

Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen- Fahrbahn-Geräusche“

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 37

bast

Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen- Fahrbahn-Geräusche“

Projektgruppe
„Leiser Straßenverkehr“

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 37

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, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 01.331:
Verbundprojekt „leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“

Projektbetreuung

Nina Sliwa
Ute Weck

Herausgeber

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

Redaktion

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

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

ISSN 0943-9323
ISBN 3-86509-213-6

Bergisch Gladbach, Dezember 2004

Kurzfassung – Abstract

Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“

Unter der Schirmherrschaft des Bundesministeriums für Bildung und Forschung mit Unterstützung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen wurde der Forschungsverbund „Leiser Verkehr“ ins Leben gerufen. Darin bildet das Forschungsprogramm „Leiser Straßenverkehr“ einen herausragenden Bereich. Um Lärminderungspotenziale konsequent auszuschöpfen und damit den Bau von lokal begrenzten, kostspieligen Infrastruktureinrichtungen (wie z. B. Schallschutzwänden) zu vermeiden, müssen Maßnahmen an der Quelle – in der Kontaktfläche Reifen/Fahrbahn – ansetzen, wobei das Gesamtsystem Reifen, Fahrzeug, Fahrbahn zu optimieren ist. 15 Partner aus Reifen-, Fahrzeug- und Straßenbauindustrie sowie der Forschung waren unter Leitung der Bundesanstalt für Straßenwesen von Mitte 2001 bis Ende 2003 an dem Projekt „Leiser Straßenverkehr“ beteiligt.

Ausgehend von Untersuchungen auf fünf verschiedenen Fahrbahnoberflächen an 40 Reifensätzen, die sich durch Profil, Gummimischung und Unterbau unterschieden, zeigte einer der Reifen mit selbsttragender Seitenwand auf allen Belägen die größten Geräuschminderungen. Der Schalldruckpegel bei 80 km/h reduzierte sich um 1,3 dB(A) auf Splittmastixasphalt und um 1,7 dB(A) auf Betondecke mit Jutetuchlängsstrich gegenüber einem handelsüblichen Reifen.

An der Komponente Fahrzeug erfolgten Modifikationen am Pkw-Radhaus, die das Gesamtpotenzial ausloteten. Die Geräuschreduzierung bei 80 km/h durch die Auskleidung mit schallabsorbierendem Schaumstoff sowie die zusätzliche Abdeckung der hinteren Radausschnitte und vorderen Radscheiben im Vergleich zum Serienradhaus betrug 0,5 dB(A) bis 2 dB(A) in Abhängigkeit des Belages.

Die optimierten Fahrbahnoberflächen zeigten im Vergleich zur Referenzoberfläche „nicht geriffelter Gussasphalt“ z. T. deutliche Geräuschminderungen. Der Schalldruckpegel von Lkw bei 80 km/h reduzierte sich auf einem verbesserten offenporigen Asphalt, gemessen auf der Bundesautobahn A1, um rd. 4 dB(A). Auf der Bundesstraße B 56 wiesen Fahrbahnoberflächen aus offenporigem Beton,

Waschbeton und lärmreduziertem Gussasphalt bei 100 km/h einen bis zu 6 dB(A) geringeren Pkw-Vorbeifahrtpegel auf.

Die Gesamtbewertung aller optimierten Komponenten des Systems Reifen-Fahrzeug-Fahrbahn erfolgte in Form eines Experimentes auf der B 56. Als Referenz fungierte ein mit handelsüblichen Reifen und Serienradhaus ausgestattetes Fahrzeug auf einer Fahrbahnoberfläche aus Splittmastixasphalt bzw. Betondecke mit Jutetuchlängsstrich. Die Schallmessungen bei 80 km/h erzielten einen um 3 dB(A) verminderten Vorbeifahrtpegel auf einer Oberfläche aus lärmgemindertem Gussasphalt sowie einen um 7 dB(A) reduzierten Pegel auf einer Fahrbahn aus offenporigem Beton.

Die Weiterentwicklung von Fahrbahnübergängen an Brücken zielte auf die Annäherung der Schallemissionen bei der Reifenüberrollung an die der angrenzenden Fahrbahnoberfläche ab. Es wurden vier Varianten untersucht. Die Übergänge mit aufgeschraubten, wellenförmigen Blechen brachten eine Lärmreduzierung bis zu 3 dB(A) gegenüber einem repräsentativen regelgeprüften Fahrbahnübergang in Lamellenbauweise. Der neu entwickelte Lamellenübergang mit fugenfüllendem Elastomerprofil zeigte bei den Messungen noch nicht die erwartete Lärmreduzierungswirkung.

Über diese Forschungsaktivitäten hinaus wurden In-situ-Messsysteme für zwei akustische Eigenschaften entwickelt, deren Erfassung bisher nur im Labor möglich war. Diese Parameter dienen u. a. der Erweiterung eines statistischen Modells („SPERoN“) zur Analyse des akustischen Verhaltens von dichten und offenporigen Fahrbahnoberflächen. Ein physikalisches Finite-Elemente-Modell zur Simulation von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen befindet sich derzeit in der Entwicklung und soll bis Ende 2004 fertig gestellt sein.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde aus den Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 19 U 1055 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser gemeinsamen Veröffentlichung liegt bei den Autoren

Joint project „Quiet traffic-reduced tyre-road-way noise“

The research network „Quiet Transport“ was formed under the aegis of the Federal Ministry for Education and Research and the support of the Federal Ministry for Transport, Building and Housing. The „Quiet Road Traffic“ research program has a primary place in this association. In order to make full use of noise reduction potentials and thus to prevent the construction of locally limited and expensive infrastructure installations (such as, for instance, acoustic protection walls), it is necessary to take measures at the source – at the contact surface of tyre and road, whereby the whole system of tyre and road surface must be optimised. 15 partners from the tyre, vehicle and road construction industries as well as from research headed by the Federal Highway Research Institute were involved in the „Quiet Road Traffic“ project from the middle of 2001 to the end of 2003.

Starting with investigations on five different road surfaces and 40 tyre sets that differed in profile, structure and foundation, one of the tyre sets with self-supporting sidewalls showed the greatest amount of noise reduction on all surfaces. The coast-by level at 80 km/h was reduced by 1.3 dB(A) on stone mastic asphalt and by 1.7 dB(A) on a concrete surface with burlap as compared to a commercially available tyre.

On the side of the vehicle, there were modifications to the wheel housing which added to the overall potential. The noise reduction at 80 km/h by lining it with absorbent foam material as well as the additional covering of the rear wheel arches and the front wheel discs, amounted to 0,5 dB(A) to 2 dB(A) depending on the road surface.

In comparison to the reference surface “non-corrugated gussasphalt”, the optimised road surfaces showed partly clear noise reductions. The sound level of trucks at 80 km/h was reduced by approximately 4 dB(A) on an improved porous asphalt, measured on the federal motorway A1. On the B 56, a federal road with road surfaces of porous concrete, concrete with exposed aggregates and noise-reduced gussasphalt, the statistical pass-by level at 100 km/h was reduced by up to 6 dB(A).

The overall evaluation of the optimised components of the system tyres-vehicle-road surface was carried out in the form of an

experiment on the B 56. A vehicle equipped with commercially available tyres and series wheel housings travelling on a road surface of stone mastic asphalt or concrete surface with burlap was used as a reference. The noise measurement at 80 km/h achieved a reduction of 3 dB(A) statistical pass-by level on a surface of noise-reduced gussasphalt as well as an approximately reduced noise level of 7 dB(A) on a road surface with porous concrete.

The further development of expansion joints was targeted to the approximation of the noise emissions with the tyre roll on the abutting road surface. Four variants were investigated. The expansion joints with bolted-on corrugated metal sheets brought a reduction of up to 3 dB(A) compared to a representative normally tested joint of the lamella construction. The newly developed lamella joint with an elastomeric gap filling did not show the expected reduction in noise level during measurements.

In addition to these research activities, in-situ measurement systems were developed for two acoustic properties whose acquisition had previously only been possible in the laboratory. These parameters serve, among others, for the extension of a statistical mode („SPERoN“) for analysis of the behaviour of dense and porous road surfaces. A physical finite-element model for simulation of tyre-road surface-noise is presently being developed and should be completed by the end of 2004.

The project which is the subject of this report was subsidised with funds from the Federal Ministry for Education and Research under subsidy no. 19 U 1055. The authors are responsible for the content of this joint publication.

Verbund VB 3000 – Leiser Straßenverkehr, Verbundprojekt VP 3100 „Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“

Am Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“ wirkten unter der Leitung von

Peter Reichelt
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach,

folgende Auftragnehmer und Autoren mit:

Bartolomaeus, Wolfram
Glaeser, Klaus-Peter
Hemmert-Halswick, Arnold
Krieger, Beata
Ripke, Oliver
Sliwa, Nina
Weck, Ute
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Textor, Dieter
Celanese Emulsions GmbH

Schmidt, Holger
Continental AG, Hannover

Dröge, Christoph
Eurovia Services GmbH

Braun, Joachim
Federal-Mogul Sollinger Hütte GmbH, Uslar

Siebel, Eberhard
Eickschen, Eberhard
Forschungsinstitut der Zementindustrie,
Düsseldorf

Sadzulewsky, Siegfried
Gebrüder von der Wettern GmbH, Köln

Bermel, Hans-Jörg
Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton
e. V., Köln

Felsch, Klaus
HeidelbergCement AG, Projektmanagement Verkehrswegebau, Schelklingen

Beckenbauer, Thomas
Altreuther, Beate
Mommertz, Eckard
Müller BBM, Planegg

Simmleit, Norbert
Gorzel, Harald
Strabag AG, Sparte Straßenbau, Köln

Estorff, Otto von
Petersen, Steffen
Technische Universität Hamburg-Harburg,
Arbeitsbereich Mechanik & Meerestechnik

Mock, Peter
TPA Bau- und Umwelttechnik GmbH, Außenstelle
Limburg

Nackenhorst, Udo
Universität Hannover,
Institut für Baumechanik und numerische
Mechanik

Ziehme, Heiner
Volkswagen AG, Wolfsburg

Lenz, Martin
Wirtgen GmbH, Windhagen

Inhalt

Der Forschungsbericht untergliedert sich themengebunden in die Teilverbände 3110 bis 3190. Die Ergebnisse eines Teilverbundes sind jeweils in einem Kapitel zusammengefasst. Die Struktur der Kapitel ist einheitlich gegliedert. Nach einer kurzen Einführung in die Problematik stellt der externe Forschungspartner selbst in einem Kurzbericht die erzielten Resultate vor. Die dargelegten Forschungsergebnisse werden zum Abschluss jedes themengebundenen Kapitels seitens des Teilverbundleiters der BASt fachtechnisch bewertet.

0	Allgemeines	9	2.1.1	Kurzbericht des Projektpartners	28
0.1	Einleitung	9	2.1.2	Bewertung des Teilprojektes 3121	31
0.2	Kenntnisstand	10	2.2	Teilprojekt 3122 „Messverfahren des Strömungswiderstandes“	31
0.3	Zielsetzung des Projektes	12	2.2.1	Kurzbericht des Projektpartners	31
0.3.1	Konzept	12	2.2.2	Bewertung des Teilprojektes 3122	33
0.3.2	Planung und Ablauf	13	3	Ergebnisse Teilverbund 3130 „Reifenoptimierung“	34
1	Ergebnisse Teilverbund 3110 „Reifen-Fahrbahn-Modell zur Geräuscentstehung“	14	3.0	Problemdarstellung	34
1.0	Problemdarstellung	14	3.1	Teilprojekt 3131 „Entwicklung von leiseren Pkw-Neureifen“	34
1.1	Teilprojekt 3111 „FE-Reifen-Fahrbahn- Modell, Teil: Mechanik“ – Kurzbericht des Projektpartners	15	3.1.1	Kurzbericht des Projektpartners	34
1.2	Teilprojekt 3112 „FE-Reifen-Fahrbahn- Modell, Teil: Akustik“ – Kurzbericht des Projektpartners	18	3.1.2	Bewertung des Teilprojektes 3131	38
1.3	Bewertung der Teilprojekte 3111 und 3112	21	3.2	Teilprojekt 3132a „Entwicklung von leiseren runderneuerten Reifen“, Teil: Pkw-Reifen – Kurzbericht des Projektpartners	39
1.4	Teilprojekt 3113 „FE-Reifen-Fahrbahn- Modell, Teil: Validierung“	22	3.3	Teilprojekt 3132b „Entwicklung von leiseren runderneuerten Reifen“, Teil: Lkw-Reifen – Kurzbericht des Projektpartners	39
1.5	Teilprojekt 3114 „Statistisches Modell zur Geräuscentstehung von Reifen-Fahrbahngeräuschen“	22	3.4	Bewertung des Teilprojektes 3132	40
1.5.1	Kurzbericht des Projektpartners	22	4	Ergebnisse Teilverbund 3140 „Fahrzeugoptimierung“	41
1.5.2	Bewertung des Teilprojektes 3114	27	4.0	Problemdarstellung	41
2	Ergebnisse Teilverbund 3120 „Entwicklung von In-situ- Messverfahren“	27	4.1	Teilprojekt 3141 „Geräusch- absorption und -abschirmung durch das Radhaus (Pkw)“	42
2.0	Problemdarstellung	27	4.1.1	Kurzbericht des Projektpartners	42
2.1	Teilprojekt 3121 „Messverfahren der akustischen Impedanz“	28	4.1.2	Bewertung des Teilprojektes 3141	43
			5	Ergebnisse Teilverbund 3150 „Asphaltoptimierung“	45
			5.0	Problemdarstellung	45
			5.1	Teilprojekt 3151 „Leisere Deck- schichten aus Splitt- mastixasphalt“	45
			5.1.1	Kurzberichte der Projektpartner	45
			5.1.2	Bewertung des Teilprojektes 3151	47
			5.2	Teilprojekt 3152 „Leisere Deck- schichten aus Gussasphalt“	48
			5.2.1	Kurzberichte der Projektpartner	48
			5.2.2	Bewertung des Teilprojektes 3152	49
			5.3	Teilprojekt 3153 „Minderung der Lkw-Geräuschemission auf offen- porigen Asphaltdeckschichten“	49

5.3.1	Kurzbericht des Projektpartners	49	8.1.3	Messung von akustischer Impedanz und Strömungswiderstand	75
5.3.2	Bewertung des Teilprojektes 3153	50	8.1.4	Messung von Geräuschen	75
6	Ergebnisse Teilverbund 3160 „Betonoptimierung“	51	8.1.5	Messung der Griffigkeit	75
6.0	Problemdarstellung	51	8.2	Umfang der Untersuchungen	75
6.1	Teilprojekt 3161 „Entwicklung lärmarmen offenporiger Betone für hochbelastete Schnellstraßen“	52	8.3	Versuchsstrecke B 56	76
6.1.1	Kurzberichte der Projektpartner	52	8.3.1	Herstellung der Oberflächen- varianten	76
6.1.2	Bewertung des Teilprojektes 3161	59	8.3.2	Geräusch- und Griffigkeits- ergebnisse	77
6.2	Teilprojekt 3162 „Weiterentwicklung und Optimierung von dauerhaft lärmarmen dichten Betondecken“, Teil: Einbautechnik der Betondecke – Kurzbericht des Projektpartners	60	8.3.3	Ergebnisse der Texturmessungen mit den Messverfahren TMF und T3D	78
6.3	Teilprojekt 3162 „Weiterentwicklung und Optimierung von dauerhaft lärmarmen dichten Betondecken“, Teil: Stabilität und Wirksamkeit der Oberfläche – Kurzbericht des Projektpartners	62	9	Ergebnisse Teilverbund 3190 „Bewertung“	81
6.4	Teilprojekt 3162 „Weiterentwicklung und Optimierung von dauerhaft lärmarmen dichten Betondecken“, Teil: Waschbeton – Kurzbericht des Projektpartners	65	10	Zusammenfassende Bewertung des Gesamtprojektes mit Ausblick	83
6.5	Bewertung des Teilprojektes 3162	67	11	Verzeichnis der Anlagen	88
7	Ergebnisse Teilverbund 3170 „Optimierung von Fahrbahnübergängen“	69			
7.0	Problemdarstellung	69			
7.1	Teilprojekt 3171 „Fahrbahnübergänge“	69			
7.1.1	Kurzbericht des Projektpartners	69			
7.1.2	Bewertung des Teilprojektes 3171	72			
8	Ergebnisse Teilverbund 3180 „Messaufgaben“	73			
8.0	Allgemeines	73			
8.1	Kurzberichte zu den Messverfahren	73			
8.1.1	Schwingungs- und steuerungs- technische Überprüfung des Fertigungsprozesses	73			
8.1.2	Messung der Textur	73			

0 Allgemeines

Sliwa, Nina
 Bundesanstalt für Straßenwesen,
 Bergisch Gladbach

0.1 Einleitung

Der Anspruch unserer globalen Gesellschaft an Mobilität hat das Verkehrsaufkommen in den letzten Jahrzehnten in erheblichem Maße ansteigen lassen. Heute liegt die Jahresfahrleistung aller Fahrzeuge in Deutschland bei 620 Mrd. Kfzkm. Davon entfallen 211 Mrd. Kfzkm auf die Bundesautobahnen und 108 Mrd. Kfzkm auf die übrigen außerörtlichen Bundesstraßen. Die Abwicklung von Verkehrsleistungen, rd. 56 % des Straßenpersonenverkehrs und rd. 72 % des Straßengüterverkehrs, erfolgt schwerpunktmäßig im Fernstraßennetz. Bundesautobahnen nehmen dabei 34 % der Kfz-Jahresfahrleistung, insbesondere die des Güterverkehrs, auf. Eine Verlagerung des bodengebundenen Güterverkehrs von der Straße hin zu Schienen- und Schifffahrtswegen hat nicht stattgefunden. Die Entwicklung ist auch im bodengebundenen Personenverkehr zu verzeichnen. Der motorisierte Individualverkehr macht im Jahr 2003 immer noch 82,7 % des Gesamtverkehrsaufkommens in Deutschland aus [1].

Dieses Verkehrsaufkommen und der damit verbundene Straßenverkehrslärm belasten die Umwelt, insbesondere die anwohnende Bevölkerung. Neben der Anzahl der Kraftfahrzeuge und deren Emissionsverhalten wird die Lärmbelastung bei hohen Geschwindigkeiten von der Wechselwirkung Reifen/Fahrbahn und den geometrischen Verhältnissen bei der Schallausbreitung beeinflusst. Die Absenkung der gesetzlich vorgeschriebenen Geräuschgrenzwerte bei der Typzulassung von Kraftfahrzeugen konnte einem Anstieg des Geräuschpegels an Bundesfernstraßen im betrachteten Zeitraum von 1975 bis 2002 nicht entgegenwirken. Nach ULLRICH [2] beträgt die Zunahme der mittleren Geräuschemission aufgrund gestiegenen Verkehrsaufkommens und höherer mittlerer Pkw-Geschwindigkeit an Bundesautobahnen rd. 4 dB(A) sowie an außerörtlichen Bundesfernstraßen rd. 2 dB(A).

Aufgrund der durch die EU-Erweiterung zukünftig zu erwartenden Verkehrsströme wird die Lärmbe-

lastung der betroffenen Bürger in Deutschland weiter ansteigen. Daher setzt die Bundesregierung mit dem Forschungsprogramm „Mobilität und Verkehr“ einen Schwerpunkt bei der Bekämpfung von Verkehrslärm. Im Rahmen dieses Forschungsprogramms wurde, unter der Schirmherrschaft des Bundesministeriums für Bildung und Forschung mit Unterstützung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, das Forschungsnetzwerk „Leiser Verkehr“ gebildet. Das Netzwerk beinhaltet neben dem leisen Straßenverkehr den leisen Schienenverkehr sowie Möglichkeiten zur Minderung bei den An- und Abflugverfahren des Luftverkehrs. Mit einbezogen sind Grundlagenforschungen zur Schallentstehung sowie zur Lärmwirkung auf den Menschen. Durch intensive Zusammenarbeit der aus den unterschiedlichsten Bereichen stammenden Partner und die Nutzung von Synergieeffekten sollen wissenschaftliche und technische Möglichkeiten entwickelt und umgesetzt werden, die eine nachhaltige Minderung der Umweltbelastung durch Lärmeinwirkung sowie eine Verbesserung der Gesundheitsvorsorge mit sich bringen.

Da seitens der Bürger Straßenverkehrslärm als besonders störend empfunden wird, bildet das Forschungsprojekt „Leiser Straßenverkehr“ einen herausragenden Programmbereich in diesem Netzwerk. Um eine deutliche Geräuschreduzierung zu erreichen und damit den Bau von lokal begrenzten, kostspieligen Infrastruktureinrichtungen (wie z. B. Schallschutzwänden) zu vermindern bzw. zu vermeiden, ist es erforderlich, Reifen, Fahrzeug und Fahrbahn als Gesamtsystem zu optimieren, wobei andere Parameter wie z. B. Verkehrssicherheit und Lebensdauer einer Straße zu berücksichtigen sind. Erkannte Lärminderungspotenziale können somit effizient und konsequent ausgeschöpft werden.

Im Rahmen des Projektes „Leiser Straßenverkehr“ wurden erstmalig die Komponenten Reifen, Fahrzeug und Fahrbahn sowie Fahrbahnübergänge von Brücken im Hinblick auf eine Reduzierung des geräuscherzeugenden Gesamtsystems entwickelt und erprobt. Parallel dazu wurden die Geräuschenstehungsmechanismen theoretisch betrachtet und in Modellen umgesetzt. Nach Abschluss der Komponentenoptimierung erfolgte die Bewertung des verbesserten Gesamtsystems in Form eines Experimentes auf einer Versuchsstrecke.

0.2 Kenntnisstand

Straßenverkehrslärm setzt sich aus Motor- und Antriebs- sowie Reifen-Fahrbahn-Geräuschen zusammen. Im Stadtverkehr oder auf Steigungen an Bundesfernstraßen konnte ein Überwiegen von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen bei Pkw ab ca. 50 km/h und bei Lkw, abhängig von der Betriebsart, bereits ab ca. 40 km/h gemessen werden [2,3]. Dem Anstieg des Lärmpegels in bebauten Gebieten versuchte man zunächst zu begegnen, indem die Entwicklung leiserer Fahrzeugkomponenten gefördert wurde. Seit 1970 schreibt die EU-Richtlinie 70/157/EWG [4] Grenzwerte für die Antriebsgeräusche bei der Typprüfung von neuen Kraftfahrzeugen vor. Diese wurden in den letzten Jahrzehnten stufenweise herabgesetzt. Die bisher letzte Stufe, eine Absenkung auf 74 dB(A) bei Pkw und 80 dB(A) bei Lkw, ist in der Ergänzung 92/97/EWG zu o. g. Richtlinie geregelt [5]. Bild 0.1 zeigt die zeitliche Entwicklung der Geräuschgrenzwerte von 1970 bis 2003.

Das für die Typprüfung vorgesehene, derzeit in der Überarbeitung befindliche, Messverfahren für Antriebsgeräusche „Beschleunigte Vorbeifahrt“ sieht eine Vollgasbeschleunigung aus einer Konstantfahrt mit 50 km/h vor. Zusätzlich werden Standgeräuschmessungen zur Prüfung der Schalldämpferanlagen durchgeführt. Aufgrund dieser Messverfahren haben sich die Motor- und Antriebsgeräusche neuer Kraftfahrzeuge so verringert, dass das Reifen-Fahrbahn-Geräusch zur dominierenden Schallquelle wurde.

In der Richtlinie 2001/43/EG [6], die 2003 eingeführt wurde, sind Grenzwerte für das Abrollgeräusch bei der Typprüfung von Neureifen veran-

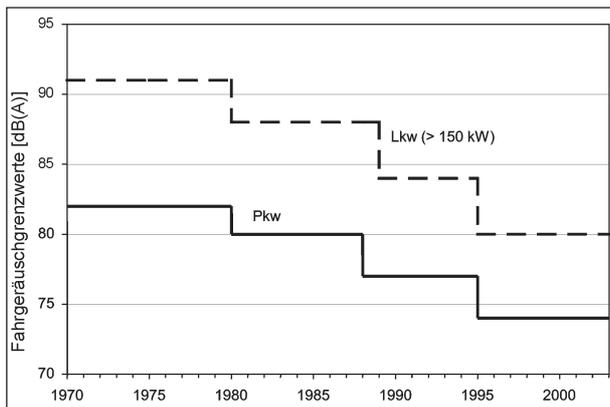


Bild 01: Entwicklung der EU-Fahrgeräuschgrenzwerte bei der Typprüfung von Pkw und Lkw (> 150 kW)

kert. Tabelle 0.1 und Tabelle 0.2 zeigen die Geräuschgrenzwerte für Pkw- und Lkw-Neureifen.

Zur Zeit beinhaltet diese Richtlinie nur die Geräuschpegel von Neureifen. Runderneuerte Reifen, die im Besonderen bei den Lkw-Reifen einen hohen Marktanteil haben (ca. 50 %), werden nicht mit einbezogen. Die Prüfung erfolgt auf der nach ISO 10844 genormten Fahrbahnoberfläche aus Asphaltbeton 0/8 [7]. Diese Straßendeckschicht hat jedoch nur noch einen sehr geringen prozentualen Anteil im Bundesfernstraßennetz. Eine Reifenoptimierung nur hinsichtlich dieser Deckschichten kann demnach nicht zielführend sein. Daher sollte eine Optimierung der Reifenrollgeräusche im Hinblick auf die im Straßennetz standardisierten Fahrbahnoberflächen erfolgen.

Für die Fahrbahnoberflächen war die Einführung der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) im Jahr 1990 von Bedeutung, in der die Immis-

Reifenklasse	Nennbreite [mm]	Grenzwerte		
		A [dB(A)]	B ⁽¹⁾ [dB(A)]	C ^{(1) (2)} [dB(A)]
C1a	≤ 145	72 (*)	71 (*)	70
C1b	> 145 bis 165	73 (*)	72 (*)	71
C1c	> 165 bis 185	74 (*)	73 (*)	72
C1d	> 185 bis 215	75 (**)	74 (**)	74
C1e	> 215	76 (***)	75 (***)	75

(*) Die Grenzwerte in Spalte A gelten bis zum 30. Juni 2007. Die Grenzwerte in Spalte B gelten ab dem 1. Juli 2007.
(**) Die Grenzwerte in Spalte A gelten bis zum 30. Juni 2008. Die Grenzwerte in Spalte B gelten ab dem 1. Juli 2008.
(***) Die Grenzwerte in Spalte A gelten bis zum 30. Juni 2009. Die Grenzwerte in Spalte B gelten ab dem 1. Juli 2009.
(1) Nur als Hinweis dienende Zahlen. Die endgültigen Zahlen hängen ab von der Änderung der Richtlinie im Anschluss an den gemäß Artikel 3 Absatz 2 der Richtlinie 2001/43/EG erforderlichen Bericht.
(2) Die Grenzwerte in Spalte C werden sich aus der Änderung der Richtlinie im Anschluss an den gemäß Artikel 3 Absatz 2 der Richtlinie 2001/43/EG erforderlichen Bericht ergeben.

Tab. 01: Geräuschgrenzwerte für Pkw-Neureifen (Klasse C1)

Verwendungsart der Reifenreihe		Grenzwerte [dB(A)]
normal	C2	75
	C3	76
M+S	C2	77
	C3	78
spezial	C2	78
	C3	79

Tab. 02: Geräuschgrenzwerte für Lkw-Neureifen (Klasse C2 und C3)

sionsgrenzwerte von Straßen- und Schienenwegen festgelegt wurden [8]. Aufgrund dieser Verordnung kamen ab 1992 verstärkt die als lärmindernd geltenden Deckschichten aus Splittmastixasphalt ohne Absplittung und Beton mit Längsglätter und Jutetuchlängstexturierung zur Anwendung. Die Referenzoberfläche ist ein nicht geriffelter Gussasphalt. Nach der 16. BImSchV und deren Durchführungsverordnung, der „Richtlinie für den Lärm-schutz an Straßen“ (RLS-90), ist der Beurteilungs-pegel für Straßen zu berechnen [9]. Hierfür sind in der Tabelle B der 16. BImSchV bzw. Tabelle 4 der RLS-90 die Korrekturwerte für verschiedene Straßenoberflächen aufgeführt. Im Rahmen von Untersuchungen neuer bautechnischer Entwicklungen wurde die Tabelle in den letzten 12 Jahren mit weiteren lärmindernden Fahrbahnoberflächen ergänzt. Die größte Lärm-minderung zeigt bisher eine Fahrbahnoberfläche aus offenporigem Asphalt. Bei hohen als auch bei niedrigen Geschwindigkeiten rufen Reifen-Fahrbahn-Kombinationen auf offenporigem Asphalt (OPA) im Vergleich zu herkömmlichen Deckschichten deutlich geringere Vorbeifahrtpegel hervor. Aufgrund ihrer schallabsorbierenden Wirkung und der engen Kornabstufung werden sowohl die Entstehung von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen als auch die Schallabstrahlung beeinflusst. Im Allgemeinen kann das Geräuschminderungspotenzial dieser Fahrbahn bis zu 7 dB(A) betragen [10]. Durch die Optimierung der offenporigen Asphalte konnte deren akustische Wirksamkeit von 4 bis 5 dB(A) für einen Zeitraum von vier bzw. sechs Jahren festgeschrieben werden.

