des Prüfrades wird mit einem berührungslosen Infrarot-Thermometer registriert. Der dynamische Rollradius der Reifens wird aus der Einfederung der Radaufhängung, die mit einem induktiven Weggeber gemessen wird, und der vertikalen Position des Prüfstandsportals fortlaufend bestimmt und für die Längskraftberechnung verwendet. Zu jedem Reifen wurden zwei Versuchsläufe mit identischem zeitlichen Ablauf durchgeführt.

6 Meßergebnisse

6.1 Reifen/Fahrbahngeräusch

Für den vorliegenden Bericht wurden nur die Ergebnisse der Reifen-Geräuschuntersuchungen an den 4 GESTrO-Reifen [11] ausgewertet, um schnell zu einer Entscheidung zu kommen, welche der getesteten Texturen später in-situ untersucht werden sollten.

Zur Auswertung wurden zunächst die Pegel der vier Reifen bei den Geschwindigkeiten von 60, 80, 100 und 120 km/h auf den einzelnen Belägen energie-

tisch gemittelt. An die Mittelwerte wurden dann belagsweise Kurven der Form

Geräuschpegel L in dB (A) = $a + b \cdot \lg$ (Geschwindigkeit v in km/h)

angepaßt ($a = \text{const.}$, $b = \text{const.}$), aus denen „Meßwerte“ zu den einzelnen Geschwindigkeiten berechnet wurden.

6.1.1 A-bewertete Summenpegel

Im Anhang I sind die über die vier GESTrO-Reifen gemittelten Originalmeßwerte zusammengefaßt und die Korrelationen zwischen den Pegeln und dem Logarithmus der Geschwindigkeit berechnet. Kennzeichnend für die Geräuschemission eines Belages ist im Fernfeld der senkrecht zur Laufrichtung durch Korrelation bei $v = 85$ km/h berechnete Pegel, im Nahfeld der Mittelwert der unter 45° zur und entgegen der Fahrtrichtung berechneten Pegel. 85 km/h ist etwa der geometrische Mittelwert der Grenzen von 60 km/h und 120 km/h des vermessenen Geschwindigkeitsbereichs.

In Tab. 6.1 sind die kennzeichnenden Geräuschpegel für das Nahfeld und das Fernfeld aufgelistet. Die letzte Spalte der Tab. 6.1 enthält die Pegel-Differenzen zwischen Nah- und Fernfeld.

Bild 6.1 zeigt die Differenz der kennzeichnenden Pegel der abgestreuten Beläge zu dem Referenzbelag „Asphaltbeton“. Als Referenz war ursprünglich ein neuer AB 0/11S- oder AB 0/8-Belag vorgesehen. Doch schienen die Oberflächen dieser beiden Decken fertigungstechnisch bedingt zu glatt zu sein. Sie wurden daher künstlich aufgeraut und noch einmal vermessen. Da die vier Meßwerte sich

Belagsart	Kurzbezeichnung	L (85 km/h) in dB (A)		L (nah) – L (fern) in dB (A)
		Fernfeld	Nahfeld	
Asphaltbeton 0/11S neu	AB 0/11S	81,5	91,7	10,2
Asphaltbeton 0/11 wassergestrahlt	AB 0/11S	82,0	90,5	8,5
Asphaltbeton 0/8 neu	AB 0/8	81,4	91,2	9,8
Asphaltbeton 0/8 wassergestrahlt	AB 0/8	80,4	90,4	10,0
Splitt auf Kunstharz 8/11 mm	SK 8	81,0	89,1	8,1
Splitt auf Kunstharz 4/5,6 mm	SK 4	79,6	88,3	8,7
Splitt auf Kunstharz 2/2,8 mm	SK 2	78,0	87,1	9,1
Splitt auf Kunstharz 0,7/1,4 mm	SK 0,7	77,1	86,1	9,0
Korund auf Kunstharz 1,0/1,7 mm	KK 1	77,6	86,4	8,8
Schmirgelleinen Korund 1,0/1,7 mm	P 16	75,9	85,5	9,6
Schmirgelleinen Korund 0,7/1,2 mm	P 20	75,2	84,3	9,1
Schmirgelleinen Korund 0,6/1,0 mm	P 24	75,3	85,5	10,2

Tab. 6.1: Die kennzeichnenden Emissionspegel bei 85 km/h, gemittelt über die vier GESTrO-Reifen

nicht allzusehr unterscheiden, wird als Referenzwert der Mittelwert über die vier Decken bei 85 km/h gewählt:

$L(1,0 \text{ m}, 85 \text{ km/h}) = 91,0 \text{ dB(A)}$

$L(7,5 \text{ m}, 85 \text{ km/h}) = 81,3 \text{ dB(A)}$

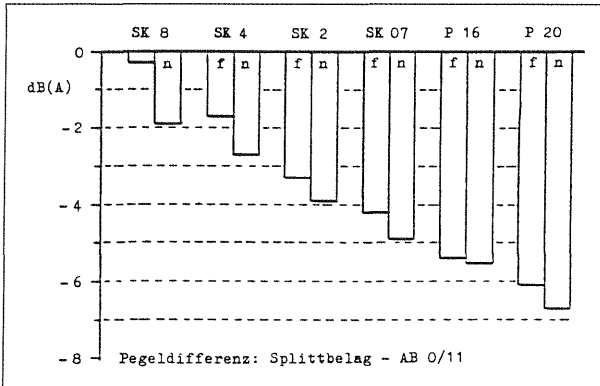


Bild 6.1: Differenz der Geräuschemission auf den einzelnen Belägen und Asphaltbeton (Referenz), n = nahe Meßorte, f = ferne Meßorte

Daß die vier Meßergebnisse auf den Asphaltbelägen so dicht beieinander liegen, erschien zunächst erstaunlich, insbesondere, wenn man die doch sehr verschiedenen Oberflächen des AB 0/11S – sehr glatt und relativ grob – betrachtet. Eine Erklärung dafür liefert die Frequenzanalyse der Reifengeräusche (siehe 6.1.2). Der neue unbehandelte AB 0/11S ist wegen seiner Glätte, verursacht durch Bitumenüberschuß an der Oberfläche, im Frequenzbereich über 1,2 kHz lauter als der rauhe, wasserstrahlte AB 0/11S. Im Frequenzbereich zwischen 400 Hz und 1,2 kHz ist dagegen der behandelte AB 0/11S wegen seiner größeren Rauftiefe lauter, so daß in 7,5 m Entfernung die A-bewerteten Summenpegel der Reifengeräuschemissionen auf den beiden Oberflächen nahezu identisch werden.

Die Splitt- und Korundabstreuungen auf Kunstharz zeigen das erwartete Verhalten: Mit abnehmendem Durchmesser des Größtkorns fällt der Reifengeräuschpegel ab, im Fernfeld mit etwa 1 – 1,5 dB (A) pro Halbierung des Durchmessers. Der Unterschied zwischen den Abstreuungen 8/11 mm und 0,7/1,4 mm beträgt etwa 4 dB (A). Die Geräuschemission auf der sehr groben 8/11-Oberfläche entspricht in etwa der Emission auf den neuen und behandelten Asphaltbetonoberflächen.

Die Geräuschemissionen der vier GESTRO-Reifen auf den getesteten Schmirgelleinen unterscheiden sich kaum voneinander. Der über die drei Oberflächen bei 85 km/h gemittelte Pegel beträgt im Fernfeld 75,5 dB (A), wobei das größte Schmirgelleinen

mit Korunddurchmessern zwischen 1 mm und 1,7 mm etwas lauter ist als die beiden feineren. Die Differenz zu den AB-Belägen beträgt im Fernfeld nahezu 6 dB (A), im Nahfeld fast 7 dB (A).

Interessant ist auch das unterschiedliche Ergebnis auf dem Schmirgelleinen 1,0/1,7 mm und der Korundabstreuung mit derselben Kornfraktion auf Kunstharz. Das Schmirgelleinen ist um 1,7 dB (A) leiser. Offenbar könnte der Reifengeräuschpegel bei Abstreuungen von Straßenoberflächen noch etwas abgesenkt werden, wenn von seiten des Straßenbaus Verfahren entwickelt werden könnten, durch die sich Abstreuungen homogener, als dicht gepackte Monoschicht ohne Überkorn und mit den Spitzen nach oben aufbringen ließen.

Die bisherigen Ergebnisse ändern sich nicht wesentlich, wenn man die Vergleiche nicht für die mittlere Geschwindigkeit von 85 km/h, sondern für die untere und obere Grenze des vermessenen Geschwindigkeitsbereichs – 60 km/h bis 120 km/h – durchführt (Bild 6.2).

Lediglich bei den Schmirgelleinen tritt eine Änderung der Rangfolge der Oberflächen auf. Bei 60 km/h ist das größte Schmirgelleinen P16 am lautesten, bei 120 km/h das feinste P24.

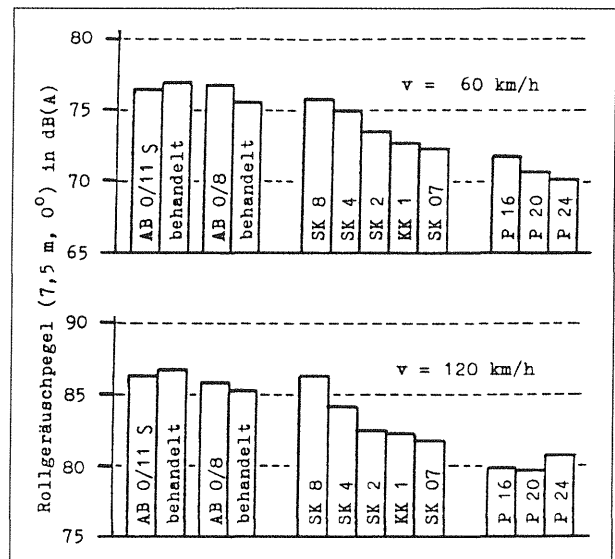


Bild 6.2: Fernfeldmeßergebnisse bei der geringsten und höchsten Versuchsgeschwindigkeit

Vergleich Nahfeld/Fernfeld:

Die Untersuchungen am Prüfstand hatten auch zum Ziel, festzustellen, ob sich die aufwendigen statistischen Meßverfahren an der Straße zur Ermittlung des Einflusses der Straßenoberfläche auf die Verkehrsemission durch das einfachere Verfahren mit dem Geräuschmeßanhänger ersetzen las-

sen. Es wurde erwartet, daß dies zumindest für die Messung von Emissionsdifferenzen auf verschiedenen Deckschichten möglich sei.

Wie die letzte Spalte der Tab. 6.1 zeigt, streuen die Differenzen zwischen Nah- und Fernfeldmeßwerten über einen Bereich von 2 dB (A). Die mittlere Differenz beträgt 9,3 dB (A). Die Emissionsdifferenzen auf den gröberen Belägen liegen bei 8–9 dB (A), die auf den feineren bei 9–10 dB (A). Die größere Differenz ist darauf zurückzuführen, daß auf den feineren Oberflächen zwei der vier GESTrO-Reifen im Vergleich zu den gröberen Oberflächen nach vorn mehr Energie abstrahlen (Bild 6.3).

Vergleicht man die seitliche Schallabstrahlung im Nah- und Fernfeld, geht der Streubereich der Differenzen auf ungefähr 1 dB (A) zurück, so daß Nahfeld/Fernfeld-Korrelationen mit einer Unsicherheit von nur $\pm 0,5$ dB (A) möglich werden.

Die im Nahfeld gemessenen Differenzen auf verschiedenen Beschichtungen sind größer als die im Fernfeld gemessenen. Worauf dies zurückzuführen ist, ist durch weitere Auswertung der Meßergebnisse noch zu klären. Dies gilt auch für den Effekt, daß sich die Abstrahlcharakteristik des Reifengeräusches ändert. Während im Nahfeld bei den GESTrO-Reifen die seitliche Schallabstrahlung geringer ist als die nach vorn oder hinten gerichtete, scheint dies im Fernfeld umgekehrt zu sein (Bild 6.3).

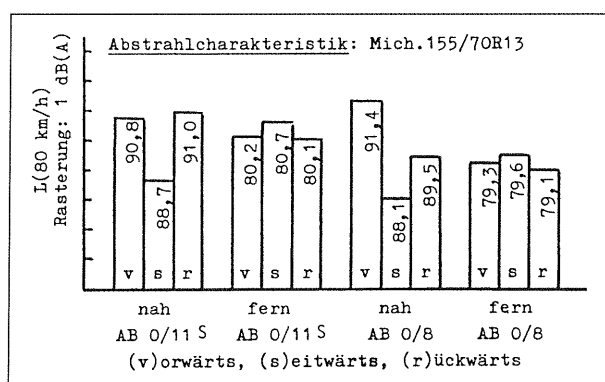


Bild 6.3: Ein Beispiel zur Abstrahlcharakteristik der Reifen auf den glatten, unbehandelten Asphaltbetondeckschichten

6.1.2 Frequenzspektren

Das unterschiedliche Verhalten der GESTrO-Reifen auf den einzelnen Belägen und Beschichtungen läßt sich zum Teil anhand der Frequenzspektren erklären. Im folgenden werden dafür einige Beispiele gegeben. Die Einzeldaten – über die vier GESTrO-Reifen gemittelte Terzspektren – sind im Anhang III zusammengefaßt.

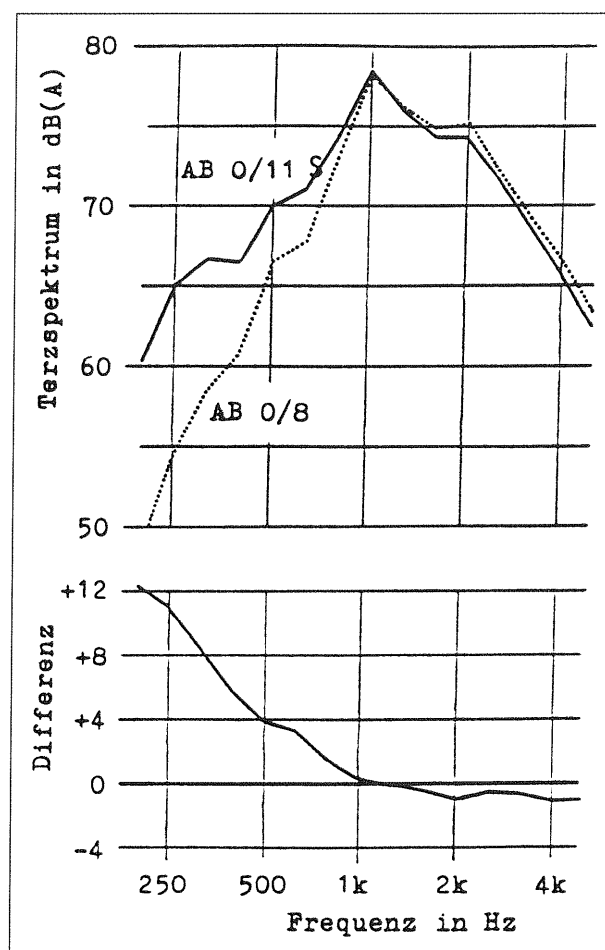


Bild 6.4: Vergleich der Terzspektren der Geräuschemission der vier GESTrO-Reifen auf den unbehandelten AB 0/11S- und AB 0/8-Belägen, Meßrichtung seitwärts (0°), Meßentfernung 7,5 m, Geschwindigkeit 100 km/h, Differenz (0/11–0/8) der beiden Terzspektren

Bild 6.4:

Der unbehandelte Asphaltbeton 0/11S ist im Frequenzbereich unter 1000 Hz lauter als der AB 0/8. Zurückzuführen ist dies auf die etwas grobere Oberflächenstruktur des AB 0/11S durch das größere Korn. Im Bereich über 1000 Hz, in dem die Air-Pumping-Geräusche dominieren, ist der AB 0/8 etwas lauter.

Bild 6.5:

In Bild 6.5 werden die unbehandelten Beläge AB 0/11S und AB 0/8 mit den wassergestrahlten Belägen verglichen. Beim AB 0/8 wurde zwar durch die Behandlung das Bitumen an der Oberfläche entfernt, doch ergab eine optische und taktile Beurteilung keinen merkbaren Unterschied der Oberflächenrauhigkeiten. Dieser Eindruck wurde durch die Rauhigkeitsmessung bestätigt (Kapitel 6.2). Die zwischen den Terzspektren auftretenden Differenzen sind daher auch gering. Sie steigen allerdings im

hochfrequenten Bereich mit zunehmender Frequenz an, so daß der A-bewertete Summenpegel der Reifenemission, der im wesentlichen durch die hochfrequenten Geräusche geprägt wird, auf dem unbehandelten AB 0/8 um etwa 1 dB (A) höher ist.

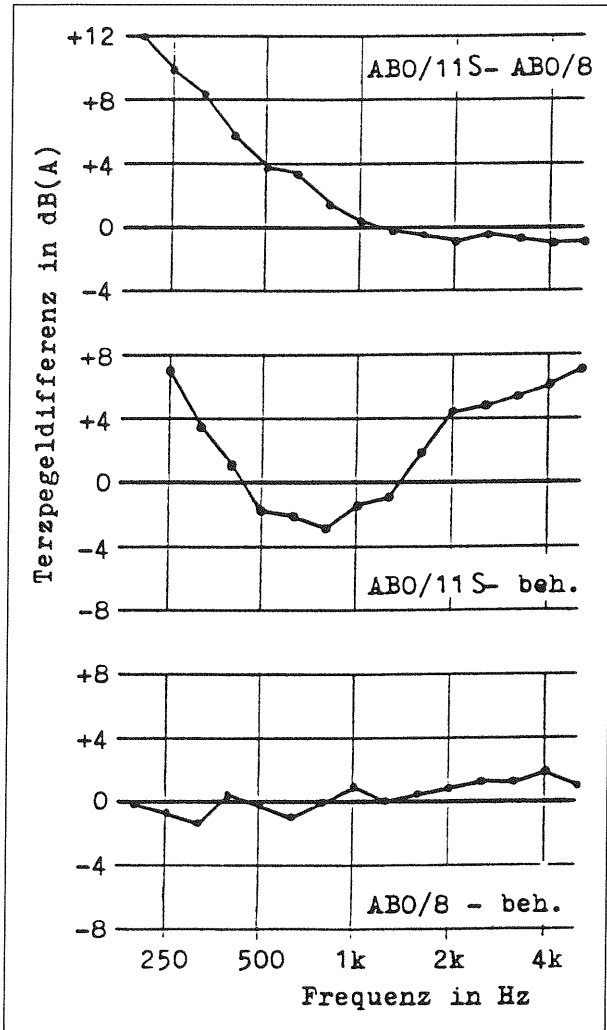


Bild 6.5: Vergleich der Terzspektren der Reifengeräuschemission auf den neuen und behandelten (beh.) Asphaltbetonbelägen, Meßrichtung: seitwärts, Meßentfernung: 7,5 m, Geschwindigkeit: 100 km/h

Im Falle des unbehandelten und behandelten AB 0/11S sind drei Frequenzbereiche zu unterscheiden. Im Frequenzbereich bis 400 Hz ist der neue Asphaltbeton lauter. Worauf das zurückzuführen ist, ist noch ungeklärt. Wegen der wesentlich groberen Oberfläche des behandelten Asphaltbeton war eigentlich eine geringere Emission erwartet worden. Im mittleren Frequenzbereich zwischen 500 Hz und 1,25 kHz ist der behandelte Belag, wie erwartet, lauter, im hochfrequenten Bereich der unbehandelte.

Bilder 6.6 und 6.7:

Die grobe Oberflächenstruktur der Beschichtung und Abstreuung mit 11 mm Größtkorn ist nur in dem

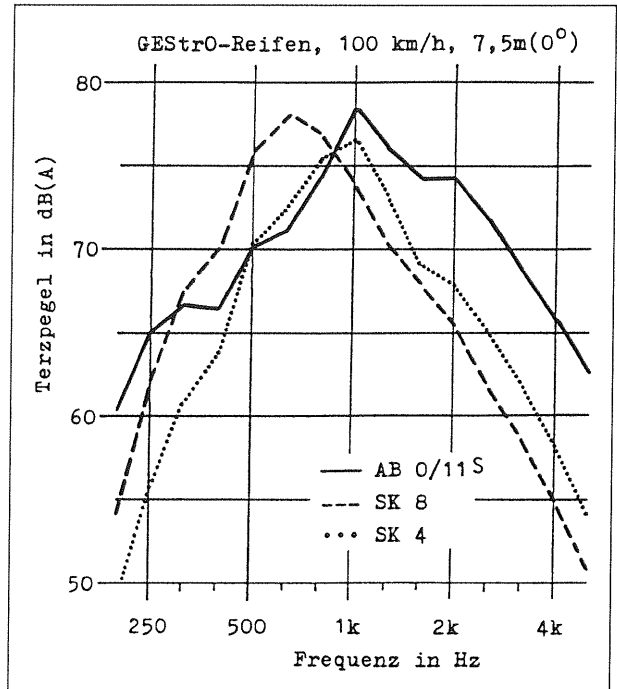


Bild 6.6: Terzspektren der Reifengeräuschemission auf Asphaltbeton und den Splittabstreungen 8/11 mm (SK 8) und 4/5,6 mm (SK 4)

Frequenzbereich zwischen 300 Hz und 800 Hz lauter als der neue, unbehandelte AB 0/11S. Vor allem im hochfrequenten Bereich über 1000 Hz ist sie aber erheblich leiser, so daß sie trotz ihrer groben Oberflächenstruktur insgesamt noch leiser ist als der Asphaltbeton.

Die Splittabstreuung mit 5,6 mm Größtkorn zeigt ein ähnliches Verhalten. Doch ist der Frequenzbereich, in dem höhere Terzpegel als auf dem AB 0/11S auftreten, mit 500 Hz bis 800 Hz schon so eingengt, daß der A-bewertete Summenpegel der Reifengeräusche um 2 dB (A) geringer ist als der Pegel der Emission auf AB 0/11S.

Die Splittabstreuung 0,7/1,4 mm (SK 0,7) schließlich ist im gesamten Frequenzbereich leiser als der AB 0/11S: 8 dB im Oktavbereich 250 Hz, etwa 4 dB für die Oktaven 500 Hz und 1 kHz, 6,5 dB bei 2 kHz und 8 dB bei 4 kHz. Das ergibt für den Summenpegel insgesamt eine Differenz von 4,5 dB (A).

Bild 6.8:

In Bild 6.8 ist erklärt, warum die Splittabstreuung 0,7/1,4 mm lauter ist als das vergleichbare Schmirgelleinen P20 (Korundfraktion 0,7–1,2 mm). Die geringfügig gröbere Struktur des Schmirgelleinen hebt zwar den Geräuschpegel im Frequenzbereich bis 500 Hz an. Die Anhebung

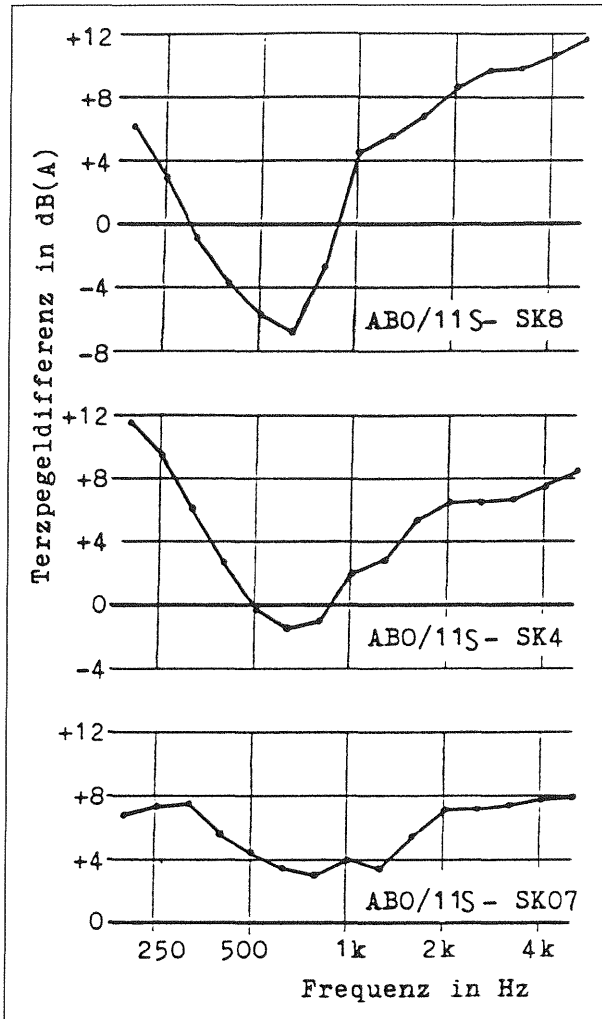


Bild 6.7: Vergleich der Terzpegel auf AB 0/11 und den Splittabstreuungen SK 8, SK 4 und SK 0/7, Meßrichtung: seitwärts (0°), Meßentfernung: 7,5 m, Geschwindigkeit: 100 km/h

wird aber durch eine wirkungsvollere Unterdrückung des Air-Pumping-Geräusches im hochfrequenten Bereich überkompensiert.

Letzteres ist vermutlich auf die homogenere Struktur der Korundtextur zurückzuführen, die eine wirkungsvollere und schnellere Entlüftung der Kontaktfläche Reifen/Straßenoberfläche zuläßt.

6.2 Rauhtiefe und Griffigkeit

Die Werte der Griffigkeit (ermittelt durch SRT-Messung) und der beiden mittleren Rauhtiefen (Sandflächenmethode bzw. Lasermessung) der geprüften Fahrbahnbeläge sind in Tab. 6.2 zusammengefaßt und in Bild 6.9 dargestellt.

Die Rauhtiefenwerte weisen für beide Meßverfahren und für die untersuchten Fahrbahnbeläge eine weitgehende Übereinstimmung auf. Bei der Beur-

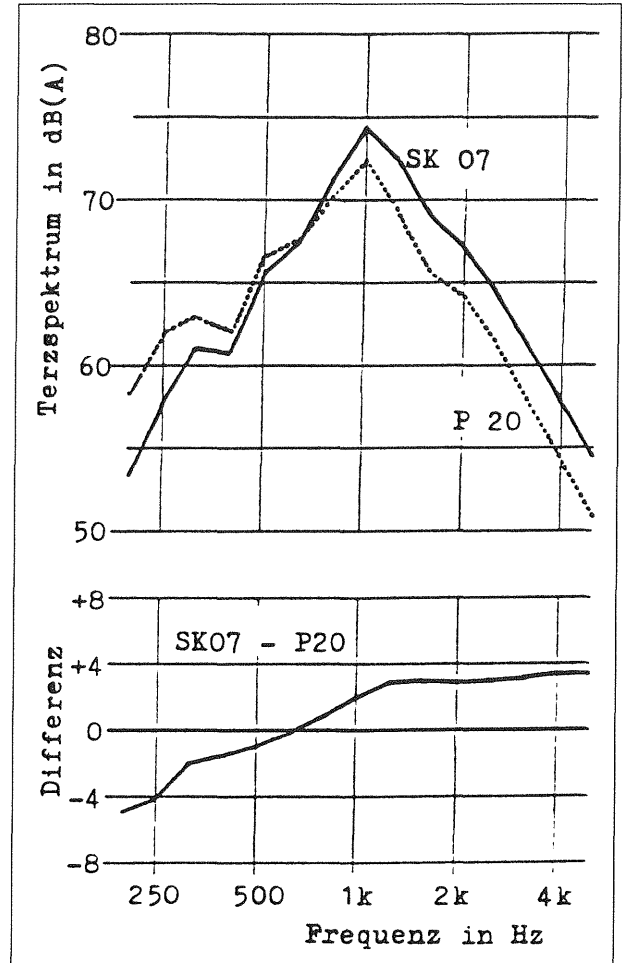


Bild 6.8: Vergleich der Terzspektren der Reifengeräusche auf der Splittabstreuung 0,7/1,4 mm (SK 07) und dem Schmirgelleinen P20, Meßrichtung: seitwärts, Meßentfernung: 7,5 m, Geschwindigkeit: 100 km/h

teilung der zwischen beiden Meßmethoden auftretenden Abweichungen muß berücksichtigt werden, daß unterschiedliche Fertigungsweisen der beiden Belagarten – Schmirgelleinen und Splittabstreuung – angewendet wurden.

Die Aufbringung des Korundkorns auf das Trägerleinen erfolgte mit elektrostatischen Verfahren und gewährleistet aufgrund der automatisierten Produktion eine homogene, gleichbleibende Oberflächenqualität der Schmirgel. Die Fertigung der Splittabstreuungen erfolgte hingegen durch Abstreuen des Korns mit der Hand und in Belagslängen von 2 m. Die Homogenität innerhalb einer Belagsbahn und von Bahn zu Bahn ist wesentlich schwächer ausgeprägt.