Der Entstehung von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen sowie deren Modellierung wurde in den letzten Jahren zunehmend Bedeutung beigemessen. In [10] haben BECKENBAUER et al. einen Überblick über die bisher veröffentlichten theoretischen Modelle gegeben. Der Entstehungsmechanismus lässt sich in drei Teile separieren – die Schallanregung, die Schallabstrahlung und die Schallausbreitung.

Die Schallanregung, die in der Kontaktfläche Reifen/Fahrbahn entsteht, lässt sich zum einen unterteilen in die Anregung des Reifens zu mechanischen Schwingungen und zum anderen in die Auslösung aerodynamischer Vorgänge in der Kontaktfläche, zu denen in der Literatur keine einheitliche Auffassung besteht.

Die Schallabstrahlung ist im Wesentlichen von den akustischen Eigenschaften der Fahrbahnober-

fläche sowie von dem zwischen gekrümmter Lauffläche des Reifens und Fahrbahnoberfläche gebildeten Schalltrichter, der die Luftschallwellen verstärken kann, beeinflusst.

Die Schallausbreitung findet zwischen Schallquelle und Empfänger statt. Neben den akustischen Eigenschaften der Fahrbahnoberfläche tragen die Eigenschaften der angrenzenden Flächen zur Ausbreitung der in Schwingung versetzten Luft bei. Dieser Bereich gewann in den letzten 15 Jahren zunehmend an Bedeutung. Bild 0.2 zeigt den Anstieg aktiver Lärmschutzmaßnahmen an Bundesfernstraßen.

Aufgrund steigender Verkehrsbelastung in den letzten 30 Jahren und dem prognostizierten Anstieg von Güterverkehrsleistungen, bedingt durch sich ändernde Verkehrsströme in Europa, sind weitere Optimierungen der Straßenoberflächen im Hinblick auf dauerhafte Straßenkonstruktionen und deren Oberflächeneigenschaften erforderlich, um u. a. einem weiteren Anstieg des Straßenverkehrsgeräuschpegels entgegenzuwirken. In Bild 0.3 ist die Zunahme des Lkw-Verkehrs auf Bundesfern-

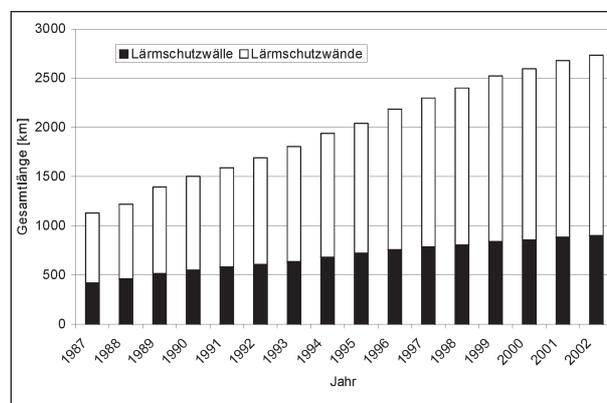


Bild 02: Anstieg von aktiven Lärmschutzmaßnahmen an Bundesfernstraßen [Quelle: BMVBW]

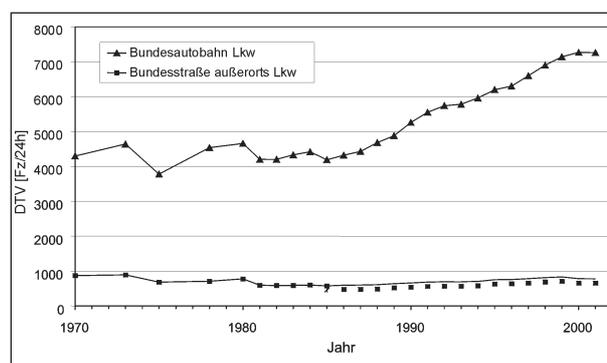


Bild 03: Zunahme des Lkw-Verkehrs auf Bundesfernstraßen von 1970 bis 2001 (ab 1993 alte und neue Bundesländer) [Quelle: BAST]

straßen von 1970 bis 2001 (ab 1993 alte und neue Bundesländer) aufgeführt.

In den RLS-90 nicht erwähnt, aber zunehmend von der betroffenen Bevölkerung als belästigend empfunden, werden die Geräuschemissionen beim Überfahren von Fahrbahnübergangskonstruktionen, deren Hauptfunktion es ist, den durch thermische Ausdehnung der Brücke bedingten notwendigen Übergang zwischen Brücke und Straße zu schließen. Bei großen Brückenspannweiten sind Übergangskonstruktionen aus Stahl notwendig. Seit etwa 20 Jahren kommen wasserdichte Konstruktionen in Lamellenbauweise zur Anwendung, um Korrosions- und Betonschäden an den darunter liegenden Konstruktionselementen zu vermeiden. Beim Überrollen der quer liegenden äquidistanten Lamellen werden die Fahrzeugreifen zu Schwingungen angeregt, die schmalbandige Geräusche erzeugen und aufgrund der sehr kurzen Überrolldauer impulsartig sind. Darüber hinaus kann die Reichweite dieser Reifengeräusche erheblich sein, da der Fahrbahnübergang im Allgemeinen hoch liegt. Zur gezielten Reduzierung der Geräusche, die als „Waschbretteffekte“ bezeichnet werden, ist es erforderlich, das Einsinken des Rei-

fens in die Fugenspalte des Übergangs zu verhindern. Es wurden u. a. wellenförmige, über den Fugenspalt ragende Platten auf die Lamellenoberfläche aufgebracht oder auch die Fugen mit geeigneten Materialien verschlossen. Insgesamt betrachtet, war die Gebrauchstauglichkeit dieser Lösungen bisher nicht ausreichend [11].

0.3 Zielsetzung des Projektes

0.3.1 Konzept

Um eine wirtschaftliche und dauerhafte Reduzierung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche zu erzielen, ist es notwendig, dass Lärminderungsmaßnahmen an der Geräuschquelle ansetzen. Mit diesem Ansatz wurde das Projekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“ konzipiert. Den Forschungsaktivitäten sind verschiedene Teilprojekte zugeordnet. Die Organisationsstruktur zeigt Bild 0.4.

15 Partner aus Reifen-, Fahrzeug- und Straßenbauindustrie sowie der Forschung sind an dem Projekt beteiligt. Zielgerichtet wird das geräuscherzeugende Gesamtsystem Reifen, Fahrzeug und

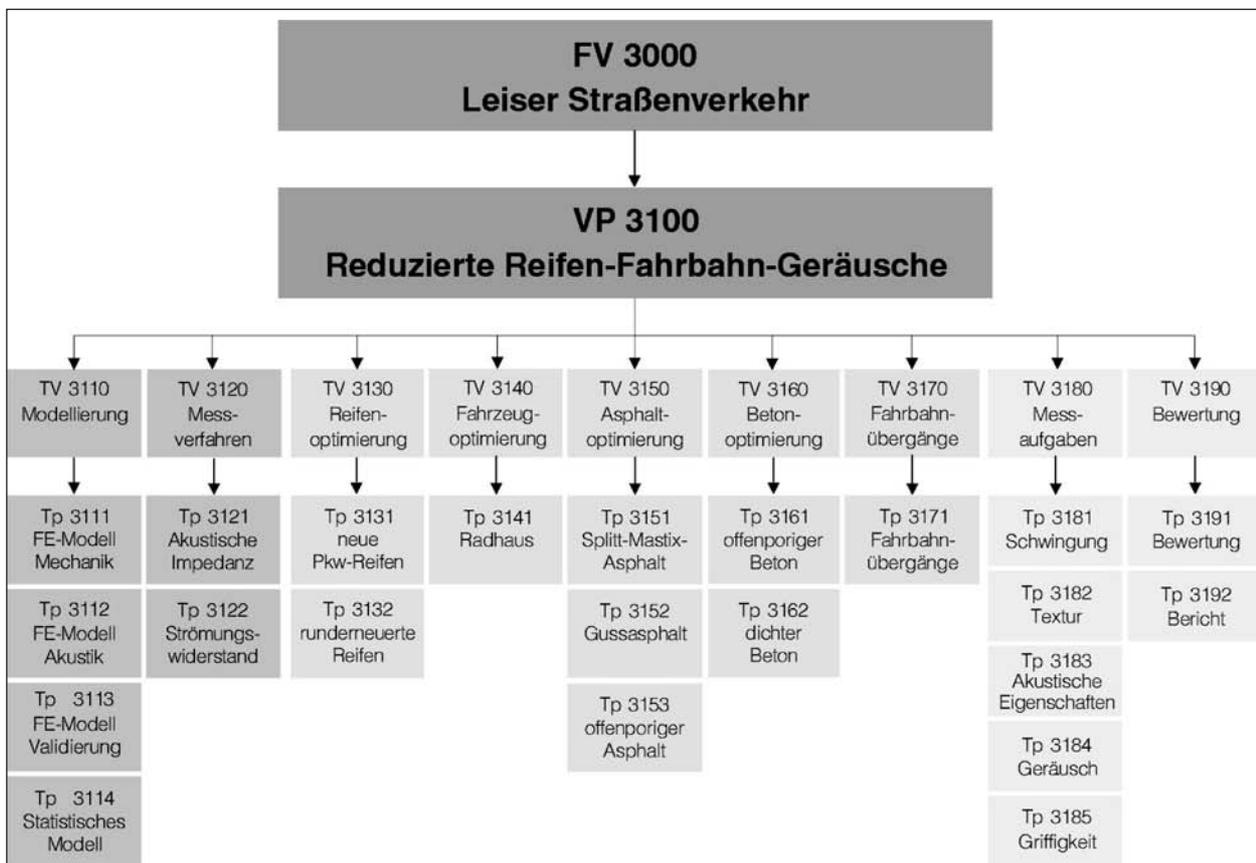


Bild 04: Organisationsstruktur des Projektes

Fahrbahn weiterentwickelt und erprobt. Durch Optimierung der einzelnen Komponenten des Systems wird kurzfristig eine Reduzierung von bis zu 3 dB(A) angestrebt. Mit Hilfe von Reifen-Fahrbahn-Modellen soll mittelfristig ein um 5 dB(A) leiseres Gesamtsystem entwickelt werden.

Das kurzfristige Ziel wird mit den Teilverbänden „Reifenoptimierung“ (TV 3130), „Fahrzeugoptimierung“ (TV 3140), „Asphaltoptimierung“ (TV 3150) und „Betonoptimierung“ (TV 3160) sowie den „Fahrbahnübergängen“ (TV 3170) erreicht. Begleitet werden alle Projektaktivitäten durch Messungen, die im Teilverbund „Messaufgaben“ (TV 3180) gebündelt sind, um Mehrfachmessungen zu vermeiden.

Dem mittelfristigen Ziel wird im Teilverbund „Modellierung“ (TV 3110) nachgegangen. Zum einen wird hier mit Hilfe von Finiten Elementen das Reifen-Fahrbahn-Geräusch modelliert. Diese in den Bereich der Grundlagenforschung fallenden Forschungsarbeiten sollen zukünftig eine Prognose von Straßenverkehrslärm möglich machen. Die Validierung erfolgt mit der Vielzahl von Messdaten, die im Rahmen der Komponentenoptimierung ermittelt worden sind.

Zum anderen kommt ein statistisches Rechenmodell zur Geräuschenstehung zur Anwendung. Durch die Implementierung von bisher nicht zu erfassenden akustischen Kenngrößen aus dem Teilverbund „Messverfahren“ (TV 3120) kann dieses in einem vorangegangenen Projekt entwickelte Rechenmodell „SPERoN“ erweitert werden.

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurden Fragestellungen zu Motorenlärm und die Lärmsituation in innerstädtischen und eng bebauten Bereichen nicht bearbeitet.

0.3.2 Planung und Ablauf

Nach umfangreichen Vorüberlegungen wurde in Zusammenarbeit mit den späteren Projektpartnern (Celanese Emulsions GmbH, Continental AG, Eurovia Services GmbH, Federal-Mogul Sollinger Hütte GmbH, Forschungsinstitut der Zementindustrie, Gebrüder von der Wettern GmbH, Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton e. V., Heidelberg Cement AG, Müller BBM, Strabag AG – Sparte Straßenbau, TPA Bau- und Umwelttechnik GmbH – Außenstelle Limburg (ehem. Deutsche Asphalt GmbH), Technische Universität Hamburg-Harburg, Universität Hannover, Volkswagen AG, Wirtgen

GmbH) das Konzept im Februar 2001 für eine Laufzeit von zwei Jahren entwickelt und im Mai desselben Jahres dem Bundesministerium für Bildung und Forschung vorgelegt. Das Projekt startete am 01. Juli 2001. Ein Großteil der Teilprojekte konnte termingerecht zum 30. Juni 2003 abgeschlossen werden. Verzögerungen bis zu drei Monaten entstanden lediglich aufgrund unsteter Witterungsbedingungen beim Bau von Versuchsstrecken und bei Messungen.

Das Management des Verbundprojektes oblag der Bundesanstalt für Straßenwesen. Hierzu wurde eine Projektgruppe eingerichtet, in der die Partner durch die Teilverbundleiter vertreten waren. Innerhalb der Projektlaufzeit wurden gemeinsam mit allen Partnern drei Workshops durchgeführt, die den steten Fortschritt des Projektes belegten. Im Rahmen einer Informationsveranstaltung ist der Entwicklungsstand des Projektes dem interessierten Fachpublikum im Dezember 2002 vorgestellt worden. Am 01. Oktober 2003 fand die abschließende Informationsveranstaltung auf der Versuchsstrecke B 56 bei Düren statt, bei der die Ergebnisse der Komponentenoptimierung Fahrzeug-Reifen-Fahrbahn in situ vorgestellt wurden.

Die Gesamtkosten des Verbundprojektes betragen rd. 3,3 Mio. Euro, wobei das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen durch die Bundesanstalt für Straßenwesen den Partnern weitere Leistungen kostenfrei zur Verfügung stellte.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Straßenbaubericht 2003, Bonn 2004
- [2] ULLRICH, S.: „Die Entwicklung der Geräuschemissionen von Straßen von 1975 bis 2002“, Straße und Autobahn 10/2003, S. 571-576, Kirschbaum-Verlag
- [3] SCHWARZ, R.: „Systematische Erfassung der Einflüsse von Fahrbahn-, Reifen- und Fahrzeugparametern auf das Außengeräusch von Pkw“, Dissertation an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Maschinenbau, 1998
- [4] Richtlinie 70/157/EWG des Rates vom 04. Februar 1970 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über den zulässigen Geräuschpegel und die Auspuffvorrichtungen von Kraftfahrzeugen

- [5] Richtlinie 92/97/EWG des Rates vom 10. November 1992 zur Ergänzung der Richtlinie 70/157/EWG des Rates vom 04. Februar 1970 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über den zulässigen Geräuschpegel und die Auspuffvorrichtungen von Kraftfahrzeugen
- [6] Richtlinie 2001/43/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Juni 2001 zur Änderung der Richtlinie 92/93/EWG des Rates über Reifen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganlagen und über ihre Montage
- [7] ISO 10844, Anhang F: „Acoustics – Specification of test tracks for the purpose of measuring noise emitted by road vehicles“, Ausgabe 1992
- [8] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990
- [9] Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90), Ausgabe 1990, FGSV mit den Allgemeinen Rundschreiben des Bundesministeriums für Verkehr BMV ARS 14/91 vom 25.04.1991 und BMVBW ARS 5/2002 vom 26.03.2002
- [10] BECKENBAUER, Th.; SPIEGLER, P.; van BLOKLAND, G.; KUIJPERS, A.; REINIK, F.; HUSCHEK, S.; STÜTZE, T.; HEERKENS, J.: „Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 847, BMVBW, 2002
- [11] Bericht zum Expertengespräch „Lärmmindernde Fahrbahnübergänge“ am 11. November 1998 in der Bundesanstalt für Straßenwesen

1 Ergebnisse Teilverbund 3110 „Reifen-Fahrbahn-Modell zur Geräuschestehung“

1.0 Problemdarstellung

Sliwa, Nina
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Die Entstehungsmechanismen von Geräuschen (Schall), die durch das Abrollen von Reifen auf Fahrbahnoberflächen angeregt und von dieser abgestrahlt werden sowie sich entlang dieser ausbreiten, sind bis heute noch nicht ausreichend modelliert.

Im Teilverbund 3110 wurde dieser Problematik durch die Entwicklung zweier Modelle nachgegangen, die zum einen auf physikalischen und zum anderen auf statistischen Ansätzen beruhen.

Im Rahmen der Teilprojekte 3111-3113 wurde ein Gesamtmodell zur Simulation von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen, basierend auf der Finite-Elemente-Methode (FEM), entwickelt. Dabei flossen die ermittelten Schwingungen der Reifenoberfläche aus dem Teilprojekt 3111 als Randbedingungen in das akustische Berechnungsmodell des Teilprojektes 3112 ein. Im Teilprojekt 3113 wurde der Validierung des Modells durch Geräuschemessungen im Rollenprüfstand nachgegangen.

Aufbauend auf dem im Rahmen des Projektes „Sperenberg“ entwickelten statistischen Modell wurde im Teilprojekt 3114 diese Entwicklung durch Berücksichtigung weiterer Parameter fortgesetzt.

Die Forschungsarbeiten im Teilverbund 3110 nahmen folgende Partner wahr:

- Universität Hannover, Institut für Baumechanik und Numerische Mechanik (Teilprojekt 3111)
- Technische Universität Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Mechanik und Meerestechnik (Teilprojekt 3112)
- Continental AG (Teilprojekt 3113)
- Müller BBM (Teilprojekt (3114)

1.1 Teilprojekt 3111 „FE-Reifen-Fahr- bahn-Modell, Teil: Mechanik“ – Kurzbericht des Projektpartners (unverändert übernommen)

Nackenhorst, Udo
Universität Hannover, Institut für Baumechanik
und Numerische Mechanik, Hannover

Die numerische Berechnung von Reifen sollte im Hinblick auf die Rollgeräuschsimulation erweitert werden. Numerische Verfahren sowie diskrete Modelle zur Simulation des mechanischen Verhaltens von rollenden Reifen auf Fahrbahnoberflächen waren weiterzuentwickeln. Kernpunkt dieser Arbeiten war dabei die numerische Berechnung komplexwertiger Eigenwertprobleme für detaillierte Reifenmodelle.

Auf Basis der in diesem Teilprojekt berechneten Schwingungsformen war im Teilprojekt 3112 die Simulation der Schallabstrahlung durchzuführen. Die besondere Herausforderung war dabei der hohe Frequenzbereich bis hinauf zu 1.500 Hz.

Numerische Rollgeräuschberechnung

Das stationäre Rollkontaktproblem wird unter Ansatz einer gemischten Euler-Lagrange-Betrachtungsweise (ALE) gelöst. Anschließend wird eine Eigenwertberechnung an der deformierten und rotierenden Struktur durchgeführt. Gyroskopische Effekte wachsen mit zunehmender Geschwindigkeit an und das Schwingungsproblem formiert sich zu einem Wellenproblem. Die akustische Simulation

erfordert die Berechnung von Eigenfrequenzen bis zu 1.500 Hz. Die numerischen Verfahren und Algorithmen wurden implementiert, getestet und erfolgreich an einem Reifenmodell angewandt.

Zusammenarbeit mit Projektpartnern, Planung und Ablauf

Es wurden diverse Schnittstellen zum Datentransfer zwischen den einzelnen Partnern der Continental AG, dem Arbeitsbereich Mechanik und Meerestechnik der Technischen Universität Hamburg-Hamburg und dem Institut für Baumechanik und Numerische Mechanik der Universität Hannover implementiert. Die numerischen Methoden wurden umfangreichen Tests unterzogen und erfolgreich bis in den akustisch relevanten Bereich an einem Reifenmodell der Continental AG eingesetzt. Die Arbeitsgruppe Mechanik und Meerestechnik berechnete auf Basis dieser Schwingungsformen die Schallabstrahlung. Die prinzipielle Machbarkeit der Rollgeräuschberechnung mittels detaillierter Finite-Elemente-Modelle (FEM) konnte somit erfolgreich nachgewiesen werden.

Ergebnisse

Eigendynamik-Analyse and Finite-Element-Modell des rollenden Reifens

Erste Berechnungen wurden an einem Reifenmodell der Continental AG durchgeführt. Beispielhaft sind in Bild 1.1 typische Eigenformen des Reifenmodells im nieder-, mittel- und hochfrequenten Bereich zusammengestellt.

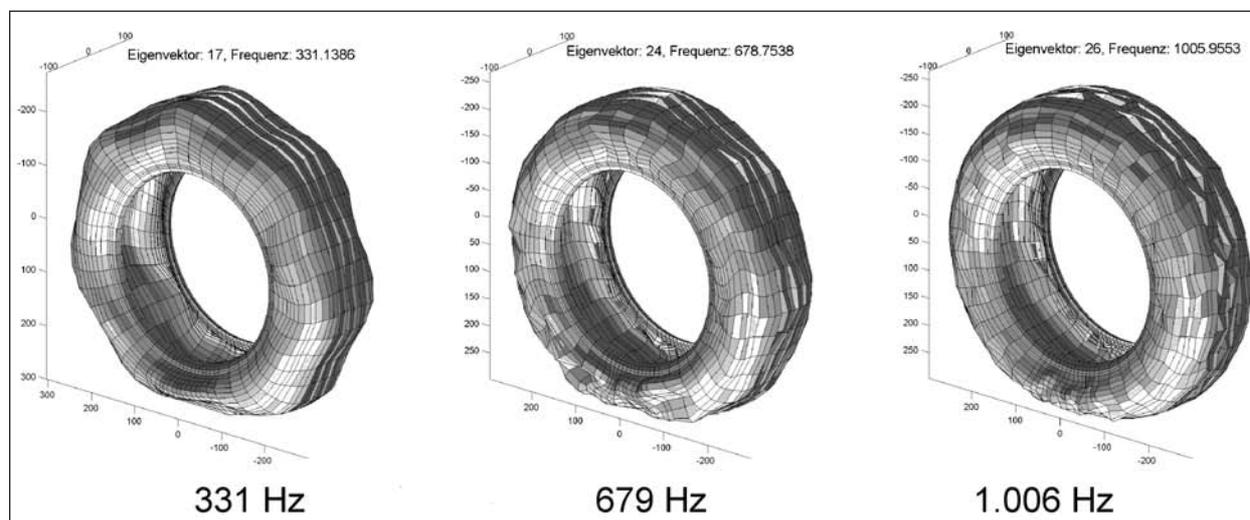


Bild 1.1: Typische Eigenformen des rollenden Reifenmodells im unteren, mittleren und hohen Frequenzbereich

Anhand dieser Ergebnisse kann bereits eine grobe Klassifizierung vorgenommen werden. Im unteren Frequenzbereich treten vorwiegend Gürtelschwingungen auf. Mit steigender Frequenz tritt zunehmend die Dynamik der Seitenwände hervor. Im akustisch besonders wichtigen Frequenzbereich um 1 kHz wird an diesem Modell die Dynamik der Profilirillen immer dominanter.

Anzumerken ist, dass bei diesem Reifenmodell bis 1.500 Hz ca. 1.500 verschiedene Eigenformen auftreten. Eine direkte Berechnung aller Eigenformen mit Standard-Verfahren ist nicht möglich. Mit der im Rahmen dieser Arbeiten implementierten Frequenzverschiebungstechnik kann jedoch gezielt ein interessanter Frequenzbereich angesteuert und in dessen Umgebung die Eigenformen berechnet werden.

Ferner war festzustellen, dass das untersuchte Reifenmodell im höheren Frequenzbereich keine quantitativ zuverlässigen Aussagen mehr ermöglicht. Bei einigen Eigenvektoren ist die Wellenlänge so klein, dass sie mit der Ortsdiskretisierung nicht mehr hinreichend aufgelöst werden. Diesbezüglich müssen konkret Modellverbesserungen durchgeführt werden.

Akustische Auswertung

Die Berechnung und Visualisierung der von den einzelnen Eigenformen abgestrahlten Schalldruckfelder wurden im Arbeitsbereich Mechanik und Meerestechnik durchgeführt. Für diese Analyse wurden aus diesem Teilprojekt eine spezielle Oberflächendiskretisierung des Reifenmodells und die darauf projizierten Eigenformen geliefert. Beispielhaft sind in Bild 1.2 die Ergebnisse einer solchen Schallabstrahlungsberechnung dargestellt. Oben in Bild 1.2 sind der Realteil und der Imaginärteil eines komplexen Eigenvektors bei 1.003 Hz gezeigt, darunter ist die an der TU Hamburg-Harburg daraus berechnete Schalldruckverteilung in zwei orthogonalen Auswerteebenen dargestellt.

Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die physikalische Modellbildung soll auf ein besseres Verständnis der Ursachen und Wirkungsketten der Rollgeräusche führen. Die gewonnenen Erkenntnisse werden unmittelbar in den Entwicklungsprozess lärmarmere Reifen und Fahrbahnen einfließen. Darüber hinaus können diese Simulati-

onswerkzeuge für die zielgerichtete Konstruktion zukunftsweisender Produkte wertvolle Hilfsmittel sein.

Der primäre Nutzen dieser Forschungsarbeit liegt in der Bereitstellung von praktikablen, naturwissenschaftlich abgesicherten Berechnungsverfahren zur Simulation der Rollgeräusche von Reifen auf Straßen. Der Industrie wird damit ein universelles Berechnungswerkzeug an die Hand gegeben, das zur Optimierung des dynamischen Zusammenwirkens von Reifen wichtige Informationen liefert, wobei neben den akustischen Eigenschaften gleichzeitig die anderen Gebrauchseigenschaften kontrollierbar sind.

Wissenschaftlicher Nutzen besteht in der Weiterentwicklung der numerischen Berechnungsmethoden (CAE) sowie in der Erarbeitung eines vertieften physikalischen Verständnisses für die Wirkungsmechanismen der Rollgeräusche. Es bestehen im Rahmen des Technologietransfers gute Aussichten, mit diesem Forschungsprojekt eine international führende Stellung einzunehmen.

Bewertung

Die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Arbeiten sind im Bereich der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Computational Mechanics anzusiedeln. Da bei der Planung dieser Arbeiten die Schwierigkeiten bei der numerischen Analyse unsymmetrischer Eigenwertprobleme nicht abgeschätzt werden konnten, haben sich entsprechende Verzögerungen im Arbeitsplan eingestellt. Dennoch müssen die in diesem Forschungsprojekt erzielten Ergebnisse als neuartig bewertet werden, Eigenwertanalysen an rollenden Reifenstrukturen im Frequenzbereich über 300 Hz wurden bisher nicht veröffentlicht. Die erzielten Berechnungsergebnisse sind innovativ und erlauben einen detaillierten Einblick in die hochfrequente Dynamik rollender Räder. Darauf basierend konnte eine grobe Klassifizierung der Detailmechanismen der Rollgeräuschenstehung vorgenommen werden.

Mit diesen Arbeiten wurde die Grundlage für die numerische Simulation der Dynamik rollender Reifen im mittel- und hochfrequenten Bereich erarbeitet. Somit stellen die Ergebnisse die Basis für Erfolg versprechende weiterführende Untersuchungen dar. Diese Arbeiten sind an der Spitze der internationalen Forschung anzusiedeln.