Eine deutlich sichtbare Differenz zwischen beiden Verfahren tritt lediglich bei der Splittabstreuung 8–11 mm und beim ISO-Belag auf. Beide Beläge

Belagsart	Griffigkeit SRT- Pendel	mittlere Rauhtiefe in mm	
		Sand- flächen-M.	Laser- messung
Asphaltbeton			
AB 0/11S, unbeh.	24,3	0,23	--
AB 0/11S, beh.	59,2	1,31	1,1
AB 0/8-ISO, unbeh.	37,3	0,25	0,48
AB 0/8-ISO, beh.	52,9	0,29	0,44
Splitt-Kunstharz			
8–11 mm – SK 8	51,1	6,23	3,8
4–5,6 mm – SK 4	51,9	2,1	1,93
2–2,8 mm – SK 2	54,4	1,85	1,48
0,7–1,4 mm – SK 07	70,3	1,14	1,28
Korund/Kunstharz			
1,0–1,7 mm – KK1	74,3	1,36	1,01
Korund/Schmirgelleinen			
1,0–1,7 mm – P16	65,5	1,32	1,18
0,7–1,2 mm – P20	75,7	1,26	1,13
0,6–1,0 mm – P24	81,5	1,01	0,98

Tab.6.2: Zusammenstellung von Griffigkeits- und Rauhtiefewerten

repräsentieren hinsichtlich ihrer Kornzusammensetzung die bereits in Kap.5.2 angesprochenen Meßgrenzen der Sandflächenmethode. So liegt beim Splittbelag 8–11 mm der Sandflächenwert um ca. 64 % über dem Wert der Lasermessung. Auf dem ISO-Belag hingegen wird ein annähernd nur halb so großer Wert in bezug zur Lasermessung ermittelt. Aufgrund der hohen Stichprobenzahl von 340 bei der Lasermessung – bei der Sandflächen-

methode wurden nur 6 Messungen durchgeführt – ist die statistische Streuung geringer und der Vertrauensbereich der Meßwerte wesentlich enger und schärfer. Eine Untersuchung der Korrelation zwischen Rollwiderstand und Rauhtiefe bestätigt dies (vgl. Kap.7.2.1).

In gleicher Weise müssen die Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen mit dem SRT-Pendel hinsichtlich der Belagsarten differenziert werden. Der Übergang vom Schmirgelleinen zum Splittbelag zeigt möglicherweise bei gleicher Kornzusammensetzung den zuvor beschriebenen Fertigungseinfluß und zusätzlich auch noch den Einfluß des Träger- bzw. Umhüllungsmaterials – Lackauftrag beim Schmirgelleinen und Kunstharz beim Splittbelag (Korund-Korn 1–1,7 mm). Eine nähere Untersuchung der Zusammenhänge wird in Kapitel 7.3 durchgeführt.

Allgemein ist festzustellen, daß mit wachsendem Größtkorn eine Abnahme der Griffigkeit verbunden ist. Die hohen SRT-Werte der Korundbeläge bestätigen den Einfluß des überaus scharfkantigen Korundmaterials, da fertigungsbedingt (elektrostatische Aufbringung) das Korn überwiegend mit seiner größten Fläche zum Trägerleinen fällt und aufgrund der Tetraederform des Kornes mit der Spitze nach außen weist (vgl. Kap.4.1).

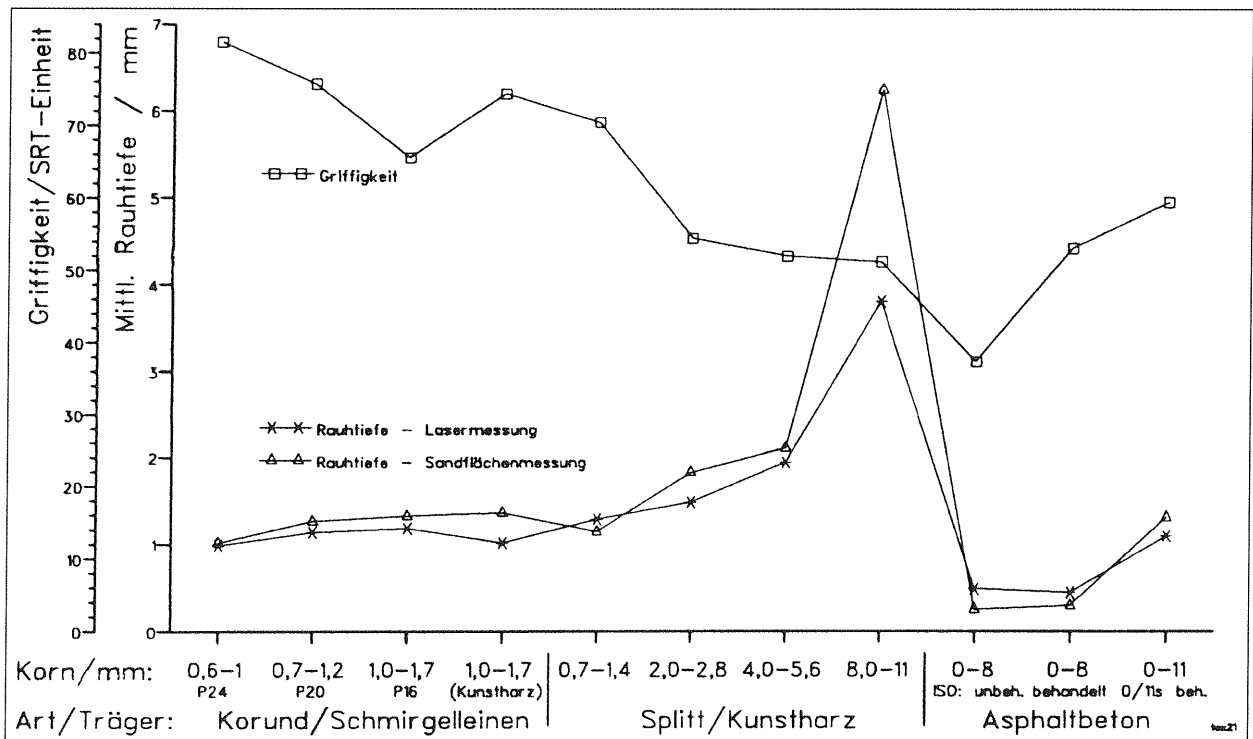


Bild 6.9: Mittlere Rauhtiefe und Griffigkeit der Prüfbeläge

Bei den Splittoberflächen werden SRT-Werte oberhalb von 50 erzielt; sie entsprechen den üblichen, heute verwendeten Asphalt- und Zementbetondeckschichten.

Einen Sonderfall stellen die unbehandelten Asphaltbeton-Beläge dar. Der geringe SRT-Wert der unbehandelten Oberfläche ist auf die Bindemittelschicht, die fertigungsbedingt als geschlossene Umhüllung an der Oberfläche verbleibt, zurückzuführen.

Der behandelte (dampfgestahlte) Belag weist, bezogen auf den Splittbelag 8 – 11 mm eine gleich gute Griffigkeit bei nur 10 % der Rauhtiefe auf. Bei den Versuchen wurde jedoch die zeitliche Stabilität der Oberfläche nicht weiter untersucht. Es kann aber davon ausgegangen werden, daß mit zunehmender Laufleistung – insbesondere unter Längskraftein-

fluß – eine Polierung der Oberfläche eintritt. Die hohe Griffigkeit des behandelten ISO-Belages entspricht somit nur einem Anfangszustand mit geringer und begrenzter Haltbarkeit. Den Einfluß der Behandlung der Oberfläche der Fahrbahn verdeutlichen die Werte für den Asphaltbeton AB 0/11S. Hier wurde eine Oberfläche mit deutlich ausgeprägter Rauhtiefe durch eine intensivere Behandlung als beim ISO-Belag realisiert, wie es am mittleren Rauhtiefenwert von über 1 mm und an der guten Griffigkeit mit einem SRT-Wert von ca. 60 ausgewiesen wird.

6.3 Textur

Die Ergebnisse der Texturauswertung der Fahrbahnbeläge für die drei Wellenlängenbereiche Fein-, Grob- und Megatextur sind in Tab. 6.3 zusammengefaßt und in Bild 6.10 dargestellt.

Belagsart	Feintextur / mm L = 0,3 – 10 mm	Grobtextur / mm L = 10 – 100 mm	Megatextur / mm L = 100 – 500 mm
Asphaltbeton			
AB 0/11S, unbeh.			
AB 0/11S, beh.	0,26	0,44	0,45
AB 0/8-ISO, unbeh.	0,10	0,09	0,27
AB 0/8-ISO, beh.	0,11	0,10	0,30
Splitt/Kunsthartz			
8 – 1 mm – SK 8	0,79	1,86	0,86
4 – 5,6 mm – SK 4	0,48	0,70	0,41
2 – 2,8 mm – SK 2	0,37	0,39	0,30
0,7 – 1,4 mm – SK 07	0,29	0,25	0,34
Korund/Kunsthartz			
1,0 – 1,7 mm – KK1	0,22	0,20	0,36
Korund/Schmirgelleinen			
1,0 – 1,7 mm – P 16	0,33	0,23	0,26
0,7 – 1,2 mm – P 20	0,30	0,20	0,27
0,6 – 1,0 mm – P 24	0,21	0,13	0,28

Tab. 6.3: Texturkennwerte der geprüften Fahrbahnbeläge

Für die Splitt- und Korundbeläge zeigen sich relativ geringe Werte im Bereich der Mega- und Feintextur, die selbst bei der Abstreifung 8 – 11 mm nur unwesentlich über den Texturwerten der Beläge mit kleinerem Korn liegen. Andererseits zeigt sich bei der Grobtextur (Wellenlängenbereich 0,01 – 0,1 m) eine deutlich ausgeprägte Zunahme des Texturwertes in Abhängigkeit von der Korngröße. Sie erreicht bei der größten Abstreifung mit einem Korn von 8 – 11 mm ein Maximum.

Erwartungsgemäß bestätigen die geringen Werte der beiden Oberflächen des ISO-Belages die weitgehend untypische Charakteristik, wie sie bereits für die Rauhtiefe und Griffigkeit festgestellt wurde.

Hingegen zeigt beim Asphaltbeton AB 0/11S nach der Oberflächenbehandlung die Zunahme der Texturwerte, die für die Fein- und Grobtextur mit den Werten auf Splitt- oder Korundoberflächen mit einem Korndurchmesser von 1 – 3 mm vergleichbar sind, daß bei diesem Belag von einer realitätsnahen Oberfläche ausgegangen werden kann.

6.4 Rollwiderstand

Die Ergebnisse der Rollwiderstandsmessungen der beiden Versuchsläufe mit jeweils drei Geschwindigkeiten sind in Tab. 6.4 zusammengestellt.

Die Einzelwerte wurden zu einem mittleren Wert zusammengefaßt, da eine Geschwindigkeitsabhän-

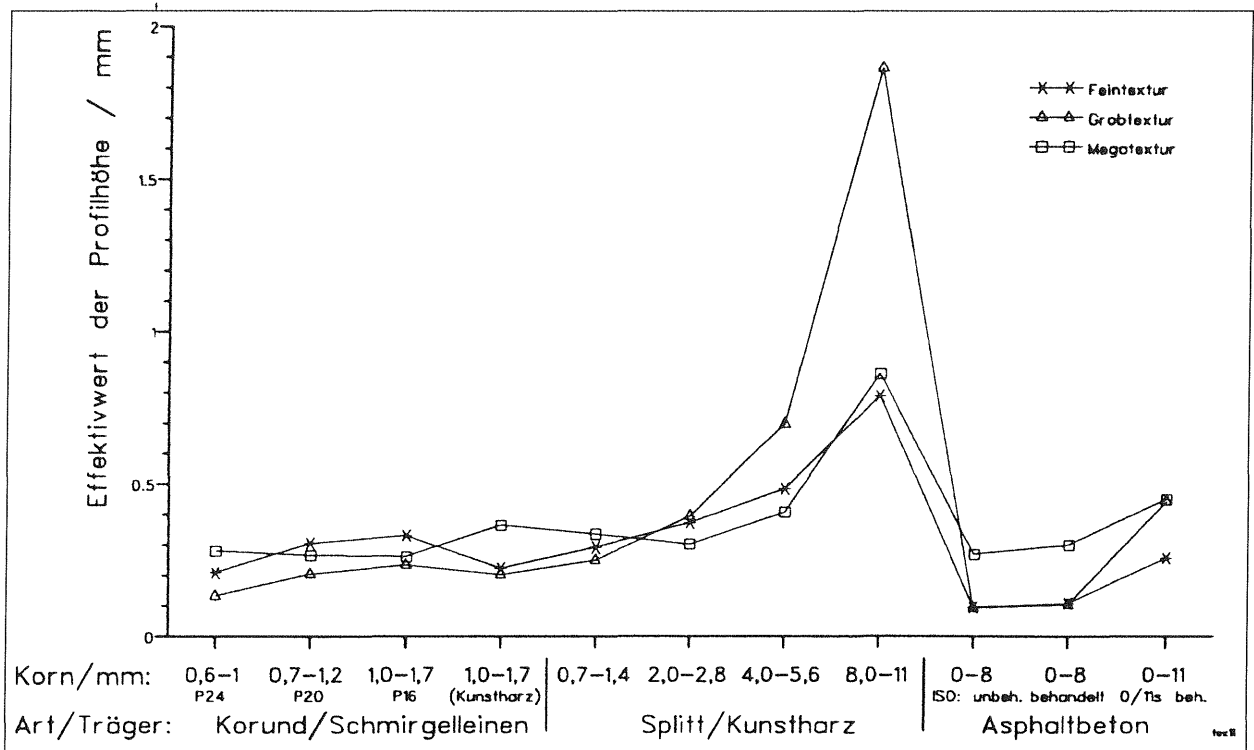


Bild 6.10: Kennwerte für Fein-, Grob- und Megatextur

Belagsart / Reifen	Rollwiderstand in N			
	21	22	23	24
Asphaltbeton				
AB 0/11S, unbeh.				
AB 0/11S, beh.	41,7	45,0	37,6	39,3
AB 0/8-ISO, unbeh.	41,2	42,7	35,3	39,3
AB 0/8-ISO, beh.	39,9	42,7	35,2	37,6
Splitt/Kunsthartz				
8-11 mm - SK 8	57,5	62,2	51,6	54,5
4-5,6 mm - SK 4	48,4	51,7	45,2	45,8
2-2,8 mm - SK 2	44,6	48,2	41,9	42,8
0,7-1,4 mm - SK 07	44,9	47,9	40,4	41,0
Korund/Kunsthartz				
1,0-1,7 mm - KK1	43,7	46,4	39,0	41,6
Korund/Schmirgelleinen				
1,0-1,7 mm - P 16	43,0	46,1	39,3	40,1
0,7-1,2 mm - P 20	47,5	50,9	43,6	45,6
0,6-1,0 mm - P 24				

Tab. 6.4: Einzelwerte der Rollwiderstandsmessung in N, (Reifen-Nr. siehe Kapitel 4.4)

gigkeit der Rollwiderstandswerte im geprüften Bereich (50–120 km/h) nicht oder nur mit geringfügigem Anteil festgestellt wurde. Zudem wiesen die Mittelwerte der Rollwiderstände eine gute Übereinstimmung in beiden Versuchsläufen auf. Ausgeprägter ist die reifenspezifische Komponente des Rollwiderstandes (Bild 6.11). Der Einfluß der Fahrbahneigenschaften – Rauhtiefe, Griffigkeit und

Textur – wird ausführlich in Kapitel 7.2 gesondert behandelt.

Bei allen vier Versuchsreifen wird eine eindeutige Reihung der Rollwiderstände erzielt, die zudem auf allen Belägen mit weitgehend gleicher Relation zueinander beibehalten wird.

Die Ergebnisse bestätigen, daß für die Höhe des Rollwiderstandes eines Reifens – unter sonst gleichen Randbedingungen (Radlast, Luftdruck usw.) – neben der Gummimischung hauptsächlich die Bauart der Karkasse und deren Festigkeit verantwortlich sind. Für die Festigkeit eines Reifens sind die maximal zulässige Geschwindigkeit, d. h. Zuordnung zur Geschwindigkeitsklasse (Geschwindigkeitssymbol/SSY), sowie die Reifenbelastbarkeit und Tragfähigkeit (Lastindex/LI) maßgebend. Die festgestellte Reihung der Rollwiderstände der vier Reifen entspricht unter der Annahme, daß kein wesentlicher Einfluß des Reifenfabrikats vorliegt, der Zuordnung der Reifen zu ihrer jeweiligen Geschwindigkeitsklasse. Die beiden 13"-Reifen, die zur Klasse T mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 190 km/h gehören, weisen annähernd gleichgroße Werte auf. Der Rollwiderstand des Reifens der Größe 195/65 – Klasse H mit einer Höchstgeschwindigkeit von 210 km/h – liegt bei sämtlichen drei geprüften Geschwindigkeiten unter dem Wert des Reifens der Größe 205/60, der in der Klasse V für eine Höchstgeschwindigkeit von 240 km/h zugelassen ist.

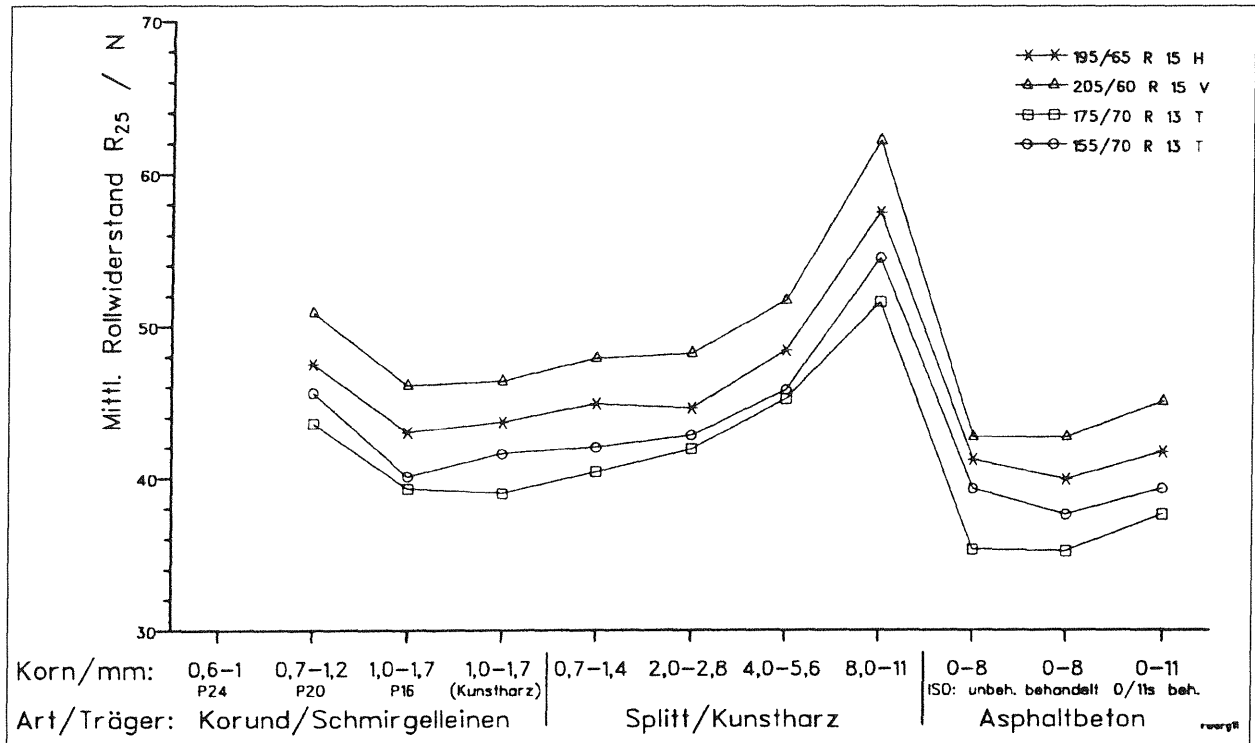


Bild 6.11: Mittlere Rollwiderstände – zwei Versuchsläufe mit drei Geschwindigkeiten (50/90/120 km/h)

7 Verknüpfung der Meßergebnisse

7.1 Rollgeräusch und Textur

Zur Klärung der Frage – wie wird der Rollgeräuschpegel von Reifen durch die mittlere Textur der Straßenoberfläche beeinflusst – sind Rollgeräuschpegel und Texturkennwerte zu vergleichen.

Dazu sind in Tab. 7.1 Rollgeräuschpegel und Kennwerte der getesteten Texturen zusammengestellt. L (85 km/h) ist der über die 4 GESTrO-Reifen gemittelte Pegel, seitwärts in 7,5 m Entfernung gemessen. Die Sandflektiefe und die durch Laserabtastrung gewonnene mittlere Rauhtiefe RT (Laser) sind in Kapitel 5.2 erläutert.

Belagsart	L (85 km/h) in dB (A)	Sandflektiefe in mm	RT (Laser) in mm	MRT in mm
Asphaltbeton 0/11S neu	81,5	–	–	–
Asphaltbeton 0/11S wassergestrahlt	82,0	1,31	1,1	0,70
Aphaltbeton 0/8 neu	81,4	0,25	0,48	0,20
Asphaltbeton 0/8 wassergestrahlt	80,4	0,29	0,44	0,24
Splitt/Kunstharz 8/11	81,0	6,23	3,8	2,86
Splitt/Kunstharz 4/5,6	79,6	2,1	1,93	1,24
Splitt/Kunstharz 2/2,8	78,0	1,85	1,48	0,81
Splitt/Kunstharz 0,7/1,4	77,1	1,14	1,28	0,57
Korund/Kunstharz 1,0/1,7	77,6	1,36	1,01	0,43
Schmirgelleinen Korund 1,0/1,7	75,9	1,32	1,18	0,64
Schmirgelleinen Korund 0,7/1,2	75,2	1,26	1,13	0,57
Schmirgelleinen Korund 0,6/1,0	75,3	1,01	0,98	0,40

Tab. 7.1: Geräuschpegel, gemittelt über die 4 GESTrO-Reifen, und Rauhtiefenkennwerte

Die mittlere Rauhtiefe MRT ist die Differenz der Mittelwerte d_+ der positiven Laser-Abtastwerte Y_i (über der Ausgleichskurve) und der negativen d_- :

$$MRT = d_+ - d_- \text{ mit } d_+ = \frac{1}{n_+} \cdot \sum_{i=1}^{n_+} (Y_i > 0) \cdot Y_i \text{ und}$$

$$d_- = \frac{1}{n_-} \cdot \sum_{i=1}^{n_-} (Y_i < 0) \cdot Y_i$$

Diese Rauhtiefendefinition ist frei von den Mängeln, die dem Sandflächenverfahren anhaften: Fehlmessung im Bereich geringer Rauhtiefen wegen des endlichen Durchmessers der Sandkörner und im Bereich größerer Rauhtiefen wegen möglichen Überkorns in der verwendeten Fraktion des Abstreusplitts. Der letztere Mangel haftet auch der durch den Laser gemessenen Rauhtiefe RT (Laser) an, die der Sandflecktiefe nachempfunden ist.

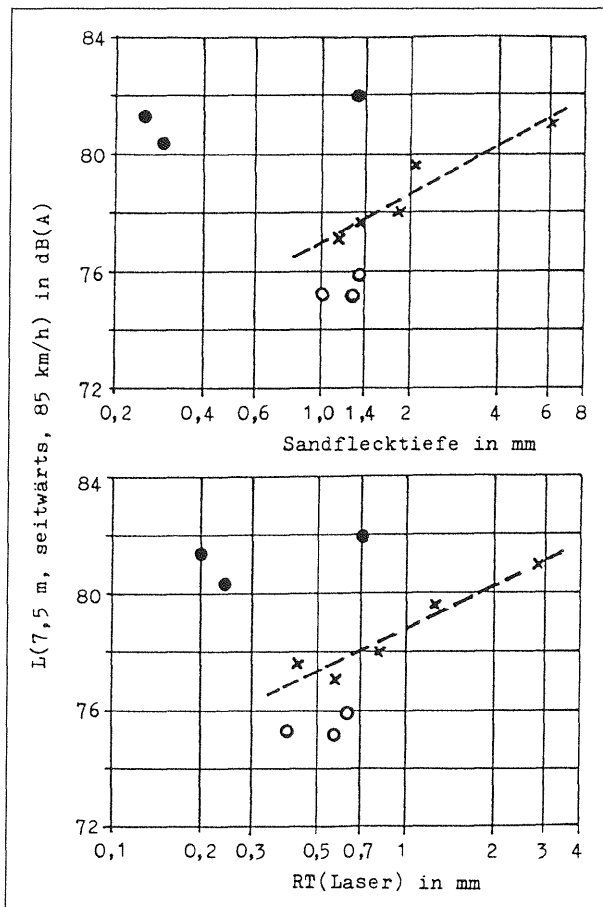


Bild 7.1.1: Vergleich der Reifengeräuschpegel mit der Sandflecktiefe und der Lasertiefe. Geschlossene Kreise: Asphaltbeton, Kreuze: Abstreungen, offene Kreise: Schmirgelleinen

Der Vergleich von Geräuschpegeln (Mittel über die 4 GESTRO-Reifen) mit Sandfleckt- und Lasertiefe, dargestellt in Bild 7.1.1, ergibt folgendes:

- Die Geräuschentwicklung auf den drei Texturgruppen Asphaltbeton, Splittabstreuung auf Kunstharz und Schmirgelleinen folgen nicht einer einheitlichen Gesetzmäßigkeit. Die Splittabstreuungen werden mit abnehmender Rauhtiefe leiser. Trotz sehr geringer Rauhtiefe sind die Asphaltbetone erheblich lauter. Dagegen sind die Geräuschpegel auf den getesteten Schmirgelleinen leiser als auf vergleichbaren Abstreungen.

- Die Pegelabnahme mit abnehmender Rauhtiefe folgt bei den Abstreungen einer logarithmischen Gesetzmäßigkeit:

$$L(85 \text{ km/h, seitwärts, } 7,5 \text{ m}) = 77,0 + 5,3 \log(\text{Sandflecktiefe})$$

$$L(85 \text{ km/h, seitwärts, } 7,5 \text{ m}) = 77,1 + 6,9 \log(\text{Lasertiefe})$$

$$L(85 \text{ km/h, seitwärts, } 7,5 \text{ m}) = 78,8 + 4,8 \log(MRT)$$

mit $r \approx 0,95$. Die Geräuschemission der 4 GESTRO-Reifen steigt ungefähr mit der Wurzel der Rauhtiefe an. Eine Verdoppelung der Rauhtiefe erhöht den Geräuschpegel um 1,5 dB (A).

L_{400–800 Hz}/Textur, L_{1,25 k–5 kHz}/Textur:

Die Textur beeinflusst das Rollgeräusch im wesentlichen im Frequenzbereich unter 1000 Hz. Daher werden im folgenden die Frequenzbereiche von 400–800 Hz (Terzen) und 1,25 k–5 kHz getrennt untersucht. In Tab. 7.1.2 sind zunächst die Meßwerte zusammengestellt. Es sind, wie bisher auch, A-bewertete Summenpegel über die beiden Frequenzbereiche, gemittelt über die 4 GESTRO-Reifen.

Belagsart	L (85 km/h) in dB (A)	
	400–800 Hz	1,25–5 kHz
Asphaltbeton 0/11 neu	75,7	78,8
Asphaltbeton 0/11 wassergestrahlt	77,6	76,7
Asphaltbeton 0/8 neu	73,7	76,7
Asphaltbeton 0/8 wassergestrahlt	73,7	77,9
Splitt/Kunstharz 8/11	79,6	71,8
Splitt/Kunstharz 4/5,6	76,2	73,9
Splitt/Kunstharz 2/2,8	73,4	73,6
Splitt/Kunstharz 0,7/1,4	72,3	73,1
Korund/Kunstharz 1,0/1,7	72,8	73,4
Schmirgelleinen Korund 1,0/1,7	72,4	71,6
Schmirgelleinen Korund 0,7/1,2	72,1	70,2
Schmirgelleinen Korund 0,6/1,0	72,1	70,6

Tab. 7.2: Geräuschpegel der 4 GESTRO-Reifen (85 km/h, seitwärts, 7,5 m) summiert über die Terzen von 400–800 Hz und 1,25–5 kHz

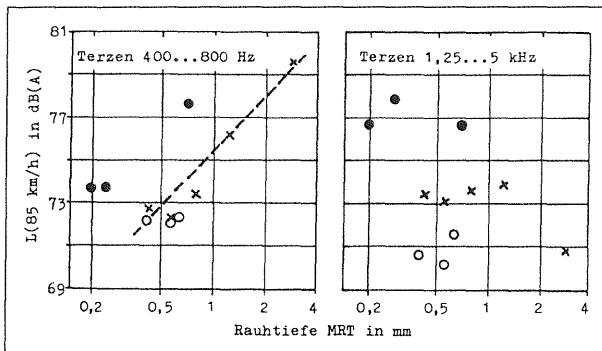


Bild 7.3: Reifengeräuschpegel für die Frequenzbereiche 400 Hz – 800 Hz und 1,25 kHz – 5 kHz in Abhängigkeit von der Rauhtiefe MRT, volle Kreise: Asphaltbeton, Kreuze: Abstreungen, offene Kreise: Schmirgelleinen

Zusammen mit der bildlichen Darstellung (Bild 7.3) ergibt sich:

- In der Gruppe der Asphaltbetone überwiegt die Geräuschemission des höheren Frequenzbereiches 1,25 kHz – 5 kHz.

Dies gilt auch für die beiden größeren Abstreungen. Bei den feineren Abstreungen halten sich die Geräuschanteile in den beiden Frequenzbereichen die Waage.

Beim Schmirgelleinen sind die Emissionen im niederfrequenten Bereich höher.

- Im Bereich von 400 Hz – 800 Hz sind die Belags- bzw. Texturgruppen näher aneinandergerückt. Eine Korrelation zwischen den Rauhtiefen und den Pegeln der Abstreungen und Schmirgelleinen mit MRT-Werten über 0,5 mm ergibt

$$L(85 \text{ km/h, seitwärts, } 7,55 \text{ m}) = 74,7 + 10,9 \cdot \lg(\text{MRT}).$$

(Bei Berücksichtigung aller Abstreungen und Schmirgelleinen:

$L = 75,0 + 9,2 \cdot \lg(\text{MRT})$). In Zahlen ausgedrückt bedeutet dies: Im Frequenzbereich von 400 Hz – 800 Hz führt eine Verdoppelung der Rauhtiefe zu einer Erhöhung der Reifengeräuschpegel von ungefähr 3 dB (A).