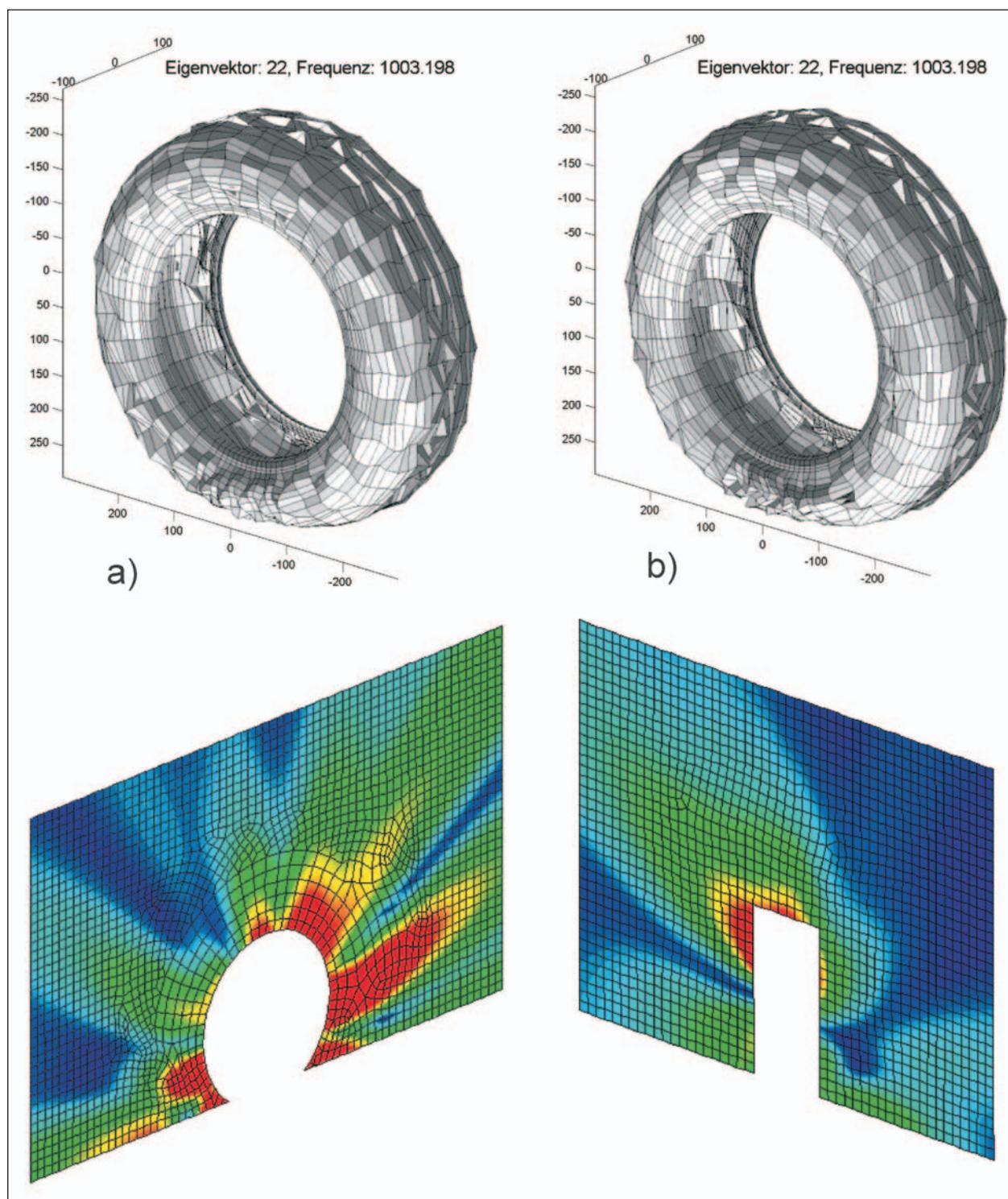


Bild 1.2: Beispielhafte Ergebnisse einer Schallabstrahlungsberechnung am Reifenmodell

Oben: Eigenform bei 1.003 Hz, a) Realteil, b) Imaginärteil.

Unten: Berechnete Schalldruckverteilung in der Radebene und senkrecht zur Radebene

Zusammenfassung und Ausblick

Heute werden physikalisch basierende Finite-Elemente-Modelle in der Reifenindustrie zur Produktentwicklung eingesetzt. Die industriellen Berechnungen sind weitestgehend auf quasi-stationäre

Analysen beschränkt. In der Literatur werden Eigendynamik-Analysen i. A. nur an nicht-rotierenden Modellen beschrieben, oftmals wird sogar die statische Abplattung vernachlässigt. Simulationen in einem für das Reifen-Fahrbahn-Geräusch akustisch relevanten Frequenzbereich (auch über 1.000

H_z) galten bislang als wissenschaftliche Herausforderung.

Das methodische Vorgehen und erste Berechnungsergebnisse an realitätsnahen Reifenmodellen wurden erarbeitet. Die Effizienz der Standard-Verfahren konnte erheblich verbessert werden, so dass heute großdimensionierte komplexwertige Eigenprobleme, wie sie bei der Analyse rollender Reifen auftreten, berechenbar sind. Mittels einer Frequenzverschiebungstechnik (shifting) war es ferner möglich, die Eigendynamik eines Reifenmodells auch im akustisch relevanten Frequenzbereich zu berechnen. Anhand dieser Ergebnisse konnte bereits eine Klassifikation der Reifendynamik im Frequenzbereich vorgenommen werden: Während im unteren Frequenzbereich die Gürteldynamik dominiert, tritt die Dynamik der Seitenwände im mittelfrequenten Bereich immer deutlicher in den Vordergrund. Im akustisch interessanten hochfrequenten Bereich kommt der Dynamik der Profilstollen eine zunehmende Bedeutung zu.

In einem nächsten Schritt müssen gezielte Maßnahmen zur Modellverfeinerung, die Einbeziehung der mechanischen Anregung durch die Textur der Fahrbahnoberflächen sowie Methoden zur Reduktion der Daten erarbeitet werden.

1.2 Teilprojekt 3112 „FE-Reifen-Fahrbahn-Modell, Teil: Akustik“ – Kurzbericht des Projektpartners (unverändert übernommen)

Estorff, Otto von; Petersen, Steffen
Technische Universität Hamburg-Harburg,
AB Mechanik und Meerestechnik, Hamburg

Heutzutage ist es allgemein anerkannt, dass eine deutliche Minderung der Vorbeifahrtpegel von Kraftfahrzeugen ohne die Reduzierung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche nicht möglich ist. Die Entwicklung computergestützter Methoden zur Untersuchung und Vorhersage der akustischen Eigenschaften rollender Reifen ist daher von großer Wichtigkeit. Diese Verfahren bilden den Eckstein in der Entwicklung optimierter Prozesse, in denen dann das akustische Verhalten von virtuellen Prototypen in einem sehr frühen Stadium der Designphase analysiert werden kann.

Bei der Untersuchung des akustischen Verhaltens von Reifen werden bereits seit einiger Zeit Diskreti-

sierungsmethoden wie die Finite-Elemente-Methode (FEM) und die Boundary-Elemente-Methode (BEM) eingesetzt [1-3]. Auf diese Weise ist es möglich, schon in einem sehr frühen Entwurfsstadium konkrete Aussagen zu den akustischen Eigenschaften des Systems Reifen/Fahrbahn zu machen, ohne dass ein Prototyp existieren muss.

Finite-Elemente-Modell zur Simulation von Reifen-Fahrbahngeräuschen

In Zusammenarbeit mit der Universität Hannover und der Continental AG wurde ein numerisches Modell zur Simulation von Reifen-Fahrbahngeräuschen entwickelt, in dem zunächst das strukturdynamische Verhalten des Reifens ermittelt wird. Die Ergebnisse werden dann als Randbedingungen auf das akustische Modell übertragen. Die Berechnungen im akustischen Modell erfolgen vorzugsweise mittels einer kombinierten Finite/Infinite-Elemente-Methode (IFEM), da diese, verglichen mit der BEM, mehr Möglichkeiten zur Berücksichtigung lokaler Effekte im Bereich der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn bietet. Erste Untersuchungen mit dem hier vorgestellten Berechnungsmodell sind in [4, 5] veröffentlicht.

Finite/Infinite-Elemente-Methode

Bei Berechnungen mit Hilfe von Finiten und halbunendlichen (infiniten) Elementen wird die nähere Umgebung der Reifen- und Straßenoberfläche zunächst mit herkömmlichen Finiten Elementen diskretisiert, an die sich die halbunendlichen Elemente auf einer Umhüllenden anschließen. Die Erweiterung der Elemente ins Unendliche erfolgt durch Ansatzfunktionen, die einen Amplitudenabfall ($1/r$) oder höherer Ordnung und eine wellenartige Variation $\exp(ikr)$ enthalten. Bild 1.3 zeigt ein akustisches Modell mit konventionellen und halbunendlichen Finiten Elementen.

In den letzten Jahren sind verschiedene Formulierungen der Infinite-Elemente-Methode entwickelt worden. Zusammenstellungen und Vergleiche der derzeit verfügbaren Formulierungen sowie Bewertungen hinsichtlich der Genauigkeit sind in [6] zu finden. Für die hier geführten Untersuchungen wird eine weiterentwickelte Formulierung der so genannten Mapped-wave-envelope-Elemente [7] verwendet. Diese jüngst entwickelten Elemente ermöglichen zum einen eine Umhüllende dicht an der Reifenoberfläche, was eine Reduzierung der Anzahl an Freiheitsgraden bedeutet, und zum ande-

ren führen sie zu einem geringeren Rechenaufwand in Verbindung mit iterativen Gleichungslösern [8].

Die halbunendlichen Elemente wurden in die Finite-Elemente-Bibliothek libMesh [9] implementiert. Für die akustischen Berechnungen in dem hier vorgestellten Modell steht damit ein eigenständiges FE-Programmpaket zur Verfügung, das sich sowohl hinsichtlich der akustischen Berechnungsverfahren als auch in Bezug auf die verwendeten Lösungsstrategien auf dem derzeitigen Stand der Forschung befindet und eine ideale Grundlage für Erweiterungen sowie die weitere Anpassungen an die Reifenakustik bietet.

Rechnerische Untersuchungen

Für die ersten Berechnungen mit dem hier vorgestellten Modell wurde zunächst ein vereinfachter Testreifen modelliert. Gemäß der zuvor beschriebenen Vorgehensweise wurde dazu in den Strukturuntersuchungen die komplexen Eigenmoden des rollenden Reifens bestimmt. Für die akustischen

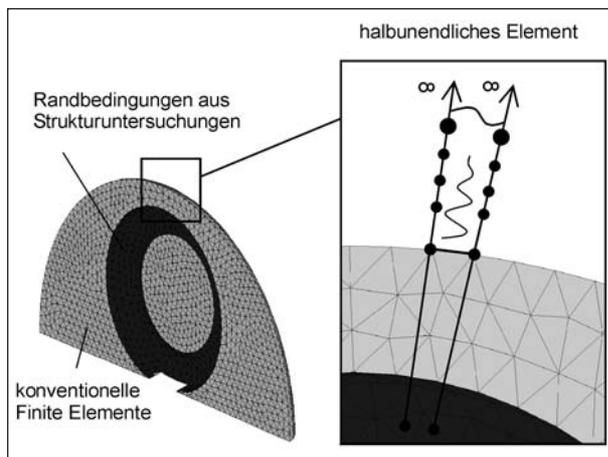


Bild 1.3: Akustisches Modell mit konventionellen und halbunendlichen Finiten Elementen

Berechnungen wurden aus den Strukturuntersuchungen die Diskretisierung sowie die entsprechenden Schwingungsdaten der Reifenoberfläche extrahiert und die Schallabstrahlung für bestimmte Moden ermittelt. Bei den hier durchgeführten Berechnungen wurde dabei die Straßenoberfläche als schallhart angenommen.

Als Beispiel in Bild 1.4 die Schnelleverteilung auf der Reifenoberfläche sowie der Schalldruck für eine komplexe Eigenform bei 950 Hz in zwei Feldpunktebenen dargestellt. Hierbei geben die roten Flächen Bereiche mit hohen Schalldruckwerten bzw. hohen Schnellewerten normal zur Reifenoberfläche an.

Die hier durchgeführten Berechnungen beziehen sich auf die Schallabstrahlung einzelner Eigenmoden und erlauben daher noch keine quantitativen Aussagen. Um von diesen ersten Untersuchungen zu der Analyse realitätsnaher Reifen-Fahrbahnsysteme zu gelangen, die dann sowohl qualitative als auch quantitative Aussagen zulassen, sind weitere Schritte wie die Berücksichtigung der Rauheit der Straßenoberfläche durch die Formulierung von Erregerfunktionen und die Verfeinerung des Reifenmodells nötig. Hierzu wurden erste Berechnungen an einem realitätsnahen Reifenmodell durchgeführt (siehe Bild 1.5, oben). Für Details hierzu sowie für genauere Angaben zu der Finite-Elemente-Diskretisierung der Reifenstruktur wird auf die Arbeiten des Teilprojektes 3111 verwiesen.

Die Schnelleverteilung auf der Reifenoberfläche sowie der Schalldruck in zwei Feldpunktebenen sind in Bild 1.5 dargestellt. In den Abbildungen ist dabei deutlich zu erkennen, dass die Schallabstrahlung bei der hier untersuchten Eigenform überwiegend im Bereich der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn stattfindet.

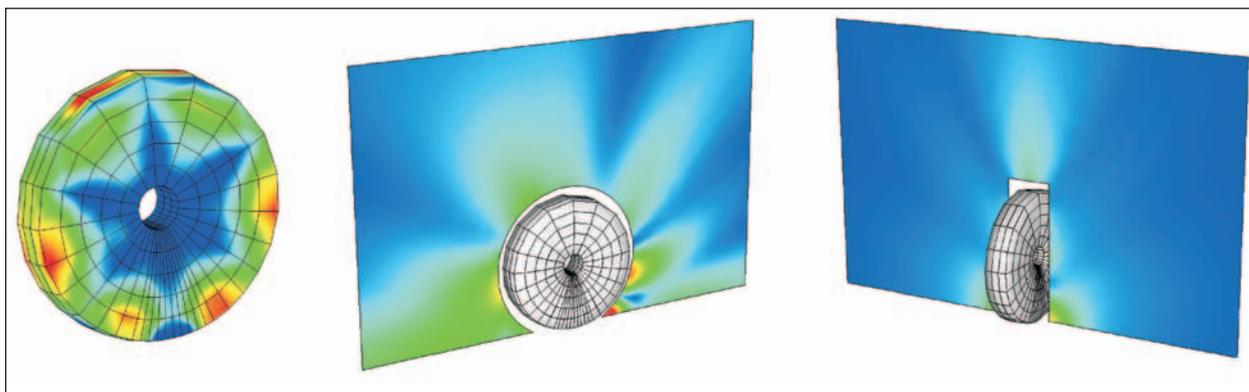


Bild 1.4: Schnelleverteilung auf der Reifenoberfläche und Schalldruck in zwei Feldpunktebenen für eine komplexe Eigenform bei 950 Hz

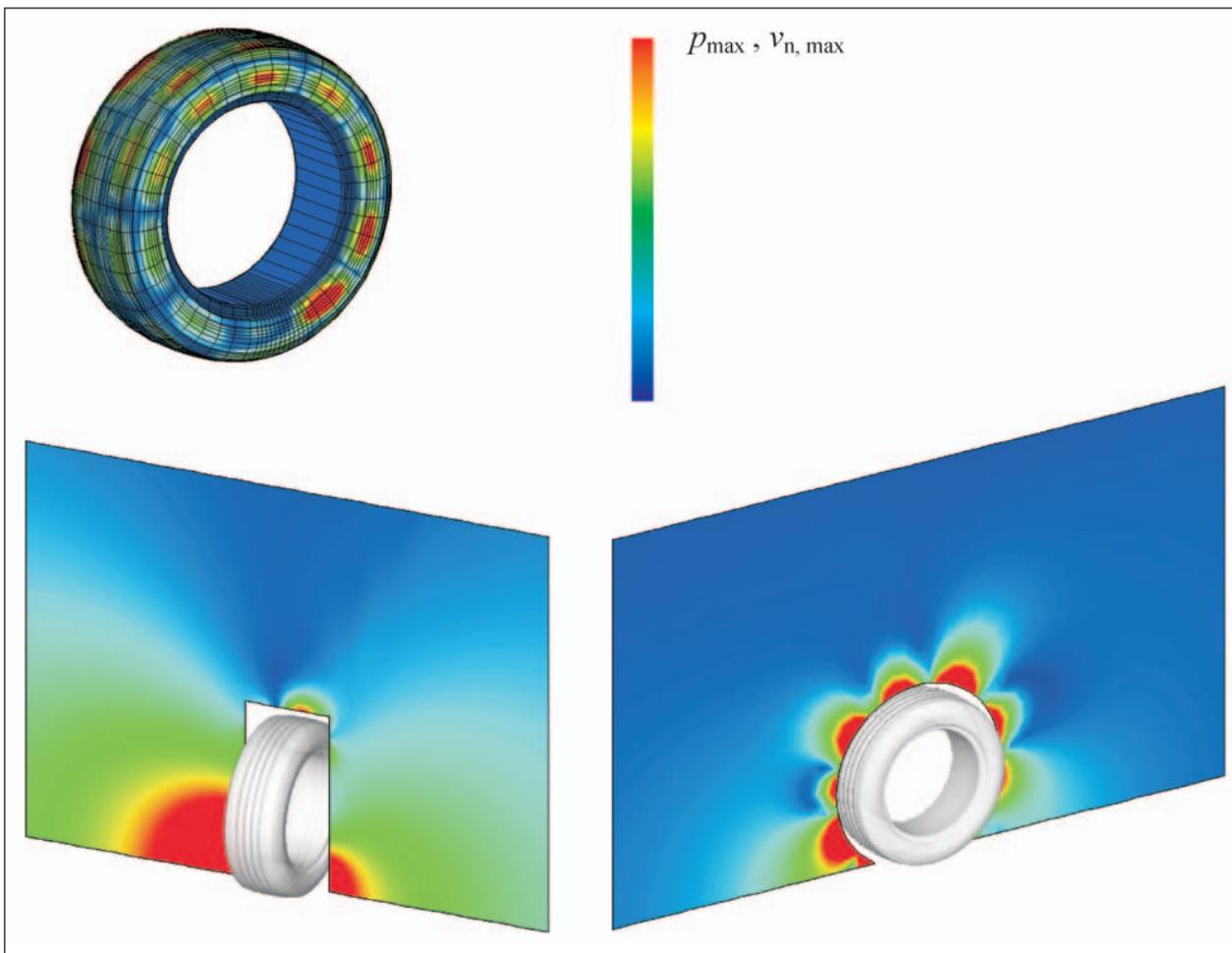


Bild 1.5: Schnelleverteilung auf der Reifenoberfläche und Schalldruck in zwei Feldpunktebenen für eine reelle Eigenform bei 203 Hz

Zusammenfassung und Ausblick

Die voranschreitende Entwicklung der numerischen Berechnungsmethoden und der stetige Anstieg der Rechnerleistung haben es erst in den letzten Jahren ermöglicht, Modelle zur Simulation von Reifen-Fahrbahngeräuschen zu entwickeln, die auf physikalischen Grundlagen basieren und zudem das Reifen-Fahrbahnssystem sehr detailliert abbilden können. So befindet sich das hier vorgestellte Berechnungsmodell noch in einem recht frühen Entwicklungsstadium. Es bietet jedoch schon auf dem derzeitigen Entwicklungsstand die Möglichkeit, das Schallabstrahlungsverhalten einzelner Eigenformen zu analysieren, wobei die akustischen Eigenschaften der Fahrbahnoberfläche berücksichtigt werden können.

Das Berechnungsmodell erlaubt es, das Reifen-Fahrbahngeräusch im Detail zu untersuchen, und ermöglicht es so, ein tieferes Verständnis für die einzelnen Wirkmechanismen und die Interaktion zwischen Reifen und Fahrbahn zu entwickeln. Hier-

bei steht für die akustischen Berechnungen ein eigenständiges FE-Programm zur Verfügung, das eine ideale Grundlage für Erweiterungen bietet. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten dann auch gezielt die Möglichkeiten zur Berücksichtigung des „Air-Pumping“ in dem Modell beinhalten.

Um auch den höherfrequenten Bereich abdecken zu können, wird ein erheblicher Rechenaufwand nötig werden. Zum einen muss hierfür die FE-Discretisierung entsprechend verfeinert werden, und zum anderen muss zur Simulation bestimmter Betriebszustände eine große Anzahl von Schwingungsmoden berücksichtigt werden. Um den hierfür notwendigen Rechenaufwand bewerkstelligen zu können, sind die akustischen Berechnungsverfahren entsprechend weiterzuentwickeln.

Es werden sicherlich noch einige Forschungsarbeiten nötig sein, bis das hier vorgestellte Modell quantitative Aussagen im Frequenzbereich bis etwa 1.500 Hz zulässt. Jedoch können bereits in naher Zukunft mit dem bestehenden Modell an-

hand von Parameterstudien die Einflüsse einzelner Systemparameter abgeschätzt und deren Bedeutung hinsichtlich einer Optimierung der akustischen Eigenschaften bestimmt werden.

Literatur

- [1] NACKENHORST U.: „Rollkontaktdynamik – Numerische Analyse der Dynamik rollender Körper mit der Finite Element Methode“, Habilitationsschrift, Universität der Bundeswehr Hamburg, 2000
- [2] NACKENHORST, U., HERSTER, P., MAHMOUD, K. G., RAINER, G. P.: „Ein Beitrag zur akustischen Optimierung von Reifen mittels numerischer Simulation“, in VDI-Berichte 1350: Reifen-Fahrwerk-Fahrbahn, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997, 389-404
- [3] GUISETT, P., AUGUSTINOVICZ, F.: „TINO Noise Emission: Analysis and Prediction Models“, 1st International Colloquium on Vehicle Tyre Road Interaction, Rome, 1999
- [4] ESTORFF, O. von, NACKENHORST, U., PETERSEN, S.: „Numerical Analysis of Tire Rolling Noise Radiation – Computational Aspects“, Proceedings of the 5th European Conference on Noise Control, EuroNoise 2003, Neaples, 2003
- [5] PETERSEN, S., ESTORFF, O. von, NACKENHORST, U.: „Advanced Numerical of Tire/Road Noise“, Proceedings of the 32nd InterNoise Conference, Seogwipo, 2003
- [6] ASTLEY, R. J.: „Infinite elements for wave problems: a review of current formulations and assessment of accuracy“, Int. J. Numer. Meth. Engng, Vol. 49, 2000, 951-976
- [7] ASTLEY, R. J., MACUALAY, G. J., COYETTE, J.-P., CREMERS, L.: „Three-dimensional wave-envelope elements of variable order for acoustic radiation and scattering. Part I. Formulation in the frequency domain“, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 103, 1998, 49-63
- [8] DREYER, D., ESTORFF, O. von: „Improved conditioning of infinite elements for Helmholtz problems“, Int. J. Numer. Meth. Engng, Vol. 58, 2003, 933-953
- [9] libMesh: A C++ Finite Element Library, <http://libmesh.sourceforge.net>

1.3 Bewertung der Teilprojekte 3111 und 3112

Bartolomaeus, Wolfram
 Bundesanstalt für Straßenwesen,
 Bergisch Gladbach

Es sollte ein physikalisches Reifenmodell für einen Frequenzbereich bis 1.500 Hz entwickelt werden. Die grundlegenden Probleme der Berechnung eines rotierenden Reifens im Rollkontakt mit der Fahrbahn sowie der Berechnung und Darstellung der akustischen Abstrahlung eines Reifens bei vorgegebener Schnelleverteilung mit Hilfe von Finiten Elementen konnten gelöst werden.

Für die mechanische Modellierung wurde eine komplexe Eigenwertanalyse am Modell eines Glattreifens bis ca. 600 Hz durchgeführt. Bisher war mit 358 Hz die Grenze der Diskretisierung erreicht. Eine Definition von aus der Profilierung des Reifens (periodischer Profilstolleneingriff) und den Fahrbahnoberflächentexturen (stochastische Reifenanregung) abgeleiteten Anregungsspektren sowie der daraus abzuleitenden Superposition der Eigenmoden muss noch erfolgen. Das stationäre Rollkontaktproblem konnte unter Ansatz einer gemischten Euler-Lagrange-Betrachtungsweise (ALE) gelöst werden. Dieses stellt einen Durchbruch auf dem Gebiet der Computational Mechanics dar.

Im akustischen Modell wurden halbbunendliche Finite Elemente eingesetzt, die eine Abstrahlung in den Raum ermöglichten. An einem Teststreifen konnte dieses Verfahren bis hinauf zu Frequenzen von 1.280 Hz erfolgreich getestet werden.

Die Finite-Elemente-Methode ist grundsätzlich geeignet, die Schallabstrahlung eines Reifens anschaulich darzustellen, und stellt somit ein wichtiges Werkzeug bei der Ursachenforschung für das Reifen-Fahrbahn-Geräusch dar.

Offene Fragen und Forschungsbedarf

Die Frequenzen im Bereich um 1.500 Hz müssen durch eine feinere Diskretisierung beschrieben werden. Ebenso sind die Anregungsfunktionen aus Reifenprofil und Textur und ihre Anregungsspektren zu definieren. Diese Aufgaben sollen bis Ende 2004 gelöst werden.

Wenn das mechanische Modell vollständig zur Verfügung steht, müssen die Ergebnisse der Parame-

terstudie (aus Teilprojekt 3112) visualisiert werden. Ebenso kann dann in Parameterstudien eine relative Pegeländerung in Form von Sensitivitätsanalysen ermittelt werden.

Die Reifenindustrie hat damit ein mächtiges Entwicklungs-Tool an der Hand, um durch gezielte Änderungen am Reifen eine bessere Anpassung an bestehende Texturen der Straße vornehmen zu können.

Darüber hinaus sind damit auch Ausbreitungsrechnungen in Verbindung mit aktiven Lärmschutzeinrichtungen (offenporige Beläge, Wände und Wälle) sowie eine Auralisation (Hörbarmachung) im Bereich der Nutzungsmöglichkeiten bis hin zur Simulation von Vorbeifahrten durchführbar.

1.4 Teilprojekt 3113 „FE-Reifen-Fahrbahn-Modell, Teil: Validierung“

Nach Abschluss der Teilprojekte 3111 und 3112 erfolgt die Validierung und wird daher hier nicht dargestellt.

1.5 Teilprojekt 3114 „Statistisches Modell zur Geräuscentstehung von Reifen-Fahrbahngeräuschen“

1.5.1 Kurzbericht des Projektpartners (unverändert übernommen)

Beckenbauer, Thomas
Müller BBM,
Kropp, Wolfgang
Chalmers University of Technology, Department of Applied Acoustics

Für die rechnergestützte Simulation von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen ist eine bedeutende Menge an Informationen notwendig, um realistische und absolut genaue Ergebnisse zu erzielen. Dieser hohe Informationsbedarf, der in der praktischen Anwendung noch nicht befriedigt werden kann, und der Wunsch, kurzfristig ein Werkzeug an die Hand zu bekommen, um geräuschemindernde Fahrbahnoberflächen zu entwerfen, waren Anlass, ein so genanntes Hybridmodell zu entwickeln, als Kombination aus einem deterministischen Modell, basierend auf einer für das Problem hinreichend genauen Beschreibung der Physik, und einem statistischen Modell, das sich auf eine ausreichend große und gut dokumentierte Menge von Messdaten für eine Vielzahl von Reifen-Fahrbahn-Kombinationen stützen kann. Der Fokus

sollte dabei auf dem Einfluss der Fahrbahnoberfläche auf das Rollgeräusch liegen – ohne Differenzierung des Reifens –, sodass das Modell zwar für den „mittleren Reifen“, also ein Kollektiv handelsüblicher Reifen, gilt, die Fahrbahneigenschaften dagegen im Einzelnen berücksichtigt werden.

Die Bearbeitung dieses Teilprojektes erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Angewandte Akustik der Chalmers Universität in Göteborg, Schweden. Der Ablauf des Vorhabens lässt sich in die Phasen „Aufbereitung von Messdaten“, „Berechnung der Kontaktkräfte“, „Implementation von Teilschallquellen“, „Statistische Analyse“ und „Berichterstattung“ unterteilen.