- Im hochfrequenten Bereich unterscheiden sich die vergleichbaren Schmirgelleinen und Abstreungen um mehr als 2 dB (A). Das deutet darauf hin, daß die „handgemachten“ Abstreungen wesentlich weniger effektiv die Kontaktfläche Reifen/Straße entlüften können. In der Optimierung von Abstreungen liegt daher noch ein Potential zur Reifengeräuschminderung von 1 – 2 dB (A).

Theoretische Überlegungen:

Für „ideale“ Abstreungen läßt sich folgendermaßen abschätzen, wie der Reifengeräuschpegel, der der Schallquelle „schwingende Reifendecke“ zuzuschreiben ist, von der Texturtiefe abhängt:

- Beim Überrollen einer Texturspitze wird die Reifendecke d mm tief eingedrückt. Hinter der Kontaktfläche Reifen/Straße federt die Eindrückung unter Emission von Schall wieder aus. Die abgestrahlte Schallenergie I ist dem Quadrat der Eindrückung proportional:

$$I \sim d^2$$

- Die Eindringtiefe d ist dem Druck des Reifens auf die Spitze proportional. Da dieser Druck umgekehrt proportional der Zahl n der Spitzen über die Kontaktfläche Reifen/Straße ist, gilt:

$$d \sim 1/n.$$

- Die von einem Reifen abgestrahlte Schallintensität ist der Zahl der Spitzen über die Breite der Reifenauftragfläche n proportional:

$$I \sim \sqrt{n}$$

- Für gesättigte Abstreungen schließlich ist die mittlere Rauhtiefe MRT der Reifeneindringtiefe proportional. Damit gilt:

$$I \sim d^2 \cdot n \sim d^2 / \sqrt{d} \sim d^{3/2} \sim \text{MRT}^{3/2}.$$

Der Übergang zu Pegeln liefert:

$$L \sim 15 \cdot \lg(\text{MRT})$$

mit einer Pegelerhöhung von 4,5 dB (A) bei Verdoppelung von MRT.

Die bei den 4 GEstro-Reifen gemessene Pegelerhöhung von etwa 3 dB (A) pro Verdoppelung der Texturtiefe entspricht nicht ganz den Erwartungen. Vielleicht sind in dem Frequenzbereich von 400 Hz bis 800 Hz auch noch Air-Pumping-Geräusche möglich. Darauf deutet eine Vorabauswertung eines in die Untersuchungen einbezogenen profillosen Reifens hin. Bei ihm beträgt die Pegelerhöhung knapp 4 dB (A).

7.2 Rollwiderstand und Fahrbahneigenschaften

Für die nachfolgenden Betrachtungen zum Einfluß der Fahrbahneigenschaften auf den Rollwiderstand wird stellvertretend für die vier geprüften Reifengrößen der Prüfreifen mit der Größe 175/70 R 13 herangezogen. Da sich eine eindeutige Reihung der Rollwiderstände der vier Prüfreifen auf sämtlichen Belä-

gen zeigt (vgl. Kap. 6.4) und die relative Zuordnung der Reifen weitgehend gleich bleibt, können die nachfolgenden Feststellungen auf die anderen Reifen übertragen werden.

7.2.1 Rollwiderstand in Abhängigkeit von Rauhtiefe und Griffigkeit

Eine Korrelation zwischen Rollwiderstand und Griffigkeit (SRT-Wert) ist nicht feststellbar. Zur Bewertung der Einzelergebnisse wird auf Kapitel 6 verwiesen.

Im Gegensatz hierzu ist im qualitativen, belagstypischen Verlauf von Rollwiderstand und Rauhtiefe eine gute Übereinstimmung zu finden. Der Korrelationskoeffizient einer linearen Regression zwischen Rollwiderstand und Rauhtiefe ergibt für die Sandflächenmessung einen Wert von 0,91 (Bild 7.4) und für die Lasermessung einen Wert von 0,95 (Bild 7.5).

7.2.2 Rollwiderstand und Textur

Die Effektivwerte der wellenlängenbewerteten Profilmessung der Fahrbahnoberflächen zeigt Bild 6.10 (Kap. 6). Ein Vergleich der drei Texturverläufe mit den Rollwiderstandswerten (Bild 6.11) zeigt eine gute Übereinstimmung. Mit einer linearen Regression zwischen den beteiligten Größen wird auch hier eine mögliche Abhängigkeit ermittelt. Zwischen Rollwiderstand und Megatextur ergibt sich die geringste Korrelation mit einem Wert von 0,8 (Bild 7.8); den höchsten Wert mit 0,97 liefert die Feintextur (Bild 7.6), wohingegen die Grobtextur zwischen beiden Ergebnissen mit einem Wert von 0,89 liegt (Bild 7.7). Das Ergebnis bestätigt die Vermutung, daß für die zusätzlichen Verluste, sei es Hysterese im Reifengummi oder Reibkräfte (Widerstand zwischen Reifen und Fahrbahn und mechanische Verzahnung zwischen Reifenprofil und Rau-

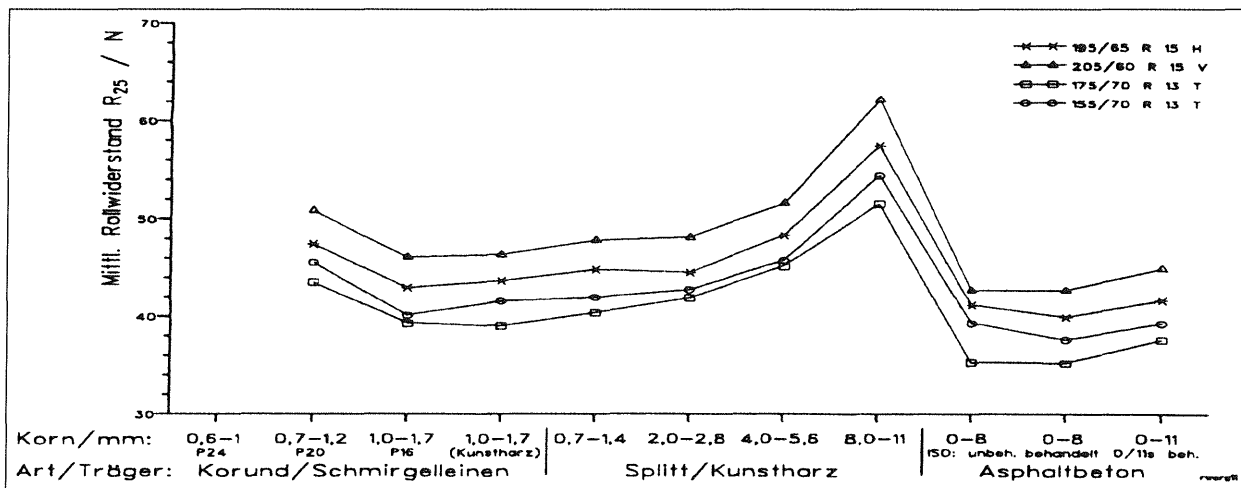


Bild 7.4: Zur Abhängigkeit des Rollwiderstandes von der Rauhtiefe (Sandflächenmessung) – Einzelwerte und Regressionsgerade

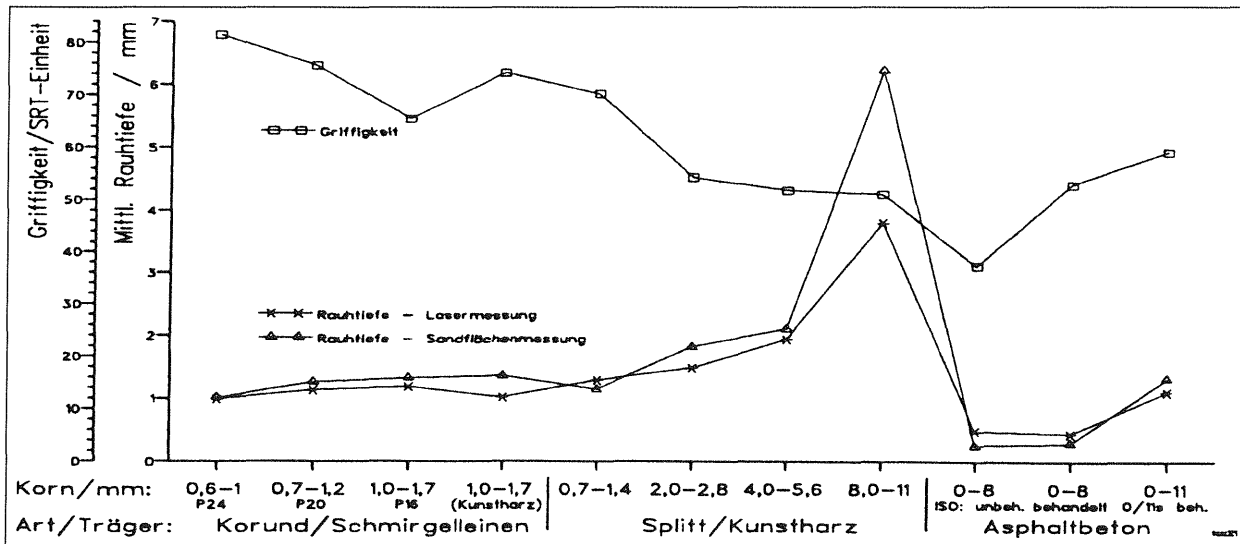


Bild 7.5: Zur Abhängigkeit des Rollwiderstandes von der Rauhtiefe (Lasermessung) – Einzelwerte und Regressionsgerade

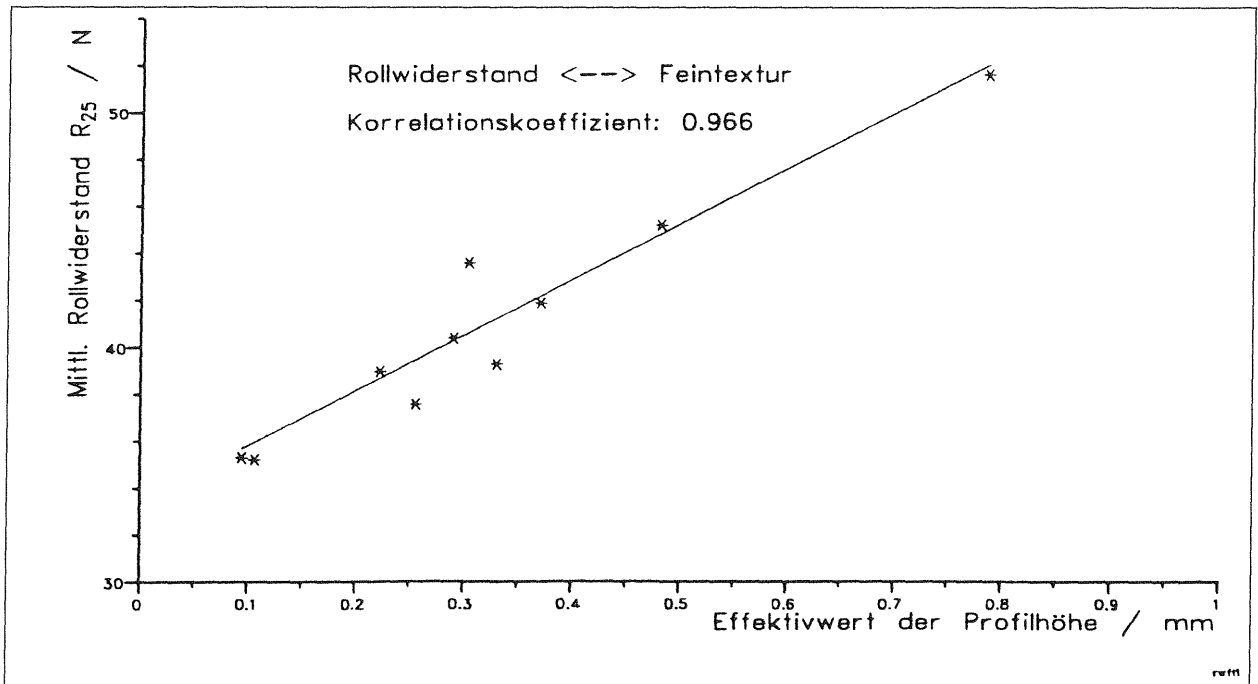


Bild 7.6: Zur Abhängigkeit des Rollwiderstandes von der Feintextur (Einzelwerte und Regressionsgerade)

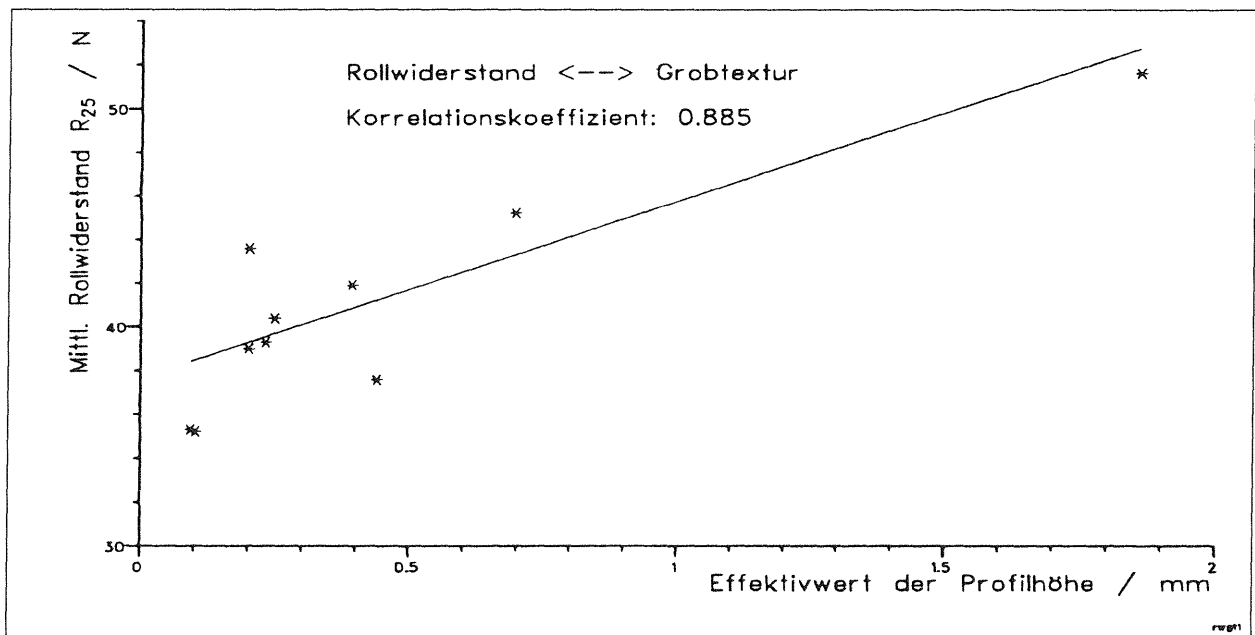


Bild 7.7: Zur Abhängigkeit des Rollwiderstandes von der Grobtextur (Einzelwerte und Regressionsgerade)

spitzen der Fahrbahnoberfläche beim Abrollen), überwiegend die Textur der Oberfläche verantwortlich gemacht werden kann.

Daß hierbei die Texturanteile der Fahrbahnoberfläche mit Wellenlängen unterhalb von 10 mm einen ausgeprägten Einfluß haben, stützt diese Annahme. Die genauen Ursachen für einen Einfluß der Textur der Fahrbahn auf den Rollwiderstand wie auch die Abhängigkeit von Fahrbahnunebenheiten sind aber noch weitgehend ungeklärt [7.1] [24].

7.2.3 Rollwiderstand und Belagsart

Zur Untersuchung weiterer Abhängigkeiten der Rollwiderstände muß eine Differenzierung der Fahrbahnbeläge hinsichtlich des beteiligten Korn- und Beschichtungsmaterials durchgeführt werden. Da die geprüften Beläge überwiegend aus gestaffelten Monofractionen des Kornmaterials bestehen (vgl. Kap. 4.1), bietet sich die Einführung eines mittleren Korndurchmessers als Mittelwert von Minimal- und Maximalkorn an (Bild 7.9). Von der Unter-

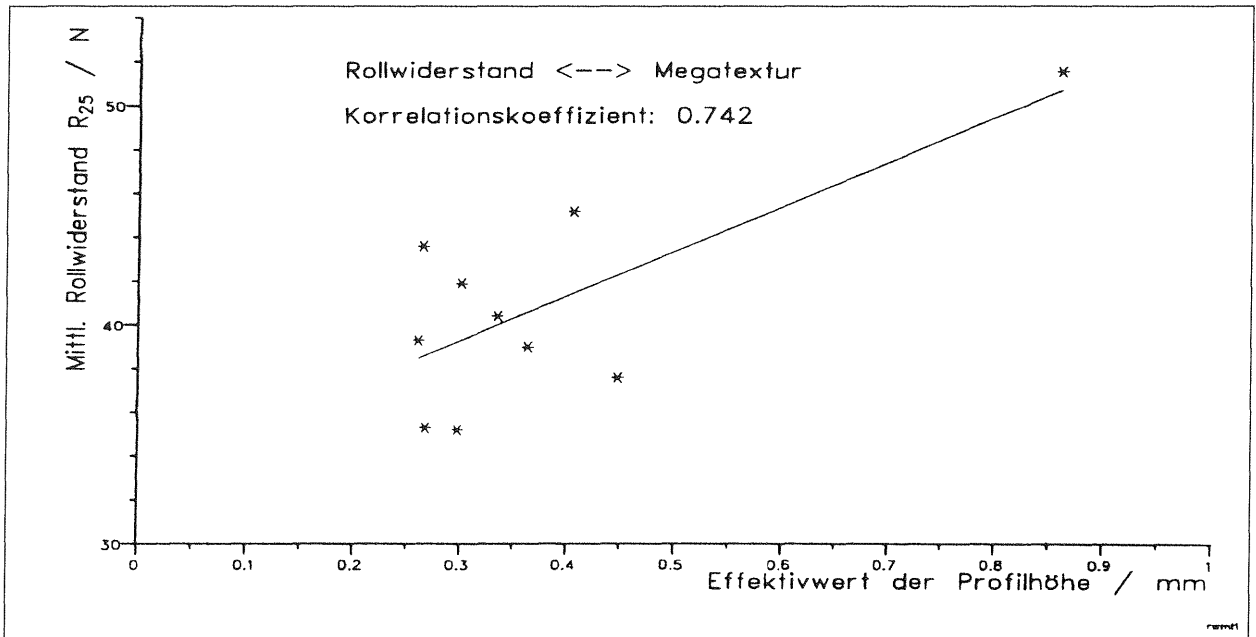


Bild 7.8: Zur Abhängigkeit des Rollwiderstandes von der Megatextur (Einzelwerte und Regressionsgerade)

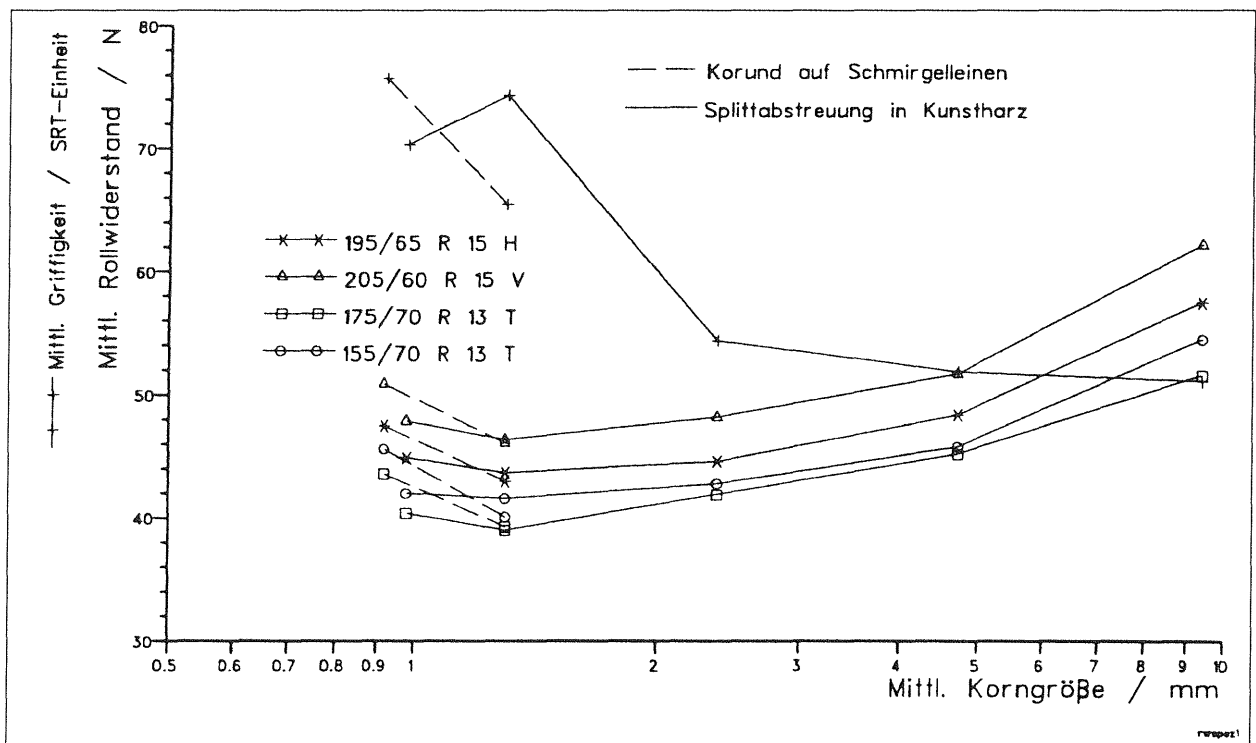


Bild 7.9: Mittlere Rollwiderstände und Griffigkeiten in Abhängigkeit von der mittleren Korngröße (ohne Asphaltbetonbeläge – ISO und AB O/11S –)

suchung ausgenommen wurden die Asphaltbetonbeläge (ISO-Belag und AB O/11S), da diesen Oberflächen aufgrund der belagstypischen Sieblinie kein eindeutiger mittlerer Korndurchmesser zugeordnet werden kann.

Mit dieser Darstellung werden zwei mögliche Aspekte der gegenseitigen Wechselwirkung zwischen Reifen und Fahrbahn – Rollwiderstand bzw.

Griffigkeit (SRT-Wert) und Korn- und Beschichtungsmaterial – besser sichtbar. Das Verhalten von Rollwiderstand und Griffigkeit ist auf den beiden unterschiedlichen Belagsarten – Korund auf Schmirgelleinen und Splittabstreuung in Kunstharz – unterschiedlich.

Beim Korundbelag nehmen Griffigkeitswerte und Rollwiderstände in gleichem Maße ab, während auf

dem Splittbelag sich der Rollwiderstand umgekehrt proportional zur Griffigkeit verhält. Leider stehen die Rollwiderstände für das Schmirgelleinen P24 nicht zur Verfügung, so daß eine Aussage zum weiteren Verhalten von Korundbelägen mit kleinem Korn nicht möglich ist.

Der Rollwiderstand ändert sich auf den Splittbelägen im unteren Korngrößenbereich (bis ca. 3 mm) nur geringfügig. Die Zunahme des Rollwiderstandes verhält sich weitgehend proportional zum wachsenden Korndurchmesser und zeigt im oberen Korngrößenbereich eine leichte Progression.

Als weiteres Ergebnis zeigt sich ein annähernd konstanter Rollwiderstand bei allen vier Prüfreifen beim Korund (mittlere Korngröße 1,3 mm), unabhängig von der Art der Aufbringung und Umhüllung. Auffallend sind einheitliche Trends bei Rollwiderstand und Griffigkeit auf Splittbelägen. Eine für diese Belagsart durchgeführte Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Rollwiderstand und Griffigkeit führt zu Bild 7.10.

Die Korrelation zwischen beiden Funktionen ist mit einem Wert von 0,78 jedoch nur gering ausgeprägt und aufgrund der geringen Stichprobenzahl nicht signifikant.

7.3 Rauhtiefe und Griffigkeit

Im Kapitel 6.2 waren bereits die Werte der Griffigkeiten nach der SRT-Messung und der Rauhtiefenbestimmung (Sandflächen- und Lasermessung) in Abhängigkeit von der jeweiligen Belagsart in der zeitlichen Reihenfolge des Einbaus der Beläge dargestellt worden. Für die nachfolgenden Betrachtungen zur Griffigkeit und Rauhtiefe wird wie in Kapitel 7.2 zwischen beiden unterschiedlichen Belagsarten differenziert und eine mittlere Korngröße definiert (Bild 7.11).

Im Gegensatz zum vorangegangenen Kapitel muß weiterhin das abweichende Verhalten des Belages, bei dem das Korundkorn des P16-Belages (1–1,7 mm) in Kunstharz abgestreut wurde, hinsichtlich der beiden hier untersuchten Eigenschaften berücksichtigt werden. Die jeweiligen Werte dieser Oberfläche sind daher als Einzelpunkte dargestellt. Aus den Funktionsverläufen zeichnet sich sowohl für die Griffigkeit als auch für die beiden Rauhtiefewerte eine weitgehende Stetigkeit der Verläufe in Abhängigkeit vom mittleren Korndurchmesser ab. Selbst der Übergang vom Korund- zum Splittmaterial zeigt im Bereich vergleichbarer Korngrößen keine wesentliche Änderung. Lediglich die Werte des Belages mit dem im Kunstharz eingebetteten Korundkorn scheinen auf eine Abhängigkeit

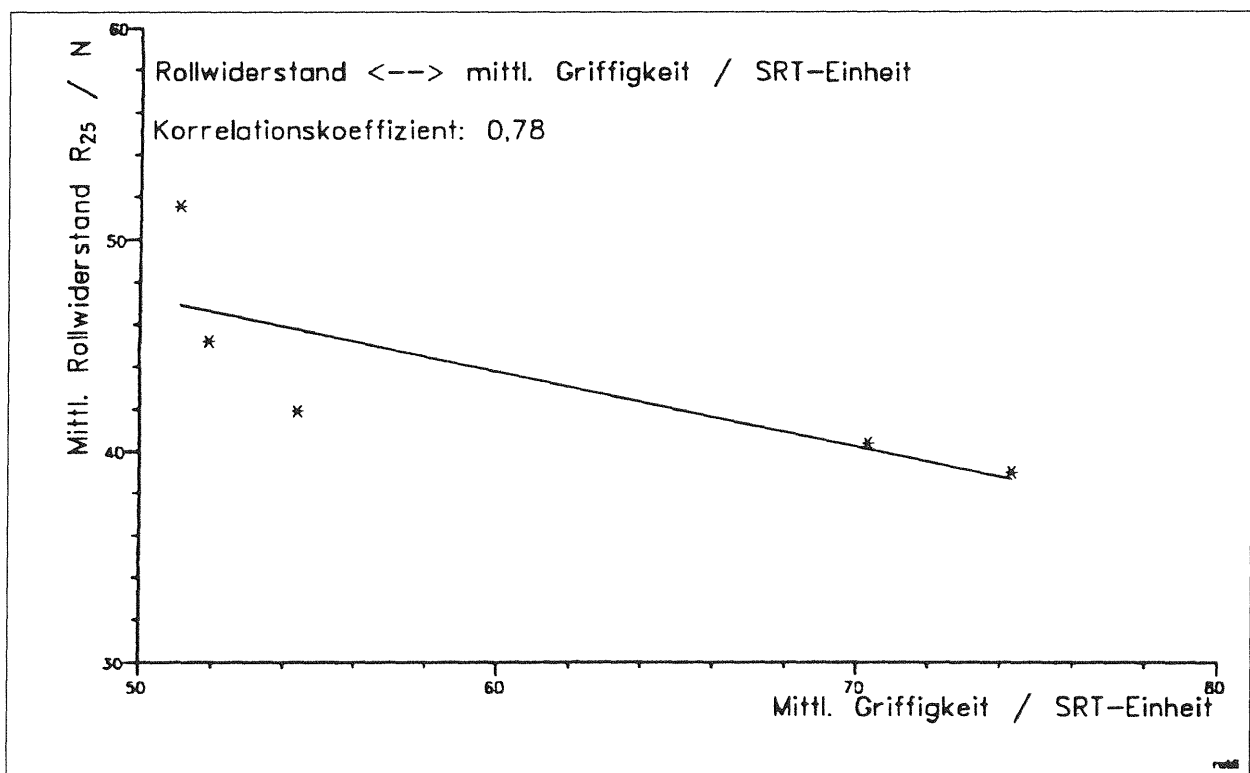


Bild 7.10: Zur Abhängigkeit des Rollwiderstandes von der Griffigkeit auf Splittbelägen (Einzelwerte und lineare Regressionsgerade)

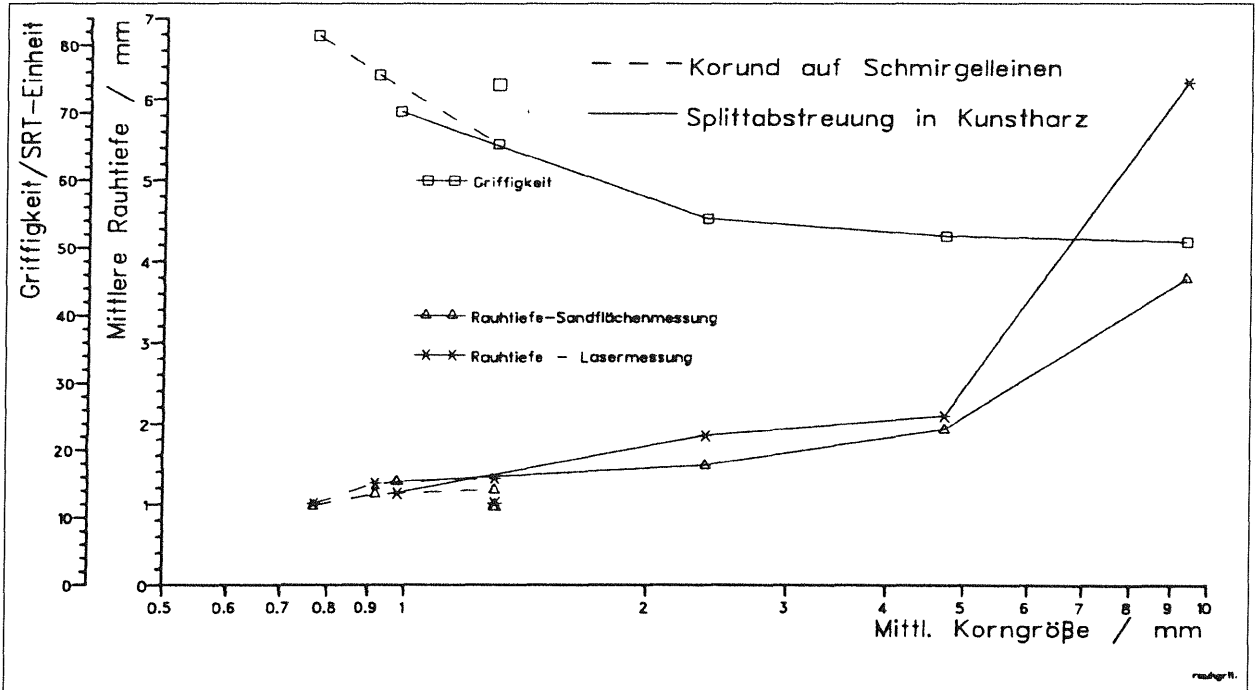


Bild 7.11: Rauhtiefen und Griffigkeit in Abhängigkeit von der mittleren Korngröße der Fahrbahnbeläge (ohne Asphaltbeton)

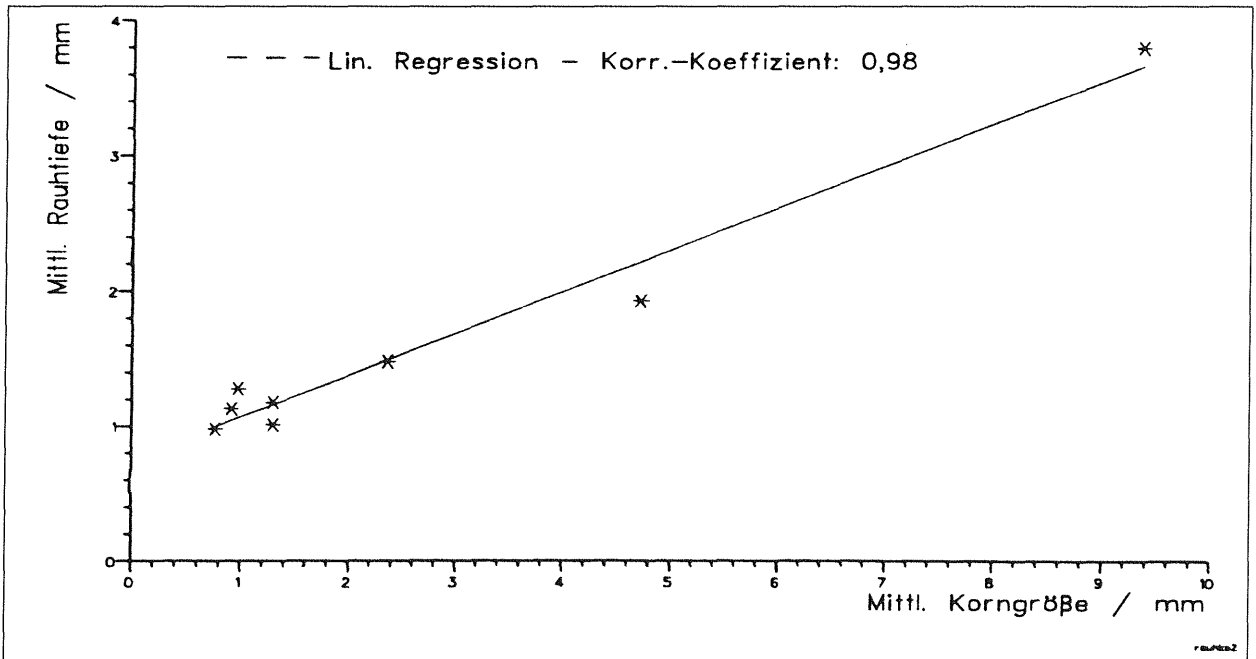


Bild 7.12: Lineare Regression zwischen Rauhtiefe (Lasermessung) und Korngröße

von Fertigungsweise und/oder des Kornmaterials, die besonders bei der Griffigkeit ausgeprägt zu sein scheint, hinzuweisen. Da jedoch dieser Belag nur einmal gefertigt wurde, kann dies auch ein zufälliges Ergebnis sein.

Die lineare Regression zwischen den beiden Rauhtiefewerten und der mittleren Korngröße ergibt für die Sandflächenmessung einen Korrelationskoeffizienten von 0,96. Für die Rauhtiefenwerte der

Lasermessung ist der Wert mit 0,98 geringfügig besser (Bild 7.12).

7.4 Rollwiderstand und Rollgeräusch

Die Ergebnisse von Rollgeräusch- und Rollwiderstandsmessung sind in Bild 7.13 dargestellt. Zur Vereinfachung der Darstellung wurden aus den reifenspezifischen Ergebnissen der vier Standardrei-

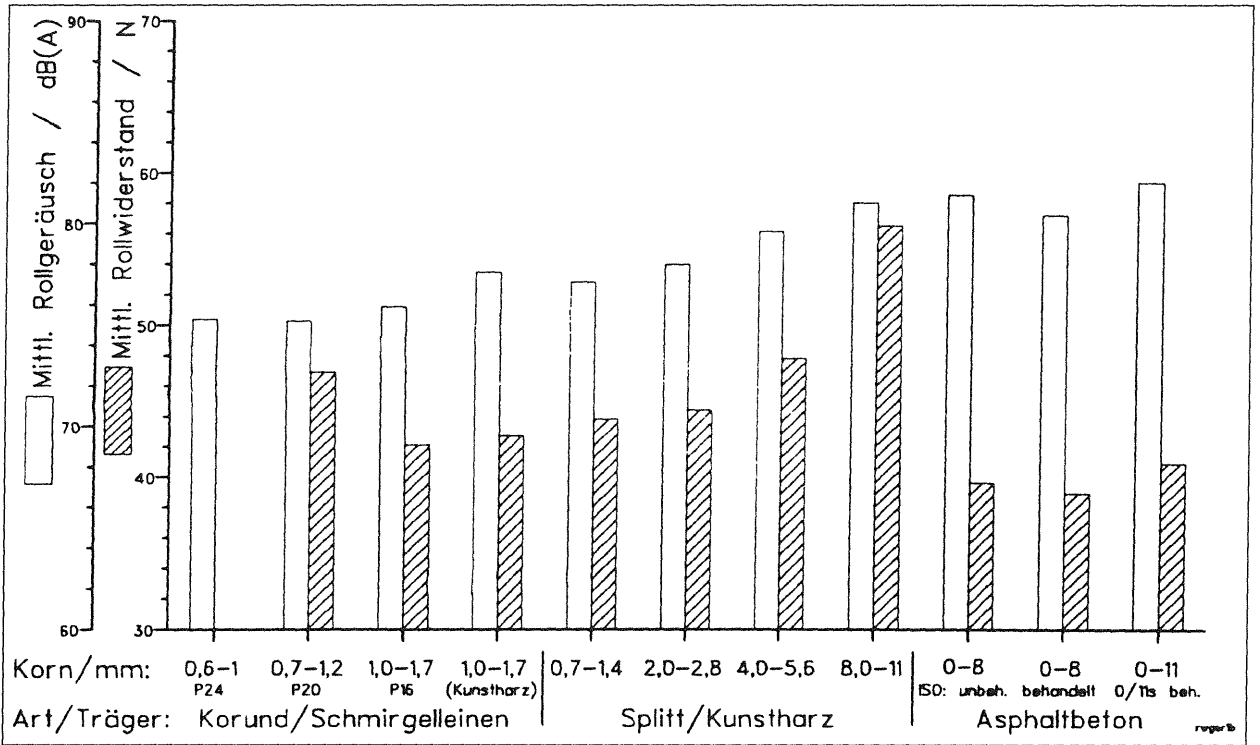


Bild 7.13: Rollgeräusch (Energetischer Mittelwert für 4 Standardreifen: 100 km/h, 7,5 m Mikrofonabstand, Position 0°) und Rollwiderstand (Mittelwert für 4 Standardreifen, Geschwindigkeit 50/90/120 km/h)

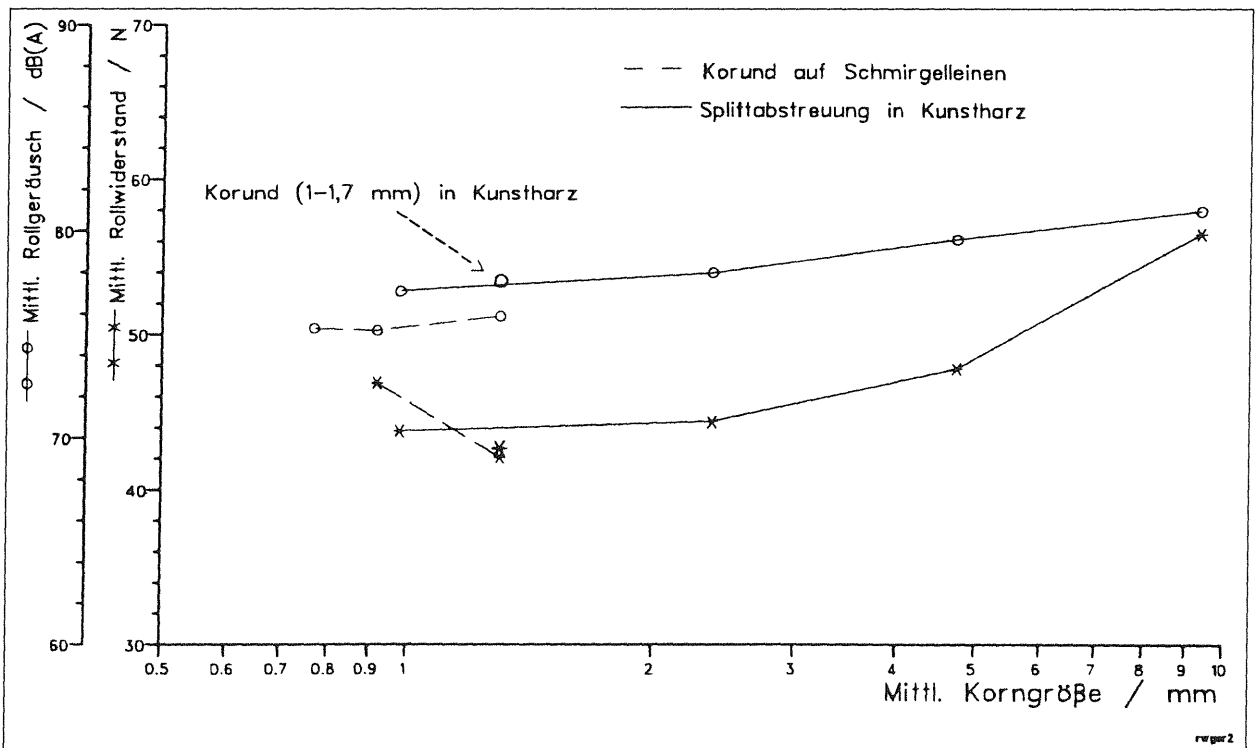


Bild 7.14: Rollgeräusch (Energetischer Mittelwert für 4 Standardreifen: 100 km/h, 7,5 m Mikrofonabstand, Position 0°) und Rollwiderstand (Mittelwert für 4 Standardreifen, Geschwindigkeit 50/90/120 km/h) in Abhängigkeit von der mittleren Korngröße des Fahrbahnbelages

fen (21 – 24, vgl. Kap. 5.5) ein Mittelwert sowohl des Rollgeräusches als auch des Rollwiderstandes gebildet.

Eine Darstellung beider Werte in Abhängigkeit von der mittleren Korngröße zeigt Bild 7.14. Auch hier wurden die Asphaltbetonbeläge nicht berücksichtigt. Hingegen wurde der Korundbelag mit Kunstharzummhüllung (Korngröße 1 – 1,7 mm) als einzelner Datenpunkt mit in das Diagramm eingetragen, um einen möglichen Einfluß der Umhüllung auf Geräusch und Rollwiderstand aufzuzeigen.

In beiden Verläufen ist ein weitgehend gleichgerichtetes Verhalten von Rollgeräusch und Rollwiderstand mit steigender Korngröße festzustellen. Das Rollgeräusch weist im Bereich von Korndurchmessern von 1 mm eine Differenz von ca. 1,5 dB (A) zwischen beiden Belagsarten auf. Lediglich die Kornummhüllung scheint einen möglichen Einfluß auf beide Werte mit unterschiedlicher Tendenz auszuüben, da sich beim Kombinationsbelag – Korund mit 1 – 1,7 mm Korn mit Kunstharzummhüllung – zum einen beim Rollgeräusch keine wesentliche Abweichung ergibt, zum anderen beim Rollwiderstand der Wert der Korundbeläge bestätigt wird. Ein Rückschluß aus diesem Einzelergebnis ist aber zur Beurteilung der Wirkungsmechanismen hinsichtlich Geräusch und Rollwiderstand nicht zulässig, da dies auch ein zufälliges Verhalten sein kann.

Über die diesbezüglichen Einflüsse auf den Rollwiderstand wurde bereits in Kapitel 7.2 berichtet.

8 Zusammenfassung

Aus früheren Untersuchungen am Innentrommelprüfstand IPS der BAST und in situ Messungen an Autobahnfahrbahnen mit Zementdeckschichten ist bekannt, daß Feinsplittabstreuungen die Reifengeräuschemissionen absenken können. Zur Vorbereitung eines umfangreichen Feldversuches wurden am Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn PFF der BAST Reifengeräuschmessungen an Abstreuungen der Körnungen 8/11, 4/5,6, 2/2,8, 1,0/1,7 und 0,7/1,4 sowie an Schmirgelleinen der Körnungen 1,0/1,7, 0,7/1,2 und 0,6/1,0 durchgeführt. Dazu wurden Verfahren zur Herstellung und Verklebung von Dünnschichtbelägen für den Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn der BAST neu entwickelt. In 7,5 m und 1 m Entfernung wurde der mittlere Geräuschpegel der 4 Reifen gemessen, die in den „Verfahren zur Messung der Geräuschemissionen von Straßenoberflächen (GESTrO-92)“ empfohlen sind. Vergleichsbe-

läge waren ein Asphaltbeton 0/8 und ein Asphaltbeton 0/11S, jeweils im Neuzustand und nach einer Hochdruckbestrahlung durch Wasser, um das Oberflächenbitumen zu entfernen und die Oberfläche aufzurauben.

Ziel der Untersuchungen war die Beantwortung folgender Fragen:

- Kann durch Splittabstreuungen der Geräuschpegel von Pkw-Reifen abgesenkt werden?
- Wie hängt die Reifengeräuschemission von der Texturtiefe der Abstreuung ab?
- Wie ändern sich die übrigen Gebrauchseigenschaften abgestreuter Decken – Rollwiderstand, Griffigkeit und Textur – bei Verringerung der Größe des Abstreukorns bis auf bisher ungebräuchliche Korndurchmesser?

Ergebnisse:

Reifen/Fahrbahngeräusch:

- Schon die grobe Abstreuung mit der Kornfraktion 8/11 mm ist, wenn auch mit 0,5 dB (A) nur geringfügig, leiser als die vier Asphaltbetondecken.

Die Reduktion durch die feinen Abstreuungen der Fraktionen 1,0/1,7 mm und 0,7/1,4 mm beträgt 4 dB(A).
- Die Schmirgelleinen sind nochmals um 2 dB (A) leiser (6 dB (A) gegenüber Asphaltbeton). Diese Geräuschminderungswerte liegen in dem Bereich, der durch offenporige Deckschichten (Dränasphalt) im Neuzustand möglich ist.
- Für die drei Belags- oder Texturgruppen Asphaltbeton, Abstreuungen und Schmirgelleinen wurde keine einheitliche Gesetzmäßigkeit zwischen Reifengeräuschpegel und Rauhtiefe bzw. Textur gefunden. Innerhalb der Gruppe der Abstreuungen nimmt der Reifengeräuschpegel um 1,5 dB (A) pro Halbierung der mittleren Rauhtiefe der Textur ab.

Griffigkeit:

- Die Reduzierung des SRT-Wertes mit steigendem Größtkorndurchmesser aufgrund einer Abnahme der Anzahl der tragenden Rauhschneidspitzen pro Flächeneinheit wurde bestätigt. Zusätzlich wurde eine Abhängigkeit von der Art des Kornmaterials bzw. der Kornform und der Art der Kornummhüllung (Lack bzw. Kunstharzfinish) beobachtet.

Rollwiderstand:

- Es wurde eine gute Korrelation (mit $r = 0,95$) zwischen Rollwiderstand und mittlerer Rauhtiefe der Fahrbahn gefunden.
- Bei der Untersuchung der spektralen Profilverteilung der Längsebenheitswerte in Abhängigkeit von der Wellenlänge zeigen die Profilwellenlängen unterhalb von 10 mm (Feintextur) ein Maximum des Korrelationskoeffizienten (ca. 0,97) zwischen Rollwiderstand und Textur.
- Ein Zusammenhang zwischen Rollwiderstand und mittlerer Griffigkeit konnte nicht festgestellt werden.

Fazit:

Es wurde ein Optimum der betrachteten Eigenschaften Rollgeräusch und Rollwiderstand im Bereich von Korndurchmessern zwischen 1–2 mm gefunden, bei dem sowohl das Rollgeräusch als auch der Rollwiderstand ein ausgeprägtes Minimum der Meßwerte aufweist. Weiterhin weisen die untersuchten Fahrbahnbeläge in diesem Kornbereich eine gute Griffigkeit auf, so daß unter der Annahme, daß andere Fahrbahneigenschaften wie Drainagevermögen und Haltbarkeit sich nicht wesentlich von den Eigenschaften üblicher Asphaltbetondecken unterscheiden, in diesem Bereich ein theoretisch optimaler Fahrbahnbelag vermutet werden kann.

Empfehlungen für zukünftige Feldversuche:

- Um die Übertragbarkeit der Meßergebnisse am PFF auf Rollgeräuschmessungen zu gewährleisten, sind in Feldversuchen an identischen Oberflächen Geräuschmessungen durchzuführen. Identisch können nur die Schmirgelleinen hergestellt werden. Sie hätten zudem den Vorteil, daß wegen ihrer idealen Textur eine Grenze dessen ermittelt werden könnte, was auf Straßen durch Texturgestaltung möglich ist.
- Eine Wiederholung der PFF-Versuche an mit grobem Material (5,6–11 mm) abgestreuten Fahrbahnen ist nicht nötig.

Bei den feineren Abstreuerungen mit Korndurchmessern bis höchstens 4 mm, wie z. B. bei Grip-road-Beschichtungen, sollte versucht werden, durch Materialauswahl, mehrfache Siebungen zur Elimination des gesamten Überkorns und sorgfältiges Aufbringen auf die Fahrbahnoberflächen der idealen Textur der Schmirgelleinen nahe zu kommen.

- Die Fahrbahn des PFF war – bis auf die Ringkrümmung – weitgehend eben und ohne Welligkeiten. Ähnliche Pegelminderungen wie auf den Belägen des PFF sind im Feldversuch nur dann zu erwarten, wenn die Abstreuerunterlagen (oder Klebeunterlagen bei den Schmirgelleinen) eben sind. Ist nur eine Herstellung mit Welligkeiten möglich, sollten die Oberflächen der Asphalt- oder Betonunterlagen glattgeschliffen werden.

Ausblick:

Mit Hilfe des Prüfstandes Fahrzeug/Fahrbahn der Bundesanstalt für Straßenwesen konnten Reifen/Fahrbahngeräusch-Untersuchungen und Rollwiderstandsversuche unter Laborbedingungen mit gutem Erfolg durchgeführt werden.

In einem weiteren Projekt sollen Betonfahrbahnen mit verschiedenen Einschliffen untersucht werden, um ebenfalls nicht zielführende Oberflächenbehandlungen für die geplanten Feldversuche im Vorfeld auszuschließen.

9 Literatur

- Verkehr, ARS Nr.16/1992 vom 16. März 1992
- [1] Offenporige Asphaltsschichten auf Außerortsstraßen, Schlußbericht zu den Projekten 86 304; 86 610 und 89 618, Bundesanstalt für Straßenwesen, Mai 1994
- [2] ULLRICH, S.: Der Einfluß der Textur von Straßenoberflächen auf das Rollgeräusch von Pkw, Straße + Autobahn 32 (1981), Seite 219–222
- [3] FRANKLIN, HARLAND, NELSON: Road surfaces and traffic noise, TRRL Laboratory Report 896, 1979
- [4] DESCORNET, G.: Experimental Study of the Rolling Noise of a Test Car on Various Existing Road Surfaces in Belgium, Proceedings of the International Tire Noise Conference, Stockholm, August 1979
- [5] ULLRICH, S.: Zum Einfluß von Reifengrößen und Rauhtiefe der Straßenoberfläche auf das Abrollgeräusch von Pkw-Reifen aus Messungen an einem Innentrommelprüfstand, Kautschuk + Gummi. Kunststoffe 34 (1981), Seite 850–853
- [6] ULLRICH, S.: Roll- und Fahrgeräusche von Asphaltdeckschichten mit Splittabstreuerungen, VDI-Berichte 916, Tagung „Reifen, Fahrwerk, Fahrbahn“, Hannover, Oktober 1991
- [7] LUKASZEWICZ, J.: Prüfstand Fahrzeug-Fahrbahn der Bundesanstalt für Straßenwesen, VDI-Berichte Nr. 1088, 1993
- [8] Akustische Vergleichsmessungen am PFF und IPS der Bundesanstalt für Straßenwesen, interner Meßbericht, Januar 1991
- [9] GLAESER, K.-P.: Neue Fahrbahnbeläge im Prüfstand, 6. Interalp Verkehrskonferenz, Mayrhofen, 12. bis 14. Oktober 1994
- [10] FGSV: Richtlinien zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe, 9. Fassung, März 1995 (AA 4.3)
- [11] Verfahren zur Messung der Geräuschemissionen von Straßenoberflächen, (GESTRO-92), herausgegeben durch den Bundesminister für
- [12] HIERSCHKE, U.E.: Optimierung der Oberflächeneigenschaften von Straßen, Vortrag auf dem Straßenkongreß 1984 in Mannheim, Vortragsmanuskript
- [13] KAUFMANN, N.: Das Sandflächenverfahren, Straßenbautechnik 24 (1971) Nr. 3, Seite 131–135
- [14] CHUDALLA, M.; SANDER, K.: Entwicklung eines Verfahrens zur optischen Vermessung von Fahrbahnoberflächen in Prüfständen, Schlußbericht zu Projekt 92 511 der BAST, Juli 1994
- [15] Handbuch zu RT-Edas, Version 2.8, Ingenieurbüro Meier & Heinen, Erfstadt, 1993
- [16] N.N: FIGE-Oberflächenabtastungen – Beschreibung des Verfahrens, Mitteilung des Referates V 6, BAST 2/91
- [17] KEMPGENS, E.: Dokumentation zu den Programmen zur Verarbeitung von Daten aus Dirataster RA 1010 und Rauheitssonde RA 5100, Werkbericht BAST 8/1992
- [18] GILES, C.G.; SABBAY, B.E.; CARDEW, K.H.F.: Development and performance of the portable skid-resistance tester, Road Note No.27, Second Edition, London: Her Majesty's Stationery Office, 1969
- [19] Arbeitspapier zur Anwendung der Daten der Ersterfassung BAB 1992, herausgegeben von der begleitenden Arbeitsgruppe des Bund/Länder-Ausschusses Zustandserfassung und -bewertung, BAST, Juni 1993
- [20] Mitteilungen des Referates S 1 zum Datenbankauszug Zustandserfassung-A555
- [21] SANDER, K.: Entwicklung und Erprobung von Verfahren zu Rollwiderstandsmessungen von Pkw-Reifen, Schlußbericht zu Projekt 91 611 der BAST, Mai 1994
- [22] KREHAN, P.; KÖRPER, W.: Messung des Rollwiderstandes auf der Straße, ATZ 93 (1991), Seite 626–631

- [23] DIN ISO 8767, Norm-Entwurf vom 23.11.1992
- [24] SCHURING, D. J.: The rolling loss of pneumatic tires, Rubber chemistry and technology, Vol. 53, p. 600 – 727
- [25] DE VEER, H.; ULLRICH, S.: Roll- und Fahrgeräuschuntersuchungen – Teststrecke La Wantzenau –, Bundesanstalt für Straßenwesen, Januar 1987.

ANHANG I

Ergebnisse der Geräuschemessung Mittelwerte über die GEstro-Reifen*

- 195/65 HR 15 Continental
- 205/60 VR 15 Pirelli
- 175/70 SR 13 Good Year
- 155/70 SR 13 Michelin

*GEstro: Verfahren zur Messung der Geräuschemission
von Straßenoberflächen, Der Bundesminister
für Verkehr, Abteilung Straßenbau,
ARS 16/1992 vom 16. März 1992

L(A) Ergebnisse (aus Korrelation)

Belag	L(60)dB(A)	L(120)dB(A)	Anmerkung
AB 0/11 neu	76,5	86,4	AB = Asphaltbeton
AB 0/11 beh.	77,0	86,9	
AB 0/8 neu	76,8	85,9	
AB 0/8 beh.	75,5	85,3	
SK 8	75,8	86,3	SK = Splitt auf Kunststoff KK = Korund auf Kunststoff
SK 4	75,0	84,2	
SK 2	73,5	82,5	
KK 1	72,8	82,3	
SK 07	72,3	81,8	
P 16	71,8	79,9	P = Schmirgelleinen
P 20	70,7	79,7	
P 24	70,2	80,4	

Erläuterung der Tabellen

- Belagsart: Bezugsbeläge Asphaltbeton 0/8 (ISO-Belag) und 0/11 jeweils im Neuzustand, sowie mit abgefahretem Bindemittel an der Oberfläche (wassergestrahlt); P24, P20, P16, Schmirgelleinen, Korund verschiedener Körnungen, Korundabstreuung der Fraktion 1,0/1,7 mm auf Kunstharz, SK 0,7, SK2, SK4, SK8, Splittabstreuungen unterschiedlicher Körnungen auf Kunstharz

- Meßwerte (7,5 m): Über die vier GESTRO-Reifen energetisch gemittelte Geräuschpegel, in 7,5 m Entfernung zur Mitte der Reifenauflagefläche, vor dem Reifen (+ 45° zur Fahrtrichtung, seitlich des Reifens (0°) und hinter dem Reifen (- 45°), Korrelationen = lineare Regression mit den Variablen "L(v)" und "log(v)" (v = Geschwindigkeit in km/h)

- Meßwerte (1,0 m): Geräuschpegel im Nahfeld in 1 m Entfernung zur Mitte der Reifenauflagefläche, sonst wie bei der Messung in 7,5 m Entfernung

- Kennzeichnende Pegel: L(Nahfeld) = (energetischer) Mittelwert der Nahfeldmessungen in den beiden Meßrichtungen + 45° und - 45°,
L(Fernfeld) = Geräuschpegel in 7,5 m Entfernung seitwärts (0°).
Kennzeichnend für einen Belag ist der aus den Regressionskurven für eine Geschwindigkeit von 85 km/h berechnete Pegel. (85 km/h ist der geometrische Mittelwert zwischen Meßbereichsanfang und -ende).