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Eine erste Näherung zur Prognose von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen stellt das aus dem Projekt „Sperenberg“ der BASt hervorgegangene Berechnungsmodell dar. Zur wesentlichen Weiterentwicklung des Modells war ein Modul zur Berechnung zeitabhängiger, radialer Kontaktkräfte in Abhängigkeit von der Textur einzubauen. Dabei konnte an das analytische Rechenmodell „CATRINS“ der Chalmers University angeknüpft werden. Um auch offenporige Decken mit dem Modell abbilden zu können, war der Parameter „akustische Impedanz“ in das Modell einzufügen. Der Parameter „Strömungswiderstand in der Reifen-Fahrbahn-Kontaktfläche“ war ebenfalls zu integrieren. Beides konnte aus Messungen in den Teilprojekten Tp 3121 und Tp 3122 in das Modell eingespeist werden. Als Input für den statistischen Teil des Modells stand eine große Zahl von Messergebnissen aus dem Projekt „Sperenberg“ zur Verfügung.

Berechnung der Kontaktkräfte

Für die Berechnung der Kontaktkräfte gab es verschiedene Anforderungen. Wichtig waren dabei aber vor allem zwei Dinge: erstens, dass die dreidimensionale Textur der Fahrbahn berücksichtigt werden kann, und zweitens, dass die Berechnung innerhalb einer akzeptablen Zeit durchgeführt werden kann. Für diesen Zweck wurde ein Quasi-3D-Modell entwickelt.

Die Grundidee ist die Annahme einer proportionalen Änderung der Federsteife mit der Änderung der Kontaktfläche zwischen Gummi und Fahrbahn, wenn ein Stück Gummi auf die Fahrbahn gepresst wird (siehe Bild 1.6, oben). Die resultierende Steife

wird dann mit Hilfe der Winkler-Bettung berechnet (Bild 1.6, unten). Man kann sich den Reifen als eine Abfolge von vielen diskreten Querschnitten vorstellen. Für jeden dieser Querschnitte kann auf Grund der Fahrbahnrauheit, mit der der jeweilige Querschnitt in Kontakt kommt, und auf Grund des Reifenprofils in Querrichtung eine Steife als Funktion der „Eindringtiefe“ berechnet werden.

Auf diese Weise werden die Rauheit der Fahrbahn und die Geometrie des Reifenprofils in eine nichtlineare Kennlinie für die Kontaktsteife jedes Querschnitts übersetzt. Ein Beispiel für die Kennlinienschar für 512 Querschnitte auf dem Umfang eines profillosen Reifens der Größe 195/65 R15 als Funktion der Rauheit und der Eindringtiefe ist in Bild 1.7 dargestellt.

Neben dem Glattreifen wurde eine Reihe von sechs profilierten Reifen betrachtet. Die Oberflächen dieser Reifen wurden mit einem Laser abgetastet und in digitale Profile überführt. Bild 1.8 zeigt Profilab-

schnitte (Länge 30 cm, Breite gesamte Reifenbreite) am Beispiel zweier Reifen, die in den Berechnungen berücksichtigt wurden.

Zusätzlich wurden für alle Reifen die radialen Punktmobilitäten in der Mitte der Lauffläche gemessen und analysiert, um das Reifenmodell an die ver-

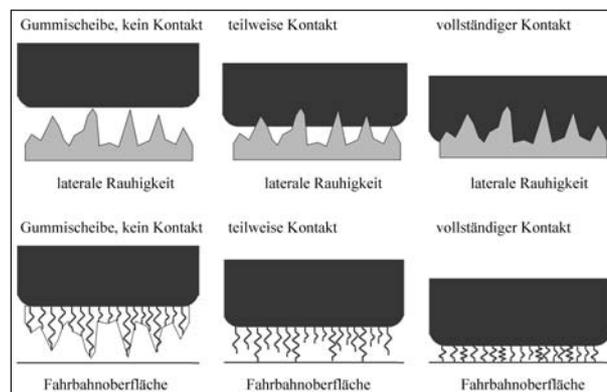


Bild 1.6: Schematische Darstellung eines Reifenquerschnitts mit veränderlicher Eindringtiefe (oben) und in seiner Darstellung mit Hilfe der Winkler-Bettung (unten)

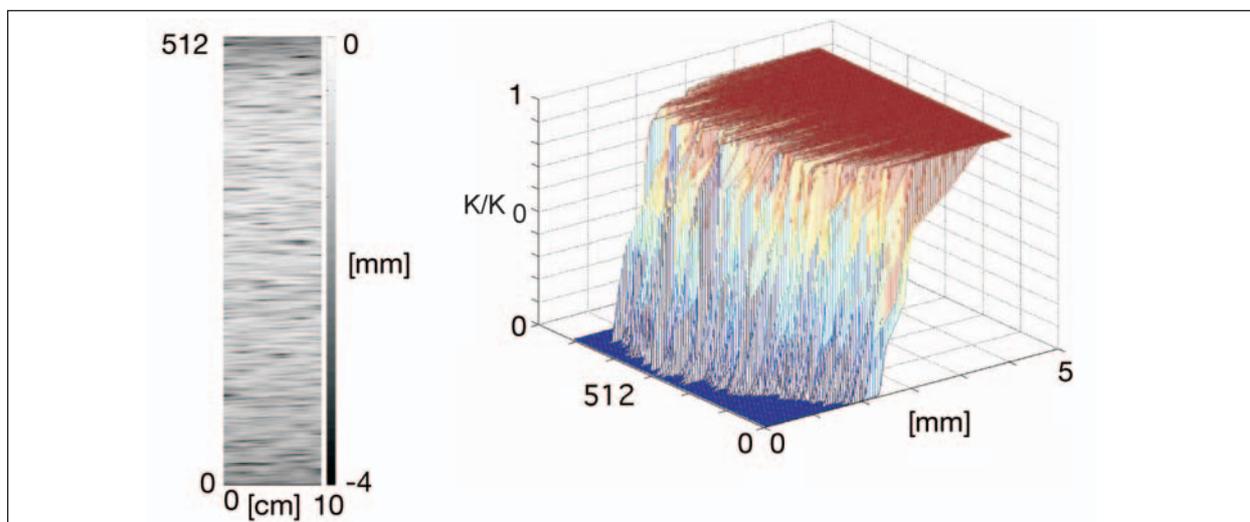


Bild 1.7: Beispiel einer 3D-Textur und der dazugehörigen nichtlinearen Kontaktsteife K . Der Reifenumfang (hier Glattreifen) ist in 512 Querschnitte eingeteilt. Die maximale Eindringtiefe beträgt 5 mm

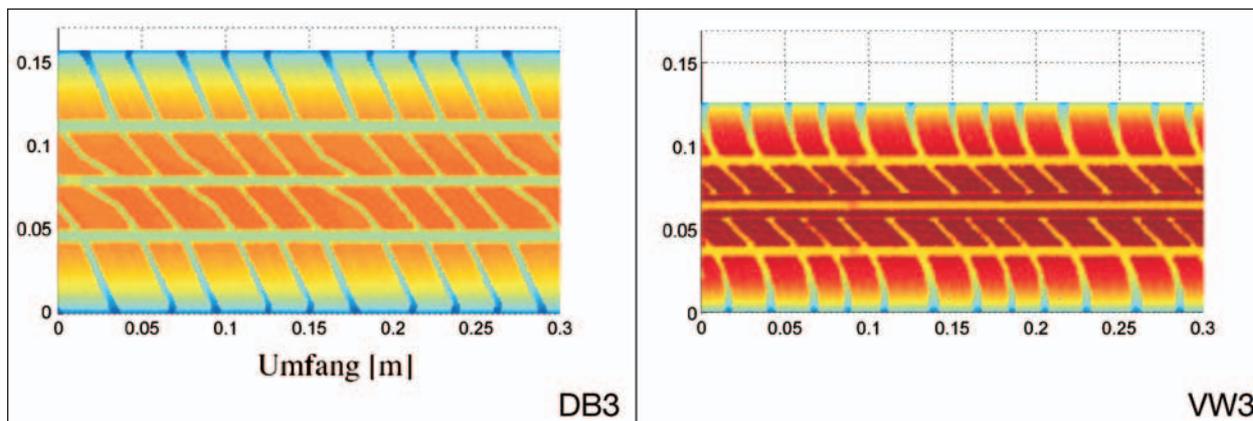


Bild 1.8: Profil zweier Reifen, die für das Hybridmodell ausgewertet wurden. Alle Maßangaben in m

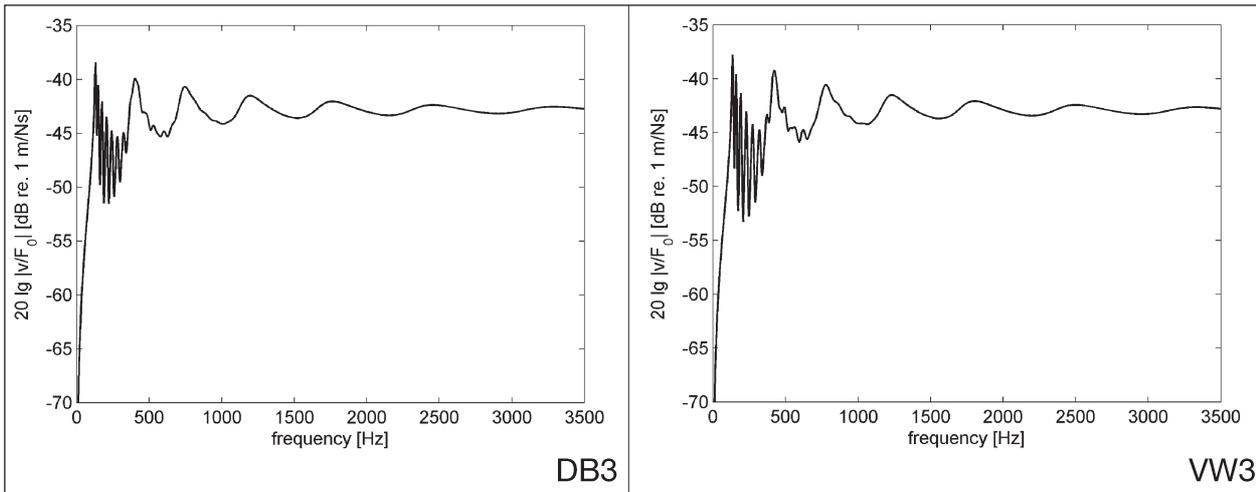


Bild 1.9: Berechnete Punktmobilitäten (radiale Richtung, Mitte der Lauffläche) für zwei Reifen, die im Hybridmodell benutzt wurden

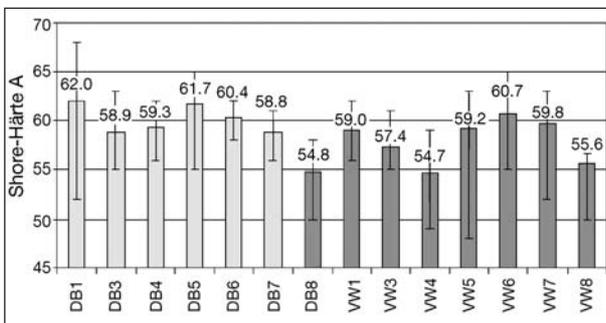


Bild 1.10: Shore-Härte A der Lauffläche der im Projekt „Sperenberg“ verwendeten Reifen. Dargestellt sind die Mittelwerte und die temperaturbedingten Spannweiten zwischen Minimal- und Maximalwert aller Messungen

schiedenen Reifen anzupassen. Die mit diesen Daten berechneten Punktmobilitäten sind in Bild 1.9 am Beispiel zweier Reifen zu sehen (die Abmessungen der Anregungsfläche betragen 15 mm x 15 mm).

Als zusätzlicher Parameter wurde die Härte des Gummis in der Lauffläche mit einbezogen. Für die verschiedenen Reifen wurden bereits im Projekt „Sperenberg“ die Shore-Härten bestimmt. Diese Ergebnisse wurden zur Skalierung der nichtlinearen Kennlinie für die Kontaktsteife benutzt und sind in Bild 1.10 dargestellt.

Das Hybridmodell

Der Ansatz für das statistische Modell ist von der in den Gleichungen (1) und (2) dargestellten allgemeinen Form:

$$I_{gesamt} = I_{vibr} + I_{air} + I_{residual} \tag{1}$$

$$I_{gesamt} = a_0 + a_1 F_c^k + a_2 \left(\frac{F_c}{S_c} \right)^m R_s^n v^o + a_3 v^p \tag{2}$$

mit

- I_{gesamt} Gesamtschallintensität
- I_{vibr} Teilschallintensität aufgrund mechanischer Anregung
- I_{air} Teilschallintensität aufgrund aerodynamischer Anregung
- $I_{residual}$ Teilschallintensität der Strömungsgeräusche an der Karosserie
- $a_0 \dots a_3$ Koeffizienten
- F_c mittlere Kontaktkraft im Reifen-Fahrbahn-Kontakt in N
- v Geschwindigkeit in m/s
- R_s spezifischer Strömungswiderstand im Reifen-Fahrbahn-Kontakt in Pa s/m
- k, m, n, o, p Exponenten (Parameter)

Die Gesamtschallintensität setzt sich aus einem von den Reifenschwingungen erzeugten Intensitätsanteil I_{vibr} (mechanische Entstehungsmechanismen), aus einem Air-pumping-Anteil I_{air} (aerodynamische Entstehungsmechanismen) und einem Residualanteil $I_{residual}$ zusammen, der von anderen Strömungsschallquellen am Fahrzeug herrührt (Strömungsgeräusche an der Karosserie). Es wird angenommen, dass es sich um inkohärente Schallquellen handelt, deren Teilschallintensitäten sich additiv überlagern.

Die Air-pumping-Komponente

$$\left(\frac{F_c}{S_c} \right)^m R_s^n v^o \tag{3}$$

mit

- F_c mittlere Kontaktkraft in N
 s_c mittlere Kontaktsteife in N/m
 R_s spezifischer Strömungswiderstand im Reifen-Fahrbahn-Kontakt in Pa s/m
 v Geschwindigkeit in m/s

ist hier als empirische Größe, nicht als „echtes“ Air-pumping-Modell zu verstehen. Der Quotient aus Kontaktkraft und Kontaktsteife ergibt ein Maß für die Eindringtiefe des Reifens in die Fahrbahnrauheit, die maßgeblich die Kompression der Luft in den rauheitsbedingten Hohlräumen zwischen Reifen und Fahrbahn bestimmt. Einen anderen Einfluss auf diese Kompression übt der Strömungswiderstand im Reifen-Fahrbahn-Kontakt aus, der bestimmt, wie „leicht“ die Luft seitlich aus der Kontaktfläche bzw. – bei offenporigen Deckschichten – seitlich und in die Tiefe des Fahrbahnbelages entweichen kann.

Dieser Ansatz für das statistische Modell führt auf ein lineares Gleichungssystem mit den Koeffizienten als Unbekannte. Die direkt (R_s , v) oder indirekt (F_c , s_c) messbaren Variablen bestimmen die Teilschallintensitäten von Schallquellen unterschiedlicher Entstehungsmechanismen. Die Exponenten stellen Parameter dar. Die Koeffizienten dienen letztlich dem quantitativen Abgleich des Modells und werden mit Hilfe linearer Regression frequenzabhängig ermittelt.

Zur Berücksichtigung offenporiger Fahrbahnbeläge genügt es, deren Absorptionsfrequenzgang zu

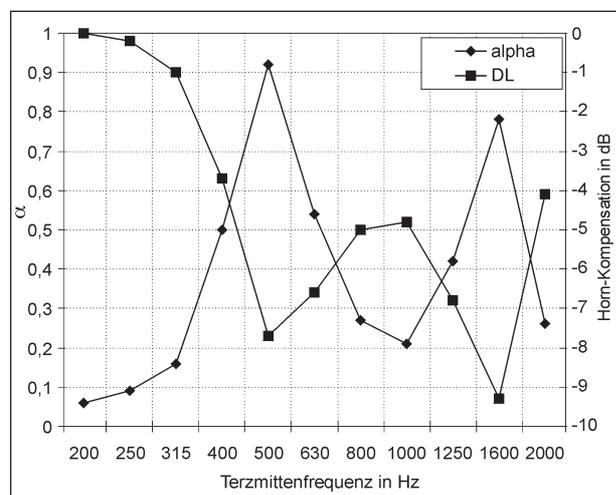


Bild 1.11: Absorptionsfrequenzgang und Pegelkorrektur DL am Beispiel eines zweilagigen offenporigen Asphaltbelages

messen bzw. bei Kenntnis der akustischen Impedanz der Oberfläche zu berechnen. Der frequenzabhängige Absorptionsgrad bestimmt das Maß, mit dem die berechneten Terzpegel des Vorbeirollgeräusches der zunächst als total reflektierend angenommenen Fahrbahnoberfläche zu korrigieren sind. Bild 1.11 zeigt beispielhaft den typischen Frequenzgang eines zweilagigen offenporigen Asphaltbelages im Frequenzbereich zwischen 200 und 2.000 Hz. Zusätzlich ist die anhand von Messungen bestimmte frequenzabhängige Pegelkorrektur des Abstrahlmaßes DL eingetragen.

Ergebnisse

Die Parametervariation ergab den Exponentensatz $k = 2$, $m = 3,2$, $n = 4$, $0 = 4,2$, $p = p(f) = 5,6 \dots 7,0$ für die drei Teilschallintensitäten im Frequenzbereich zwischen 315 Hz und 2.000 Hz. Für den Glattreifen beträgt die mittlere Abweichung der berechneten gegenüber den gemessenen Vorbeirollterzpegeln zwischen $\pm 0,8$ dB und $\pm 1,8$ dB, wobei die beste Übereinstimmung bei hohen Frequenzen erreicht wird. Im mittleren und tiefen Frequenzbereich sind die Abweichungen sowohl beim Glattreifen als auch bei den Normalreifen noch am höchsten. Im mittleren Frequenzbereich hängt dies damit zusammen, dass sich die mechanischen und aerodynamischen Entstehungsmechanismen stark überlagern und die Differenzierung im Modell aufgrund des Fehlens eines „echten“ Air-pumping-Modells weniger gut gelingt. Im tiefen Frequenzbereich spielen die Strömungsgeräusche an der Karosserie, also die Residualquellen eine Rolle, die die Messergebnisse beeinflussen und zu einer signifikanten Streuung der Messwerte, die nicht mit dem Reifen-Fahrbahn-Geräusch zusammenhängt, führen.

In Bild 1.12 sind Terzspektren für den Gesamtpegel dargestellt sowie die Pegel der drei Teilschallquellen für den Normalreifen DB3, für vier verschiedene Fahrbahnoberflächen (A20, B19, A08 und A04) bei einer Geschwindigkeit von $v = 80$ km/h. Oberfläche A20 ist eine grobraue, abgestreute Deckschicht mit einem Größtkorndurchmesser von 8 mm, Oberfläche B19 dagegen eine feinraue mit einer Abstreifung 0,5-1,0 mm. Bei den Oberflächen A08 und A04 handelt es sich um gewalzte Deckschichten mit Größtkorndurchmessern im Mischgut von 11 mm bzw. 8 mm. Zusätzlich sind in die Diagramme die Messergebnisse für den Gesamtpegel und das im akustischen Windkanal außerhalb der Strö-

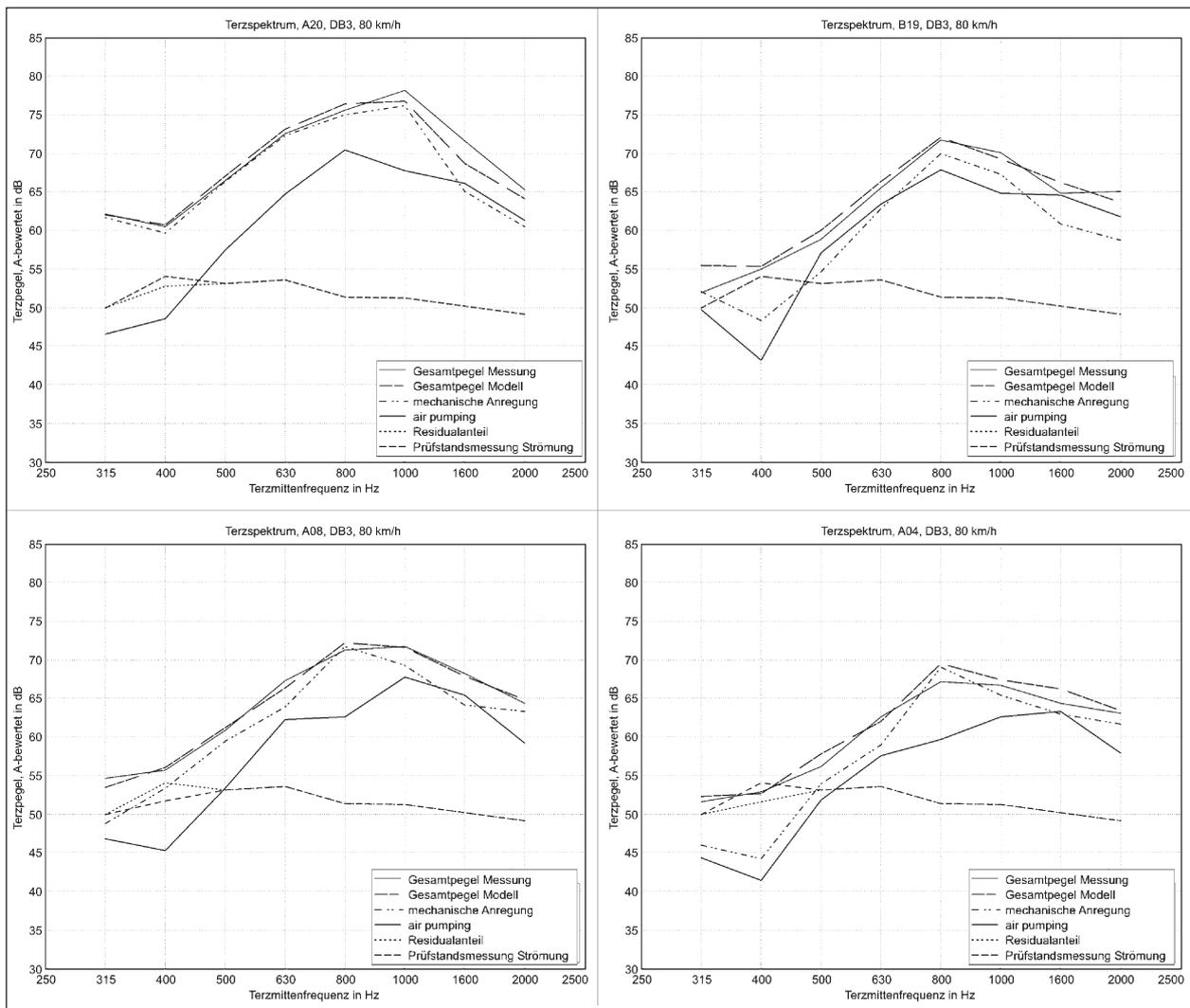


Bild 1.12: Terzspektren der A-bewerteten Teil- und Gesamtschallpegel des Vorbeirollgeräusches für Normalreifen DB3 auf vier verschiedenen Oberflächen (A20, B19, A08 und A04); durchgezogene Linien: Modellergebnisse, gestrichelte Linien: Messergebnisse, Geschwindigkeit $v = 80$ km/h

mung gemessene Strömungsgeräusch an der Karosserie des bei den Vorbeirollpegelmessungen eingesetzten Prüffahrzeugs eingetragen. Das Hybridmodell ermöglicht es, die Beiträge der Teilschallquellen getrennt darzustellen. Die Diagramme zeigen die gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Absolutwerten.

Betrachtet man die große Variation der Eingangsparameter und die Genauigkeit, mit der diese Parameter sowohl für die Fahrbahn als auch für den Reifen erfasst werden müssen, so ist der Ansatz des Hybridmodells eine sinnvolle Vorgehensweise. Deterministische Modelle sind von großem Vorteil, um die Physik der Geräusentstehungsmechanismen besser zu verstehen. Dieses Verständnis ist eine wichtige Voraussetzung für eine geeignete Formulierung des statistischen Modells. Gleichzei-

tig können deterministische Modelle benutzt werden, um den für das statistische Modell notwendigen linearen Zusammenhang zwischen den Eingangsgrößen und der Zielgröße, also dem Vorbeirollpegel, herzustellen.

Der Übergang zum Teilschallquellenmodell bzw. zu Teilschallintensitäten als Summanden im linearen Regressionsmodell erlaubt es, die Beiträge unterschiedlicher Entstehungsmechanismen getrennt darzustellen und den Einfluss von Fahrbahneigenschaften auf diese Teilschallintensitäten getrennt zu beobachten. Spektrum und Dynamik des Reifen-Fahrbahn-Geräusches und seiner Anteile werden richtig wiedergegeben. Das im Projekt eingeführte Teilmodell für den Air-pumping-Anteil im Reifen-Fahrbahn-Geräusch repräsentiert allerdings diesen Entstehungsmechanismus nicht alleine. Die

dazugehörige Teilschallintensität ist offenbar beeinflusst durch andere Effekte, die im Modell noch nicht abgebildet sind. Dazu zählen Stick-slip- und Stick-snap-Effekte, die von tangentialen Kräften und Adhäsion im Reifen-Fahrbahn-Kontakt herühren. Auch die mechanische Impedanz der Fahrbahn ist noch nicht berücksichtigt.

Mit dem Rechenmodell steht ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem dichte und offenporige Fahrbahnbeläge nicht nur hinsichtlich ihres akustischen Verhaltens analysiert, sondern auch geräuschmindernde Fahrbahnoberflächen gezielt entwickelt werden können. Das Rechenmodell zeigt, dass es Texturen gibt, die zu leiseren Fahrbahnoberflächen im Vergleich zu herkömmlichen dichten Straßenbelägen führen. Das Geräuschminderungspotenzial beträgt bezogen auf die gängige Bauweise (SMA 0/8-11) 5 bis 6 dB. Bei Kombination mit optimierten offenporigen Strukturen ergibt sich eine zusätzliche Rollgeräuschminderung von 4 bis 5 dB. In der Zukunft wird sich nun zeigen müssen, welche (neuen) Baumaterialien und Einbautechniken notwendig sind, um solche neuartigen geräuschmindernden Fahrbahnbeläge reproduzierbar und dauerhaft herzustellen. Das Rechenmodell unterstützt dabei die experimentellen Arbeiten und einen wirtschaftlichen Entwicklungsprozess.

1.5.2 Bewertung des Teilprojektes 3114

Bartolomaeus, Wolfram
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Das Hybrid-Modell „SPERoN“ stellt eine Weiterentwicklung des Modells der multivarianten Regression aus dem Bericht „Sperenberg“ dar. So wurde eine dreidimensionale Beschreibung der Textur der Fahrbahnoberfläche, die im Teilprojekt 3182 ermittelt wurde, verwendet, um die zeitabhängigen, radialen Kontaktkräfte (dynamische Kontaktkräfte) zu implementieren. Ein einfaches Air-pumping-Modell konnte mit Hilfe der Parameter „akustische Impedanz“ und „Strömungswiderstand in der Reifen-Fahrbahn-Kontaktfläche“, die in den Teilprojekten 3121 und 3122 erarbeitet wurden, ebenfalls implementiert werden.

Das Modell „SPERoN“ ist in der Lage, im Frequenzbereich von etwa 300 Hz bis 3 kHz Aussagen über die absoluten Schalldruckintensitäten von drei Teilschallquellen – mechanische Anregung, aerodynamische Anregung und Strömungsgeräusche an

der Karosserie – zu machen. Die Abweichungen der Berechnungen zu den Messungen bei der Gesamtschallintensität betragen nur bis zu +/-2 dB und sind im tieffrequenten Bereich am höchsten.

Vom Projektpartner wird angegeben, dass das Geräuschminderungspotenzial von neuartigen Texturen, die mit dem „SPERoN“ modelliert werden, gegenüber gängigen Bauweisen (SMA 0/8-11) schätzungsweise 5 bis 6 dB(A) für Pkw beträgt. Ob diese Annahme auch bautechnisch umgesetzt werden kann, bleibt abzuwarten.

Forschungsbedarf

Der Einsatz des Modells „SPERoN“ ist für die Entwicklung neuartiger leiser Texturen wünschenswert. Dafür sollte das Modell um ein vollständiges Air-pumping-Modell sowie um Modelle für die Stick-slip- und Stick-snap-Effekte erweitert werden. Ein weiterer Punkt wäre die Berücksichtigung der mechanischen Impedanz der Fahrbahn.