MITTELUNG (energetisch) über die vier GESTRO - REIFEN

Belagsart: AB 0/11, neu

Meßwerte (7,5 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	75,9	79,8	83,1	85,6
0°	76,4	80,8	84,0	86,3
- 45°	75,8	79,9	83,1	86,3
Korre- lationen	$L(+45) = 18,3 + 32,4 \cdot \log(v)$ $L(0) = 17,8 + 33,0 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 14,2 + 34,5 \cdot \log(v)$			

Meßwerte (1,0 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	87,2	91,1	94,4	96,9
0°	85,4	89,2	92,6	94,9
- 45°	86,2	90,4	93,7	96,0
Korre- lationen	$L(+45) = 29,6 + 32,4 \cdot \log(v)$ $L(0) = 28,6 + 31,9 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 28,0 + 32,8 \cdot \log(v)$			

**Kennzeichnende Pegel:
(in dB(A))**

$$L(\text{Nahfeld}) = 28,8 + 32,6 \cdot \log(v)$$

$$L(\text{Fernfeld}) = 17,8 + 33,0 \cdot \log(v)$$

Geschwindigkeit (in km/h)	60	85	120
L(Nahfeld)	86,8	91,7	96,6
L(Fernfeld)	76,5	81,5	86,4
Differenz L(nah)-L(fern)	10,3	10,2	10,2

MITTELUNG (energetisch) über die vier GESTRO - REIFEN

Belagsart: Asphaltbeton 0/11 wassergestrahlt

Meßwerte (7,5 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	77,1	79,6	83,1	85,5
0°	76,9	81,3	84,5	86,8
- 45°	75,6	79,8	83,0	85,4
Korre- lationen	$L(+45) = 26,2 + 28,4 \cdot \log(v)$ $L(0) = 18,3 + 33,0 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 17,6 + 32,7 \cdot \log(v)$			

Meßwerte (1,0 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	85,2	89,8	93,3	96,1
0°	85,8	90,0	93,3	95,5
- 45°	85,4	89,6	92,9	95,2
Korre- lationen	$L(+45) = 20,8 + 36,2 \cdot \log(v)$ $L(0) = 28,1 + 32,5 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 29,0 + 31,7 \cdot \log(v)$			

Kennzeichnende Pegel:
(in dB(A))

$$L(\text{Nahfeld}) = 23,7 + 34,6 \cdot \log(v)$$

$$L(\text{Fernfeld}) = 18,3 + 33,0 \cdot \log(v)$$

Geschwindigkeit (in km/h)	60	85	120
L(Nahfeld)	85,2	90,5	95,6
L(Fernfeld)	77,0	82,0	86,9
Differenz L(nah)-L(fern)	8,2	8,5	8,7

MITTELUNG (energetisch) über die vier GESTRO - REIFEN

Belagsart: AB 0/8 (neu, ISO-Belag)

Meßwerte (7,5 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	75,3	79,5	82,6	84,8
0°	76,7	80,5	83,7	85,7
- 45°	75,6	79,7	82,8	84,9
Korre- lationen	$L(+45) = 19,0 + 31,7 \cdot \log(v)$ $L(0) = 22,9 + 30,3 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 20,4 + 31,1 \cdot \log(v)$			

Meßwerte (1,0 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	87,6	91,0	94,0	96,2
0°	85,3	88,7	91,9	93,9
- 45°	85,7	89,9	93,0	94,9
Korre- lationen	$L(+45) = 36,4 + 28,8 \cdot \log(v)$ $L(0) = 33,7 + 29,0 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 30,9 + 30,9 \cdot \log(v)$			

Kennzeichnende Pegel:
(in dB(A))

$$L(\text{Nahfeld}) = 34,1 + 29,6 \cdot \log(v)$$

$$L(\text{Fernfeld}) = 22,9 + 30,3 \cdot \log(v)$$

Geschwindigkeit (in km/h)			
	60	85	120
L(Nahfeld)	86,7	91,2	95,6
L(Fernfeld)	76,8	81,4	85,9
Differenz L(nah)-L(fern)	9,9	9,8	9,7

MITTELUNG (energetisch) über die vier GESTRO - REIFEN

Belagsart: AB 0/8 (neu, wassergestrahlt)

Meßwerte (7,5 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	74,9	79,2	82,5	84,7
0°	75,5	79,6	83,0	85,1
- 45°	74,8	79,1	82,5	84,9
Korre- lationen	$L(+45) = 16,6 + 32,8 \cdot \log(v)$ $L(0) = 18,1 + 32,3 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 14,8 + 33,8 \cdot \log(v)$			

Meßwerte (1,0 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	85,3	89,8	93,2	95,7
0°	84,9	88,8	92,1	94,3
- 45°	85,1	89,5	92,8	94,7
Korre- lationen	$L(+45) = 23,7 + 34,7 \cdot \log(v)$ $L(0) = 28,8 + 31,6 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 27,8 + 32,3 \cdot \log(v)$			

**Kennzeichnende Pegel:
(in dB(A))**

$$L(\text{Nahfeld}) = 25,8 + 33,5 \cdot \log(v)$$

$$L(\text{Fernfeld}) = 18,1 + 32,3 \cdot \log(v)$$

Geschwindigkeit (in km/h)	60	85	120
	L(Nahfeld)	85,4	90,4
L(Fernfeld)	75,5	80,4	85,3
Differenz L(nah)-L(fern)	9,9	10,0	10,2

MITTELUNG (energetisch) über die vier GESTRO - REIFEN

Belagsart: SK 0,7 (Splitt 0,7/1,4 mm auf Kunstharz)

Meßwerte (7,5 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	71,0	75,1	78,4	80,7
0°	72,3	76,4	79,6	81,7
- 45°	71,1	75,5	78,6	81,0
Korre- lationen	$L(+45) = 13,3 + 32,5 \cdot \log(v)$ $L(0) = 16,3 + 31,5 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 12,7 + 32,9 \cdot \log(v)$			

Meßwerte (1,0 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	81,0	85,3	88,5	91,2
0°	81,2	84,9	87,2	90,1
- 45°	80,7	85,0	88,2	90,6
Korre- lationen	$L(+45) = 20,9 + 33,8 \cdot \log(v)$ $L(0) = 29,8 + 28,9 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 22,1 + 33,0 \cdot \log(v)$			

**Kennzeichnende Pegel:
(in dB(A))**

$$L(\text{Nahfeld}) = 21,8 + 33,3 \cdot \log(v)$$

$$L(\text{Fernfeld}) = 16,3 + 31,5 \cdot \log(v)$$

Geschwindigkeit (in km/h)	60	85	120
L(Nahfeld)	81,0	86,1	91,0
L(Fernfeld)	72,3	77,1	81,8
Differenz L(nah)-L(fern)	8,7	9,0	9,2

MITTELUNG (energetisch) über die vier GESTRO - REIFEN

Belagsart: SK2 (Splitt 2/2,8 mm auf Kunstharz)

Meßwerte (7,5 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	72,1	76,1	79,1	81,1
0°	73,5	77,5	80,4	82,4
- 45°	72,4	76,4	79,2	81,3
Korre- lationen	$L(+45) = 18,6 + 30,1 \cdot \log(v)$ $L(0) = 20,7 + 29,7 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 19,8 + 29,6 \cdot \log(v)$			

Meßwerte (1,0 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	82,3	86,3	89,3	91,8
0°	82,2	86,0	88,8	90,8
- 45°	82,4	86,5	89,4	91,4
Korre- lationen	$L(+45) = 26,3 + 31,5 \cdot \log(v)$ $L(0) = 31,2 + 28,7 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 29,1 + 30,1 \cdot \log(v)$			

**Kennzeichnende Pegel:
(in dB(A))**

$$L(\text{Nahfeld}) = 27,7 + 30,8 \cdot \log(v)$$

$$L(\text{Fernfeld}) = 20,7 + 29,7 \cdot \log(v)$$

Geschwindigkeit (in km/h)	60	85	120
	L(Nahfeld)	82,5	87,1
L(Fernfeld)	73,5	78,0	82,5
Differenz L(nah)-L(fern)	9,0	9,1	9,2

MITTELUNG (energetisch) über die vier GEstro - REIFEN

Belagsart: SK4 (Splitt 4/5,6 mm auf Kunstharz)

Meßwerte (7,5 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	73,5	77,4	80,3	82,7
0°	74,9	78,9	81,8	84,1
- 45°	73,7	77,7	80,6	83,0
Korre- lationen	$L(+45) = 19,3 + 30,5 \cdot \log(v)$ $L(0) = 20,6 + 30,6 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 18,9 + 30,8 \cdot \log(v)$			

Meßwerte (1,0 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	83,4	87,3	90,5	93,0
0°	83,8	87,7	90,6	92,8
- 45°	83,8	87,7	90,6	93,0
Korre- lationen	$L(+45) = 26,5 + 32,0 \cdot \log(v)$ $L(0) = 30,6 + 30,0 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 29,6 + 30,5 \cdot \log(v)$			

Kennzeichnende Pegel:
(in dB(A))

$$L(\text{Nahfeld}) = 28,1 + 31,2 \cdot \log(v)$$

$$L(\text{Fernfeld}) = 20,6 + 30,6 \cdot \log(v)$$

Geschwindigkeit (in km/h)			
	60	85	120
L(Nahfeld)	83,6	88,3	93,0
L(Fernfeld)	75,0	79,6	84,2
Differenz L(nah)-L(fern)	8,6	8,7	8,8

MITTELUNG (energetisch) über die vier GESTRO - REIFEN

Belagsart: SK8 (Splitt 8/11 mm auf Kunstharz)

Meßwerte (7,5 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	74,1	78,1	81,5	84,2
0°	75,7	80,2	83,3	86,3
- 45°	74,1	78,4	81,7	84,5
Korre- lationen	$L(+45) = 14,2 + 33,6 \cdot \log(v)$ $L(0) = 13,7 + 34,9 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 12,8 + 34,5 \cdot \log(v)$			

Meßwerte (1,0 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	83,7	87,7	91,4	94,4
0°	84,8	89,2	92,3	95,1
- 45°	84,0	88,3	91,5	94,4
Korre- lationen	$L(+45) = 20,1 + 35,6 \cdot \log(v)$ $L(0) = 24,4 + 34,0 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 22,9 + 34,4 \cdot \log(v)$			

**Kennzeichnende Pegel:
(in dB(A))**

$$L(\text{Nahfeld}) = 21,6 + 35,0 \cdot \log(v)$$

$$L(\text{Fernfeld}) = 13,7 + 34,9 \cdot \log(v)$$

Geschwindigkeit (in km/h)	60	85	120
	L(Nahfeld)	83,8	89,1
L(Fernfeld)	75,8	81,0	86,3
Differenz L(nah)-L(fern)	8,0	8,1	8,1

MITTELUNG (energetisch) über die vier GESTRO - REIFEN

Belagsart: Korund 1,0/1,7 mm auf Kunstharz

Meßwerte (7,5 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	71,3	75,4	78,6	81,2
0°	72,8	76,7	79,8	82,3
- 45°	71,4	75,6	78,8	81,3
Korre- lationen	$L(+45) = 12,8 + 32,9 \cdot \log(v)$ $L(0) = 16,6 + 31,6 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 12,9 + 32,9 \cdot \log(v)$			

Meßwerte (1,0 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	81,7	85,9	89,1	91,6
0°	81,6	85,2	88,2	90,3
- 45°	81,1	85,3	88,5	90,9
Korre- lationen	$L(+45) = 23,2 + 32,9 \cdot \log(v)$ $L(0) = 29,8 + 29,1 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 23,1 + 32,7 \cdot \log(v)$			

Kennzeichnende Pegel:
(in dB(A))

$$L(\text{Nahfeld}) = 23,1 + 32,8 \cdot \log(v)$$

$$L(\text{Fernfeld}) = 16,6 + 31,6 \cdot \log(v)$$

Geschwindigkeit (in km/h)			
	60	85	120
L(Nahfeld)	81,4	86,4	91,3
L(Fernfeld)	72,8	77,6	82,3
Differenz L(nah)-L(fern)	8,6	8,8	9,0

MITTELUNG (energetisch) über die vier GESTRO - REIFEN

Belagsart: P16 (Schmirgelleinen, Korund, 1,0/1,7 mm)

Meßwerte (7,5 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	70,4	74,3	77,2	79,3
0°	71,7	75,4	78,2	79,7
- 45°	70,6	74,5	77,4	79,5
Korre- lationen	$L(+45) = 17,7 + 29,7 \cdot \log(v)$ $L(0) = 23,8 + 27,0 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 17,9 + 29,7 \cdot \log(v)$			

Meßwerte (1,0 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	80,8	84,6	87,6	90,0
0°	80,3	83,9	86,5	88,3
- 45°	80,6	84,7	87,5	89,5
Korre- lationen	$L(+45) = 26,4 + 30,6 \cdot \log(v)$ $L(0) = 32,9 + 26,7 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 28,0 + 29,7 \cdot \log(v)$			

**Kennzeichnende Pegel:
(in dB(A))**

$$L(\text{Nahfeld}) = 27,2 + 30,2 \cdot \log(v)$$

$$L(\text{Fernfeld}) = 23,8 + 27,0 \cdot \log(v)$$

Geschwindigkeit (in km/h)			
	60	85	120
L(Nahfeld)	80,9	85,5	90,0
L(Fernfeld)	71,8	75,9	79,9
Differenz L(nah)-L(fern)	9,1	9,6	10,1

MITTELUNG (energetisch) über die vier GESTRO - REIFEN

Belagsart: P20 (Schmirgelleinen, Korund, Körnung 0,7/1,2 mm)

Meßwerte (7,5 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	69,2	73,2	76,2	78,6
0°	70,6	74,4	77,4	79,5
- 45°	69,3	73,5	76,4	78,7
Korre- lationen	$L(+45) = 13,7 + 31,2 \cdot \log(v)$ $L(0) = 17,7 + 29,8 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 13,9 + 31,2 \cdot \log(v)$			

Meßwerte (1,0 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	79,5	82,9	86,7	89,5
0°	79,6	83,0	85,9	88,0
- 45°	79,4	83,5	86,8	89,3
Korre- lationen	$L(+45) = 19,5 + 33,6 \cdot \log(v)$ $L(0) = 29,6 + 28,1 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 20,7 + 33,0 \cdot \log(v)$			

**Kennzeichnende Pegel:
(in dB(A))**

$$L(\text{Nahfeld}) = 20,1 + 33,3 \cdot \log(v)$$

$$L(\text{Fernfeld}) = 17,7 + 29,8 \cdot \log(v)$$

Geschwindigkeit (in km/h)	60	85	120
L(Nahfeld)	79,3	84,3	89,3
L(Fernfeld)	70,7	75,2	79,7
Differenz L(nah)-L(fern)	8,6	9,1	9,6

MITTELUNG (energetisch) über die vier GESTRO - REIFEN

Belagsart: P24 (Schmirgelleinen, Korund, Körnung 0,6/1 mm)

Meßwerte (7,5 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	69,4	73,6	77,0	79,6
0°	70,3	74,3	77,6	80,5
- 45°	69,2	73,2	76,9	79,7
Korre- lationen	$L(+45) = 8,9 + 34,0 \cdot \log(v)$ $L(0) = 10,1 + 33,8 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 6,7 + 35,1 \cdot \log(v)$			

Meßwerte (1,0 m):

Meß- richtung	Geräuschpegel in dB(A)			
	60	80	100	120 km/h
+ 45°	80,1	84,4	88,0	90,8
0°	79,7	83,5	86,5	88,9
- 45°	80,1	84,6	88,0	90,7
Korre- lationen	$L(+45) = 16,6 + 35,7 \cdot \log(v)$ $L(0) = 25,3 + 30,6 \cdot \log(v)$ $L(-45) = 17,5 + 35,2 \cdot \log(v)$			

**Kennzeichnende Pegel:
(in dB(A))**

$$L(\text{Nahfeld}) = 17,2 + 35,4 \cdot \log(v)$$

$$L(\text{Fernfeld}) = 10,1 + 33,8 \cdot \log(v)$$

Geschwindigkeit (in km/h)			
	60	85	120
L(Nahfeld)	80,1	85,5	90,8
L(Fernfeld)	70,2	75,3	80,4
Differenz L(nah)-L(fern)	9,9	10,2	10,4

A N H A N G I I

Oktavpegel

gemittelt über die vier GEstro-Reifen

Belagsart	Oktavpegel (7,5 m, 0°, 85 km/h) in dB(A)				
	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Asphaltbeton 0/11 neu	68,4	73,3	78,6	76,0	69,2
Asphaltbeton 0/11 wassergestrahlt	62,7	74,1	80,4	72,7	63,4
Asphaltbeton 0/8 neu	58,8	70,6	78,1	76,5	70,0
Asphaltbeton 0/8 wassergestrahlt	59,9	70,5	77,5	75,5	67,9
Splitt auf Kunstharz 8/11 mm	67,4	78,2	77,0	68,9	59,2
Splitt auf Kunstharz 4/5,6 mm	61,3	73,1	77,5	70,5	62,3
Splitt auf Kunstharz 2/2,8 mm	58,8	69,9	76,2	70,3	62,1
Splitt auf Kunstharz 0,7/1,4 mm	60,3	69,4	74,9	69,6	61,4
Korund auf Kunstharz 1,0/1,7 mm	61,5	70,1	75,1	69,9	61,8
Schmirgelleinen Korund 1,0/1,7 mm	64,8	70,1	73,8	68,2	59,5
Schmirgelleinen Korund 0,7/1,2 mm	65,0	70,0	73,1	66,8	58,2
Schmirgelleinen Korund 0,6/1,0 mm	65,3	70,0	72,9	67,5	58,5

PFF Belag: Asphaltbeton 0/11 energetische Mittelung GEstro - Reifen

Belag:AB 0/11 oct						
Kanal A:		Mikro Mf				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	61,8	67,7	71,6	70,9	64,9
0	60	64,2	70,4	73,5	71,0	65,2
-45	60	62,5	67,8	71,8	71,3	65,4
45	80	64,9	70,6	75,7	75,2	67,9
0	80	67,5	72,9	77,8	75,2	68,2
-45	80	65,4	70,4	76,0	75,6	68,2
45	100	67,6	72,4	79,5	78,5	70,9
0	100	69,6	74,5	81,4	78,4	71,1
-45	100	68,3	72,1	79,3	78,7	71,0
45	120	71,1	73,9	81,7	80,9	73,4
0	120	73,5	76,1	83,5	80,9	73,5
-45	120	71,6	73,9	81,6	81,1	73,5
Kanal B:		Mikro Mn				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	73,7	76,4	82,2	81,0	76,6
0	60	73,4	79,5	81,8	78,7	74,1
-45	60	75,1	76,0	82,6	81,4	79,6
45	80	78,5	79,7	86,3	85,2	80,2
0	80	77,0	81,6	86,4	82,6	77,2
-45	80	78,9	78,5	86,6	85,8	82,1
45	100	81,4	81,8	90,1	88,3	83,4
0	100	80,3	82,9	90,1	85,9	80,1
-45	100	81,4	80,5	90,3	89,1	84,9
45	120	85,4	84,2	92,2	90,7	85,8
0	120	83,1	84,6	92,1	88,3	82,5
-45	120	84,7	83,0	92,5	91,6	87,4

PFF Belag: Asphaltbeton behandelt 0/11 energetische Mittelung GEstro - Reifen

Belag:ABB 0/11 oct						
Kanal A:		Mikro Mf				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	57,4	67,3	73,2	68,4	60,1
0	60	59,2	70,4	75,0	67,6	58,9
-45	60	56,9	67,7	73,4	68,4	59,5
45	80	60,6	70,6	77,8	72,6	63,6
0	80	61,8	73,7	79,6	71,8	62,3
-45	80	60,2	71,1	77,9	72,6	62,9
45	100	62,6	73,2	81,4	76,0	66,6
0	100	64,5	76,0	83,1	75,1	65,3
-45	100	62,1	73,7	81,3	75,9	65,9
45	120	64,6	75,0	83,8	78,7	69,1
0	120	66,7	77,6	85,4	77,8	67,9
-45	120	64,6	75,4	83,7	78,6	68,5
Kanal B:		Mikro Mn				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	70,2	75,5	83,1	77,8	72,4
0	60	68,7	79,1	84,1	74,7	67,4
-45	60	67,9	76,5	83,6	77,4	69,4
45	80	74,3	79,1	88,0	82,4	75,5
0	80	71,7	82,0	88,7	78,9	70,8
-45	80	72,8	80,1	88,1	81,4	73,2
45	100	75,5	81,5	91,8	85,8	78,1
0	100	74,8	84,0	92,3	82,1	73,8
-45	100	74,4	82,3	91,6	84,5	76,5
45	120	76,6	83,5	94,8	88,8	80,3
0	120	76,2	85,3	94,6	84,9	76,2
-45	120	77,5	84,6	93,8	87,1	79,3

PFF Belag: Asphaltbeton 0/8 energetische Mittelung GESTro - Reifen

Belag:AB 0/8 oct						
Kanal A:		Mikro Mf				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	54,0	65,9	70,9	71,6	67,4
0	60	55,6	69,1	73,1	71,5	66,1
-45	60	54,3	65,7	71,2	71,7	66,4
45	80	55,9	68,0	74,8	76,2	70,3
0	80	57,2	70,6	77,1	76,1	69,0
-45	80	55,6	67,5	75,3	76,4	69,4
45	100	58,1	68,6	78,5	79,1	72,9
0	100	60,0	70,6	81,0	79,0	71,8
-45	100	57,4	68,3	79,0	79,4	72,2
45	120	61,7	70,1	80,8	81,2	75,5
0	120	63,1	72,0	82,9	81,2	74,6
-45	120	61,4	69,8	81,0	81,4	74,8
Kanal B:		Mikro Mn				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz un Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	66,6	74,2	80,7	82,7	82,4
0	60	64,3	78,2	81,3	77,9	76,9
-45	60	64,8	75,3	81,4	81,5	77,0
45	80	69,3	76,5	84,4	86,9	85,0
0	80	66,6	79,2	85,4	82,5	79,9
-45	80	67,9	77,4	85,7	86,1	80,8
45	100	70,6	77,0	88,4	89,9	87,2
0	100	69,9	79,0	89,1	85,8	82,7
-45	100	69,7	78,6	88,9	89,3	84,0
45	120	73,6	77,9	90,6	92,0	89,8
0	120	72,2	79,5	90,8	88,3	85,3
-45	120	73,7	79,4	90,8	91,1	86,6

PFF Belag: ABB 0/8 Oct behandelte energetische Mittelung GESTro - Reifen

Belag:ABB0/8 oct						
Kanal A:		Mikro Mf				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	55,0	65,7	70,7	70,9	64,9
0	60	58,6	68,5	72,2	70,0	63,0
-45	60	54,8	66,3	71,0	70,4	63,6
45	80	57,5	67,7	74,8	75,8	68,4
0	80	58,2	70,2	76,5	74,9	66,8
-45	80	57,0	68,2	75,3	75,4	67,6
45	100	59,4	68,7	78,7	79,0	71,6
0	100	61,2	71,0	80,4	78,2	70,2
-45	100	59,8	69,4	79,2	78,7	71,0
45	120	62,2	70,4	81,0	81,2	74,3
0	120	64,3	72,4	82,5	80,4	73,0
-45	120	62,2	71,1	81,6	81,0	73,9
Kanal B:		Mikro Mn				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	68,3	74,4	81,1	81,2	75,3
0	60	65,5	78,3	81,8	78,5	71,0
-45	60	65,6	74,9	82,0	80,7	71,0
45	80	72,0	77,1	85,5	86,3	78,6
0	80	67,2	79,5	86,2	83,4	74,8
-45	80	70,4	77,1	86,4	85,6	75,3
45	100	72,5	78,2	89,5	89,7	81,5
0	100	71,2	80,5	89,7	87,0	78,2
-45	100	72,6	79,0	89,9	88,7	78,9
45	120	74,3	79,9	92,1	92,1	84,4
0	120	72,9	81,0	91,8	89,6	80,9
-45	120	75,0	80,7	91,8	90,8	81,7

PFF

Belag: SK 4 energetische Mittelung GESTro - Reifen

Belag: SK 4 oct						
Kanal A:		Mikro Mf				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	56,5	66,1	70,9	66,8	59,6
0	60	58,6	69,0	72,4	66,3	58,7
-45	60	56,1	66,5	71,3	66,5	58,9
45	80	58,5	69,7	75,2	70,2	62,2
0	80	60,6	72,8	76,7	69,7	61,4
-45	80	58,6	70,4	75,6	69,8	61,6
45	100	60,0	72,2	78,4	72,8	64,5
0	100	62,1	74,9	80,0	72,4	63,9
-45	100	60,0	72,8	78,8	72,5	64,0
45	120	62,4	74,0	80,9	75,1	66,8
0	120	64,7	76,7	82,4	74,6	66,3
-45	120	63,0	74,6	81,3	74,8	66,3
Kanal B:		Mikro Mn				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz un Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	68,4	73,8	80,7	76,3	73,1
0	60	69,0	77,7	81,5	73,7	67,0
-45	60	67,6	75,6	81,9	75,4	68,3
45	80	71,0	77,4	85,2	79,7	75,2
0	80	70,7	81,1	85,7	77,1	69,6
-45	80	71,1	79,5	86,1	78,7	71,0
45	100	72,3	79,9	88,8	82,5	77,2
0	100	72,7	83,3	89,0	79,8	72,0
-45	100	72,7	82,1	89,2	81,3	73,5
45	120	73,8	82,0	91,5	85,0	79,2
0	120	74,7	84,8	91,4	82,0	74,3
-45	120	75,1	84,0	91,6	83,5	75,8

PFF

Belag: SK 8 energetische Mittelung GESTro - Reifen

Belag:SK 8 oct						
Kanal A:		Mikro Mf				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	60,9	70,1	70,2	65,5	56,9
0	60	63,6	72,6	71,5	64,9	55,7
-45	60	60,5	70,4	70,0	65,2	55,7
45	80	64,2	74,5	74,3	68,5	58,9
0	80	66,6	77,5	76,0	68,0	58,2
-45	80	64,2	75,0	74,4	68,2	57,9
45	100	66,4	77,9	77,9	71,1	61,3
0	100	68,9	80,5	79,3	70,6	60,7
-45	100	66,4	78,5	77,9	70,8	60,6
45	120	68,5	80,2	81,0	73,5	63,9
0	120	71,3	83,1	82,7	73,0	63,6
-45	120	69,0	80,9	81,1	73,2	63,5
Kanal B:		Mikro Mn				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz un Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	73,9	78,0	80,2	74,9	69,8
0	60	74,4	81,3	80,7	72,9	64,6
-45	60	72,8	79,3	80,6	74,1	65,6
45	80	76,7	82,2	84,8	77,9	71,4
0	80	77,4	85,7	85,1	76,0	67,0
-45	80	76,5	84,2	85,0	77,2	68,3
45	100	78,1	86,2	88,8	80,6	73,2
0	100	80,2	89,1	88,5	78,4	69,4
-45	100	79,4	87,6	88,3	79,7	71,1
45	120	80,1	89,0	92,1	83,2	75,3
0	120	81,8	91,6	91,7	80,7	72,0
-45	120	81,5	90,4	91,3	81,9	73,8

PFF

Belag: SK2 oct energetische Mittelung GESTro - Reifen

Belag SK2 oct						
Kanal A:		Mikro Mf				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	53.8	63.7	69.5	68.3	59.4
0	60	55.7	66.7	71.2	65.7	58.3
-45	60	53.3	64.2	70.0	66.0	58.3
45	80	55.3	66.7	73.9	69.9	62.2
0	80	57.1	69.8	75.7	69.4	61.2
-45	80	55.2	67.5	74.4	69.6	61.2
45	100	58.3	68.6	77.0	72.9	64.7
0	100	59.8	71.1	78.8	72.4	63.9
-45	100	58.4	69.1	77.4	72.5	63.9
45	120	61.4	70.0	79.1	75.3	67.1
0	120	63.6	72.7	80.8	74.8	66.4
-45	120	62.0	70.8	79.5	74.9	66.4
Kanal B:		Mikro Mn				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz un Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	65.6	71.4	79.3	75.9	73.1
0	60	65.6	75.6	79.9	73.1	66.8
-45	60	64.6	73.2	80.6	74.6	68.0
45	80	67.7	74.5	84.0	79.7	75.6
0	80	67.2	78.3	84.3	76.7	69.7
-45	80	67.8	76.3	85.0	78.3	71.1
45	100	70.0	76.5	87.4	82.8	77.8
0	100	70.5	79.6	87.3	79.6	72.2
-45	100	71.2	78.3	88.0	81.1	73.7
45	120	73.1	78.3	89.8	85.3	79.7
0	120	73.4	80.7	89.5	82.0	74.5
-45	120	74.6	80.2	89.9	83.4	76.1

PFF

Belag: SK 07 energetische Mittelung GESTro - Reifen

Belag:KKKBF oct						
Kanal A:		Mikro Mf				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	54,2	63,3	67,9	65,2	58,2
0	60	55,8	66,8	69,4	64,5	57,2
-45	60	54,1	63,8	68,3	65,0	57,4
45	80	57,3	66,1	72,6	69,4	61,4
0	80	57,8	69,2	74,3	68,7	60,4
-45	80	57,4	66,5	73,2	69,2	60,7
45	100	61,1	67,8	76,1	72,8	64,2
0	100	63,3	70,3	77,7	72,1	63,4
-45	100	60,7	68,1	76,5	72,5	63,6
45	120	64,3	70,0	78,2	75,5	66,8
0	120	65,6	72,4	79,6	75,0	66,1
-45	120	64,3	70,8	78,6	75,3	66,3
Kanal B:		Mikro Mn				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	64,8	71,8	77,7	74,7	71,6
0	60	64,4	76,0	78,4	71,7	65,4
-45	60	62,2	72,6	78,5	73,6	66,3
45	80	70,4	75,0	82,8	78,8	74,2
0	80	67,5	77,8	83,0	75,8	68,3
-45	80	67,8	75,5	83,2	77,6	69,5
45	100	72,2	76,7	86,3	82,3	76,5
0	100	72,1	79,1	86,3	79,1	71,0
-45	100	72,3	77,6	86,6	80,8	72,5
45	120	74,2	78,6	89,0	85,1	78,8
0	120	74,5	80,9	88,4	81,9	73,6
-45	120	74,7	80,5	88,8	83,4	75,1

PFF

Belag: Korund 1/1,7 energetische Mittelung GESTrO - Reifen

Belag:KBKKN oct						
Kanal A:		Mikro Mf				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	54,8	63,9	68,1	65,6	59,1
0	60	56,2	67,4	69,7	64,8	57,8
-45	60	54,7	64,3	68,5	65,3	57,8
45	80	59,0	66,2	72,7	69,7	61,9
0	80	59,5	69,3	74,5	68,9	60,9
-45	80	58,2	66,5	73,2	69,4	60,9
45	100	62,1	68,2	76,2	73,2	64,5
0	100	63,6	70,8	77,9	72,3	63,6
-45	100	62,1	68,7	76,6	72,9	63,7
45	120	66,4	71,1	78,6	75,9	67,0
0	120	67,9	73,7	80,1	75,1	66,3
-45	120	66,8	71,1	78,9	75,6	66,4
Kanal B:		Mikro Mn				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	65,0	72,7	78,0	75,4	73,5
0	60	64,0	76,9	78,6	72,2	66,7
-45	60	62,8	73,3	78,7	74,3	67,4
45	80	69,2	74,7	82,9	79,9	76,1
0	80	67,6	77,7	83,3	76,5	69,7
-45	80	68,4	75,0	83,4	78,5	70,6
45	100	72,4	76,8	86,5	83,2	78,3
0	100	71,4	79,2	86,5	79,8	72,3
-45	100	72,4	77,8	86,7	81,7	73,5
45	120	75,9	78,9	88,9	86,1	80,6
0	120	76,4	80,8	88,4	82,9	74,8
-45	120	77,0	80,4	88,7	84,5	76,3

PFF

Belag: P 16 energetische Mittelung GESTrO - Reifen

Belag:P 16 oct						
Kanal A:		Mikro Mf				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	60,2	64,8	67,3	64,1	56,9
0	60	61,4	67,9	69,1	63,4	55,5
-45	60	59,5	65,2	67,9	63,9	56,2
45	80	61,7	67,0	71,7	68,0	59,9
0	80	62,8	70,0	73,4	67,4	58,7
-45	80	61,1	67,5	72,2	67,8	59,3
45	100	64,7	68,3	74,7	71,0	62,6
0	100	66,2	70,8	76,4	70,4	61,4
-45	100	64,8	68,7	75,2	70,7	62,0
45	120	68,3	70,2	76,8	73,3	65,1
0	120	69,9	72,6	78,2	72,9	64,0
-45	120	68,9	70,6	77,2	73,1	64,6
Kanal B:		Mikro Mn				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	72,4	73,3	77,1	73,7	70,6
0	60	72,1	77,1	77,5	71,1	64,5
-45	60	71,5	74,3	78,6	72,2	65,7
45	80	75,3	75,5	81,8	77,8	73,2
0	80	74,5	78,4	81,8	75,1	67,5
-45	80	75,0	78,5	83,2	76,0	68,8
45	100	77,0	76,5	85,0	80,9	75,5
0	100	77,5	79,1	84,7	78,0	70,1
-45	100	78,4	78,0	86,1	78,9	71,5
45	120	81,1	78,5	87,4	83,4	77,5
0	120	80,7	80,2	86,3	80,5	72,6
-45	120	81,9	80,1	87,9	81,3	74,0

PFF

Belag: P 20 energetische Mittelung GESTro - Reifen

Belag: P 20 oct						
Kanal A:		Mikro Mf				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	60.3	64.6	66.1	62.5	55.3
0	60	61.4	67.5	68.0	62.0	53.9
-45	60	59.1	64.8	66.5	62.2	54.6
45	80	62.7	67.1	70.6	66.4	58.5
0	80	63.3	69.6	72.4	66.0	57.1
-45	80	61.5	67.3	70.9	66.1	57.9
45	100	65.1	68.6	73.9	69.4	61.3
0	100	66.3	70.8	75.7	68.9	60.1
-45	100	64.8	68.9	74.4	69.0	60.7
45	120	69.0	70.7	76.1	72.0	64.0
0	120	70.1	72.9	77.5	71.5	62.9
-45	120	68.7	71.0	76.5	71.5	63.4
Kanal B:		Mikro Mn				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz un Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	73.0	73.0	76.0	72.3	68.8
0	60	72.6	76.8	76.6	70.3	63.1
-45	60	71.3	73.8	77.4	70.9	64.0
45	80	76.1	75.3	80.8	76.4	71.5
0	80	74.7	78.0	81.0	74.0	66.3
-45	80	75.5	76.1	82.0	74.6	67.3
45	100	77.7	76.8	84.4	79.6	74.0
0	100	78.0	79.0	84.2	77.0	69.1
-45	100	78.8	78.0	85.4	77.5	70.1
45	120	81.7	78.8	87.2	82.2	76.3
0	120	81.1	81.0	86.0	79.5	71.7
-45	120	82.5	80.5	87.7	80.0	72.6

PFF

Belag: P24 Oct energetische Mittelung GESTro - Reifen

Belag:P24 oct						
Kanal A:		Mikro Mf				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	60.2	64.9	66.2	62.9	55.3
0	60	61.4	67.7	67.2	62.0	53.7
-45	60	59.3	64.9	66.1	62.4	55.0
45	80	62.8	66.9	70.8	67.4	58.7
0	80	63.8	69.5	72.0	66.5	57.3
-45	80	61.9	66.9	70.7	66.9	58.6
45	100	65.8	68.3	74.7	70.9	62.1
0	100	66.8	70.5	75.8	69.9	60.7
-45	100	65.6	68.5	74.7	70.3	62.0
45	120	69.8	70.8	77.1	73.5	65.1
0	120	70.8	73.1	78.1	72.8	64.0
-45	120	69.7	71.0	77.3	73.2	65.0
Kanal B:		Mikro Mn				
Grad	Km/h	Frequenz in Hz un Pegel in dB(A)				
		250	500	1000	2000	4000
45	60	73.8	74.0	76.4	73.2	69.3
0	60	72.8	77.9	76.1	70.3	63.6
-45	60	72.2	74.5	77.8	72.0	64.9
45	80	76.7	76.2	81.5	78.0	72.3
0	80	75.5	78.6	81.0	74.5	67.1
-45	80	76.8	76.7	83.0	76.2	68.6
45	100	79.0	77.3	85.4	81.5	75.2
0	100	78.7	79.4	84.7	77.9	70.4
-45	100	80.5	78.5	86.5	79.6	72.0
45	120	82.8	79.5	88.4	84.1	77.9
0	120	82.3	81.5	86.7	81.1	73.5
-45	120	84.3	81.5	88.9	82.4	75.0

A N H A N G I I I

Terzpegel

gemittelt über die vier GEstro-Reifen

PFF

Belag: Asphaltbeton 0/11 energetische Mittelung GESTro - Reifen

Belag:AB 0/11 GESTro																	
Kanal A:		Mikro Mf															
Grad	Km/h	Frequenz in Hz								Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K	
45	60	52,2	57,6	58,8	59,9	63,2	64,6	64,4	67,7	67,6	67,2	66,0	65,1	62,4	59,3	57,0	
0	60	52,4	59,0	62,1	61,4	66,6	67,0	67,0	70,1	68,6	66,8	66,6	65,0	62,6	59,8	57,3	
-45	60	53,1	57,0	60,3	60,3	62,4	65,1	65,2	67,4	67,9	67,9	66,1	65,2	63,1	59,7	57,2	
45	80	56,2	61,0	61,4	62,2	65,4	67,9	69,3	72,0	70,9	71,9	70,2	68,6	65,7	62,0	59,5	
0	80	56,6	62,5	65,3	63,8	68,0	70,4	72,2	74,3	72,3	71,4	70,8	68,5	65,8	62,7	59,9	
-45	80	56,9	60,1	62,9	62,4	64,4	68,1	70,3	71,6	71,6	72,6	70,4	68,5	66,0	62,4	59,7	
45	100	59,9	64,0	63,6	65,4	67,6	69,2	71,5	76,5	74,7	74,8	73,9	72,0	68,8	65,1	62,1	
0	100	60,3	65,2	66,8	66,5	70,2	71,1	74,4	78,5	76,0	74,4	74,3	71,7	68,6	65,7	62,5	
-45	100	61,1	63,0	65,4	65,2	66,7	69,2	71,9	75,9	75,0	75,3	74,0	71,7	68,8	65,3	62,1	
45	120	62,7	68,0	66,8	67,3	69,3	70,3	72,6	78,5	77,7	77,5	75,9	74,6	71,2	67,6	64,8	
0	120	63,3	69,0	70,9	69,6	72,0	72,0	75,0	80,4	79,0	77,1	76,5	74,3	70,9	68,1	65,3	
-45	120	64,3	66,8	68,4	68,1	68,8	70,3	72,6	77,9	78,2	77,8	76,1	74,6	71,2	67,7	64,8	
Kanal B:		Mikro Mn															
Grad	Km/h	Frequenz in Hz								Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K	
45	60	69,3	68,6	69,0	70,4	71,5	72,6	75,5	78,3	78,0	76,9	77,1	73,9	73,0	72,1	69,9	
0	60	66,6	69,2	69,4	71,3	75,3	76,3	75,8	78,1	76,9	73,6	75,1	72,6	70,0	68,8	69,2	
-45	60	70,4	70,7	69,8	70,3	71,3	71,8	74,5	78,4	79,2	78,0	76,7	74,7	74,6	75,4	74,2	
45	80	74,7	73,4	72,9	73,3	74,4	76,4	80,7	82,4	81,4	81,4	81,3	77,7	76,7	75,7	73,1	
0	80	71,5	73,3	71,5	73,3	76,1	79,2	81,3	82,7	80,6	78,0	78,9	76,0	73,2	71,8	72,2	
-45	80	74,4	74,9	72,9	72,8	73,3	74,7	79,1	82,7	82,8	82,7	81,2	78,0	77,2	77,8	77,0	
45	100	78,0	77,2	73,8	76,1	76,7	78,1	83,4	87,0	85,0	84,2	84,6	80,8	79,7	79,2	76,0	
0	100	73,9	77,2	75,0	75,5	77,9	79,9	83,4	87,1	84,5	81,3	82,3	79,0	76,2	74,8	74,7	
-45	100	78,5	76,1	74,2	75,5	76,0	75,8	80,7	87,2	86,3	85,7	84,8	81,5	80,1	80,7	79,5	
45	120	80,8	82,0	78,3	78,2	79,9	80,0	84,3	89,1	87,6	86,8	87,0	83,2	82,0	81,7	78,8	
0	120	76,3	79,5	78,5	78,1	80,0	81,0	83,2	89,1	87,8	83,9	84,6	81,5	78,5	77,1	77,4	
-45	120	81,9	80,0	76,3	78,3	77,9	78,4	81,9	88,8	89,3	88,4	87,0	84,4	82,6	82,9	82,3	

PFF

Belag: ABB 0/11 energetische Mittelung GESTro - Reifen

Belag:ABB 0/11 GESTro																	
Kanal A:		Mikro Mf															
Grad	Km/h	Frequenz in Hz								Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K	
45	60	44,4	51,7	55,7	58,7	62,7	64,4	66,7	69,9	68,1	66,0	62,5	60,5	58,1	54,1	51,0	
0	60	45,0	53,1	57,8	60,6	66,3	67,3	69,6	71,7	68,7	64,8	62,3	60,1	56,7	53,4	49,5	
-45	60	44,4	50,5	55,5	58,1	63,0	65,1	67,9	70,0	67,7	65,7	63,1	60,7	57,5	53,4	50,1	
45	80	47,9	56,4	58,2	61,4	65,6	68,0	71,4	74,4	72,7	70,2	67,1	64,5	61,7	57,6	54,0	
0	80	48,3	56,4	60,0	63,0	69,5	71,0	74,1	76,4	73,6	69,1	66,6	63,9	60,3	56,6	52,7	
-45	80	48,0	54,9	58,3	60,4	65,7	69,1	72,4	74,3	72,3	70,0	67,3	64,4	61,0	56,7	53,2	
45	100	50,2	56,7	61,0	63,5	68,5	70,7	74,7	78,2	76,1	73,7	70,4	67,4	64,7	60,6	56,7	
0	100	50,3	58,1	63,2	65,3	71,9	73,2	77,3	80,0	76,9	72,5	69,9	66,9	63,3	59,6	55,4	
-45	100	49,9	55,9	60,6	63,2	68,3	71,6	75,7	77,9	75,5	73,4	70,6	67,3	64,0	59,8	56,1	
45	120	52,9	60,1	62,3	66,5	70,2	72,2	76,8	80,5	79,0	76,4	73,1	69,9	67,3	63,2	58,9	
0	120	52,5	60,6	65,3	68,2	73,3	74,8	79,3	82,3	79,8	75,2	72,6	69,6	66,0	62,2	57,9	
-45	120	52,3	59,5	62,6	65,5	69,8	73,4	77,5	80,4	78,5	76,1	73,4	69,9	66,6	62,4	58,8	
Kanal B:		Mikro Mn															
Grad	Km/h	Frequenz in Hz								Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K	
45	60	62,9	65,1	67,2	69,2	70,4	72,0	75,9	79,1	79,2	75,5	72,3	69,5	67,9	67,8	67,0	
0	60	59,7	63,7	66,2	69,1	75,0	76,1	78,8	81,2	76,8	71,8	69,3	67,8	63,8	62,4	61,2	
-45	60	60,2	63,0	65,0	69,1	71,7	73,4	78,4	80,4	77,1	74,7	72,2	69,6	66,3	64,5	62,4	
45	80	64,7	71,1	70,4	72,0	72,9	76,6	80,8	84,0	84,2	80,0	77,0	73,7	71,4	71,0	69,8	
0	80	62,9	67,3	68,7	70,9	77,2	79,7	83,1	85,9	81,5	76,1	73,5	71,7	67,4	65,8	64,5	
-45	80	65,1	68,0	69,7	72,0	74,8	77,4	83,1	84,8	81,4	78,7	76,4	73,5	70,0	68,4	66,2	
45	100	68,2	69,5	73,0	73,6	75,6	79,1	84,4	88,0	87,9	83,6	80,4	76,7	74,3	73,5	72,1	
0	100	65,1	70,2	72,2	73,7	79,1	81,7	86,5	89,7	84,8	79,4	76,7	74,8	70,4	68,8	67,3	
-45	100	67,5	69,1	71,5	73,9	77,6	79,5	86,6	88,5	84,4	81,7	79,5	76,5	73,2	71,8	69,4	
45	120	70,9	71,2	73,0	76,7	77,3	80,8	87,0	90,9	91,0	86,5	83,4	79,5	76,7	75,6	73,8	
0	120	67,7	71,9	73,1	76,7	80,0	82,9	88,5	92,1	87,5	82,2	79,3	77,3	73,0	71,2	69,6	
-45	120	69,7	74,2	73,2	76,9	79,7	81,6	88,4	90,8	87,1	84,3	82,1	79,0	75,8	74,8	72,2	

PFF

Belag: Asphaltbeton 0/8 energetische Mittelung GESTrO - Reifen

Belag:AB 0/8 GESTrO																
Kanal A:		Mikro Mf														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz							und Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	40,6	48,6	52,3	55,6	61,3	63,4	63,3	66,9	67,2	67,3	67,0	66,1	64,4	61,8	61,0
0	60	40,8	50,1	54,0	58,2	65,6	65,9	65,7	69,9	68,4	67,5	67,0	65,2	63,1	60,8	58,9
-45	60	39,6	47,5	53,1	55,8	61,4	62,9	64,0	67,6	66,9	67,9	67,1	65,5	63,5	61,0	59,5
45	80	43,6	51,6	53,4	58,0	62,0	66,0	69,0	70,4	70,5	72,0	71,9	70,0	67,4	64,7	63,4
0	80	44,0	51,5	55,5	60,5	65,6	68,3	71,6	73,3	72,0	72,3	71,8	69,1	66,3	63,7	61,3
-45	80	43,9	50,7	53,5	57,8	61,8	65,5	70,0	71,2	70,2	72,8	72,0	69,5	66,8	63,8	62,1
45	100	47,6	52,8	56,0	58,6	63,2	66,5	70,7	75,0	74,4	74,5	75,3	72,9	70,1	67,5	65,3
0	100	48,0	54,1	58,4	60,7	66,4	67,7	72,9	78,1	76,2	74,8	75,2	72,2	69,2	66,7	63,4
-45	100	46,9	52,6	55,1	58,6	63,0	66,0	71,3	76,0	74,0	75,2	75,5	72,6	69,7	66,7	64,1
45	120	51,0	56,9	59,3	60,8	64,8	67,8	70,8	76,5	78,0	76,6	76,8	75,9	72,9	70,0	67,7
0	120	51,0	57,0	61,6	63,1	67,2	69,3	73,2	79,2	79,6	77,1	76,7	75,2	72,1	69,3	66,0
-45	120	50,6	57,3	58,7	60,7	63,9	67,7	71,8	77,2	77,7	77,2	77,1	75,5	72,5	69,0	66,6
Kanal B:		Mikro Mn														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz							und Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	57,0	60,6	64,6	66,7	69,7	70,8	72,8	76,8	76,9	77,1	78,3	78,1	78,1	77,7	77,2
0	60	54,6	59,2	62,0	67,8	74,8	74,9	74,5	77,9	76,5	73,4	73,7	72,2	72,0	71,6	72,8
-45	60	55,3	59,1	62,7	66,4	71,1	72,2	74,5	77,4	77,3	77,2	77,0	75,7	73,8	72,0	70,0
45	80	60,2	64,4	66,7	69,1	70,0	74,2	78,8	79,8	80,3	81,6	82,9	81,7	80,8	80,3	79,6
0	80	59,2	62,6	62,8	69,3	73,8	77,0	79,9	81,4	80,4	78,4	78,3	76,1	75,4	74,7	75,2
-45	80	60,0	62,6	65,2	69,1	71,2	75,2	81,1	81,1	80,5	82,2	81,7	79,9	78,1	75,7	72,7
45	100	65,4	64,3	67,2	68,8	70,8	74,8	80,0	85,4	84,0	84,4	86,3	84,6	83,0	82,9	81,3
0	100	62,3	66,5	65,5	68,7	73,4	77,0	81,5	86,0	84,4	81,2	82,2	79,2	78,5	77,8	77,5
-45	100	63,9	64,8	65,8	69,5	74,1	75,9	81,8	85,8	83,9	84,8	85,3	83,0	81,3	79,3	75,3
45	120	69,0	67,7	69,6	70,7	71,4	75,6	80,2	87,0	87,5	86,4	87,9	87,3	85,8	85,4	83,5
0	120	65,0	67,6	68,8	71,2	74,1	77,0	81,5	86,7	87,8	84,1	84,1	82,2	81,0	80,3	80,2
-45	120	65,3	70,0	69,9	70,4	73,7	77,2	82,4	86,9	87,3	86,4	86,9	85,6	84,0	81,5	78,0

PFF

Belag: Asphaltbeton 0/8 behandelt energetische Mittelung

Belag:ABB 08 GESTrO																
Kanal A:		Mikro Mf														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz							und Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	41,7	49,4	53,4	56,2	60,9	63,1	63,3	66,8	66,7	67,2	66,5	64,3	61,9	59,8	57,6
0	60	42,2	49,5	55,5	57,6	64,7	65,4	65,6	68,5	67,7	66,5	65,6	62,9	60,4	57,4	55,3
-45	60	42,3	48,4	53,4	56,1	61,8	63,8	63,8	67,6	66,5	66,7	65,8	64,0	61,1	58,1	55,9
45	80	45,1	54,0	54,4	58,6	61,2	65,8	69,0	70,5	70,5	72,1	71,6	68,7	65,7	63,1	60,9
0	80	45,3	53,3	56,2	59,5	65,1	68,0	71,3	72,3	71,6	71,5	70,6	67,4	64,4	61,1	58,7
-45	80	45,5	52,8	54,3	58,3	62,1	66,3	69,6	71,4	70,4	71,8	70,9	68,7	65,3	61,8	59,5
45	100	47,7	54,2	57,4	59,4	63,5	66,3	70,8	75,5	74,3	74,8	75,2	72,1	68,9	66,7	63,4
0	100	48,1	54,8	59,8	60,3	66,5	68,6	72,9	77,1	76,1	74,3	74,3	70,9	67,9	64,8	61,4
-45	100	46,8	54,0	58,1	59,6	64,3	67,1	71,1	76,3	74,4	74,6	74,6	72,1	68,7	65,4	62,1
45	120	50,0	57,3	60,0	63,3	64,2	67,9	72,0	77,1	77,7	77,0	76,7	75,3	71,7	69,1	65,9
0	120	50,1	58,3	62,8	64,4	67,7	69,4	73,8	78,3	79,3	76,5	76,1	74,0	70,7	67,5	64,4
-45	120	49,7	57,9	59,8	62,5	64,7	69,1	72,2	77,9	78,2	76,8	76,5	75,2	71,6	68,2	65,1
Kanal B:		Mikro Mn														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz							und Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	61,2	62,8	65,5	67,1	70,1	70,9	73,5	76,9	77,6	77,9	77,0	73,4	69,8	70,6	71,0
0	60	56,2	60,1	63,1	67,2	74,7	75,2	75,5	78,1	77,1	74,1	74,9	71,4	67,9	65,4	64,9
-45	60	58,3	60,5	62,7	66,1	71,3	71,4	75,2	78,4	77,6	77,5	76,3	72,5	67,5	66,3	64,3
45	80	62,7	69,9	66,3	70,0	70,3	75,0	79,4	80,7	81,7	83,0	82,1	78,0	73,6	73,6	74,2
0	80	58,9	63,7	63,2	68,7	74,3	77,4	80,9	82,1	81,2	79,3	79,7	76,0	71,9	69,1	68,1
-45	80	63,9	66,3	66,3	68,9	72,0	74,4	81,4	82,3	81,1	82,5	81,2	77,2	72,0	70,6	68,2
45	100	65,7	67,2	69,5	70,1	72,1	76,0	81,2	85,9	85,6	85,9	86,0	81,6	76,8	77,0	76,4
0	100	61,4	68,0	67,4	68,7	75,2	78,6	82,3	86,2	85,2	82,2	83,9	79,5	75,5	72,8	70,6
-45	100	65,3	69,0	68,5	70,8	74,6	76,0	82,8	87,1	84,5	85,2	84,8	80,5	75,5	74,5	71,2
45	120	68,7	68,9	70,7	74,6	72,7	77,1	82,0	88,0	89,2	88,4	87,8	85,2	80,0	79,7	79,0
0	120	65,2	68,7	69,5	72,8	75,9	78,3	83,2	87,6	88,6	85,1	86,1	82,8	78,2	75,6	73,3
-45	120	65,1	72,0	70,9	73,9	75,5	77,6	83,6	88,3	87,7	87,0	86,7	83,5	78,4	77,2	74,3

PFF

Belag: SK 8 energetische Mittelung GESTRO - Reifen

Belag: SK 8 GESTRO																
Kanal A:		Mikro Mf														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz							und Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	48,4	55,6	59,0	62,4	66,0	66,6	67,0	65,3	63,0	62,2	60,8	58,3	54,9	50,9	47,1
0	60	49,5	58,0	62,0	63,7	68,7	69,3	68,5	66,6	63,6	61,9	60,2	56,9	53,7	50,1	45,7
-45	60	47,9	54,9	58,8	61,8	65,8	67,4	66,7	65,3	62,9	62,4	60,4	57,0	53,7	49,7	45,8
45	80	50,8	57,6	62,9	65,2	71,0	70,8	71,6	69,2	66,3	65,6	63,7	60,3	57,0	52,9	49,0
0	80	51,4	59,6	65,5	67,0	74,2	73,9	73,5	70,7	67,2	65,3	63,2	59,4	56,2	52,5	48,0
-45	80	51,3	57,8	62,8	65,1	71,1	72,0	71,6	69,4	66,4	65,6	63,3	59,4	56,0	52,0	48,0
45	100	54,0	59,9	65,0	68,5	73,5	75,1	75,2	72,8	69,7	68,3	66,1	62,8	59,4	55,2	51,4
0	100	54,1	62,2	67,6	70,1	75,9	77,9	77,0	74,0	70,4	68,0	65,6	61,9	58,7	55,0	50,8
-45	100	53,6	60,0	65,0	68,3	73,3	76,3	75,1	73,1	69,8	68,3	65,8	62,0	58,6	54,7	50,9
45	120	54,0	62,0	67,2	71,4	76,1	77,0	78,4	76,0	72,5	71,0	68,3	65,0	62,0	57,9	54,3
0	120	55,3	63,4	70,3	73,3	79,0	80,1	80,4	77,3	73,2	70,6	67,8	64,4	61,5	57,9	54,0
-45	120	54,2	62,2	67,7	71,3	76,2	78,4	78,4	76,2	72,6	70,7	68,0	64,5	61,4	57,7	54,2
Kanal B:		Mikro Mn														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz							und Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	66,3	68,7	71,1	71,4	72,6	74,9	76,6	76,0	72,9	71,0	70,8	67,8	66,0	65,5	63,1
0	60	65,5	69,4	71,8	72,6	76,3	78,7	77,8	76,0	72,1	70,1	68,0	65,0	61,1	59,5	58,4
-45	60	64,9	68,2	69,8	72,8	75,0	75,3	77,6	75,6	73,4	71,6	69,1	65,2	62,7	60,8	57,6
45	80	67,7	71,3	74,3	74,8	77,6	79,0	81,5	80,7	76,6	74,3	73,8	70,1	67,8	67,0	64,6
0	80	67,9	72,2	75,0	76,1	81,4	82,9	82,4	80,5	75,9	73,3	70,9	67,6	63,5	61,9	60,8
-45	80	67,4	70,4	74,4	76,4	80,6	80,0	82,5	79,6	76,9	74,8	72,1	67,8	65,4	63,5	60,3
45	100	70,7	72,5	75,5	78,4	80,5	83,7	85,5	84,7	80,3	77,3	76,3	72,7	69,8	68,6	66,1
0	100	70,7	75,2	77,8	79,6	83,3	87,0	85,8	84,0	79,0	75,7	73,3	70,0	66,1	64,3	63,1
-45	100	71,9	73,0	77,1	79,8	83,0	84,4	85,7	82,8	80,1	77,3	74,6	70,3	68,1	66,4	63,2
45	120	71,9	74,5	77,7	80,6	83,7	86,5	88,8	88,1	83,3	80,3	78,5	74,9	72,0	70,6	68,0
0	120	71,5	75,9	79,9	83,5	85,9	89,3	89,1	87,2	81,6	78,2	75,4	72,3	68,7	66,9	65,6
-45	120	72,3	76,9	78,8	83,3	85,9	86,9	89,0	85,9	82,6	79,6	76,6	72,8	70,7	69,2	66,1

PFF

Belag: SK 4 energetische Mittelung GESTRO - Reifen

Belag: SK 4 GESTRO																
Kanal A:		Mikro Mf														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz							und Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	44,3	51,4	54,5	57,2	62,3	62,7	66,3	67,0	64,9	62,8	62,5	60,6	57,5	53,8	50,7
0	60	45,1	53,2	56,8	58,6	65,2	65,9	68,2	68,6	65,7	62,5	61,9	59,7	56,5	53,4	49,3
-45	60	44,0	50,4	54,4	56,8	62,2	63,7	66,8	67,7	64,5	63,0	62,0	59,6	56,9	53,0	49,5
45	80	46,1	53,0	56,7	59,9	65,5	66,9	70,3	71,6	68,9	66,4	65,8	63,5	60,2	56,3	52,8
0	80	46,3	54,2	59,3	61,5	68,7	70,2	72,3	73,1	69,7	66,1	65,3	62,7	59,3	55,8	51,7
-45	80	45,8	52,4	57,2	59,7	65,5	68,2	70,9	72,3	68,4	66,4	65,3	62,6	59,6	55,5	51,9
45	100	48,5	54,2	58,3	61,9	67,8	69,5	73,4	74,9	72,2	69,3	68,3	65,8	62,6	58,5	54,9
0	100	48,8	55,7	60,7	63,8	70,4	72,5	75,4	76,5	73,1	69,0	67,8	65,1	61,9	58,2	54,0
-45	100	48,1	54,0	58,3	61,8	67,9	70,6	73,9	75,7	71,6	69,3	67,9	65,0	62,1	57,9	54,1
45	120	50,1	57,0	60,6	64,6	69,6	71,2	75,6	77,5	74,9	71,7	70,7	67,8	64,9	60,8	57,1
0	120	51,2	58,6	63,2	66,4	72,3	74,1	77,6	78,9	75,9	71,3	70,1	67,3	64,3	60,6	56,4
-45	120	50,3	58,0	61,0	64,3	69,5	72,4	76,2	78,2	74,5	71,6	70,3	67,2	64,4	60,4	56,6
Kanal B:		Mikro Mn														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz							und Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	61,5	63,2	65,5	66,7	68,8	70,7	75,2	77,0	75,3	71,8	72,4	70,0	68,8	68,8	67,2
0	60	60,7	64,2	66,1	68,0	73,3	74,9	77,1	78,1	74,1	70,2	69,0	67,2	63,4	61,9	60,9
-45	60	59,9	63,0	64,5	68,0	71,5	72,1	78,2	77,9	74,7	72,2	70,8	67,8	65,3	63,1	61,1
45	80	63,3	65,9	68,2	69,4	72,2	74,7	79,2	82,0	79,6	75,7	75,7	73,0	71,2	70,8	69,1
0	80	63,0	65,5	68,0	70,8	76,5	78,7	81,0	82,7	78,2	73,7	72,4	70,4	66,3	64,5	63,2
-45	80	62,4	64,9	69,0	71,1	74,9	76,6	82,2	82,4	78,5	75,6	74,2	70,9	68,2	65,9	63,7
45	100	65,8	66,5	69,3	71,9	74,7	77,2	82,6	85,6	83,4	78,9	78,3	75,4	73,4	72,8	70,7
0	100	64,7	68,1	69,6	73,4	78,1	81,1	84,0	86,2	81,2	76,4	75,1	72,9	68,9	66,8	65,3
-45	100	66,5	67,2	69,6	73,4	77,7	79,0	85,3	85,5	81,2	78,3	76,7	73,3	70,6	68,4	66,0
45	120	68,2	68,3	70,3	73,5	76,4	79,7	84,8	88,4	86,3	81,5	80,8	77,5	75,6	74,7	72,3
0	120	66,4	70,2	71,6	75,8	79,6	82,4	86,2	88,5	84,1	78,5	77,3	75,1	71,2	69,1	67,4
-45	120	67,9	71,4	71,0	75,5	79,3	81,2	87,7	88,0	83,7	80,4	78,9	75,4	72,9	70,9	68,4