Es wird erwartet, dass die Erweiterung des „SPERoN“-Modells auf Lkw-Reifen zur Aufklärung von Reduktionspotenzialen des Lkw-Reifen-Fahrbahn-Geräuschs beitragen kann.

2 Ergebnisse Teilverbund 3120 „Entwicklung von In-situ-Messverfahren“

2.0 Problemdarstellung

Sliwa, Nina
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Zur Einordnung von Fahrbahnen hinsichtlich ihres akustischen Verhaltens ist eine umfassende messtechnische Erfassung aller für die Emission und Immission von Schall relevanten Eigenschaften von Straßenoberflächen notwendig. Dazu war erforderlich, neben den bisher eingesetzten Laborverfahren Messgeräte zu entwickeln, die eine in situ Erfassung der akustischen Impedanz und des Strömungswiderstandes ermöglichen. Die so ermittelten Parameter fanden Eingang in das „Reifen-Fahrbahn-Modell zur Geräuschentstehung“ (TV 3110) und dienten der Validierung, Verbesserung und Weiterentwicklung. Die Forschungsarbeiten im Teilverbund 3120 nahm der Partner Müller BBM wahr.

2.1 Teilprojekt 3121 „Messverfahren der akustischen Impedanz“

2.1.1 Kurzbericht des Projektpartners (unverändert übernommen)

Beckenbauer, Thomas; Mommertz, Eckard
Müller BBM, Planegg

Der Absorptionsgrad, der komplexe Reflexionsfaktor bzw. die akustische Impedanz sind wichtige Kenngrößen zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften von Straßenbelägen. Im Rahmen des Vorhabens sollte ein Messsystem weiterentwickelt und erprobt werden, welches die Messung des Reflexionsfaktors in situ ermöglicht. Dabei sollte zwischen Messungen für senkrechten und streifenden Schalleinfall unterschieden werden. Die Zielsetzung wies die drei wesentlichen Teilziele „Entwicklung und Herstellung eines in der Praxis einsetzbaren Messsystems“, „Objektive Charakterisierbarkeit des Produktes „Straßenbelag“ in situ, also nicht im Labor, sondern im eingebauten, gebrauchsfähigen Zustand zum Zwecke der Qualitätssicherung und Zustandserfassung am Bau und im Betrieb“ und „Ermittlung von akustischen Kenngrößen als Eingangsgrößen für Rechenmodelle zur Vorhersage von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen“ auf.

Der Ablauf des Vorhabens lässt sich in die Phasen „Herstellung von Hard- und Software eines für den Einsatz an Straßen tauglichen Systems“ und „Erprobung und Modifikation der Messeinrichtung, Genauigkeitsabschätzungen und Postprocessing der Messergebnisse“ unterteilen.

Für senkrechten Schalleinfall können aus dem Reflexionsfaktor unmittelbar der Absorptionsgrad und die Impedanz ermittelt werden. Bei streifendem Schalleinfall hingegen kann die kugelförmige Krümmung der von der Schallquelle ausgehenden Wellenfronten nicht mehr vernachlässigt werden. Aus den Messergebnissen kann unter bestimmten Voraussetzungen eine effektive Impedanz oder ein Absorptionsgrad abgeleitet werden. Die Voraussetzungen sind jedoch nur dann gegeben, wenn das Messsystem einwandfreie, eindeutige und störungsfreie Ergebnisse liefert. Das bedeutet, dass die Güte des Messsystems und dessen Realisierung eine Schlüsselrolle einnehmen.

Bezüglich des technischen Kenntnisstandes bestanden Vorkenntnisse aus der Realisierung eines

Messsystems basierend auf der Reflexionsmethode zur Messung von bauakustischen Materialien in Räumen.

Messsystem

Die In-situ-Messung zur Bestimmung des komplexen Reflexionsfaktors erfolgt mit Hilfe der so genannten „Reflexionsmethode“ durch Separation und Auswertung des reflektierten Schallsignals. Hierzu wird von einem Sender ein Schallimpuls (praktisch wird als Messsignal jedoch ein Sinus-Sweep verwendet, der robuster gegenüber Zeitinvarianzen, Nichtlinearitäten und Störschallen ist) abgestrahlt und das vor der Oberfläche erhaltene Signal aufgezeichnet. Dieses besteht, soweit keine anderen reflektierenden Flächen vorhanden sind, aus dem Direktschallimpuls und der Reflexion. Aufgrund der unterschiedlichen Laufzeiten trifft die Reflexion je nach Messgeometrie gegenüber dem Direktschallimpuls verspätet ein.

Der im Rahmen des Vorhabens entwickelte Prototyp umfasst folgende Spezifikationen:

- Verwendung von 2 Mikrofonen,
- Erhebungswinkel ϑ_0 einstellbar zwischen 0° und 90° ,
- Abstände $a_2 = 1.000$ mm. $a_1 + a_2 \leq 1.100$ mm,
- Positionierung des Mikrofonabstands mit einer Genauigkeit von $\leq \pm 0,5$ mm,

Die Lautsprecher-Mikrofon-Anordnung und der realisierte Messaufbau sind in den Bildern 2.1 und 2.2 dargestellt.

Simultan zur Abstrahlung des Messsignals über den Lautsprecher wird das von den Mikrofonen empfangene Signal verstärkt und A/D-gewandelt. Das empfangene Signal wird mittels einer FFT in den Frequenzbereich überführt und mit dem invertierten Spektrum des Anregungssignals multipliziert. Nach Rücktransformation in den Frequenzbereich erhält man die Impulsantwort der Übertragungstrecke. Durch eine separate Bestimmung der Impulsantwort, bei der die reflektierende Fläche ausreichend weit entfernt ist (Referenzmessung ohne Reflexion), erhält man nach einer Fouriertransformation den Direktschallanteil alleine. Dieses Ergebnis wird benutzt, um den Reflexionsanteil bei der Messung über der Oberfläche durch Subtraktion des Ergebnisses aus der Referenzmessung vom Direktschallanteil zu separieren.

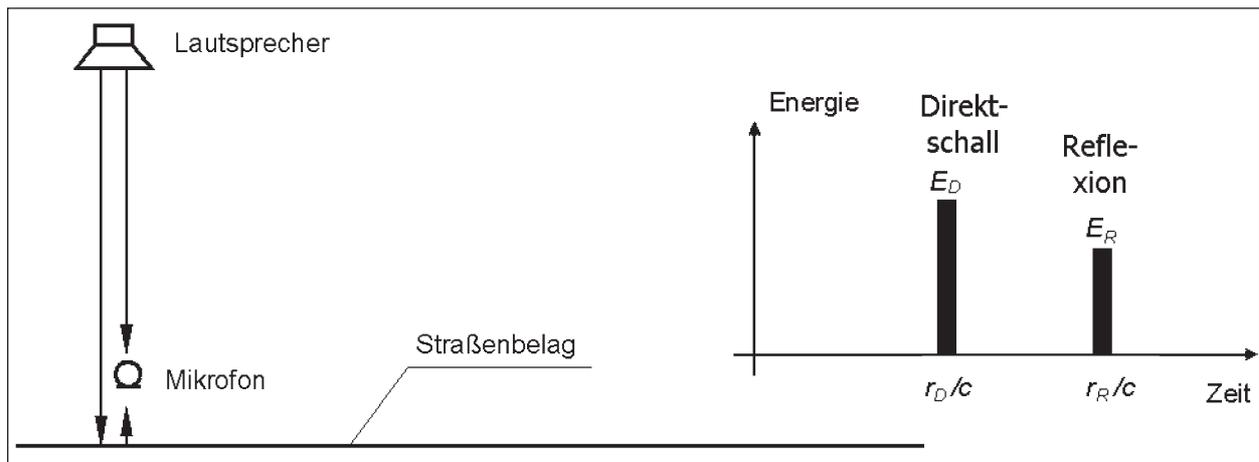


Bild 2.1: Prinzipielle Lautsprecher-Mikrofon-Anordnung und zeitlicher Verlauf des gemessenen Signals



Bild 2.2: Anordnung von Lautsprecher und Mikrofonen, realisierter Messaufbau

Messergebnis ist unmittelbar der aus den Impulsantworten errechnete frequenzabhängige Reflexionsfaktor für jede Einzelmessung und Mikrofonposition. Die Reflexionsfaktoren nach Betrag und Phase werden in 1/48-Oktavschritten im Frequenzbereich zwischen 180 Hz und 5.700 Hz für beide Mikrofone und jede Einzelmessung bestimmt. Das Messprinzip erfordert ein hohes Maß an Genauigkeit des Messaufbaus, der Messsignale und der Signalverarbeitung. Bei der Realisierung wurden insbesondere Maßnahmen zur Erhöhung der Messgenauigkeit getroffen. Dies betrifft die Verminderung des erforderlichen Signal-Stör-Abstandes mit Hilfe eines speziellen Messsignals, um Messungen auch neben befahrenen Fahrstreifen durchführen zu können, und die Frequenzauflösung der Signalverarbeitung. Darüber hinaus müssen die Geometrieparameter der Lautsprecher-Mi-

krofon-Anordnung ausreichend genau bekannt sein, da aus diesen die Phasen- und Amplitudenkorrekturen vorgenommen werden. Die Laufwege des Direktschalls und der Reflexion müssen mit einer Genauigkeit von etwa ± 10 mm bestimmt werden. Außerdem müssen die Mikrofonpositionen sowie die Bezugsebene (hier: Fahrbahnoberfläche) mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5$ mm und die Temperatur mit $\pm 0,5$ K erfasst werden. Insbesondere Ersteres ist unter Feldbedingungen kaum möglich. Deshalb ist im Messsystem die Möglichkeit vorgesehen, die Laufzeiten und insbesondere die Laufzeitdifferenzen zwischen Direktschall und Reflexion akustisch, das heißt messtechnisch, exakt zu bestimmen.

Bei der Messung von Straßenbelägen ist davon auszugehen, dass die Temperaturverhältnisse auf

der Übertragungsstrecke zwischen Lautsprecher und Mikrofon bei der Oberflächen- und bei der Referenzmessung, bei der die Lautsprecher-Mikrofon-Anordnung nach oben gedreht wird, nicht gleich sind. Dies führt zu geringfügig veränderten Schallgeschwindigkeiten, die wiederum eine nicht hinreichend genaue Direktschallsubtraktion zur Folge haben. Deshalb wurde in das Messsystem eine (optionale) Phasenkorrektur eingebaut. Diese bestimmt und korrigiert die durch Temperaturänderungen auftretenden Laufzeitdifferenzen. Hierzu werden die Laufzeitdifferenzen der Direktschallimpulse von der Referenzmessung und von der jeweiligen Einzelmessung ermittelt und vor der Subtraktion korrigiert.

Akustische Impedanz

Es wurde ein Programm zur Berechnung der komplexen Impedanz aus gemessenen Werten des komplexen Reflexionsfaktors bei beliebigem Schalleinfallswinkel erstellt. Der Algorithmus beruht auf dem Iterationsverfahren nach Newton-Raphson. Die Untersuchung hat gezeigt, dass das Verfahren grundsätzlich geeignet ist. Allerdings hat sich herausgestellt, dass die Güte der Messwerte eine entscheidende Rolle für die Konvergenz des Iterationsverfahrens spielt. Werte des Betrages des Reflexionsfaktors größer 1, die durch Fehler im Phasengang oder parasitäre Reflexionen bzw. Streuungen am Messaufbau zustande kommen, verhindern die Konvergenz des Verfahrens.

Bei der beschriebenen Vorgehensweise wurden die Reflexionsfaktoren für die beiden Mikrofonpositionen getrennt ermittelt. Die Verwendung von zwei Mikrofonen ermöglicht jedoch darüber hinaus die direkte Bestimmung der akustischen Impedanz. Und zwar lässt sich die Impedanz an dem Mittelpunkt M zwischen den Mikrofonen aus den Übertragungsfunktionen H_1 und H_2 , die für beide Mikrofonpositionen ermittelt wurden, berechnen. Die Übertragungsfunktionen H_1 und H_2 werden über eine FFT aus den gemessenen Impulsantworten bestimmt. Falls störende Reflexionen vorhanden sind, so können diese vor der FFT ausgeblendet werden. Aus der Impedanz am Punkt M kann der Reflexionsfaktor auf der Oberfläche ermittelt werden, wobei auch die kugelförmige Divergenz der Wellenfronten berücksichtigt werden kann. Hierzu wurde die Finite-Differenz-Methode für den vorliegenden Anwendungsfall näher untersucht.

Auch diese Vorgehensweise erfordert eine sehr exakte Phasen- und Amplitudengleichheit der elek-

troakustischen Übertragungskette beider Mikrofone. Um diese zu gewährleisten, ist es möglich, mit dem beschriebenen Aufbau im Rahmen einer Referenzmessung evtl. Unterschiede bzgl. Phasen- und Amplitudenfrequenzgang auszugleichen. Hierzu werden die Referenzmessungen von evtl. Reflexionen befreit und unter Berücksichtigung des Abstands der Mikrofone und der Schallgeschwindigkeit (ermittelt über die Abhängigkeit von der Lufttemperatur) entsprechende Phasen- und Amplitudenkorrekturen vorgenommen.

Diese Routinen wurden zunächst auf Matlab-Ebene implementiert und an ersten Testoberflächen angewendet. Es zeichnet sich ab, dass durch diese Vorgehensweise eine bessere Genauigkeit erzielt werden kann. Erprobungen an Straßenoberflächen konnten jedoch im Rahmen dieses Vorhabens nicht mehr durchgeführt werden.

Bewertung

Es konnte – basierend auf vorhandenen Ergebnissen und Kenntnissen – ein praxistaugliches Messsystem zur Bestimmung von komplexen Reflexionsfaktoren insitu erarbeitet werden. Neben einer anwenderorientierten Benutzeroberfläche zur notwendigen Software wurden insbesondere auch Maßnahmen zur Erhöhung der Messgenauigkeit getroffen. Dies betrifft den Einsatz von zwei Mikrofonen sowie Möglichkeiten der automatischen Phasenkorrektur und Kompensation des Temperatureinflusses auf die Schallausbreitung. Das Messsystem ist sehr geeignet, die akustischen Eigenschaften von Fahrbahnbelägen bei nicht streifenförmigen Schalleinfall in einem Wertebereich des frequenzabhängigen Absorptionsgrades im interessierenden Frequenzbereich zwischen 200 Hz und 4 kHz von $\alpha = 0,25$ bis $\alpha = 1,0$ richtig und genau zu erfassen. Die Zielsetzungen eines in der Praxis einsetzbaren Messsystems und der objektive, Charakterisierbarkeit des Produktes „Straßenbelag“ im eingebauten, gebrauchsfähigen Zustand sind damit für Fahrbahnbeläge, deren Absorptionsgrad mehr als 25 % beträgt, erreicht. Damit sind alle offenen und hohlraumreichen Deckschichten, deren Absorptionsvermögen und damit akustische Leistungsfähigkeit bezüglich der Minderung des Reifen-Fahrbahn-Geräusches besonders interessiert, erfasst.

Abhängig von der Messgeometrie kann das Ergebnis als Reflexionsfaktor für ebene Wellen oder als Kugelwellen-Reflexionsfaktor interpretiert werden. Im erstgenannten Fall lassen sich der Absorptions-

grad und die Oberflächenimpedanz unmittelbar bestimmen. Für die Auswertung des Kugelwellen-Reflexionsfaktors ist hingegen eine aufwändigere iterative Lösung oder die direkte Bestimmung der Kugelwellenimpedanz durch entsprechende Auswertung der beiden Mikrofonsignale erforderlich.

Für senkrechten Schalleinfall ist die Betrachtung des Kugelwellenreflexionsfaktors im betrachteten Frequenz- und Impedanzbereich nicht notwendig. Der Kugelwellen-Reflexionsfaktor kann über den Reflexionsfaktor für ebene Wellenfronten ausgedrückt werden. Hierzu reicht die Messung mit einem Mikrofon aus. Die Bestimmbarkeit der Kugelwellenimpedanz aus gemessenen Reflexionsfaktoren hängt entscheidend von der Güte der Messungen ab. Es geht also weniger um die Methode der Bestimmung der akustischen Impedanz als um die Güte der Eingangsgrößen, mit denen die Algorithmen gespeist werden. Die Genauigkeitsanforderungen, die an ein solches Messsystem gestellt werden, gewinnen damit erheblich an Bedeutung.

2.1.2 Bewertung des Teilprojektes 3121

Bartolomaeus, Wolfram
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Es wurde ein in der Praxis einsetzbares Messsystem der akustischen Impedanz von Straßenbelägen entwickelt, das eine objektive Charakterisierung des Produktes „Straßenbelag“ in situ, also nicht im Labor, sondern im eingebauten, gebrauchsfähigen Zustand zum Zweck der Qualitätssicherung und Zustandserfassung am Bau und im Betrieb gewährleistet. Es diente überdies der Ermittlung von akustischen Kenngrößen als Eingangsgrößen für ein Rechenmodell zur Vorhersage von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen in Teilprojekt 3114.

Das angewendete Messverfahren verwendet zwei Mikrofone und ist so in der Lage, auch bei streifenförmigem Schalleinfall eine effektive Impedanz zu bestimmen. Dabei wird die Impedanz unmittelbar aus den Übertragungsfunktionen beider Mikrofone ermittelt. Die Anforderungen an die Genauigkeit der Messungen sind groß. Für einen Frequenzbereich zwischen 200 Hz und 4 KHz kann ein Absorptionsgrad von 0,25 bis 1,0 richtig und genau erfasst werden. Dieser Bereich ist für die Praxis ausrei-

chend. Zur Steigerung der Genauigkeit kann eine Phasen- und Amplitudenkorrektur vorgenommen werden. Diese müsste noch an Straßenoberflächen erprobt werden.

2.2 Teilprojekt 3122 „Messverfahren des Strömungswiderstandes“

2.2.1 Kurzbericht des Projektpartners (unverändert übernommen)

Beckenbauer, Thomas; Altreuther, Beate
Müller BBM, Planegg

Aufgabenstellung des Teilprojekts 3122 war, ein Messgerät für die zerstörungsfreie Messung des Strömungswiderstands von Straßenbelägen zu entwickeln. Damit sollte die schnelle Erfassung von Fahrbahneigenschaften ermöglicht werden. Es sollte die gesamte Spannweite der Beläge vom zweilagigen offenporigen Asphalt bis zur dichten Oberfläche mit Glattschliff abgedeckt werden können.

Das Verfahren sollte sich so weit als möglich an das genormte Prüfstandsverfahren der DIN EN 29053 anlehnen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die Messung beim niedrigsten möglichen Volumenfluss erfolgt, um möglichst laminare Strömungsverhältnisse im Messquerschnitt zu erreichen. Insbesondere war die Einsatzfähigkeit des Systems für Freifeldmessungen zu erreichen. Die Daten sollten als Eingangsdaten für Rechenmodelle übernommen werden können.

Der Ablauf des Projektes verlief wie folgt:

- Bestimmung der vermutlich auftretenden Drücke im Reifenaufstandspunkt und
- Bestimmung des erforderlichen E-Moduls der elastischen Zwischenlage.

Aus Literaturrecherchen sind die bestehenden Systeme bekannt:

- Fa. Rieter (CH): System aus der Automobil-Zulieferindustrie, arbeitet mit Unterdruck – diese Methode ist wegen der üblicherweise vorhandenen Verschmutzungen auf freien Strecken nicht verwendbar.
- Jens MEYER, Studienarbeit TU Dresden: Aufbau eines Laborgerätes, nicht für Freifeldversuche geeignet, kann aber weiterentwickelt werden.

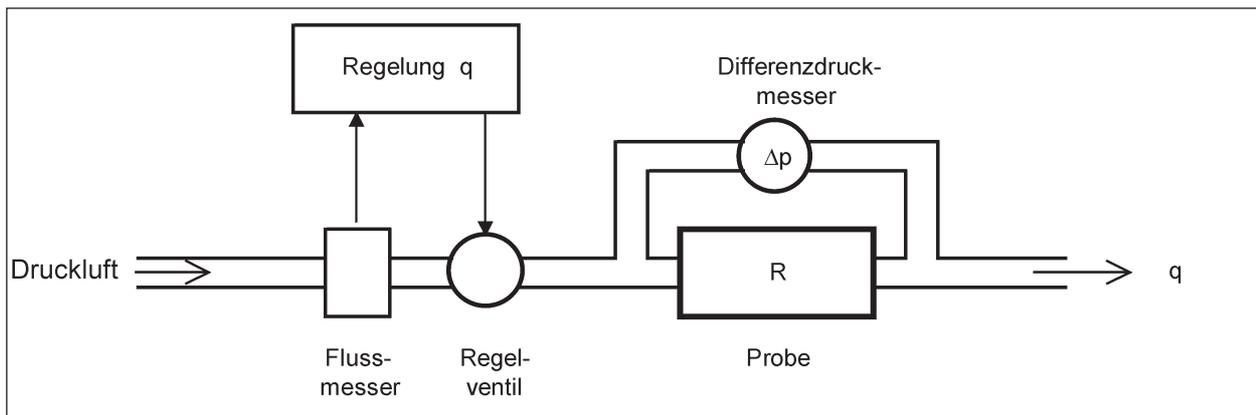


Bild 2.3: Prinzipskizze zum Aufbau des Messsystems zur Strömungswiderstandsmessung



Bild 2.4: Aufbau des Messsystems

Geräteaufbau

Bei dem realisierten Gerät wird der Volumenfluss über einen elektronischen Durchflussregler (Regelbereich: 0,5 – 25 l/min) eingestellt, der über eine RS-232-Schnittstelle am PC angesteuert wird. Die am Messfuß beim Durchströmen des Fahrbahnbelags auftretende Druckdifferenz Δp wird mit 2 Differenzdruckmessern (Messbereiche 0 – 50 Pa bzw. 0 – 1.000 Pa, Messgenauigkeit $\pm 0,5\%$ FS) gemessen. Deren Messdaten werden über eine Connectorbox und eine DAQ-Karte im PC erfasst und aufgezeichnet. Unmittelbar nach Ende der Messung wird für den gewählten Volumenfluss q der ermittelte spezifische Strömungswiderstand R_s^* der Probe ausgegeben.

Funktionsprinzip des entwickelten Messgerätes

Für das Messgerät wurde ein Gleichstromverfahren gewählt: Ein Durchflussregler erzeugt einen konstanten Volumenfluss q durch eine Querschnittsfläche A . Die exakte Bestimmung des Strömungswiderstands erfolgt mit Hilfe eines Differenzdruckmessers, der den Druckverlust Δp über der Messprobe erfasst. Der Differenzdruck wird in eine äquivalente elektrische Spannung umgewandelt, die über eine DAQ-Messkarte im PC erfasst und zusammen mit dem Volumenfluss q aufgezeichnet wird. Aus den Messgrößen wird der spezifische Strömungswiderstand R_s^* berechnet nach:

$$R_s^* = \frac{\Delta p}{q} \cdot A \quad (1)$$

Messung und Auswertung

Die auftretende Druckdifferenz wird bei mindestens 5 verschiedenen Durchflussstufen (d. h. Strömungsgeschwindigkeiten) gemessen. Der Volumenfluss q_i wird unter Berücksichtigung der barometrischen Verhältnisse und der Querschnittsfläche des Messfußes in eine Strömungsgeschwindigkeit u_i umgerechnet. Die Werte des spezifischen Strömungswiderstands $R_s^*(u_i)$ werden über der Strömungsgeschwindigkeit u_i in einem Diagramm aufgetragen. Für diese Punkte wird eine Regressionsanalyse

$$R_s^*(u) = a \cdot u + b \quad (2)$$

durchgeführt und als Ergebnis der Messung der Wert von R_s^* bei $u_{\text{ref}} = 0,0125$ m/s (entsprechend hier etwa einem Volumenfluss von $q_{\text{ref}} = 6$ l/min) abgelesen.

¹ Zur Unterscheidung von der (abweichenden) Definition des Strömungswiderstands R_s in der Norm EN 29053 wird hier für den Strömungswiderstand die Bezeichnung R_s^* verwendet.

Messgenauigkeit

Mit dem Gerät lässt sich eine Messgenauigkeit von etwa 15 % bei offenporigen Belägen und von 8 % bei dichten Belägen erreichen.

Systematisch bedingt ist das Gerät nur an trockenen Fahrbahnen und – insbesondere bei offenporigen Belägen – nur bei Windstille oder schwachem Wind (Windgeschwindigkeit unter ca. 5 m/s, bei dichten Belägen bis ca. 8 m/s) einsetzbar. Bei Messungen unter fließendem Verkehr sollte ein Mindestabstand von ca. 2 m zum ersten durchfahrenden Fahrstreifen eingehalten werden.

Validierung

Im Juni 2002 wurden Validierungsmessungen auf dem Versuchsfeld in Sperenberg durchgeführt. Die Messungen wurden an ausgewählten Testfeldern durchgeführt. Die Auswahl erfolgte repräsentativ über die verschiedenen Arten der Beläge (Asphalt, Gussasphalt, Beton), die verschiedenen Strukturen (dicht oder offenporig) sowie nach der Textur.

Weitere Messungen wurden im November 2002 auf den Testfeldern der B 56 bei Düren sowie im Juni 2003 auf der A4 westlich Frechen unternommen.

Bewertung

Die Messergebnisse zeigen gute Übereinstimmung mit den Erwartungen und den z. B. im „Sperenberg“-Projekt gewonnenen Vorbeurteilungen:

- Der spezifische Strömungswiderstand R_s^* offenporiger Beläge ist um etwa 2 Größenordnungen niedriger als der dichter Beläge. Der Strömungswiderstand an Testfeld A2 (zweilagiger offenporiger Asphalt) ist um etwa 130 Pa·s/m (ca. 50 %) geringer als der an Testfeld A1 (einlagiger offenporiger Asphalt).
- Der Strömungswiderstand R_s^* an abgestreuten, dichten Testfeldern nimmt mit zunehmender Größe des Größtkorns ab (vgl. z. B. GA5, GA7, GA1, GA3).
- Die Ergebnisse an den beiden einlagigen offenporigen Testfeldern A1 ($R_s^* \approx 260 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}$) und B17 ($R_s^* \approx 280 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}$) sind sehr gut vergleichbar.
- Die Ergebnisse an den Testfeldern A1 (40 mm einlagiger offenporiger Asphalt, $R_s^* \approx 260 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}$) und A3 (15 mm hohlraumreiche Deck-

schicht, $R_s^* \approx 3.000 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}$) weisen bei vergleichbarem Hohlraumgehalt in der offenporigen Schicht deutliche Unterschiede auf. Daraus kann man schließen, dass der erzeugte Luftstrom tief in die Struktur der offenporigen Felder eindringt.

Die Messung des Strömungswiderstands kann damit auch sehr gut zur Feststellung des Verschmutzungsgrades offenporiger Deckschichten herangezogen werden.

- Messungen vergleichbarer Beläge im Prüfstand ergeben um etwa den Faktor 2 höhere Werte des Strömungswiderstands. Dies ist plausibel, wenn die Größe der durchströmten Fläche berücksichtigt wird (die Seitenflächen der Bohrerkerne werden bei der Messung im Prüfstand nicht durchströmt).
- Messungen an Belägen unterschiedlicher Bauart zeigen eine deutliche Korrelation zwischen dem ermittelten Strömungswiderstand R_s^* und Absorptionsgrad.
- Messungen an verschiedenen Positionen desselben Belags zeigen, dass eine Qualitätskontrolle der Bauausführung mit dem hier entwickelten In-situ-Messgerät für Strömungswiderstand möglich ist.
- Bei offenporigen Belägen mit sehr großen Poren (z. B. bestimmte Formen von Dränbeton) reicht derzeit der maximal mögliche Volumenstrom nicht aus, um messbare Druckdifferenzen zu erzeugen. Daher soll der Durchflussregler für höhere Durchsätze bis zu 50 l/min ertüchtigt werden.