PFF

Belag: SK2 energetische Mittelung GESTrO - Reifen

Sk2 GESTrO																
Kanal A:	Mikro Mf															
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)														
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	42.2	49.1	51.5	53.9	59.6	60.7	64.1	65.7	64.2	62.5	61.6	60.0	57.3	53.6	50.4
0	60	43.3	50.3	53.8	55.6	62.7	63.9	66.2	67.7	65.1	62.1	61.1	59.1	56.1	52.8	48.9
-45	60	41.8	47.5	51.5	53.8	59.9	61.5	64.6	66.6	64.1	62.6	61.2	58.9	56.2	52.6	49.1
45	80	44.4	50.8	52.9	55.8	61.8	64.3	68.1	70.3	68.6	66.5	65.1	63.1	60.2	56.3	52.7
0	80	45.0	51.6	55.2	57.7	65.0	67.7	70.4	72.3	69.6	66.0	64.8	62.3	59.2	55.6	51.5
-45	80	44.4	49.6	53.3	55.8	62.1	65.6	68.7	71.2	68.4	66.4	64.9	62.3	59.2	55.4	51.7
45	100	47.5	53.0	56.3	57.9	63.7	66.3	70.7	73.4	72.0	69.8	67.9	65.7	62.8	58.7	54.9
0	100	47.8	54.0	58.1	59.7	66.0	69.0	73.0	75.5	73.1	69.1	67.7	65.2	61.9	58.2	53.9
-45	100	47.4	53.1	56.4	58.4	63.7	67.1	71.3	74.3	71.7	69.3	67.8	65.0	62.0	58.0	54.1
45	120	50.3	56.9	58.9	61.4	64.9	67.5	72.1	75.7	74.5	72.5	70.0	67.7	65.2	61.2	57.2
0	120	51.2	57.9	61.8	63.2	67.6	70.4	74.3	77.6	75.4	71.8	69.7	67.4	64.4	60.6	56.4
-45	120	49.8	57.6	59.5	61.6	65.2	68.6	72.7	76.6	74.1	72.0	69.9	67.3	64.4	60.5	56.6
Kanal B:	Mikro Mn															
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)														
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	59.3	60.4	62.3	63.8	66.5	68.4	73.2	75.4	74.8	71.7	71.8	69.6	68.8	68.9	67.1
0	60	58.5	60.3	62.7	65.3	71.4	72.7	74.7	76.7	73.5	69.8	68.2	66.4	63.3	61.7	60.9
-45	60	56.8	60.0	61.4	64.9	68.9	69.9	76.0	76.8	74.1	71.6	69.8	66.9	64.7	63.1	61.2
45	80	60.7	63.4	64.0	65.6	68.7	72.4	77.2	80.3	79.7	76.0	75.4	72.9	71.5	71.2	69.3
0	80	60.8	62.4	63.6	67.1	73.2	76.2	78.7	81.2	78.0	73.5	71.8	69.9	66.3	64.4	63.4
-45	80	62.0	62.1	64.5	66.9	71.4	73.8	80.4	81.3	78.3	75.4	73.5	70.4	67.9	66.2	63.9
45	100	64.7	64.4	66.4	67.6	70.9	74.2	79.6	83.7	83.5	79.5	78.2	75.5	74.0	73.3	71.2
0	100	63.7	66.2	66.8	69.0	74.2	77.5	81.4	84.2	81.5	76.3	74.8	72.6	69.0	67.0	65.5
-45	100	65.3	66.7	67.2	69.7	73.4	75.6	83.1	84.7	81.5	78.1	76.3	73.1	70.6	68.9	66.3
45	120	68.5	67.8	68.8	70.9	71.7	76.0	81.3	86.1	86.2	82.4	80.3	77.6	76.1	75.3	72.8
0	120	66.0	69.7	69.5	72.3	75.2	78.2	82.6	86.6	83.8	78.8	77.0	75.0	71.4	69.3	67.5
-45	120	67.8	71.2	69.8	72.9	74.5	77.7	84.3	86.8	83.7	80.6	78.5	75.3	72.9	71.4	68.5

PFF

Belag: SK 07 energetische Mittelung GESTrO - Reifen

Belag:SK 07 GESTrO																
Kanal A:	Mikro Mf															
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)														
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	45,3	49,8	51,2	54,5	58,8	60,4	61,7	64,3	63,1	62,0	60,3	58,4	55,8	52,6	49,9
0	60	44,9	50,9	53,5	56,9	63,3	63,4	64,1	65,8	63,7	61,2	59,5	57,6	54,6	52,0	49,0
-45	60	45,1	49,3	51,5	54,4	59,6	60,9	62,6	64,5	63,1	61,8	60,0	57,9	55,0	51,9	49,4
45	80	48,7	54,1	53,1	56,3	60,9	63,8	66,9	68,8	67,7	66,4	64,4	62,1	59,2	55,7	52,8
0	80	49,9	53,3	54,5	58,4	64,8	66,6	69,4	70,4	68,8	65,5	63,8	61,5	58,0	55,0	51,9
-45	80	49,3	53,7	53,5	56,2	61,2	64,4	67,9	69,3	67,9	66,1	64,3	61,6	58,4	55,0	52,3
45	100	53,3	56,3	58,0	58,5	62,6	65,4	68,7	72,9	71,4	70,1	67,7	64,9	62,0	58,4	55,3
0	100	53,4	57,8	61,2	60,8	65,7	67,5	71,3	74,5	72,5	69,1	67,2	64,5	61,1	57,9	54,5
-45	100	52,5	55,8	57,8	58,4	63,1	65,7	69,8	73,2	71,4	69,6	67,6	64,6	61,3	57,9	54,8
45	120	55,8	60,1	61,1	63,0	65,2	66,7	69,6	74,8	74,4	73,0	70,2	67,3	64,6	61,1	57,7
0	120	55,7	59,3	63,8	65,1	67,6	69,3	72,0	76,0	75,5	72,2	69,8	67,1	63,8	60,7	57,2
-45	120	55,2	59,9	61,5	63,1	65,3	68,1	71,0	75,0	74,6	72,6	70,4	67,3	64,0	60,6	57,5
Kanal A:	Mikro Mn															
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)														
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	58,1	59,1	61,9	65,0	67,3	68,3	71,2	73,4	73,8	71,2	70,1	67,9	66,8	67,3	66,4
0	60	54,5	59,4	62,0	67,0	72,7	72,1	72,9	75,2	72,2	68,5	67,0	64,7	61,8	60,0	59,8
-45	60	53,2	57,4	59,6	64,7	68,5	69,1	73,1	74,9	72,8	70,6	68,9	65,8	62,7	61,4	60,2
45	80	60,8	68,1	65,1	65,7	69,4	72,8	76,7	78,0	79,0	75,7	74,2	71,2	69,6	69,9	68,8
0	80	59,5	64,5	62,9	67,5	73,7	75,0	78,0	79,5	77,1	72,7	71,0	68,2	64,9	62,9	62,3
-45	80	58,5	64,6	64,0	67,2	70,8	72,6	78,4	79,3	77,3	74,6	73,1	69,6	66,1	64,7	62,9
45	100	62,7	66,3	70,2	68,2	70,3	74,7	78,7	82,4	82,5	79,4	77,4	74,1	72,2	72,2	70,9
0	100	61,3	68,5	68,8	69,6	74,5	76,4	79,7	83,6	80,4	76,1	74,1	71,4	67,9	65,6	64,7
-45	100	63,3	66,4	70,2	69,7	73,2	74,3	80,4	83,7	80,6	78,0	75,9	72,6	69,2	67,6	65,5
45	120	66,0	68,3	71,9	73,1	72,3	75,4	80,3	84,5	86,1	82,5	80,0	76,7	74,6	74,4	72,8
0	120	62,3	69,4	72,5	74,7	75,8	77,6	81,4	85,1	83,5	79,3	76,7	74,1	70,6	68,2	67,0
-45	120	65,0	71,4	71,1	75,0	74,8	77,0	82,5	85,6	83,5	80,7	78,5	75,0	71,9	70,3	67,9

PFF

Belag: Korund 1/1,7 energetische Mittelung GESTro - Reifen

Belag: Korund 1/1,7 GESTro																
Kanal A:		Mikro Mf														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)														
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	45,5	50,8	51,7	55,2	59,5	60,8	62,0	64,4	63,3	62,2	60,7	59,0	56,6	53,5	50,9
0	60	45,8	51,6	53,7	57,8	64,0	63,9	64,4	66,0	64,3	61,3	60,4	58,1	55,2	52,6	49,8
-45	60	45,1	50,2	52,0	55,2	60,6	60,8	62,9	64,8	63,4	62,0	60,4	58,3	55,3	52,3	50,0
45	80	51,2	54,7	55,6	56,8	61,0	63,8	66,7	68,8	68,0	66,8	64,7	62,3	59,6	56,2	53,4
0	80	51,2	53,9	57,0	59,0	64,7	66,8	69,5	70,6	69,0	65,8	63,9	61,6	58,4	55,5	52,4
-45	80	51,7	53,3	54,7	56,6	61,4	64,2	67,7	69,4	67,9	66,5	64,6	61,8	58,5	55,2	52,5
45	100	54,1	57,6	58,9	60,1	62,7	65,7	68,9	72,9	71,6	70,5	68,2	65,0	62,3	58,8	55,6
0	100	54,6	58,8	61,0	62,1	66,4	67,8	71,6	74,5	72,8	69,4	67,4	64,5	61,2	58,2	54,7
-45	100	54,0	58,1	58,6	60,8	63,6	65,9	70,1	73,3	71,6	70,0	68,1	64,9	61,5	58,1	55,0
45	120	58,6	62,2	62,9	64,8	66,6	67,4	70,5	75,0	74,8	73,2	70,8	67,6	64,9	61,3	57,9
0	120	57,4	62,2	65,9	66,3	69,8	69,8	72,8	76,4	76,0	72,4	70,1	67,2	64,0	60,8	57,3
-45	120	56,2	62,9	63,9	63,8	66,4	68,0	71,5	75,2	74,7	72,9	70,7	67,5	64,2	60,8	57,5
Kanal B:		Mikro Mn														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)														
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	57,9	60,2	61,8	65,1	68,9	68,7	71,6	73,4	74,2	71,6	71,0	69,0	68,3	69,3	68,5
0	60	54,1	59,5	61,4	67,9	73,9	72,7	72,9	75,2	72,7	68,8	67,5	65,4	62,8	61,3	61,5
-45	60	52,9	58,1	60,4	65,1	69,7	69,4	73,2	75,0	73,3	71,0	69,9	66,6	63,5	62,5	61,8
45	80	60,6	65,8	65,2	65,9	68,6	72,7	76,5	78,5	79,1	76,7	75,3	72,4	71,1	72,0	71,0
0	80	58,8	64,0	64,0	68,1	73,1	75,1	78,0	79,9	77,2	73,5	71,6	69,1	66,1	64,3	64,0
-45	80	60,4	63,3	65,7	66,6	70,0	72,4	78,4	79,8	77,4	75,5	73,9	70,3	67,0	65,7	64,4
45	100	65,6	68,3	68,5	70,1	70,8	74,2	78,6	82,5	83,0	80,2	78,5	75,4	73,5	74,0	73,0
0	100	62,8	67,1	68,3	70,8	74,4	76,4	79,7	83,5	81,0	76,8	74,9	72,2	68,9	66,8	66,2
-45	100	65,1	68,4	68,6	71,4	72,7	74,0	80,3	83,7	81,1	78,7	77,1	73,4	70,1	68,7	66,9
45	120	70,4	71,0	72,0	73,9	73,4	75,0	79,7	84,6	86,1	83,3	81,2	78,0	76,1	76,2	75,0
0	120	67,1	73,1	72,6	74,5	76,3	77,0	80,4	85,0	84,2	80,3	77,6	75,1	71,7	69,4	68,4
-45	120	70,4	73,6	72,0	74,8	75,4	76,5	81,3	85,7	83,8	81,7	79,6	76,2	73,0	71,7	69,2

PFF

Belag: P 16 energetische Mittelung GESTro - Reifen

Belag: P 16 GESTro																
Kanal A:		Mikro Mf														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)														
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	51,6	56,8	56,3	56,7	61,0	61,2	62,3	63,2	62,2	60,6	59,4	57,2	54,5	51,2	48,9
0	60	52,8	57,0	58,4	58,4	64,3	64,4	64,4	65,3	63,2	60,2	58,5	56,2	53,1	50,2	47,0
-45	60	51,2	54,9	56,5	56,6	61,1	62,0	62,9	64,3	62,0	61,0	58,8	56,3	53,7	50,5	48,1
45	80	54,1	58,6	56,9	58,2	62,3	64,2	66,6	67,5	66,6	64,8	63,3	60,5	57,7	54,0	51,4
0	80	54,7	59,1	59,0	59,9	65,5	64,2	68,7	69,5	67,5	64,4	62,4	59,8	56,4	53,1	49,7
-45	80	54,4	56,8	57,4	58,1	62,4	65,1	67,3	68,5	66,1	65,0	62,7	59,8	57,1	53,5	50,8
45	100	57,3	60,5	61,2	60,1	63,6	65,4	68,5	71,1	69,8	67,9	66,3	63,4	60,5	56,8	53,8
0	100	57,5	61,8	63,3	61,5	66,1	68,1	70,8	73,1	70,7	67,4	65,5	62,8	59,2	55,9	52,4
-45	100	56,9	61,0	61,1	60,4	63,6	66,1	69,4	72,1	69,3	67,8	65,9	62,8	59,8	56,2	53,3
45	120	59,6	64,9	64,5	64,2	65,4	66,5	69,3	73,2	72,7	70,3	68,5	65,6	62,9	59,3	56,1
0	120	60,0	65,3	67,3	65,9	67,7	69,3	71,3	74,8	73,5	70,0	67,8	65,3	61,8	58,4	55,0
-45	120	59,4	65,6	65,1	64,5	65,3	67,3	70,1	73,9	72,3	70,2	68,2	65,3	62,4	58,8	55,9
Kanal B:		Mikro Mn														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz und Pegel in dB(A)														
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	68,6	67,5	66,7	67,5	68,9	69,0	71,4	73,0	72,6	70,0	69,5	66,5	65,6	66,3	65,6
0	60	68,4	66,5	66,7	68,9	73,7	73,0	72,5	73,9	71,5	68,3	65,6	63,8	60,6	59,4	59,1
-45	60	67,0	66,6	66,6	67,4	70,5	70,1	74,1	74,8	72,3	69,4	67,1	64,2	62,2	60,6	59,6
45	80	71,4	71,5	68,0	68,6	69,5	72,8	75,9	77,8	77,2	74,5	73,5	70,1	68,6	68,8	67,9
0	80	70,8	70,1	67,5	69,5	73,7	75,6	76,9	78,1	75,9	72,4	69,6	67,5	63,9	62,4	61,6
-45	80	72,1	69,4	68,5	68,5	72,0	73,3	78,7	79,4	76,6	73,2	71,1	67,9	65,5	63,7	62,3
45	100	74,0	72,0	69,9	69,6	71,2	73,5	77,7	81,4	80,9	77,8	76,4	73,0	71,1	71,1	70,0
0	100	72,8	73,8	71,3	70,6	74,2	76,3	78,6	81,3	79,3	75,3	72,7	70,3	66,7	65,0	63,9
-45	100	74,9	74,3	70,7	71,0	73,2	74,7	80,6	83,1	79,5	76,1	74,1	70,8	68,2	66,5	64,8
45	120	78,2	75,8	73,9	73,3	72,1	75,3	78,2	83,6	84,1	80,4	78,7	75,4	73,3	73,1	71,7
0	120	75,5	77,0	75,2	74,7	75,0	76,4	79,2	82,8	81,9	77,9	75,0	73,0	69,3	67,5	66,1
-45	120	76,7	78,9	75,2	74,9	74,5	76,5	81,2	84,9	82,4	78,4	76,5	73,3	70,7	69,1	67,1

PPF

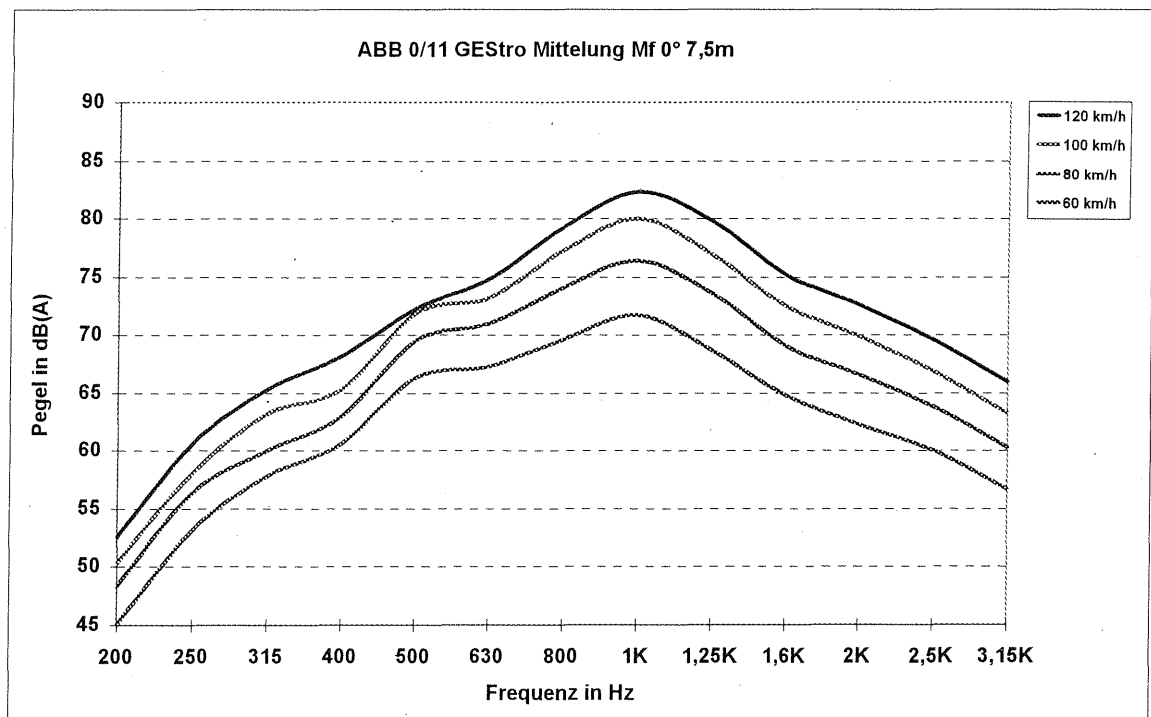
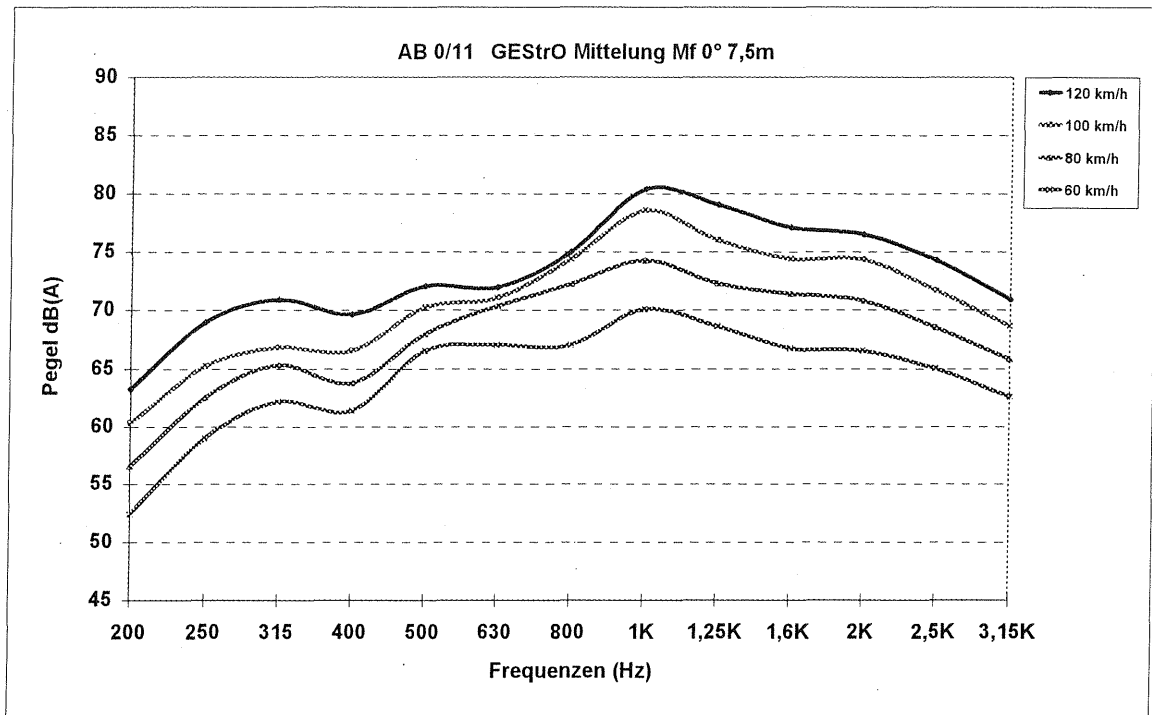
Belag: P 20 energetische Mittelung GESTro - Reifen

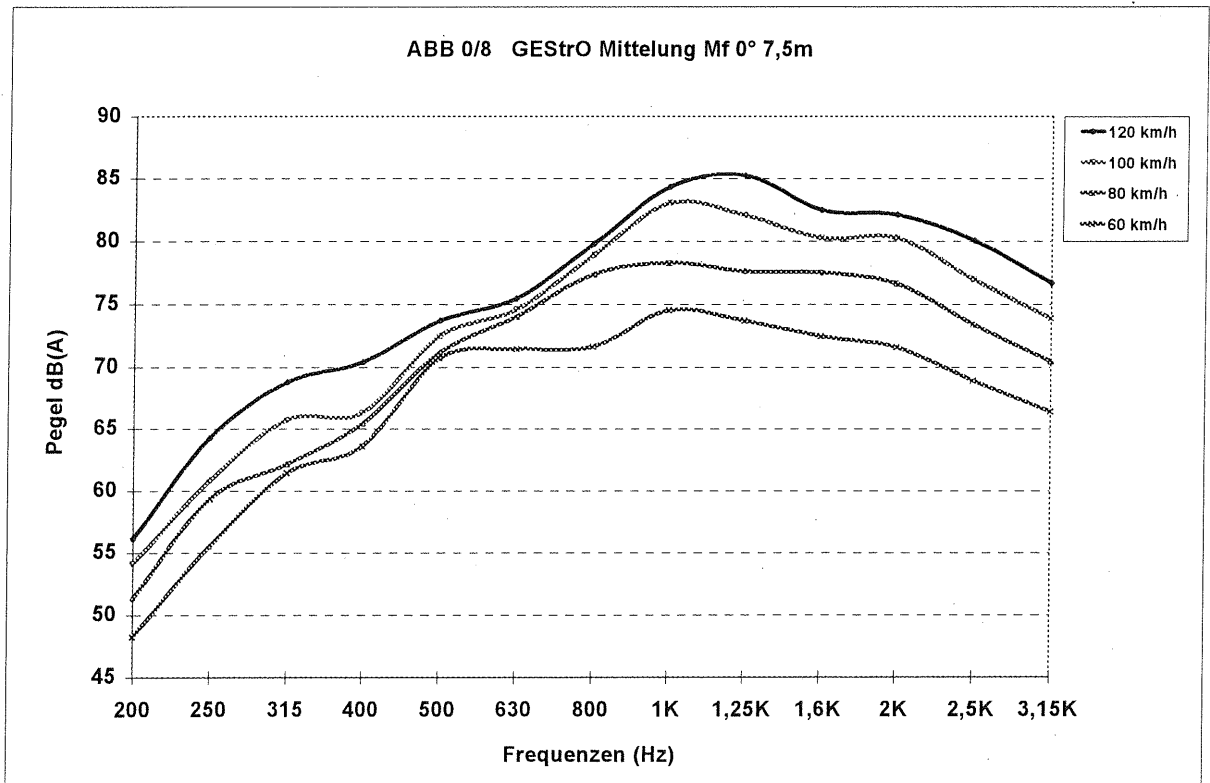
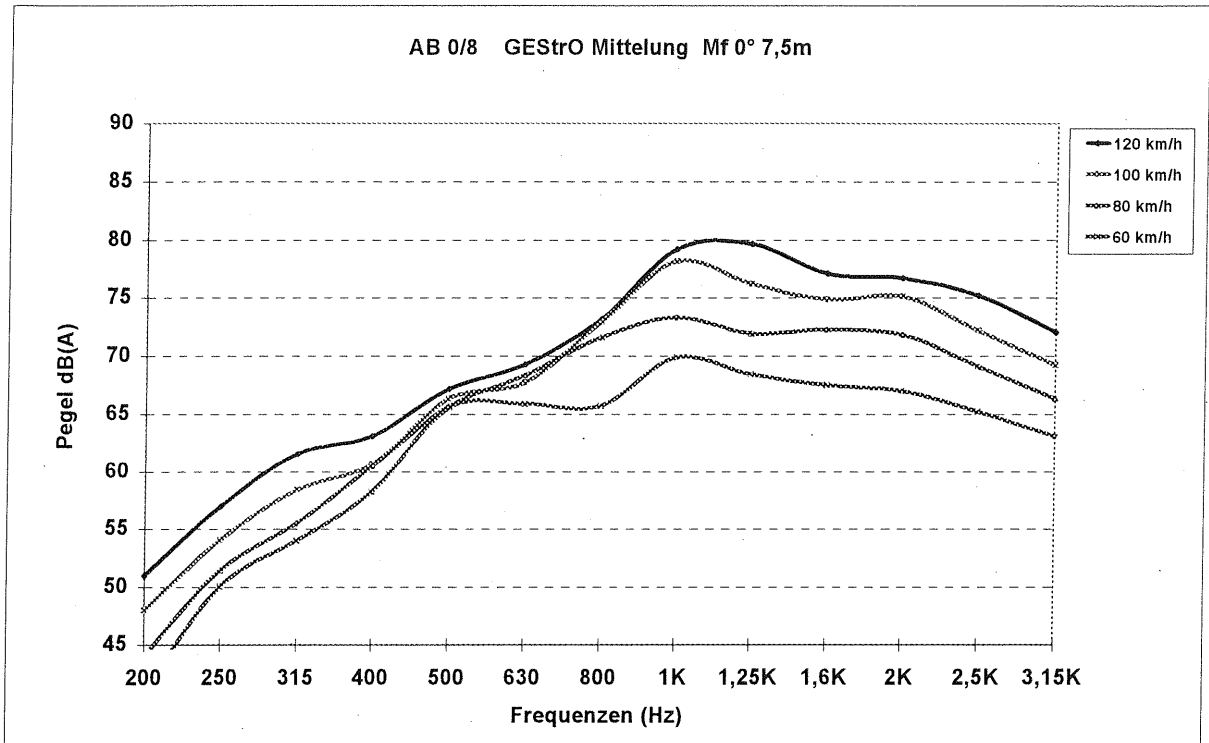
Belag: P 20 GESTro																
Kanal A:		Mikro Mf														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz							Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	52,4	56,8	56,1	56,8	61,2	60,5	61,0	62,1	60,9	59,0	57,7	55,8	53,1	49,5	46,9
0	60	53,4	57,5	57,8	58,4	64,4	63,5	63,6	64,1	61,6	58,8	57,2	55,0	51,6	48,3	45,2
-45	60	51,1	54,7	56,0	56,9	61,1	61,0	61,6	62,6	60,7	59,1	57,3	55,1	52,3	48,8	46,5
45	80	55,6	59,3	58,1	58,6	62,5	64,1	65,5	66,5	65,3	63,1	61,7	59,2	56,4	52,5	49,6
0	80	55,6	59,2	59,7	59,8	65,4	66,8	68,0	68,4	65,9	62,8	61,2	58,5	54,9	51,5	48,1
-45	80	54,6	57,0	57,9	58,2	62,3	64,7	66,2	67,1	64,9	63,0	61,2	58,6	55,7	51,8	49,3
45	100	58,3	60,9	61,3	60,5	64,1	65,4	67,9	70,4	68,8	66,2	64,8	62,0	59,2	55,4	52,2
0	100	58,3	61,9	63,1	62,2	66,6	67,6	70,3	72,4	69,5	65,8	64,2	61,4	57,9	54,4	51,0
-45	100	57,5	60,8	61,0	61,2	64,0	66,0	68,8	71,1	68,4	65,8	64,3	61,5	58,6	54,8	52,1
45	120	61,2	65,7	64,6	64,5	66,2	66,7	68,5	72,6	72,0	69,0	67,1	64,5	61,9	58,2	54,9
0	120	61,0	65,5	67,2	66,6	68,7	68,9	70,8	74,2	72,6	68,6	66,5	64,1	60,6	57,3	54,0
-45	120	59,6	65,6	64,6	64,7	65,9	67,5	69,5	73,4	71,6	68,5	66,6	64,1	61,2	57,7	54,9
Kanal B:		Mikro Mn														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz							Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	69,4	67,9	67,0	67,4	68,9	68,3	70,7	71,7	71,3	68,5	68,2	65,3	64,0	64,3	63,6
0	60	68,8	67,4	67,1	69,1	73,5	72,2	71,8	72,9	70,4	67,6	64,8	62,8	59,4	58,2	57,0
-45	60	67,3	66,6	65,6	67,4	70,3	69,0	72,7	73,6	71,0	68,0	65,9	63,1	60,7	58,9	57,5
45	80	71,7	72,4	69,5	68,7	69,6	72,4	75,4	76,6	76,1	73,0	72,2	68,8	67,1	67,1	66,0
0	80	71,1	70,3	68,0	69,6	73,5	75,0	76,2	77,2	74,7	71,2	68,7	66,5	62,8	61,4	59,9
-45	80	72,5	69,5	69,3	69,0	71,8	72,5	77,5	78,3	75,1	71,7	69,9	66,7	64,1	62,2	60,5
45	100	74,5	72,5	71,1	70,7	71,4	73,5	77,4	80,8	80,0	76,3	75,3	71,7	69,7	69,5	68,2
0	100	73,1	74,4	71,9	71,4	74,5	75,7	78,3	80,9	78,5	74,3	71,6	69,3	65,6	64,2	62,5
-45	100	75,7	73,8	71,6	71,6	73,8	74,0	80,0	82,5	78,3	74,4	72,9	69,5	66,9	65,1	63,3
45	120	79,3	75,7	74,1	74,1	72,7	75,0	78,2	83,5	83,7	79,2	77,6	74,2	72,2	71,9	70,4
0	120	76,3	77,2	75,2	75,8	75,8	76,9	79,0	82,7	81,1	76,7	74,0	72,1	68,2	66,9	65,1
-45	120	77,6	79,5	74,7	75,3	75,4	76,3	80,6	85,1	81,6	77,0	75,2	72,1	69,3	67,7	65,8