2.2.2 Bewertung des Teilprojektes 3122

Bartolomaeus, Wolfram
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Es wurde ein in der Praxis einsetzbares Messsystem des Strömungswiderstandes von Straßenbelägen entwickelt, das eine objektive Charakterisierung der Fahrbahnoberfläche vom zweilagigen offenporigen Asphalt bis zur dichten Oberfläche mit Glattschliff abdeckt. Es diente überdies der Ermittlung von akustischen Kenngrößen als Eingangsgrößen für ein Rechenmodell zur Vorhersage von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen in Teilprojekt 3114.

Das entwickelte Messverfahren verwendet zwei Differenzdruckmesser und ist so in der Lage, den Strömungswiderstand sowohl entlang offener als auch geschlossener Oberflächen zu bestimmen. Dabei wird der Strömungswiderstand aus dem Druckverlust bei konstantem Volumenfluss ermittelt. Die erreichte Messgenauigkeit des Verfahrens beträgt etwa 15 % bei offenporigen und 8 % bei dichten Belägen. Diese Genauigkeiten reichen für die Praxis im Allgemeinen aus.

Bei offenporigen Belägen mit sehr großen Poren reicht der maximal mögliche Volumenstrom derzeit noch nicht aus. Der Durchflussregler kann aber daraufhin angepasst werden.

3 Ergebnisse Teilverbund 3130 „Reifenoptimierung“

3.0 Problemdarstellung

Glaeser, Klaus-Peter; Sliwa, Nina
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Alle Geräuschoptimierungen von neuen Reifen beziehen sich bis heute auf die nach ISO 10844 genormte Fahrbahnoberfläche (Asphaltbeton 0/8), da die gesetzlich geforderten Geräuschemessungen gemäß der europäischen Reifengeräuschrictlinie 2001/43/EG auf dieser Fahrbahn durchgeführt werden müssen. Im Bundesfernstraßennetz ist dieser Belag jedoch nur selten vorhanden. Zudem geht aus den Ergebnissen des Projektes „Sperenberg“ [1], welches im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen von der Bundesanstalt für Straßenwesen durchgeführt wurde, u. a. hervor, dass die Spannweite der Geräuschemissionen von gleichen Reifen auf unterschiedlichen Fahrbahnen bis zu ± 5 dB(A) betragen kann. Ein weiteres Ergebnis des Projektes ist, welches die Messergebnisse zweier Neureifenkollektive von je vier handelsüblichen Reifen unterschiedlicher Hersteller berücksichtigt, dass für eine Pkw-Reifendimension der Pegel des Abrollgeräusches eine Spannweite bis zu $\pm 2,5$ dB(A) erreichen kann.

Aufgrund der obigen Feststellung, dass bislang nur die Fahrbahndecke nach ISO 10844 bei der Entwicklung von neuen (leisen) Reifen in Betracht gezogen wird, war es angezeigt, bei der Neureifenop-

timierung auch die Wechselwirkung zwischen unterschiedlichen Reifen und standardmäßig gebauten Fahrbahnoberflächen, wie z. B. Splittmastixasphalt, Gussasphalt, Beton mit Jutetuchlängsstrich, im Hinblick auf die akustischen Eigenschaften weiter zu erforschen. Darüber hinaus war die Frage zu klären, ob beim jetzigen Stand der Reifen-Runderneuerungstechnik eine Einbeziehung dieser Produkte in die Reifengeräuschrictlinie 2001/43/EG erforderlich ist. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt bezieht sich diese Richtlinie nur auf Neureifen.

Der Teilverbund 3130 beinhaltet zum einen die Entwicklung von leiseren Pkw-Reifen (Tp 3131) und zum anderen die Betrachtung von runderneuten Pkw- und Lkw-Reifen (Tp 3132a und Tp 3132b). Die notwendigen Geräuschemessungen (Anlage B) wurden von dem RWTÜV Essen (Pkw-Reifen) [2] und der Fa. Müller BBM (Lkw-Reifen) [3] auf dem Testgelände der BASt in Sperenberg durchgeführt. Die Forschungsarbeiten wurden durch die folgenden Partner wahrgenommen:

- Continental AG (Teilprojekt 3131),
- Bundesanstalt für Straßenwesen (Teilprojekt 3132).

3.1 Teilprojekt 3131 „Entwicklung von leiseren Pkw-Neureifen“

3.1.1 Kurzbericht des Projektpartners

Schmidt, Holger
Continental AG, Hannover

Entwicklungen und Optimierungen von Reifen werden derzeit durch vielfache Versuche (Geräuschemessung auf der ISO-Versuchsstrecke nach 10844) und anschließende Modifikationen (z. B. Profiländerungen) durchgeführt. Diese Vorgehensweise ist sehr zeit- und materialaufwändig und erschließt nur das Optimierungspotenzial des Reifens. Wechselwirkungen der Reifen mit verschiedenen Fahrbahndecken sind nur mit sehr hohem zusätzlichen Aufwand zu berücksichtigen.

Hauptziel in dem Projekt „Leiser Straßenverkehr“ war die Entwicklung von Konstruktionsvorgaben sowohl für den Reifen als auch für die Fahrbahn. Ein Zerlegen und Quantifizieren des Reifen-Fahrbahn-Geräusches zur Bestimmung der einzelnen Entstehungsmechanismen ermöglichen eine genauere Vorhersage (Reduzierung von Zeit- und Materialaufwand) sowie eine zielgerichtete Optimie-

rung der Reifen und Fahrbahnen. So ist eine Optimierung auf verschiedene Fahrbahnoberflächen zusätzlich möglich. Aus der Kenntnis der Geräuschenstehung lassen sich Vorgaben für die Reifen- und Fahrbahnkonstruktion ableiten.

Das Ziel dieses Teilprojektes lag im vertieften Verständnis des Reifen-Fahrbahn-Geräusches und der Konstruktion einer optimierten Reifen-Fahrbahn-Kombination unter Beibehaltung der wesentlichen Gebrauchseigenschaften sowie der Ermittlung der grundsätzlichen Konstruktionseinflüsse der Reifen und Fahrbahnen auf die Schallemissionen und Entwicklung einer optimalen Kombination. Ausgehend von glatten und profilierten Reifen wurden die folgenden Einflussparameter in einem statistischen Versuchsplan untersucht:

- Fahrbahnbeläge
Gussasphalt, Splittmastixasphalt, Beton, ISO-Asphalt, Drainasphalt
- Reifenprofil
Glatt-, Sommer- und Winterreifen, technische Profile
- Reifenaufbau
Steifigkeit, Shore-Härte
- Reifenunterbau
Bandage zur Variation der Bodenaufstandsfläche

Die gesamte Untersuchung und Optimierung erfolgte in 2 Einzelschritten-„Loops“:

- Loop 1 - Ermittlung des Einflusses des Reifenaufbaus und der Fahrbahnbeläge auf die Geräuschenstehung.
Testumfang: 40 Radsätze, 5 verschiedene Fahrbahnbeläge
- Loop 2 - Ermittlung optimaler Reifen-Fahrbahn-Kombinationen
Testumfang: 7 Radsätze, 5 verschiedene Fahrbahnbeläge

Geräuschmessungen der einzelnen Reifenmodifikationen auf der ISO-Strecke wurden von der Continental AG durchgeführt. Messungen auf anderen Fahrbahnbelägen wurden im Teilprojekt 3184 „Messung von Geräuschen“ (Anlage B) durchgeführt. Durch gezielte Auswertung der Untersuchungen wurde eine Gewichtung der Einflussparameter erstellt. Diese diente als Basis für das weitere Vorgehen.

Entwurf und Konstruktion der Reifen erfolgten in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern bei der Continental AG. Insgesamt sind für die Untersuchungen 188 Reifen in 11 Profilvarianten und 6 Laufstreifenmischungen und 3 unterschiedlichen Bandagen zur Einstellung der Druckverteilung gebaut worden.

Zur systematischen Ermittlung des Reifenaufbaus auf die Geräuschenentwicklung auf unterschiedlichen Fahrbahnen wurden ausgehend von einem einheitlichen Aufbau die Laufstreifenmischung und das Profil sowie die Bandage modifiziert. In Bild 3.1 sind die Laufstreifenprofile von Loop 1 in aufsteigender Profilsteifigkeit von links nach rechts dargestellt.

Der Glattreifen verfügt über kein Profil. P1 und P1 U sind Sommerreifen mit umfangsorientierten Profilen (U steht für einen veränderten Bandagenunterbau). P2 S und P2 W sind quer orientierte Profile, wobei S für Sommer und W für Winter steht. P3 und P4 sind handelsübliche Winterprofile. Zusätzlich sind zwei weitere Nicht-Continental-Reifen zu Vergleichszwecken in der Versuchsreihe mitgelaufen. Für den Laufstreifen wurden Gummimischungen mit Shore-Härten zwischen 50 und 70 ShA verwendet.

Die Schalldruckmessungen für Loop 1 wurden in 7,5 m Abstand und 1,2 m Höhe auf der rechten Seite der Fahrbahn (in Fahrtrichtung) bei 80 km/h durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Bild 3.2 zusammengestellt.

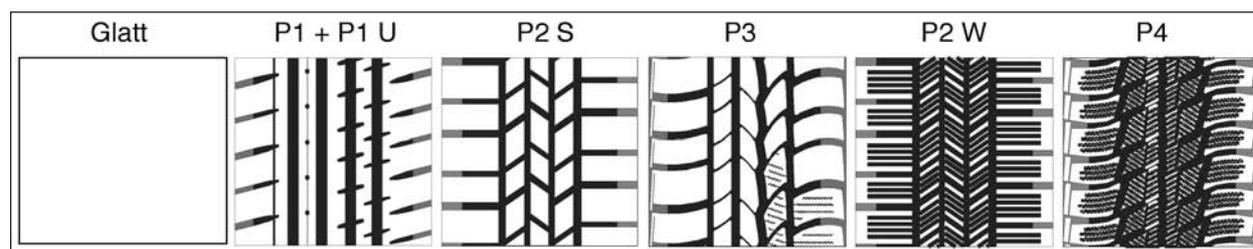


Bild 3.1: Profilgestaltung in Loop 1

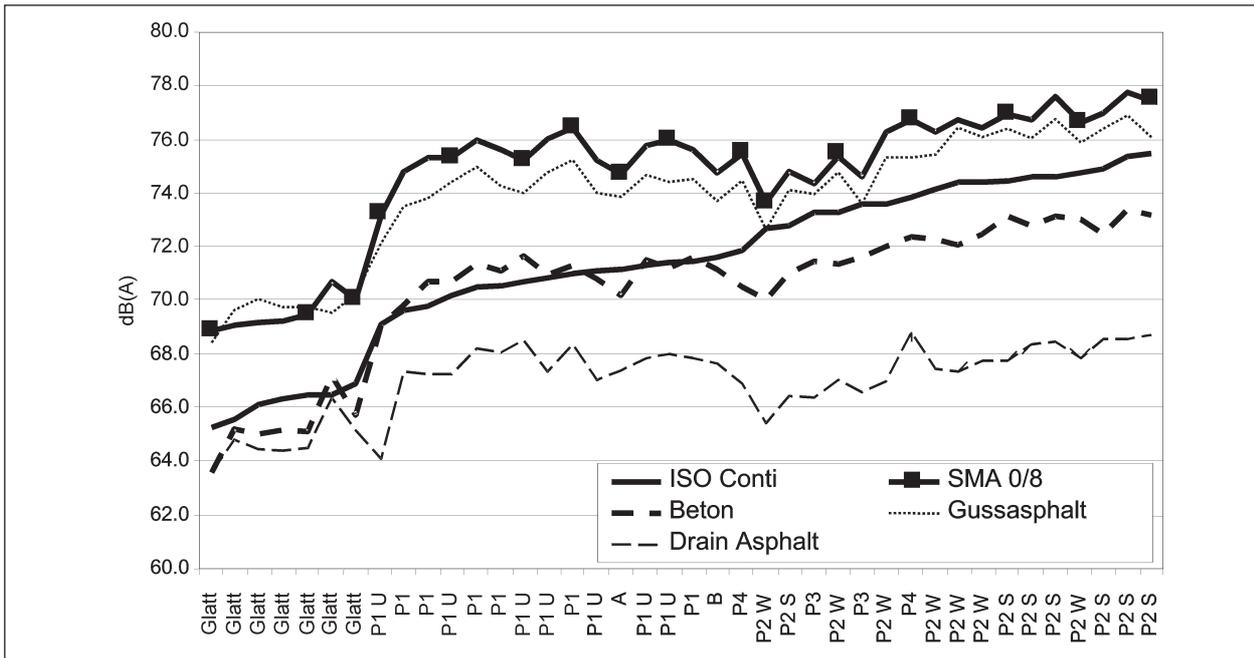


Bild 3.2: Schallmessergebnisse des Reifenkollektivs aus Loop 1

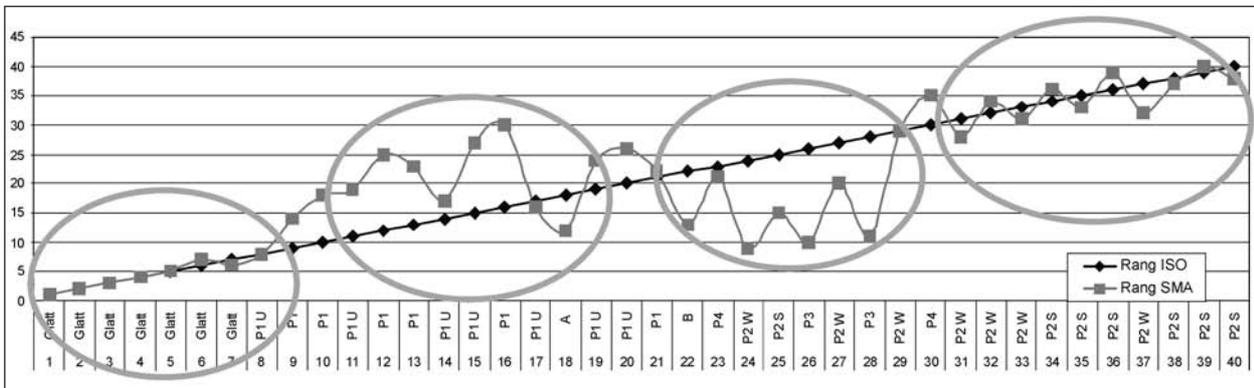


Bild 3.3: Rangfolgen der Fahrbahnbeläge im Vergleich zum ISO-Belag innerhalb des Reifenkollektivs aus Loop 1

In Bild 3.3 sind die Reifen entsprechend den auf der ISO-Strecke gemessenen Schallpegeln in aufsteigender Reihenfolge sortiert dargestellt, wie an der Linie ersichtlich ist. Überlagert dazu ist die Rangfolge der auf dem Splittmastixasphalt gemessenen Pegel in der Grafik aufgetragen. Es sind vier Bereiche zu unterscheiden. Auf der linken Seite der Grafik (Glattreifen) ergeben sich vergleichbare Rangfolgen wie auf der ISO-Strecke. Dies gilt auch für die im rechten Teil der Grafik dargestellten Reifen (quer orientierte Profile). Die Rangfolgen der beiden mittleren Bereiche zeigen erhebliche Unterschiede gegenüber den Ergebnissen auf der ISO-Strecke. Es ergibt sich eine Rangumkehr für die umfangsorientierten Sommerreifen und einige Winterreifen. Dies war auch auf allen anderen Belägen zu beobachten.

Dies zeigt eine Schwierigkeit bei der Entwicklung leiser Reifen. Die viel verwendeten Sommerreifen sind auf „normalen“ Straßen lauter als unter Freigabebedingungen, bei den weichen Winterreifen ist dies umgekehrt. Die Gründe sind in der Frequenzabhängigkeit des Reifen-Fahrbahnkontaktes zu suchen. Je nach Fahrbahn werden unterschiedliche Mechanismen aktiviert.

Die Auswertung der Messergebnisse auf den verschiedenen Fahrbahnen hinsichtlich der Korrelation mit Konstruktionsparametern ergab eine systematische Abhängigkeit vom Profildesign. Profile mit geringem Quernegativ waren prinzipiell leiser, aber signifikant war diese Abhängigkeit nicht, was auch an der kleinen Stichprobe und der geringen Streubreite der Ergebnisse liegen kann. Der Einfluss der

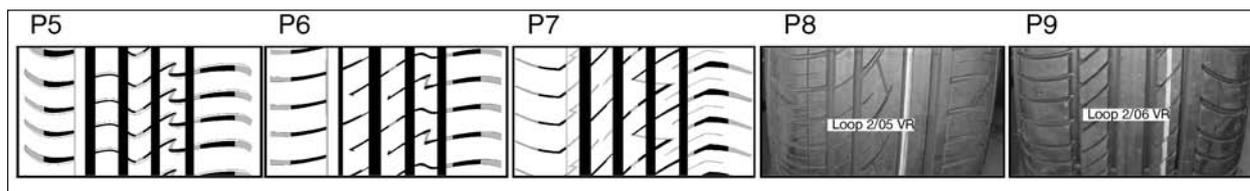


Bild 3.4: Reifenprofile für Loop 2

Mischungen war erkennbar und die Einflüsse der Konstruktionsparameter des Laufstreifens gaben deutliche Hinweise auf Minderungsmöglichkeiten. Aus den Messergebnissen wurde die Hypothese aufgestellt, dass mit einer Profilloptimierung, einer Optimierung des Laufstreifens und einer Versteifung der Seitenwand ein Reifen konstruiert werden kann, der zu einem geringeren Schalldruckpegel bei der Vorbeifahrt führt, ohne dabei in anderen Gebrauchseigenschaften wesentliche Abstriche zu machen. Eine derartige Reifenkonstruktion mit selbsttragender Seitenwand (Self Supporting Run-flat-SSR) liegt auch im Trend der Zeit, da ein solcher Reifen Vorteile im Pannenfalle aufweist. Außerdem hat eine solche Konstruktion den Zusatznutzen, dass Pannenfahrt über größere Distanzen möglich ist und das Reserverad entfallen kann, wodurch sich Platz und Gewichtsvorteile ergeben.

Für den Loop 2 wurden die Profilvarianten P5 bis P9 entwickelt (Bild 3.4), die sich durch unterschiedliche Laufflächensteifigkeiten unterscheiden. Die Laufstreifenmischungen aller Reifen des 2. Loops wiesen Laufstreifenmischungen mit Shore-Härten zwischen 64 und 70 ShA auf. Die Varianten P8 und P9 hatten zusätzlich eine verstärkte Seitenwand, ausgeführt in jeweils zwei Unterbauvarianten. Die Messung der Schalldruckpegel erfolgte durch den RW TÜV auf denselben Fahrbahnbelägen wie in Loop 1 in Sperenberg, wobei die Messungen auf der ISO-Fahrbahn wetterbedingt nicht durchgeführt werden konnten. In Bild 3.5 sind die Summenpegel der Vorbeifahrtmessungen bei 80 km/h aller in Loop 2 verwandten Reifen den nochmals vermessenen Reifen P1 und P3 gegenübergestellt. Die Profile P5 bis P7 zeigten keine wesentliche Verbesserung gegenüber den beiden Referenzreifen. Die Reifen mit der verstärkten Seitenwand hingegen zeigen eine deutliche Pegelreduzierung.

Insbesondere das Profil P8 zeigt auf allen Belägen die größten Minderungen. Der Reifen P8 SSR (5) wurde für die Projektvorstellung auf den Zielbelägen der B 56 ausgewählt. Das Bild 3.6 zeigt die Wirkung der verstärkten Seitenwände im Schall-

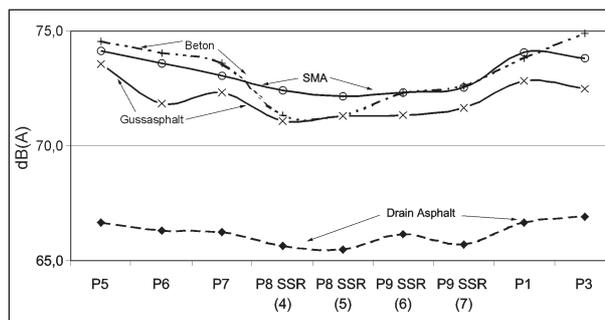


Bild 3.5: Schallmessergebnisse des Reifenkollektivs aus Loop 2

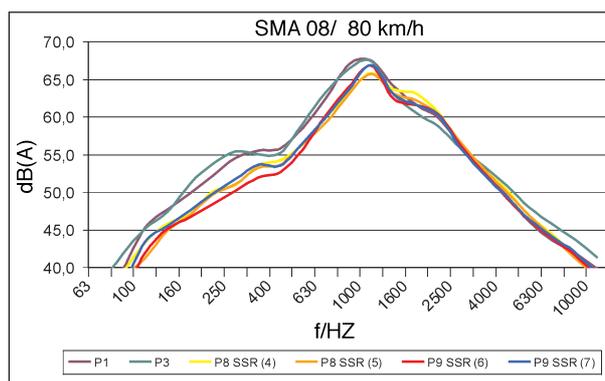


Bild 3.6: Vergleich der SSR-Reifen zu den Referenzreifen auf Splittmastixasphalt

druckspektrum exemplarisch auf dem Splittmastixasphalt. Die auf dem Splittmastixasphalt, Gussasphalt und Beton gemessenen Spektren weisen den maximalen Schalldruck im Terzband 1.000 Hz auf, während beim Drainasphalt zwei Maxima im Frequenzband 500 Hz und 1.000 Hz liegen. Auf Splittmastixasphalt sind die Spektren im Frequenzbereich unter 1.000 Hz deutlich niedriger als bei den Referenzreifen (P1 und P3).

Bei den Abschlussmessungen des Projektes auf der B 56 wurden Schalldruckpegelreduzierungen von 1,3 dB(A) auf Splittmastixasphalt und 1,7 dB(A) auf Beton gegenüber einem Reifen eines anderen Herstellers (A) gemessen. Einschränkend zu diesen Ergebnissen ist zu bemerken, dass eine Serienumsetzung der Konstruktionen noch nicht erfolgt ist und mit einer Verringerung der erreichten Pegelminderung bei Serienumsetzung gerechnet werden muss.

Darüber hinaus zeigten frühere Messungen, dass die auf ISO-Belägen gemessenen Schallpegel nicht auf andere Straßenbeläge übertragbar sind. Leise Reifen auf dem ISO-Belag müssen nicht zwangsläufig auch auf anderen Belägen leise sein.

3.1.2 Bewertung des Teilprojektes 3131

Glaeser, Klaus-Peter
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Alle Entwicklungen zur Geräuschoptimierung von neuen Reifen wurden bislang auf nach ISO 10844 genormten Fahrbahnoberflächen (Asphaltbeton 0/8) durchgeführt, da die gesetzlich geforderten Geräuschmessungen gemäß der europäischen Reifengeräuschrichtlinie 2001/43/EG auf dieser Fahrbahn ausgeführt werden müssen. Im Bundesfernstraßennetz ist dieser Fahrbahnbelag jedoch nur selten zu finden.

Daher war es für dieses Projekt angezeigt, dass bei der Neureifenoptimierung die Wechselwirkung von Reifen und Straße dahingehend berücksichtigt wird, dass standardmäßig häufig gebaute Fahrbahnoberflächen wie z. B. Splittmastixasphalt, Gussasphalt, Beton mit Jutetuchlängsstrich und Drainasphalt mit in die Untersuchung einbezogen werden sollten.

Die geräuschkmäßige Optimierung der Pkw-Neureifen erfolgte in zwei Schritten:

1. Grundlagenuntersuchung mit 38 Reifensätzen (Glattreifen, Sommerreifen, Winterreifen und Reifen mit technischen Profilen) der Größe 205/55 R16 mit verschiedenen Steifigkeiten, Reifenunterbauten und Shore-Härten zwischen 50 und 70 ShA auf verschiedenen Fahrbahnoberflächen (Gussasphalt, Splittmastixasphalt, Beton und Normfahrbahn nach ISO 10844).
2. Ermittlung optimaler Reifen-Fahrbahn-Kombinationen mit sieben Reifensätzen gleicher Größe auf den o. g. fünf Fahrbahnoberflächen.

Hierbei stand die zielgerichtete Optimierung der Reifen auf reale Fahrbahnoberflächen, und zwar auf die, die am häufigsten im Bundesfernstraßennetz vorhanden sind, im Vordergrund. Neben den Reifensätzen zur Geräuschoptimierung wurden in der Untersuchung immer noch zwei Reifensätze unterschiedlicher Hersteller als so genannte Referenzreifen mit gemessen¹. Die Bezugsgeschwin-

digkeit für die Geräuschmessungen betrug 80 km/h, es wurden jedoch auch noch zusätzlich Messungen bei 100 km/h und 120 km/h durchgeführt. Als Versuchsträger für die Reifen diente ein VW Passat. Die Ermittlung der maximal möglichen Geräuschminderung von Reifen, Fahrzeug und Fahrbahn erfolgte zum Schluss des Projektes anhand von Messfahrten auf den Teststrecken der B 56 (siehe Kapitel 9).

Die Grundlagenversuche zeigten die Schwierigkeiten bei der Entwicklung leiser Reifen nach der Methode „Trial and Error“ auf. Die häufig verwendeten härteren Sommerreifen sind auf realen Fahrbahnen lauter als auf der „Normfahrbahn“, weichere Winterreifen hingegen können auch leiser sein. Anhand der Auswertung der Messergebnisse, verbunden mit einer Analyse der Kontaktflächen und -drücke, wurden eine Profil- und Laufstreifenoptimierung sowie eine Verstärkung der Reifenseitenwände durchgeführt. Dabei sollten andere Gebrauchseigenschaften des Reifens möglichst nicht verändert werden.

Im zweiten Entwicklungsschritt unterschieden sich die Reifen in den Laufstreifenhärten (von 64 ShA bis 70 ShA) und zwei Reifen hatten eine verstärkte Seitenwand (SSR Reifen [Self Supporting Runflat Reifen]). Die letztgenannten Reifen zeichneten sich auf allen Fahrbahnbelägen als sehr leise Reifen aus. Auf dem Splittmastixasphaltbelag der B 56 wurden gegenüber einem Referenzreifen aus dem Hause Continental um 1,3 dB(A) geringere Reifen-Fahrbahn-Geräuschpegel ermittelt, auf dem Betonbelag der B 56 sogar um 1,7 dB(A) geringere Geräuschpegel. Inwieweit die erreichten Pegelminderungen bei einer Umsetzung in Serie erhalten bleiben, bleibt abzuwarten.

Die bei Projektbeginn avisierten 2 dB(A) Geräuschreduktion konnten somit nicht ganz erreicht werden. Dies kann dann möglich werden, wenn die mathematische Simulation des Reifen-Fahrbahn-Kontaktes dahingehend Fortschritte macht, dass mit entsprechenden Textureingangsdaten in das Modell ein noch leiserer Reifen mit Unterbau und Profil konstruiert werden kann.

Es bleibt als zusätzliches Teilergebnis dieses Forschungsprojektes festzuhalten, dass die auf der

¹ Hierbei handelte es sich um einen Satz Michelin-Reifen der Größe (Breite) 195 und einen Satz Yokohama-Reifen der Größe 205.

Normfahrbahn ermittelten Schalldruckpegel nicht auf andere Straßenbeläge übertragbar sind, d. h. leise Reifen auf dem ISO-Belag müssen nicht zwangsläufig auch auf allen anderen Belägen leise sein. Der relativ glatte ISO-Belag eignet sich gut zur Optimierung der Reifen-Profilgestaltung. Dort ist die Spreizung der Messergebnisse am größten. Der Drainasphalt unterscheidet fast gar nicht zwischen unterschiedlichen Profilen. Die raueren, in der Realität am häufigsten vorkommenden Fahrbahnbeläge Splittmastixasphalt, Gussasphalt und Beton mit Jutetuchlängsstrich lassen neben den Profilunterschieden auch noch die Einflüsse des Reifenunterbaus und der Reifenseitenwände auf die Geräuschemissionen erkennen. Dies ist auch der Grund, warum ISO auch an der Weiterentwicklung einer besser geeigneten Fahrbahnoberfläche für Reifen-Fahrbahn-Geräuschmessungen arbeitet.

Der in diesem Projekt gewählte ganzheitliche Ansatz für Reifen und Fahrbahn hat das Optimierungspotenzial für eine mögliche Verkehrslärmreduzierung durch Minderung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche aufgezeigt.

3.2 Teilprojekt 3132a „Entwicklung von leiseren runderneuerten Reifen“, Teil: Pkw-Reifen – Kurzbericht des Projektpartners

Glaeser, Klaus-Peter
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

In diesem Teilprojekt ging es darum, zu überprüfen, welche Geräuschentwicklung bei der Verwendung von runderneuerten Reifen gemessen werden kann, denn verbindliche Vorgaben existieren zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur an Neureifen.