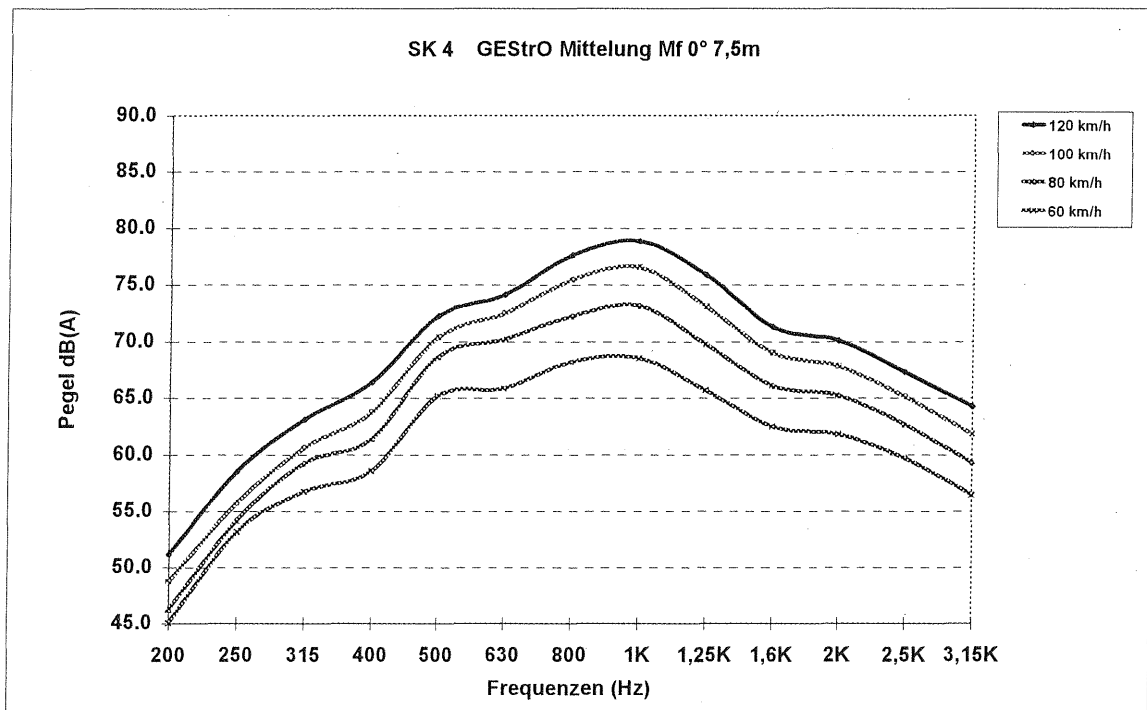
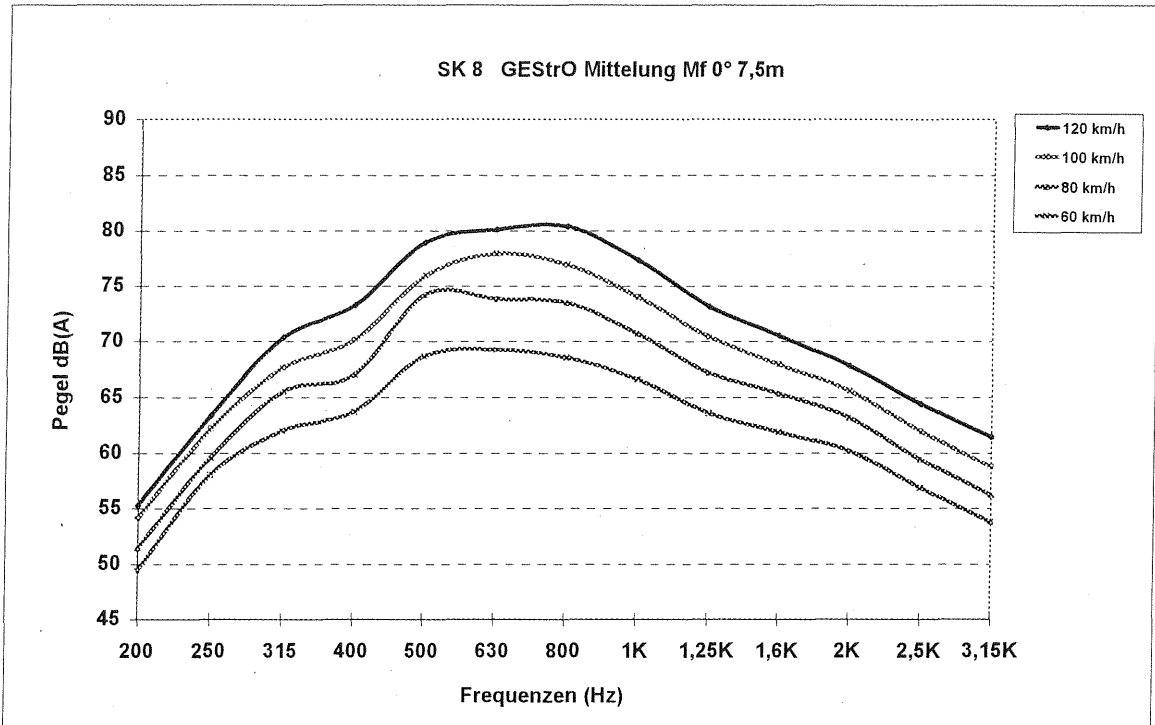
PPF

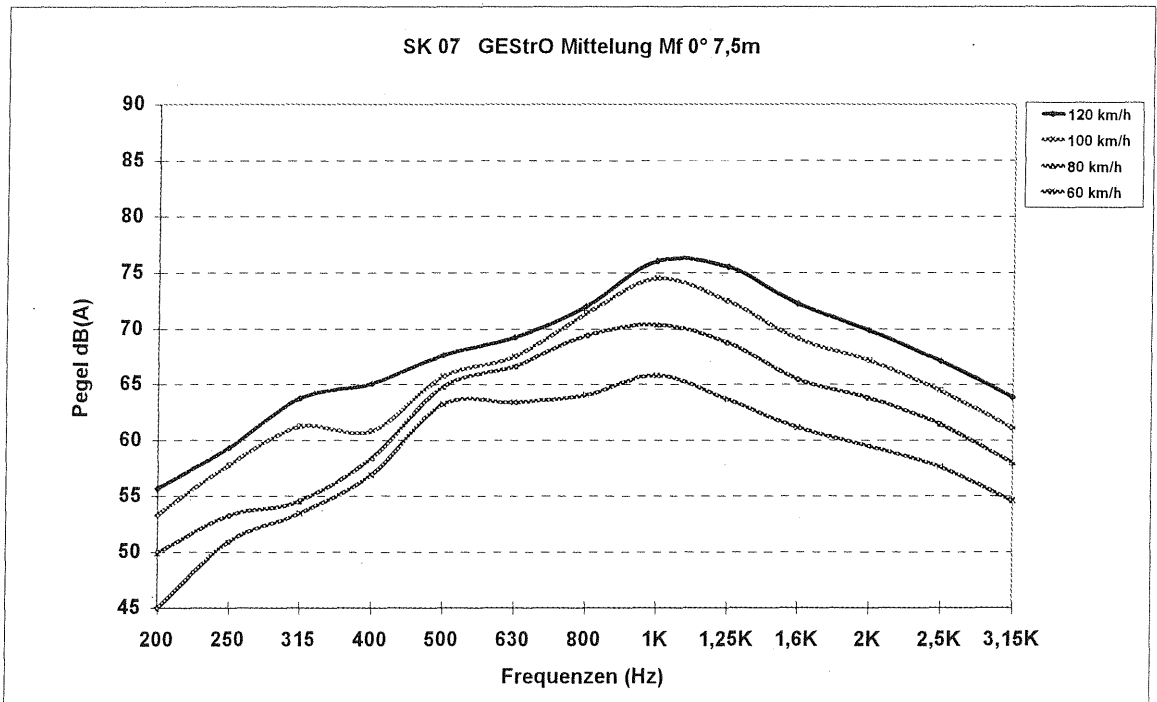
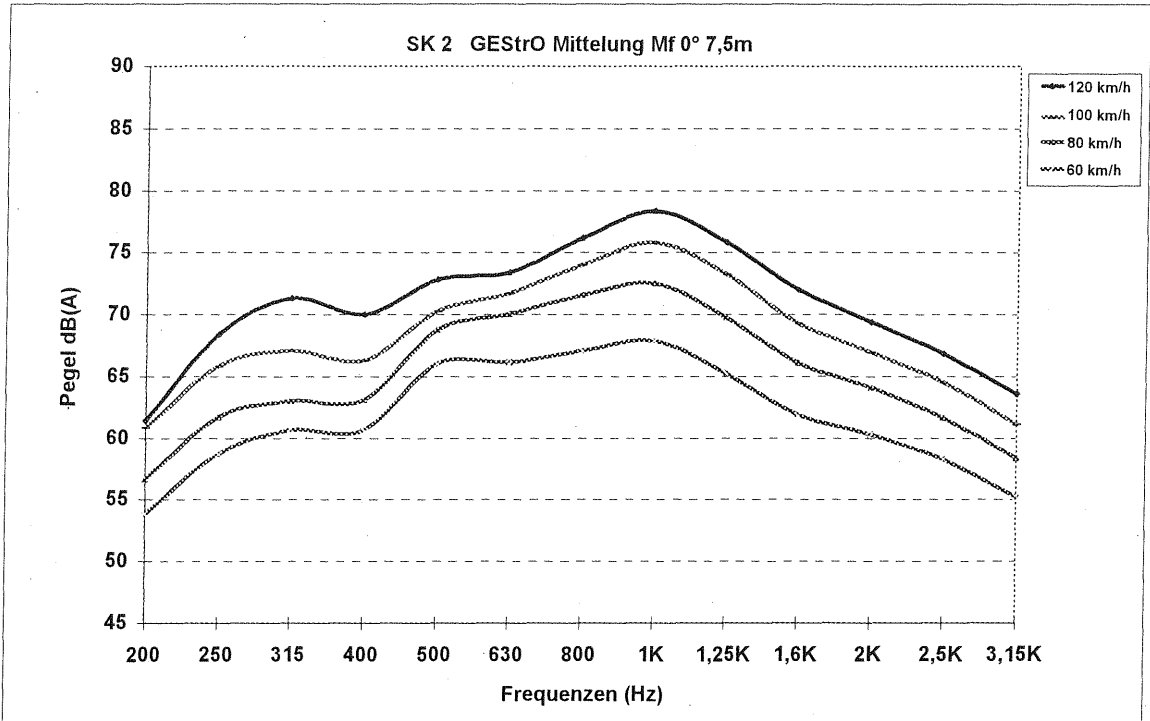
Belag: P24 energetische Mittelung GESTro - Reifen

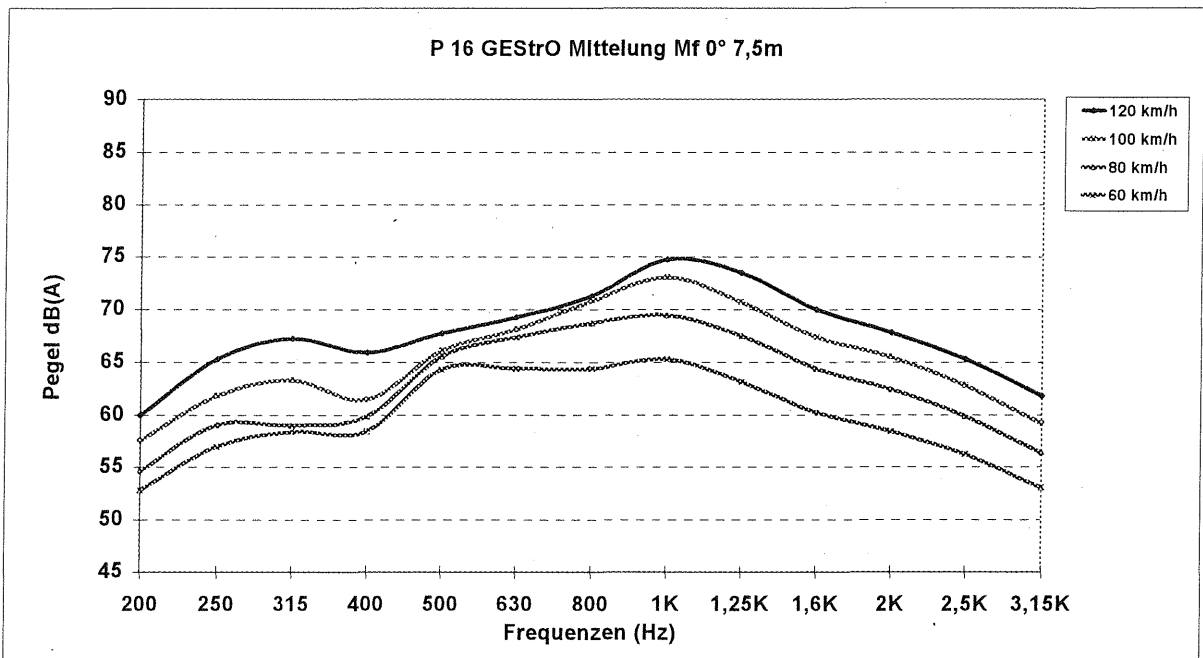
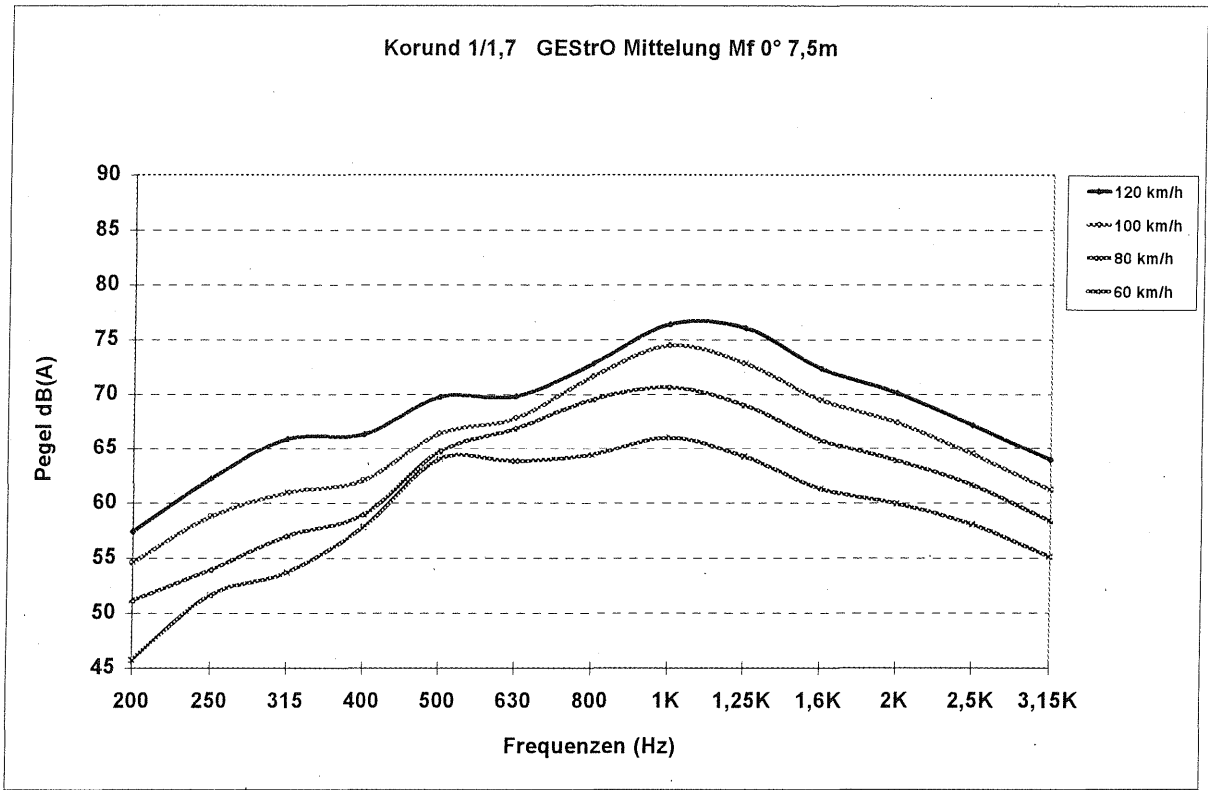
Belag:P24 GESTro																
Kanal A:		Mikro Mf														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz							Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	52,5	56,5	56,3	56,7	61,6	60,6	61,1	62,2	60,8	59,9	58,0	55,6	52,7	49,9	47,6
0	60	53,9	57,5	57,5	58,2	64,9	63,5	62,6	63,0	61,6	58,9	57,2	54,5	51,0	48,4	45,7
-45	60	52,0	54,8	55,8	56,6	61,4	60,9	60,8	62,1	60,8	59,5	57,4	54,8	52,4	49,4	47,6
45	80	55,4	59,2	58,6	58,5	62,1	64,1	66,1	66,7	65,2	64,6	62,5	59,6	56,3	53,2	50,5
0	80	56,0	59,9	60,0	59,6	65,1	66,8	67,8	67,7	66,0	63,4	61,8	58,8	54,8	51,8	48,9
-45	80	55,1	57,9	57,8	57,9	61,8	64,4	66,0	66,7	64,9	64,0	62,0	59,0	56,1	52,8	50,8
45	100	58,5	61,6	62,2	60,9	64,0	64,7	68,4	71,7	69,0	67,7	66,3	63,0	59,7	56,4	53,6
0	100	58,5	61,9	64,0	62,0	66,8	66,8	70,1	72,5	70,0	66,7	65,4	62,2	58,4	55,2	52,1
-45	100	57,9	61,2	62,4	61,2	64,0	65,0	68,4	71,7	68,8	67,1	65,8	62,6	59,5	56,2	54,0
45	120	61,7	66,2	65,9	65,2	66,2	66,5	68,8	73,8	72,9	70,5	68,4	65,9	62,8	59,5	56,4
0	120	62,0	66,1	68,0	66,9	69,0	68,7	70,6	74,6	73,9	69,8	67,9	65,5	61,7	58,5	55,3
-45	120	60,6	66,6	65,5	65,2	66,1	67,2	69,3	74,1	73,0	70,2	68,2	65,8	62,6	59,4	56,9
Kanal B:		Mikro Mn														
Grad	Km/h	Frequenz in Hz							Pegel in dB(A)							
		200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K
45	60	70,5	68,3	67,5	67,1	70,1	69,8	71,2	72,4	71,3	70,1	68,4	65,9	64,4	64,8	64,3
0	60	69,4	67,4	66,9	69,8	75,1	73,1	71,2	72,2	70,4	67,8	65,1	61,5	59,9	58,7	57,7
-45	60	68,4	67,1	66,4	67,4	71,0	70,0	73,2	73,9	71,8	69,4	66,6	64,0	61,5	59,8	58,6
45	80	72,4	73,1	69,6	68,4	69,7	74,1	76,7	77,4	75,9	75,0	73,1	70,1	67,7	67,7	66,9
0	80	71,5	71,4	68,7	70,0	73,9	75,8	76,6	76,9	75,0	71,8	69,6	65,8	63,6	62,1	60,7
-45	80	73,6	71,2	70,5	68,8	71,5	74,0	78,9	78,9	76,3	73,6	71,0	68,2	65,3	63,6	62,1
45	100	76,0	73,0	72,8	70,7	71,9	74,2	78,6	82,3	80,1	78,4	77,0	73,7	71,2	70,6	69,5
0	100	73,4	74,8	73,5	72,0	75,6	75,6	78,5	81,4	79,1	75,2	73,2	69,4	67,1	65,4	63,8
-45	100	77,3	75,6	73,4	72,9	73,5	74,8	81,0	83,6	79,8	76,7	74,5	71,7	68,6	67,1	65,4
45	120	80,5	76,4	75,8	74,7	73,3	75,8	78,6	85,4	84,3	81,5	79,0	76,2	73,9	73,3	71,8
0	120	77,7	78,1	76,7	76,4	76,5	77,2	79,0	83,1	82,5	78,3	76,1	72,7	70,2	68,4	66,6
-45	120	79,4	81,2	77,4	76,7	75,8	77,7	81,7	85,7	84,1	79,5	77,3	74,9	71,6	70,2	68,3

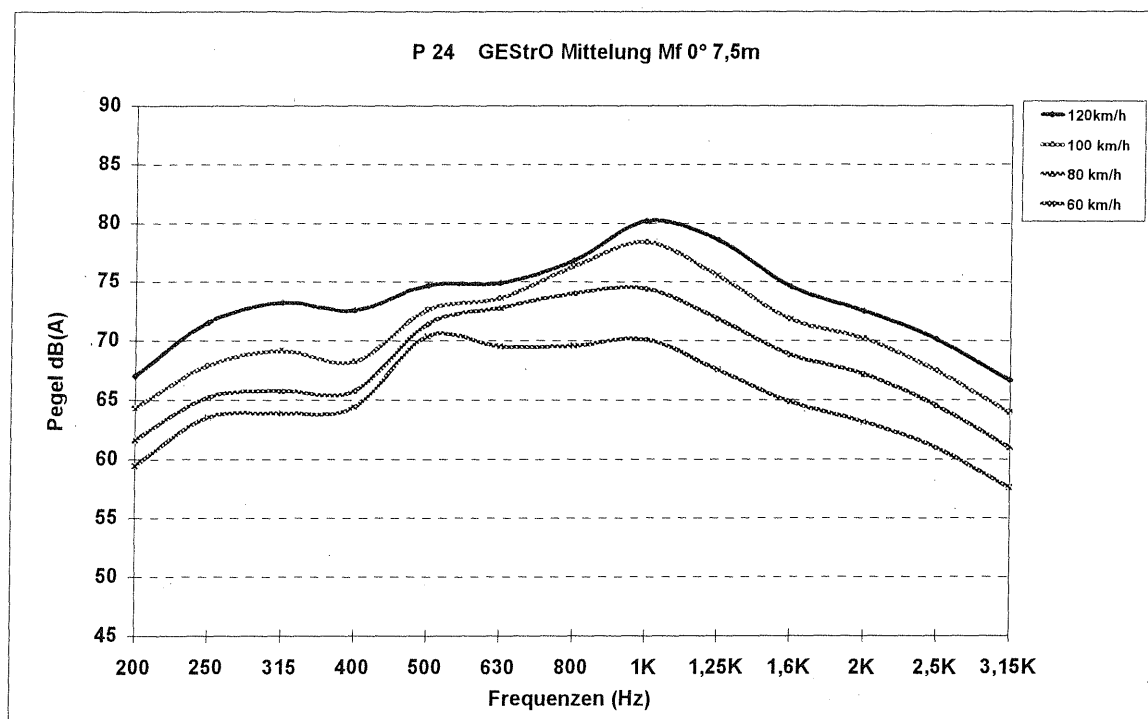
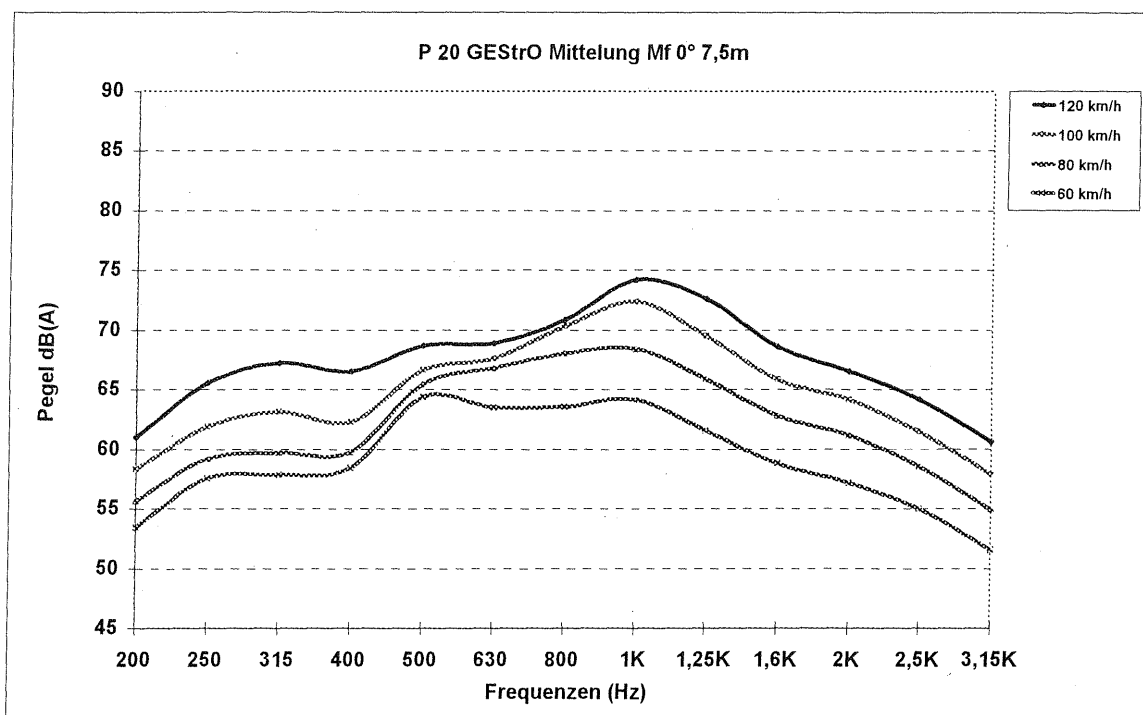












Schriftenreihe

**Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen**

Unterreihe „Straßenbau“

**S 1: Verwitterungsbeständigkeit von Recycling-
Baustoffen**

von K.-H. GUTH

32 Seiten, 1993 kostenlos

**S 2: Eignung von Grubenbergen als Baustoff
für Tragschichten ohne Bindemittel**

von K.-H. GUTH

16 Seiten, 1993 kostenlos

**S 3: Altlastenerfassung durch geophysikalische
Methoden**

von J. FAUST

28 Seiten, 1993 kostenlos

S 4: EPS-Hartschaum als Baustoff für Straßen

von R. BULL-WASSER

156 Seiten, 1993 kostenlos

S 5: Baubegleitende Messungen B 73 n

von H. HEINISCH und K.-H. BLUME

196 Seiten, 1993 kostenlos

**S 6: Eignung überdeckter Fugen mit Querkraft-
übertragung**

von J. FLEISCH und R. BARTZ

76 Seiten, 1993 kostenlos

**S 7: 33. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten
im Straßenbau**

Niederschrift der 33. Tagung am 4. und 5. Mai 1993
in Gelnhausen

84 Seiten, 1994 DM 26,50

**S 8: Anleitung Qualitätsmanagementplan As-
phalttragschichten**

von H.-J. FREUND und M. STOCKNER

40 Seiten, 1995 DM 23,50

**S 9: Meßwert- und rechnergestütztes Manage-
ment der Straßenerhaltung**

Niederschrift und Referate des Erfahrungsaustau-
sches am 16. und 17. Mai 1995 in Berlin

64 Seiten, 1995 DM 25,00

**S 10: 34. Erfahrungsaustausch über Erdarbei-
ten im Straßenbau**

Niederschrift der 34. Tagung am 3. und 4. Mai 1994
in Neustadt

76 Seiten, 1995 DM 27,00

**S 11: Der Einfluß der Textur auf Reifen/Fahr-
bahngeräusch und Rollwiderstand**

von S. Ullrich, K.-P. Glaeser und K. Sander

92 Seiten, 1996 DM 29,00

Zu beziehen durch:

Wirtschaftsverlag NW

Verlag für neue Wissenschaft GmbH

Postfach 10 11 10

D-27511 Bremerhaven

Telefon (04 71) 4 60 93 – 95, Telefax (04 71) 4 27 65