In Anlehnung an die Richtlinie 2001/43/EG wurden vom RWTÜV mit runderneuerten Pkw-Winterreifen in zwei gängigen Größen und Profilen Geräuschmessungen auf der genormten Fahrbahnoberfläche (ISO 10844) mit 80 km/h in Sperenberg durchgeführt. Bei den runderneuerten Reifen wurden bei der Herstellung durch einen industriellen Runderneuerer zwei verschiedene Gummimischungen verwendet. Die Ausgangskarkassen stammten von drei verschiedenen Herstellern und hatten zwei unterschiedliche Herstellungsjahre.

Die Geräuschemissionswerte der Reifen mit der Nennbreite von 175 betragen im Mittel 73 dB(A), die mit der Nennbreite von 195 betragen im Mittel 72 dB(A). Die Pegeldifferenz zwischen lautester Karkassen- bzw. Gummimischungskombination und leisester Kombination betrug ca. 2,5 dB(A). Der Einfluss der Gummimischung ist mit einer Pegeldifferenz von 1 dB(A) gering, der Einfluss des Karkassenalters ist uneinheitlich und hat – ebenfalls bezogen auf jeweils einen Ausgangskarkassenhersteller – eine Pegeldifferenz von 1 dB(A) bis 1,5 dB(A) zur Folge.

Mit zwei geringfügigen Überschreitungen liegen alle gemessenen Geräuschpegel unterhalb der in der Richtlinie 2001/43/EG angegebenen Grenzwerte von 74 dB(A) für Reifen der Nennbreite 175 bzw. 75 dB(A) für Reifen der Nennbreite 195.

3.3 Teilprojekt 3132b „Entwicklung von leiseren runderneuerten Reifen“, Teil: Lkw-Reifen – Kurzbericht des Projektpartners

Glaeser, Klaus-Peter
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Etwa die Hälfte aller Lkw in Deutschland fährt mit runderneuerten Reifen. Insofern ist zu überlegen, ob runderneuerte Lkw-Reifen zukünftig mit in die Reifenrichtlinie 2001/43/EG aufgenommen werden sollen, welche (evtl. geänderten) Anforderungen an das Prüfverfahren gestellt werden müssen und welche Grenzwerte anzusetzen sind.

Von der Fa. Müller BBM wurden die Geräuschemissionen von runderneuerten Lkw-Radial-Reifen gemäß o. g. EU-Richtlinie gemessen. In Abstimmung mit dem Bundesverband Reifenhandel und Vulkaniseurhandwerk wurden folgende Reifensätze kostenfrei gefertigt und untersucht:

- 24 Sätze der Firma Reifen IHLE GmbH (18 heißerneuert und 6 kalterneuert),
- 10 Sätze der Firma Bandag (alle kalterneuert).

Es handelte sich um Reifen mit unterschiedlichen Ausgangskarkassen, verschiedenen Reifengrößen und unterschiedlichen Profilen (Lenk-, Auflieger- und Antriebsachsenreifen). Als Referenz waren 5 Standard-Neureifensätze in die Untersuchung mit einbezogen.

Bei dem Prüfverfahren gemäß EU-Richtlinie 2001/43/EG wird der maximale A-bewertete Schall- druckpegel L_{pAFmax} im Geschwindigkeitsbereich von 60 km/h bis 80 km/h ermittelt und anschließend der Rollgeräuschpegel L_R bei $v_{Ref} = 70$ km/h berechnet. Als Prüfgelände stand das Test- feld A4 (Deckschicht mit Asphaltbeton 0/8 gemäß ISO 10844) auf dem Testgelände in Sperenberg zur Verfügung. Als Prüffahrzeug wurde eine Sattelzug- maschine IVECO Stralis mit Zusatzgewichten zur Einstellung der Beladung verwendet.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

- Alle runderneueren Reifen hielten die derzeiti- gen Grenzwerte der EU- Richtlinie ein.
- Der Rollgeräuschpegel hing stark von der Rei- fengröße und dem bei der Runderneuerung auf- gebrachten Profil ab.
- Der verwendete Karkassentyp hatte praktisch keinen Einfluss auf den Rollgeräuschpegel. Bei gleichem Laufstreifentyp (Profil) und verschie- denen Ausgangskarkassen gleicher Größe be- trug der Unterschied des Rollgeräuschpegels maximal 1 dB(A).
- Bei verschiedenen Profilen (abhängig vom Ein- satzzweck) und gleicher Reifengröße sowie Rei- fenbreite betrug der Unterschied des Roll- geräuschpegels maximal 2 dB(A) (bei den Ihle- Reifen) bzw. 3 dB(A) (bei den Bandag-Reifen).
- Die runderneueren Reifen mit Traktionsprofil er- reichten maximal den Rollgeräuschpegel ent- sprechender Neureifen. Sie lagen aber auch bis zu 3 dB(A) darunter.
- Die Rollgeräuschpegel runderneuerter Reifen mit Lenkprofil lagen deutlich unter dem Grenz- wert (4-6 dB(A) bei den Ihle-Reifen, 3-4 dB(A) bei Bandag-Reifen)!
- Aufgrund der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reifen-Geräuschemissionen wurden im Be- reich von 60 km/h bis 80 km/h, bezogen auf die Referenzgeschwindigkeit von 70 km/h, Pegel- unterschiede von ca. ± 2 dB(A) [Lenkachsen- profil] und ± 3 dB(A) [Traktionsprofil] festge- stellt.
- Systematische Unterschiede zwischen kalt- und heißerneuerten Reifen sowie laufrichtungs- abhängigen und -unabhängigen Reifen konnten nicht festgestellt werden.

Anmerkungen:

- Der Einfluss mehrmaliger Runderneuerung auf den Rollgeräuschpegel wurde nicht untersucht.
- Produktionsbedingte Schwankungen des Roll- geräuschpegels konnten nicht ermittelt werden.

3.4 Bewertung des Teilverbundes 3132

Glaeser, Klaus-Peter
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

In Anlehnung an die Richtlinie 2001/43/EG wurden mit runderneueren Pkw-Winterreifen in zwei gän- gigen Größen und Profilen Geräuschemessungen auf einer genormten Fahrbahnoberfläche (ISO 10844) mit 80 km/h durchgeführt. Bei den runder- neuerten Reifen sind bei der Herstellung durch einen industriellen Runderneuerer (Vergölst) zwei verschiedene Gummimischungen verwendet wor- den. Die Ausgangskarkassen stammten von drei verschiedenen Herstellern und hatten zwei unter- schiedliche Herstellungsjahre.

Die Geräuschemissionswerte der Reifen mit der Nennbreite von 175 bzw. 195 betragen im Mittel 73 dB(A) bzw. 72 dB(A). Die Geräuschpegeldifferenz von lautester Karkassen- bzw. Gummimischungs- kombination zu leisester Kombination betrug ca. 2,5 dB(A). Der Einfluss der verschiedenen Gummi- mischungen ist mit einer Pegeldifferenz von 1 dB(A) gering, der Einfluss des Karkassenalters hat – be- zogen auf jeweils einen Ausgangskarkassenher- steller – eine Pegeldifferenz von 1 dB(A) bis 1,5 dB(A) zur Folge.

Mit nur zwei geringfügigen Überschreitungen lie- gen alle gemessenen Geräuschpegel unterhalb der in der Richtlinie 2001/43/EG angegebenen Grenz- werte von 74 dB(A) für Reifen der Nennbreite 175 bzw. 75 dB(A) für Reifen der Nennbreite 195.

Runderneuerte Lkw-Reifen haben einen nicht zu vernachlässigenden Marktanteil von ca. 50 %. Von der Fa. Müller BBM wurden die Geräuschemissio- nen von runderneueren Lkw-Radial-Reifen gemäß o. g. EU-Richtlinie gemessen.

In Abstimmung mit dem Bundesverband Reifen- handel und Vulkaniseurhandwerk (BRV) wurden fol- gende Reifensätze (je 4 Stück auf unterschiedli- chen Ausgangskarkassen) gefertigt und unter- sucht:

- 24 Reifensätze der Firma Reifen IHLE GmbH (18 heißerneuert und 6 kalterneuert),
- 10 Reifensätze der Firma Bandag (alle kalterneuert).

Als Referenz waren fünf Standard-Neureifensätze in die Untersuchung mit einbezogen. Als Prüffeld wurde ein Asphaltbeton 0/8 gemäß ISO 10844 in Sperenberg befahren.

Eine Sattelzugmaschine IVECO Stralis mit Zusatzgewichten zur Einstellung der Beladung diente als Prüffahrzeug. Die Bezugsgeschwindigkeit bei den Lkw-Reifengeräuschemessungen betrug 70 km/h.

Alle untersuchten Reifen hielten die derzeitigen Grenzwerte der EU-Richtlinie ein [Grenzwerte: Reifen mit Traktionsprofil: 78 dB(A), Reifen mit Lenkachsenprofil: 76 dB(A)] bzw. unterschritten die Grenzwerte um bis zu 3 dB(A). Die runderneuerten Reifen mit Lenkachsen-, mit Traktions- und mit Trailerprofil sind entweder leiser oder maximal gleich laut wie entsprechende Neureifen [4]. Ein Einfluss der Ausgangskarkasse konnte nicht festgestellt werden. Ein gravierender Unterschied zwischen den beiden Produktionsverfahren (Kalt- und Heißerneuerung) konnte ebenfalls nicht festgestellt werden. Lenkachsenreifen sind bedeutend leiser als Antriebsachsenreifen [ca. 4-5 dB(A)]. Dieses ist auch bei Neureifen feststellbar. Die Profilierung des Reifens hat also einen starken Einfluss auf die Geräuschemissionen. Anhänger- bzw. Aufliegerachsenreifen liegen bzgl. der Geräuschemissionen in der Größenordnung von Lenkachsenreifen. Eine wirksame Reduzierung der Gesamtgeräuschemissionen von Lkw könnte am ehesten erreicht werden, wenn leisere Antriebsachsenreifen entwickelt würden. Hier wurde das größte Optimierungspotenzial erkannt.

Literatur

- [1] BECKENBAUER, Th.; SPIEGLER, P.; van BLOKLAND, G.; KUIJPERS, A.; REINIK, F.; HUSCHEK, S.; STÜTZE, T.; HEERKENS, J.: „Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 847, BMVBW, 2002
- [2] BACHURSKI, J.: „Rollgeräuschemessungen an neuen Pkw-Reifen Loop 1-2002 und Loop 2-2003“, Leiser Straßenverkehr, RW TÜV Fahrzeug GmbH, Würselen, 12/2003 (darauf bezieht sich die Bewertung)
- [3] BECKENBAUER, Th.; MÜLLER, D.: Geräuschemission runderneuerter Lkw-Reifen, Prüfbericht 54 779/7, Müller BBM, München, 10/2003
- [4] de GRAAFF u. a.: „Tyre/road noise measurements of truck tyres“, M+P. DWW. 03.7.1 Report, DWW, Delft, 1/2004

4 Ergebnisse Teilverbund 3140 „Fahrzeugoptimierung“

4.0 Problemdarstellung

Sliwa, Nina
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Die Geräuschemissionen von Fahrzeugen setzen sich aus den Emissionen unterschiedlicher Teilschallquellen zusammen. Aufgrund wirksamer Geräuscheminderungsmaßnahmen an verschiedenen Teilen des Fahrzeugs treten mittlerweile im Stadtverkehr ab einer Geschwindigkeit von 50 km/h die Reifen-Fahrbahn-Geräusche beim Pkw in den Vordergrund. Durch Dämmung oder Kapselung am oder im Radhaus eines Pkw sollte der Frage nachgegangen werden, ob dieses eine Möglichkeit zur Reduzierung des Reifen-Fahrbahn-Geräusches darstellt. Dabei sollte aufgezeigt werden, in welchem Maße eine Geräuscheminderung für einen Pkw einerseits technisch möglich und andererseits straßentauglich machbar ist. Darüber hinaus war auszuloten, welches Potenzial zur Minderung der Abstrahlung des dort entstandenen Geräusches durch das Fahrzeug selber vorhanden ist.

Mit den Forschungsarbeiten im Teilverbund 3140 „Fahrzeugoptimierung“ war der Partner Volkswagen AG betraut, weiterführende Arbeiten wurden von der BAST übernommen.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Forschungsarbeiten in Form eines vom Partner erstellten Kurzberichtes vorgestellt. Seitens der Projektleitung wurden die Forschungsarbeiten abschließend bewertet.

4.1 Teilprojekt 3141 „Geräuschabsorption und -abschirmung durch das Radhaus (Pkw)“

4.1.1 Kurzbericht des Projektpartners

Ziehme, Heiner
Volkswagen AG, Wolfsburg

Mittels fahrzeugseitiger Maßnahmen sollte das beim Fahren nach außen abgestrahlte Geräusch, das letztlich durch den Kontakt des Reifens mit der Fahrbahn entsteht, so weit wie möglich gedämpft werden. Im Rahmen eines ganzheitlichen Ansatzes zur Minderung von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen ist neben den weiteren Verursachern dieser Geräuschkomponente, wie Fahrbahn und Reifen, auch das Fahrzeug, welches mit bestimmten Reifen auf speziellen Fahrbahnen betrieben wird, hinsichtlich seiner Möglichkeiten, einen Beitrag zur Minderung zu leisten, untersucht worden.

Derzeit werden die Kunststoff-Schalen im Radhaus neben anderen Anforderungen im Hinblick auf Korrosionsschutz der Karosserie in akustischer Hinsicht nur zur Minderung des Fahrzeuginnengeräusches ausgelegt.

Das Ergebnis der ausführlichen Vorversuche und Prinzipuntersuchungen zeigt ganz eindeutig, dass sich die pegelbestimmende Schallquelle außerhalb des Radhauses selbst befindet und sämtliche Maßnahmen im Radhaus nur in sehr geringem Maße geeignet sind, im Fernfeld messbare Pegelminderungen zu erzeugen. In der direkten Kontaktfläche zwischen Rad und Fahrbahnoberfläche entsteht das Maximum an Schall, der sich nach allen Richtungen ausbreiten kann. Lediglich ein relativ geringer Schallanteil dieses Kontaktgeräusches lässt sich im Radhaus durch entsprechende Absorber oder durch seitliches Schließen des Radhauses bis an die Unterkante der Karosserie an der weiteren Ausbreitung hindern. Unter Berücksichtigung dieser neuen Erkenntnisse wurde das Teilprojekt „Absorption und Abschirmung durch das Radhaus“ ohne die Herstellung von serientauglichen Versuchs-Radhausschalen vorzeitig beendet. Die maximal erzielbaren akustischen Verbesserungen liegen in einer Größenordnung von wenigen Zehntel Dezibel, während die Effekte durch Profilgestaltung oder Gummimischung der Reifen und Modifikationen der Fahrbahnoberfläche eine Wirkung von mehreren Dezibel auf das Rollgeräusch haben können. Eine nennenswerte Absenkung des Reifen-

Fahrbahn-Geräusches war lediglich durch eine Abschirmung der Kontaktfläche zwischen dem Reifen und der Fahrbahn selber möglich. Es ist auch ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass die relativ bescheidenen Verbesserungen durch Maßnahmen am oder im Radhaus mit massiven, nicht serientauglichen, teilweise nicht fahrtauglichen Prinzipversuchen erzielt wurden. Bei serienfähigen Ausführungen dieser Maßnahmen ist zu erwarten, dass nur ein Teil dieses bereits sehr kleinen Potenzials zu erschließen ist. Für alternative Mittel zur Reduktion der Reifen-Fahrbahn-Geräusche durch das Fahrzeug selber ist die dominierende Schallquelle in der Kontaktfläche Reifen/Fahrbahn ebenfalls nicht erreichbar. Denkbar wären Absorber oder Schallschirme im akustischen Nahfeld, diese sind jedoch in keiner Weise praxistauglich. Ohne die Gebrauchstüchtigkeit eines Fahrzeuges wesentlich einzuschränken sind hier keine fahrzeugseitigen Maßnahmen möglich, die eine ausreichende Abschirmung der Schallquelle ermöglichen. Aspekte der Zulassungsfähigkeit und ein mögliches Gefährdungspotenzial, das von irgendwelchen Lappen oder Schallschirmen direkt am Reifen auf andere Verkehrsteilnehmer im fahrenden Betrieb ausgehen kann, verbieten an dieser Stelle die Hinzufügung von fahrzeugfesten Teilen.

Ebenso scheidet der Einsatz von Verfahren aus, bei welchen durch Überlagerung mit phasenmanipulierten LautsprecherSignalen eine weitgehende Auslöschung des Quellengeräusches erzielt werden soll (Stichwort: Antischall). Im Prinzip gehört jeder Absorber (gleich ob aktiv oder passiv) direkt in oder an die Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn.

Die Messungen auf der Straße (Prüfgelände Sperrenberg) haben nach unserer Auffassung zusammengefasst folgendes Ergebnis erbracht:

- Das Geräuschmaximum befindet sich in der Kontaktfläche Reifen-Fahrbahn.
- Eine Absorption ist im Radhaus ohne durchschlagende Wirkung.
- Eine partielle Abdeckung der Radausschnitte hat zur Seite keine Wirkung.
- Die Wirkung maximaler Absorptionsmaterialien geht bei inhomogener Fahrbahnoberfläche komplett verloren.

Die Messungen auf dem Prüfstand haben zusammengefasst folgendes Ergebnis:

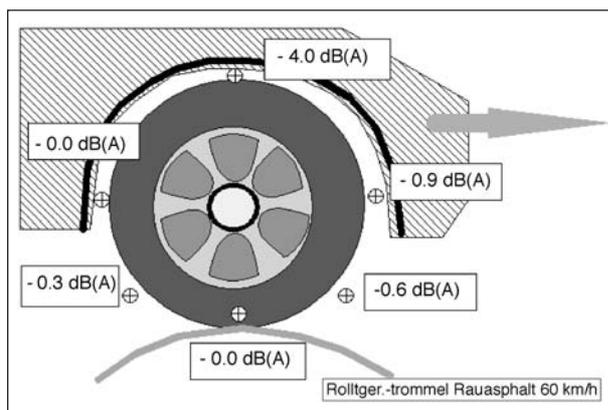


Bild 4.1: Darstellung der Pegeldifferenzen durch maximale Absorption im Radhaus aus Prüfstandsmessungen

- Das Geräuschmaximum befindet sich in der Kontaktfläche Reifen-Fahrbahn.
- Die Wirkung der Absorption ist im Radhaus im Nahfeld vorhanden, diese ist allerdings ohne Wirkung auf das Fernfeld.
- Eine Abdeckung der Radausschnitte zur Seite hat keine wesentliche Wirkung.
- Die Abschirmung der Kontaktfläche Reifen-Fahrbahn ist sehr wirksam, ist aber technisch nicht realisierbar.

Fazit: Die Quelle maximaler Geräuschabstrahlung befindet sich außerhalb des Radhauses und kann durch Modifikationen in und am Radhaus nur minimal beeinflusst.

Folgende Schlussfolgerungen müssen aus den vorgenannten Ergebnissen gezogen werden:

1. Die Pegelminderung durch maximale Absorption ist nur unter kontrollierten Laborbedingungen messbar. Die Wirkung liegt in der Größenordnung unter der Wirkung, die infolge von Temperaturunterschieden entsteht.
2. Die Beurteilung der Absorption ist lediglich beim rollenden Fahrzeug ohne eingelegten Gang möglich. Durch die zusätzlichen Aggregatgeräusche zum normalen Fahrbetrieb geht ein weiterer Teil der Absorptionswirkung durch Verdeckungseffekte verloren.
3. Reale – praktisch nutzbare – Absorbermaterialien haben vermutlich einen deutlich geringeren Absorptionsgrad als das Material, welches im Prinzipversuch eingesetzt wurde. Insofern ist in der Praxis eine noch geringere Wirkung zu erwarten.

4. Die Inhomogenität der realen Beläge, wie teilweise in Sperenberg vorhanden, ist in ihrer Wirkung auf das Vorbeifahrtgeräusch deutlich größer als die unter optimalen Bedingungen erzielbare Pegelminderung durch Absorption im Radhaus.

Eine absorbierende Wirkung von Radhausschalen scheint ohne wesentlichen Effekt auf das Fahr- und Rollgeräusch eines Pkw heutigen Standes der Technik zu sein. Insofern wurde seitens der Volkswagen AG auf die seriennahe Herstellung von akustisch optimierten Radhausschalen mit zweifelhafter Wirkung auf das Reifen-Fahrbahngeräusch verzichtet.

4.1.2 Bewertung des Teilprojektes 3141

Glaeser, Klaus-Peter
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Der Aspekt der Fahrzeugoptimierung wurde von der Volkswagen AG, Wolfsburg, innerhalb des Teilprojektes Tp 3141 „Geräuschabsorption und -abschirmung durch das Radhaus“ bearbeitet. Die Frage war: Kann man durch Einsatz geräuschabsorbierender Materialien im Fahrzeug-Radhaus oder durch die Verkleidung der Radhäuser die Reifen-Fahrbahn-Geräuschabstrahlung vermindern? Erste Ergebnisse mit einem hochabsorbierenden Material, in dem untersuchten Fall 10 mm starke Matten aus Baumwollvlies als Radhausauskleidung, zeigten bei Straßenmessungen nur eine begrenzte Wirkung auf das Vorbeifahrtgeräusch. Die erreichte Pegelminderung beträgt 0,4 bis 0,6 dB(A). Auf Basis dieser Ergebnisse wurden weitere Messungen im Nahfeld des Reifens auf einer ISO-Geräuschmessstrecke bei 60 km/h durchgeführt und durch Messungen auf einem mit einem Rauasphalt belegten Rollenprüfstand ergänzt. Die höchsten Pegel traten erwartungsgemäß an der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn auf. Des Weiteren wurden Geräuschmessungen auf 5 verschiedenen Fahrbahnbelägen in Sperenberg durchgeführt. Auf der offenporigen Asphaltfahrbahn (Twinlay) z. B. konnte kein Unterschied zwischen den Varianten „maximale Radhausabsorption mit Baumwollvlies“ und dem Originalradhaus festgestellt werden.

Die Ergebnisse von Untersuchungen der Volkswagen AG zeigten also, dass die Kontaktfläche zwi-

schen Reifen und Fahrbahn die pegelbestimmende Schallquelle darstellt und daher Maßnahmen am Radhaus prinzipiell nur in begrenztem Maße geeignet sind, im Fernfeld messbare Pegelminderungen zu bewirken. Die Messungen zeigten auch, dass die Absorption im Radhaus durch seriennahe Bauteile sowie eine partielle Abdeckung der Radausschnitte keine größeren Effekte auf das Fahr- und Rollgeräusch der heutigen Pkw hat. Insofern wurde von Seiten der Volkswagen AG auf die Herstellung von akustisch optimierten Radhausschalen im Rahmen des Teilprojektes 3141 verzichtet.

Die BAST hat zur Auslotung des Gesamtpotenzials ergänzend verschiedene weitergehende Modifikationen an einem VW Passat vorgenommen und unter realen Fahrbedingungen getestet [1]. Die fahrzeugseitigen Maßnahmen umfassten eine Auskleidung der serienmäßigen Radhäuser mit schallabsorbierendem PUR-Schaumstoff mit 30 mm Dicke, eine Abdeckung der vorderen Radscheiben, ein seitliches Schließen der hinteren Radhausauschnitte und den Einsatz von so genannten Schmutzabweisern vor und hinter den Hinterrädern. Die von der BAST durchgeführten Modifikationen stellten Extremlösungen dar, die das theoretische Potential, das an dieser Stelle für die Lärmreduzierung aktiviert werden kann, aufzeigen sollten. Die baulichen Veränderungen wurden daher nicht in Hinblick auf eine potenzielle Serienfähigkeit des modifizierten Fahrzeugs konzipiert.

Zur Untersuchung des Einflusses der fahrzeugseitigen Optimierungsmaßnahmen auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch wurden von der BAST Vorbeifahrtmessungen mit den „Basisreifen“ des Projektes „Leiser Straßenverkehr“ auf einer ISO-Fahrbahn und auf der Versuchsstrecke der Bundesstraße 56 durchgeführt.



Bild 4.2: Fahrzeugmodifikationen am Radhaus durch die BAST

Auf der ISO-Fahrbahn wurden in Anlehnung an Richtlinie 2001/43/EG für den VW Passat im Serienzustand und mit den oben genannten Modifikationen die Vorbeifahrtpegel bei 80 km/h ermittelt. Es zeigte sich eine Abhängigkeit der Pegeldifferenzen der beiden Fahrzeugzustände von der Wahl des verwendeten Prüfreifensatzes. Die maximale Pegelminderung betrug 1,6 dB(A) für den Prüfreifen „Continental SportContact2“. Die Pegeldifferenzen für den Winterreifen „Continental VikingContact2“ und den Prüfreifen „Michelin Energy“ betrugen 1,0 dB(A). Der sehr leise Reifen „Yokohama Dezibel“ wies mit 0,5 dB(A) die geringste Pegeldifferenz auf.

Auf der Versuchsstrecke der B 56 wurden mit einem optimierten Reifensatz „Continental C8 SSR (5)“ auf zwei optimierten Fahrbahnoberflächen die Geräuschpegel mittels kontrollierter Vorbeifahrt nach GEstRO-92 bestimmt. Das vollständig modifizierte Fahrzeug wies gegenüber dem Fahrzeug im Serienzustand signifikant geringere Schallpegel auf. Für den offenporigen Beton betrug die Pegelminderung 2,2 dB(A) und für den 0/5er Gussasphalt 1,0 dB(A).

Zusätzlich wurde auf der B 56 der separate Einfluss nur der Auskleidung der Radhäuser mit PUR-Schaumstoff untersucht. Die Schaumstoffauskleidung führte gegenüber dem Serienzustand des VW Passat im Falle des Gussasphalts 0/5 zu einer Pegelminderung von 0,8 dB(A), was dem Hauptanteil des Gesamtminderungspotenzials von 1,0 dB(A) entspricht. Bei der Messung auf dem offenporigen Beton bewirkte die Schaumstoffauskleidung eine Minderung von 0,6 dB(A), d. h., die Auskleidung der Radhäuser trug hier nur zu einem geringen Anteil zur Pegelminderung von 2,2 dB(A) des vollständig modifizierten Fahrzeugs bei.

Insgesamt zeigte sich, dass der Einfluss von Fahrzeug-Optimierungsmaßnahmen auf das Reifenrollgeräusch sowohl von der Wahl der Prüfreifen als auch von den Fahrbahnbelägen abhängt. Das ermittelte Minderungspotenzial durch die Modifikationen im Bereich der Radhäuser betrug bei den durchgeführten Messreihen zwischen 0,5 und 2,2 dB(A) für 80 km/h.

Die von der BAST realisierten Fahrzeugmodifikationen und Messungen unter realen Fahrbedingungen zeigen somit, welches fahrzeugseitige Potenzial für die Minderung des Reifen-Fahrbahn-Geräusches vorhanden ist. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den Optimierungsmaßnahmen um größtenteils nicht serientaugliche Ex-

tremmodifikationen handelte. Es bleibt abzuwarten, inwieweit das Potenzial der Geräuschminderung auch bei einer serienfähigen Ausführung von Radhaus-Modifikationen zu erschließen ist.

Literatur

- [1] REDMANN, S., BARTOLOMAEUS, W.: „Untersuchungen zum Einfluss von Optimierungsmaßnahmen im Bereich der Pkw-Radhäuser auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 12/2003

5 Ergebnisse Teilverbund 3150 „Asphaltoptimierung“

5.0 Problemdarstellung

Ripke, Oliver
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Das Straßennetz der Bundesrepublik Deutschland besteht zum überwiegenden Teil aus Asphalt. Der Anteil von Asphaltbefestigungen an allen öffentlichen Straßen beträgt gut 98 %, bei Bundesautobahnen über 70 %. Diese große Bedeutung der Bauweise macht es notwendig, der Lärmoptimierung der Straßenoberflächen aus Asphalt hohe Aufmerksamkeit zu schenken.

Für den Straßenbau kommen bei Asphaltdeckschichten grundsätzlich zwei verschiedene Bauweisen zum Einsatz. Bei Walzasphalten wird das heiße Mischgut mit Hilfe von Straßendeckenfertigern eingebaut und durch Walzen verdichtet. Hierzu zählen die Arten Asphaltbeton, Splittmastixasphalt und offenporiger Asphalt. Bei der Gussasphaltbauweise wird das sehr heiße Mischgut nur mit Hilfe einer Bohle quer verteilt und mit Splitt abgestreut. Auf eine Verdichtung wird verzichtet.

Der Aufbau und die Oberflächenstruktur einer Asphaltdeckschicht werden wesentlich durch folgende Punkte bestimmt:

- Mischgutzusammensetzung,
- Einbau- und Verdichtungs Vorgang (Walzeneinsatz),
- Abstreuen der frisch eingebauten Deckschicht mit Splitt (nur z. T. notwendig).

Die Weiterentwicklung der Asphaltdeckschichten muss an diesen Parametern ansetzen. Bei der lärmtechnischen Optimierung muss jedoch dem Aspekt der Griffigkeit, d. h. der Verkehrssicherheit von Straßen, sowie der Verformungsbeständigkeit große Beachtung geschenkt werden. Im Rahmen des Teilverbundes TV 3150 „Asphaltoptimierung“ wurden drei Teilprojekte durchgeführt, welche im Hinblick auf die Geräuschenstehung und die Verbreitung im Fernstraßennetz wichtige Asphaltbauweisen abdecken. Die Forschungsarbeiten nahmen die folgenden Partner wahr:

- Eurovia Services, Strabag AG – Sparte Straßenbau (Teilprojekt 3151)
- TPA GmbH – Außenstelle Limburg (ehem. Deutsche Asphalt GmbH), Gebr. von der Wetteren GmbH (Teilprojekt 3152)
- Strabag AG – Sparte Straßenbau, (Teilprojekt 3153)

5.1 Teilprojekt 3151 „Leisere Deckschichten aus Splittmastixasphalt“

5.1.1 Kurzberichte der Projektpartner (unverändert übernommen)

5.1.1.1 Eurovia Services GmbH, Bottrop

Dröge, Christoph

Splittmastixasphalte weisen tendenziell eine lärmtechnisch günstige Oberflächenbeschaffenheit auf. Eine weitergehende Optimierung der Oberflächenbeschaffenheit kann prinzipiell über die Mischgutzusammensetzung und den Maschineneinsatz während des Einbaus und der Verdichtung erfolgen.

Den Unterschieden in der Zusammensetzung innerhalb der Grenzen und Toleranzen der ZTV Asphalt ist ein potenzieller Einfluss auf die Beschaffenheit der Oberflächentextur zuzuordnen. Von Interesse ist daher eine Variation dieser Parameter innerhalb der Sollvorgaben des technischen Regelwerkes.

Weiterhin können die Prozesse Einbau und Verdichtung die Beschaffenheit der Makro- und Megatextur bestimmen. Neben der Größe der Linienlast einer Walze ist hierbei die Größe der Vibration (Amplitude) und deren Richtung (horizontal, vertikal) maßgebend.

Mit steigender Anzahl an Überrollungen eines Punktes ändert sich der Verdichtungsgrad eines SMA 0/8 S. Auch bei gleichem Verdichtungsgrad können durch verschiedene Maschinenkombinationen unterschiedliche Oberflächentexturen entstehen.

Für die praxistaugliche Überprüfung der Mikro- und Makrotextur sind Messgeräte in der Entwicklung. Diese Messsysteme müssen auf unter bekannten Bedingungen erstellten Oberflächen erprobt werden.

Es sind Untersuchungen im Laboratorium und bei Baumaßnahmen durchgeführt worden.

Im Laboratorium sind Splittmastixasphalte mit unterschiedlicher Zusammensetzung erstellt worden. Der Hohlraumgehalt im nach Marshall verdichteten Mischgut dient hierbei als Indikator für die Oberflächentextur.

Bei zwei Baumaßnahmen sind die Einflüsse des Maschineneinsatzes auf die Textur getrennt untersucht worden. Es wurden verschiedene Walztypen kombiniert und der Verlauf der Verdichtung protokolliert.

Auf den unter bekannten Bedingungen erstellten Flächen wurden durch den RWTÜV sowie durch

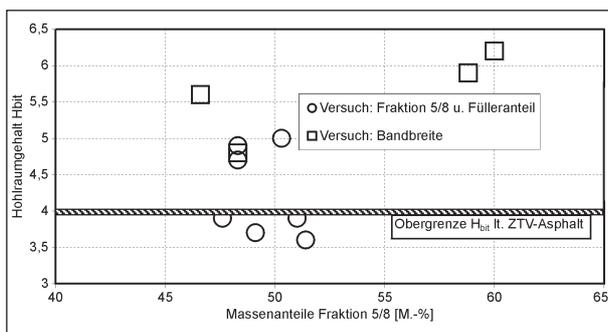


Bild 5.1: Hohlraumgehalt H_{bit} in Abhängigkeit von den Massenanteilen Fraktion 5/8

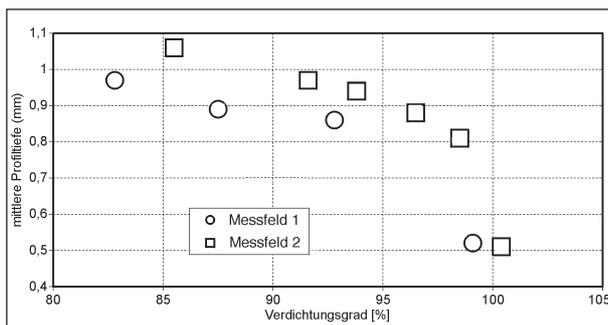


Bild 5.2: Mittlere Profiltiefe in Abhängigkeit vom Verdichtungsgrad an zwei Messstellen

die BASt Texturmessungen durchgeführt. Abschließend wurden auf den Testfeldern Lärmmessungen durch die BASt durchgeführt.

Als wesentliche Ergebnisse können folgende Aussagen festgehalten werden:

- Hohlraumreichere Oberflächentexturen – denen eine bessere lärmtechnische Wirkung zuzuordnen ist – befinden sich außerhalb der durch das Technische Regelwerk gegebenen Grenzen. Die Möglichkeiten, die Oberflächentextur durch eine entsprechende Asphaltmischgutoptimierung zu erreichen, sind begrenzt.
- Der Verlauf der Abnahme der Profiltiefe beim Verdichtungsprozess steht in Abhängigkeit zu den Walzübergängen und zum Verdichtungsgrad. Während die ersten Walzübergänge eine große Auswirkung auf die Profiltiefe ausüben, sind im Bereich der Endverdichtung mehrere Walzübergänge für eine Verringerung der Profiltiefe erforderlich. Die mittlere Profiltiefe strebt einen Endzustand an.

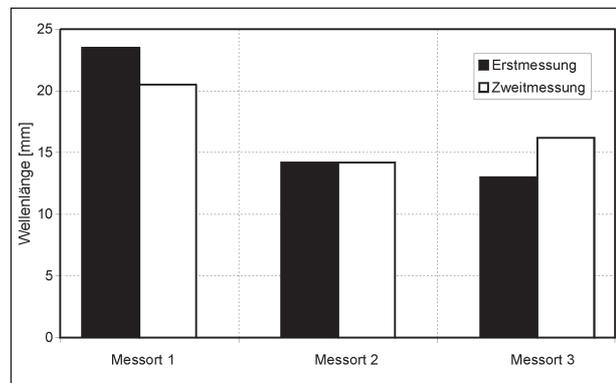


Bild 5.3: Wellenlängen, bei denen die maximale Amplitude festgestellt wurde (drei Messorte, zwei Messrichtungen je Messort)

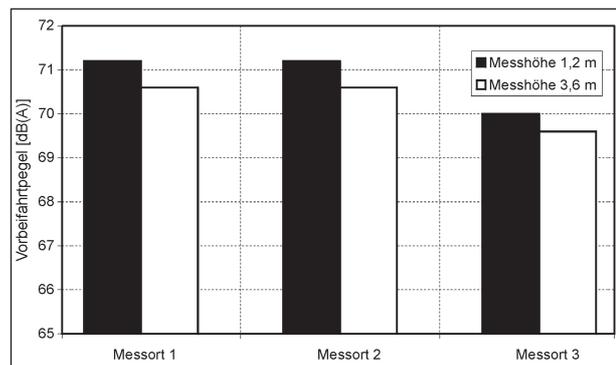


Bild 5.4: Vorbeifahrtpegel von Pkw mit 60 km/h (zwei Mikrofonhöhen, drei Messorte)

- Unterschiedliche Formen der Energieeintragung (dynamisch und statisch) beim Verdichtungsvorgang haben zu unterschiedlichen Wellenlängen, bei denen die maximale Amplitude ermittelt wurde, geführt.
- Auf den im Rahmen der Untersuchungen erstellten Testfeldern sind sehr ähnliche statistische Vorbeifahrtpegel ermittelt worden. Die schalltechnisch günstigsten Pegel wurden auf dem mit statischem Lasteintrag verdichteten Messort festgestellt.

5.1.1.2 Strabag AG – Sparte Straßenbau, Köln

Simmleit, Norbert; Gorzel, Harald

Das Pilotprojekt auf der B 39 mit einem Splittmastixeinbau SMA 0/8 S hatte die systematische Erfassung und Veränderung von einbaurelevanten Faktoren zum Ziel. Mittels Lasermessgerät wurde die Megatextur ermittelt, die bei der Geräuschentwicklung zwischen Fahrbahn und Reifen mit entscheidend ist. Die Auswertung und Interpretation ergaben in den einzelnen Abschnitten der vier Versuchsfelder erhöhte Texturamplituden. Ein Einfluss der Korngröße des AbstreuSplittes auf die Amplituden wurde nicht festgestellt. Der für Deckschichten aus Splittmastixasphalt charakteristische Kurvenverlauf konnte nur in einzelnen Abschnitten erkannt werden.

Bei einem weiteren Bauvorhaben wurden Mitte November 2003 auf der Bundesautobahn A 63 zwischen Sembach und Kaiserslautern vier Versuchsfelder hergestellt. Es wurden bei den eingesetzten Maschinen (Fertiger und Walze) ausgewählte Einbauparameter variiert, mit dem Ziel, eine positive Veränderung der Textur zu bewirken. Diese Einbaufaktoren wurden je Versuchsfeld konstant gehalten und dokumentiert. Über Lasertexturmessungen und akustische Messungen können nach Auswertung der Ergebnisse wichtige Rückschlüsse für den Bau geräuschoptimierter Fahrbahnen gezogen werden.

Die Bauvorhaben B 39 und A 63 stehen nun für Langzeitbeobachtungen zur Verfügung und können durch messtechnische Begleitung detaillierte Informationen zum Gebrauchsverhalten der Deckschicht aus Splittmastixasphalt in Bezug auf Ebenheit, Griffigkeit und die akustischen Eigenschaften liefern. Bei der Gestaltung zukünftiger Asphaltstraßen können diese Erkenntnisse zur weiteren Optimierung und zur Geräuschminderung im Straßenverkehr beitragen.

5.1.2 Bewertung des Teilprojektes 3151

Ripke, Oliver
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Im Zuge der in diesem Teilprojekt überwiegend unter realen Baustellenbedingungen durchgeführten Forschungsarbeiten zeigten sich eine Reihe von Schwierigkeiten. Zu nennen sind:

- Enge Grenzen des Regelwerks: Die auf normalen Baustellen durchgeführten Arbeiten bedingten das Einhalten des technischen Regelwerks, um ein vertragsgemäßes Bauwerk erstellen zu können. Gerade beim Mischgut Splittmastixasphalt (SMA) sind jedoch die möglichen Variationen durch die engen Vorgaben des Regelwerks für Fahrbahndecken aus Asphalt begrenzt. Schon geringe Abweichungen können zu Überschreitungen geforderter Parameter wie z. B. des Hohlraumgehaltes führen. Variationen des Mischguts sind praktisch nicht möglich.
- Variationen des Verdichtungsvorganges (Walzen): Im Vorfeld der einzelnen Baumaßnahmen führte dies zu Diskussionen zwischen Bauherr, Auftragnehmer und der Bundesanstalt, da Unterschreitungen des Verdichtungsgrades befürchtet wurden. Ein geringer Verdichtungsgrad kann zu Einschränkungen der Haltbarkeit der Asphaltdeckschicht führen. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass die Befürchtungen unbegründet waren. Die Vorgaben wurden erreicht.
- Eine sehr hohe Zahl von Optimierungs-Parametern: Die Variationsmöglichkeiten beim Asphalteinbau sind durch die Trennung des Vorgangs in Einbau und Verdichtung sehr vielfältig. Zu nennen sind:
 - Einbaubohle: Presseleistendruck, Tamperfrequenz,
 - Walzen: Gewicht, Oszillation, Vibration, Walzschema, Walzübergänge.

Erschwerend kommt hinzu, dass mehrere Maschinenhersteller unterschiedliche Detaillösungen anbieten.

- Bei der Messung vor allem der Textur wurde Neuland betreten. Die Messgeräte, d. h. Lasersonden, mussten in der Lage sein, auf der heißen Asphaltoberfläche zu messen. Zudem stand bei den Messungen unmittelbar hinter dem Fertiger nicht unbegrenzt Zeit zur Verfü-

gung, da die Walzen mit der Verdichtung beginnen mussten. Hinzu kommt eine schwierige Lokalisierung bzw. Zuordnung der in den fahrenden Maschinen gemessenen Daten zu den aufgenommenen Daten der Oberflächentextur im Endzustand.

Im Rahmen des Teilprojekts wurden von den beiden Projektpartnern jeweils zwei Erprobungsstrecken ausgeführt. Die Texturmessungen der mit Variationen eingebauten Deckschichten aus SMA 0/8 S zeigen, dass Unterschiede in den Wellenlängenspektren vorliegen und Einflüsse z. B. aus der Verdichtungsart zugeordnet werden können. Eine Korrelation mit an diesen Stellen aufgezeichneten statistischen Vorbeifahrtpegeln ist jedoch schwierig, da nur geringe Pegelunterschiede im Bereich von ± 1 dB(A) gemessen wurden und nicht ausreichend viele Daten gemessen werden konnten.

Die Ergebnisse sind im Sinne von Testversuchen zu interpretieren und zeigen auf, dass grundsätzlich die Möglichkeit besteht, mit angepasstem Walzeneinsatz das Lärmreduzierungsvermögen des Splittmastixasphaltes zu verbessern.

5.2 Teilprojekt 3152 „Leisere Deckschichten aus Gussasphalt“

5.2.1 Kurzberichte der Projektpartner (unverändert übernommen)

5.2.1.1 TPA Bau- und Umwelttechnik GmbH, Außenstelle Limburg (ehem. Deutsche Asphalt GmbH)

Mock, Peter

Gussasphaltdeckschichten haben sich im deutschen Straßenbau langjährig bewährt. Neben den Hauptvorzügen dieser Deckschichtart, wie hohe Standfestigkeit und Griffigkeit, besteht die Problematik der bislang unbefriedigenden lärmtechnischen Eigenschaften. Durch die Verwendung von grobem AbstreuSplitt und den Einsatz von Walzen bei der Herstellung von Deckschichten aus Gussasphalt werden für die Lärmemission ungünstige Oberflächentexturen erzeugt.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Leiser Straßenverkehr“ wurde im Spätsommer 2002 eine Versuchsstrecke mit einer lärmmindernden Deckschicht aus Gussasphalt 0/5S und 0/8S auf der Bundesstraße B 56 bei Düren hergestellt. Dieses

erfolgte durch die Forschungsgemeinschaft Gebrüder von der Wettern GmbH und Deutsche Asphalt GmbH, vertreten durch die Scheid Straßenbau Bereich Mitte der Deutschen Asphalt. Dabei wurde ein leicht vorbituminierter AbstreuSplitt 2/3 mm, ohne kombinierten Einsatz von Gummirad- und Glattmantelwalzen, auf den heißen Gussasphalt aufgebracht. Innerhalb einer dichten Asphaltdeckschicht wurden so lärmindernde Eigenschaften mit hoher Standfestigkeit und hoher Griffigkeit verknüpft, was bei ersten Messungen der BASt bestätigt wurde.

5.2.1.2 Gebrüder von der Wettern GmbH, Köln

Sadzulewsky, Siegfried

Im September 2002 wurden auf der B 56 südlich von Düren zwei Erprobungsstrecken für lärmtechnisch optimierten Gussasphalt angelegt. Ein Teilstück wurde mit Gussasphalt 0/5S, das andere Teilstück mit Gussasphalt 0/8S belegt und beide Strecken mit einem enggestuften Splitt 2/3 mm abgestreut. Durch gute Auswahl der Gussasphaltkomponenten, des Abstreumaterials und geänderte Einbaubedingungen konnten Gussasphaltdeckschichten hergestellt werden, die alle Erwartungen erfüllen. Das Reifen-Fahrbahn-Geräusch konnte um mehr als 2 dB(A) gegenüber dem Referenzbeleg reduziert werden. Die Griffigkeitswerte sind trotz aller Änderungen als sehr gut zu bezeichnen. Das Projekt konnte erfolgreich abgeschlossen werden.



Bild 5.5: Vergleich der Oberflächen mit AbstreuSplitt 1/3 und 2/3 mm

5.2.2 Bewertung des Teilprojektes 3152

Ripke, Oliver
 Bundesanstalt für Straßenwesen,
 Bergisch Gladbach

Ziel des Projektes war, die auf den deutschen Autobahnen bewährte Bauweise Gussasphalt in ihrem lärmtechnischen Verhalten zu optimieren.

Die dazu auf der B 56 angelegten Erprobungsabschnitte wurden unter optimalen äußeren Bedingungen hergestellt. Voraussetzung war eine absolut trockene Unterlage, die den für diese optimierte Bauweise notwendigen Verzicht auf den Walzeneinsatz ermöglichte. Hinzu kam eine gelungene Mischgutzusammensetzung, die, in Kombination mit der passenden Temperatur, eine gute Verarbeitbarkeit der Gussasphaltmasse sicherstellte. Dadurch wurden eine gute Ebenheit und ein ausreichender Mörtelspiegel für das Einbinden des Abstreusplitts erreicht. Diese Komponenten hatten großen Einfluss auf die hohe lärmtechnische Qualität der Gussasphaltoberfläche, wie die erzielten Ergebnisse erkennen lassen. Wiederholte Messungen der Vorbeifahrtpegel von Pkw zeigen, dass gegenüber dem Referenzbelag „nicht geriffelter Gussasphalt“ Pegelminderungen von über 3 dB(A) für die Variante GA 0/5 bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h erreicht werden konnten. Gleichzeitig wurde eine gute Griffigkeit sichergestellt, die sich in μ_{SCRIM} -Werten von etwa 0,7 abbildet.

Das Teilprojekt Tp 3152 zeigt, dass es gelingen kann, optimierte Gussasphaltdeckschichten herzustellen, die lärmtechnisch denen aus Walzasphalt, also z. B. Splittmastixasphalt, mindestens ebenbürtig sind. Voraussetzungen sind die Beachtung der äußeren Bedingungen, Verzicht auf einen Walzeneinsatz und eine gelungene Mischgutzusammensetzung. Das im Konzept formulierte Ziel, das Reifen-Fahrbahn-Geräusch um mindestens 2 dB(A) zu reduzieren, wurde erreicht.

5.3 Teilprojekt 3153 „Minderung der Lkw-Geräuschemission auf offenporigen Asphaltdeckschichten“

5.3.1 Kurzbericht des Projektpartners (unverändert übernommen)

Simmleit, Norbert; Gorzel, Harald
 Strabag AG – Sparte Straßenbau, Köln

Die geräuschabsorbierenden Eigenschaften von offenporigen Asphalten (OPA) sind bekannt. Jedoch sind die Absorptionsmaxima abhängig von Pkw- oder Lkw-Befahrung sowie der Hohlraumstruktur und der Dicke des OPA. Die Aufgabenstellung beinhaltet durch Variation der Einbaudicke und des Aufbaues der offenporigen Asphaltdeckschichten eine Optimierung des Absorptionsverhaltens insbesondere zur Reduzierung von Geräuschemission von Lkw-Reifen zu erreichen.

Durchführung des Projektes

Die praktische Umsetzung erfolgte durch die TPA Bau- und Umwelttechnik, einer 100 %igen Tochter der STRABAG AG. Im Vorfeld der Durchführung des Projektes standen Laboruntersuchungen zur Bestimmung des Alterungsverhaltens von Bitumen mit Additiven und polymermodifizierten Bitumen mit dem Ziel, dauerhaft gebrauchsfähige, offenporige Asphaltdeckschichten zu bauen. Es wurde eine Teststrecke auf der BAB A 1 gebaut, bestehend aus einem Twinlay-Belag (OPA 0/16 und OPA 0/8) sowie vier Versuchsfeldern mit unterschiedlicher Schichtdicke der OPA-0/8-Asphaltdeckschicht.

Ergebnisse

Asphaltmischgut und eingebaute Schichten

Der durch das Asphaltmischwerk angelieferte offenporige Asphalt OPA 0/16 und OPA 0/8 entspricht in Kornzusammensetzung und Bindemittelgehalt den Richtwerten des Merkblattes für offenporige Asphalte sowie den Hinweisen des Rundschreibens des Bundesministeriums für Verkehr vom 22. September 1998 – StB 26/38.56.05-03/28 Va 98. Die erreichten Hohlraumgehalte liegen oberhalb des Mindesthohlraumgehaltes von 22 Vol.-% und sogar oberhalb des unteren Grenzwertes von 24 Vol.-%. Es ist damit eine Voraussetzung geschaffen, die im Neuzustand erzielte Minderung

des Geräuschniveaus auch über eine längere Zeit hinaus zu ermöglichen.

Die Kontrolle des Verdichtungsgrades ergab bei der eingebauten OPA-0/16-Schicht des Twinlays einen Verdichtungsgrad über 100 %. Dies führt zu einer Verringerung der zugänglichen Hohlraumgehalte.

Die Einbaudicken variieren wie geplant von Feld zu Feld. Feld 2 besitzt eine Einbaudicke von 3,6 cm und Feld 5 eine Dicke von 5,2 cm. Damit konnten Geräuschemessungen auf Feldern mit unterschiedlich dick eingebauten einlagigen OPA-Deckschichten durchgeführt werden und der Einfluss der Schichtdicke eines offenporigen Asphalttes auf die Geräuscentwicklung überprüft werden.

Akustische Eigenschaften

Der erreichte Absorptionsgrad von 0,8 weist auf die lärmindernden Eigenschaften des OPA 0/8 hin. Damit konnte das Ziel, die Geräuschemission mittels offenporiger Asphalttschichten zu senken, erreicht werden. Das Langzeitverhalten sowie die Geräuscentwicklung des OPA 0/8 und OPA 0/16 können nun alljährlich auf den Versuchsfeldern kontrolliert und analysiert werden.

Zusammenfassung

Die fünf Versuchsfelder auf der BAB A 1 zeigen optisch und von ihren akustischen Eigenschaften ein positives Gesamtbild.

Die Teststrecke steht nun für Langzeitbeobachtungen zur Verfügung und kann durch messtechnische Begleitung detaillierte Informationen zum Gebrauchsverhalten der offenporigen Asphalttschicht in Bezug auf Ebenheit, Griffigkeit und akustische Eigenschaften liefern. Die Abhängigkeit der Verschmutzungsanfälligkeit von der Schichtdicke und dem Aufbau lässt sich hierbei ermitteln. Weiterhin kann die Dauerhaftigkeit von OPA-Deckschichten mit hohen Hohlraumgehalten festgestellt werden. Bei der Gestaltung zukünftiger Asphaltstraßen können diese Erkenntnisse zur weiteren Optimierung sowie zur Lärmreduzierung im Straßenverkehr beitragen.

5.3.2 Bewertung des Teilprojektes 3153

Ripke, Oliver
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Die Forschungsarbeiten in diesem Teilprojekt waren in eine Labor- und in eine Praxisuntersuchung aufgeteilt.

Die umfangreiche Laboruntersuchung konzentrierte sich auf die für den offenporigen Asphalt besonders bedeutsame Alterung des Bindemittels Bitumen. Sie wurde am Bindemittel selbst untersucht, sowie, nach Einengung der Varianten, an im Labor gealterten Asphaltproben. Letzteres stellt einen interessanten Ansatz dar, da hier realistischere Bedingungen vorliegen als bei den vom Asphalt losgelösten Bindemitteluntersuchungen. Die Begrenzung der Alterung des Bindemittels in offenporigen Asphalttschichten ist wichtig, um diese lärmindernde Bauweise über einen befriedigend langen Zeitraum einsetzen zu können.

Die Analyse ergab, dass mit den Laborverfahren der Alterungsprozess durchaus angesprochen werden kann und Unterschiede zwischen den untersuchten zehn Bindemitteln erkennbar sind. Für den anschließend erfolgten Einbau in einen Erprobungsabschnitt wurde eines der untersuchten Bindemittel gewählt, das insgesamt gute Alterungseigenschaften zeigte.

Durch den relativ engen Zeitrahmen des Projektes war es schwierig, eine Baumaßnahme für die Praxiserprobung zu finden. In Zusammenarbeit mit der Straßenbauverwaltung in Nordrhein-Westfalen gelang es, eine Erprobungsstrecke auf der BAB A 1 bei Wißkirchen in Fahrtrichtung Trier einzurichten. Die Strecke mit einer Länge von 750 m wurde in fünf Abschnitte eingeteilt, bei denen die Einbaudicke variiert wurde. Der erste Abschnitt mit einer zweilagigen offenporigen Deckschicht hat eine Dicke von 7,3 cm. Die vier folgenden Abschnitte mit einer einlagigen Deckschicht haben eine Dicke von 3,6 bis 5,2 cm. Die ursprünglich angestrebte Maximaldicke von 6 cm konnte nicht ganz erreicht werden. Die erreichten Hohlraumgehalte zeigen ein recht hohes Niveau, was der Wirksamkeit zur Minderung der Geräusche zugute kommen dürfte.

Die Strecke kann längerfristig für Lärmmessungen genutzt werden. Eine erste noch im Herbst 2003 durchgeführte Aufzeichnung von Pkw-Geräuschemissionspegeln zeigte eine deutliche Abhängigkeit

von der Einbaudicke. Der Abschnitt mit der größten Dicke (5,2 cm) wies mit 76 dB(A) den niedrigsten Pegel auf, der Abschnitt mit 3 cm Dicke hingegen mit 80 dB(A) den höchsten Wert. Das entspricht gegenüber dem Referenzbelag von nicht geriffeltem Gussasphalt einer anfänglichen Pegelreduktion um 5 bis 9 dB(A).

Trotz des geringen Lkw-Verkehrs auf dieser Strecke konnten Lkw-Lärmpegel für 80 km/h ermittelt werden, die allerdings nicht normenkonform sind (zu geringer Stichprobenumfang). Auf eine Temperaturkorrektur wurde daher verzichtet. Die als vorläufig zu betrachtenden Werte zeigen auf allen Testfeldern einen gegenüber dichten Bauweisen deutlich reduzierten Pegel von 84 bis 86 dB(A) gegenüber z. B. 88 dB(A) auf nicht geriffeltem Gussasphalt oder SMA 0/8. Es zeigte sich, dass insbesondere Abschnitte mit großen Dicken (Feld 5 mit 5,2 cm und zweilagiger offenporiger Asphalt mit 7,3 cm) gegenüber den dichten Bauweisen eine anfängliche Pegelminderung für Lkw bei 80 km/h um ca. 4 dB(A) aufweisen. Auch für die Lkw-Pegel weist der Abschnitt mit 3 cm die höchsten Pegel auf. Hier beträgt die anfängliche Pegelreduktion lediglich 2 dB(A).

Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass bei offenporigen Deckschichten bei der Variation der Einbaudicke deutliche Unterschiede in der lärm-mindernden Wirkung erzielt werden können. Geringe Schichtdicken sollten vermieden werden. Gute Ergebnisse stellen sich bei der zweilagigen und bei einer dickeren einlagigen Bauweise ein. Für die Praxis-Umsetzung sollte überlegt werden, bei einlagigen offenporigen Deckschichten die Schichtdicke von 4 auf 5 cm zu vergrößern, um eine gesteigerte Wirksamkeit sowohl für Pkw als auch Lkw-Pegel zu erreichen.

6 Ergebnisse Teilverbund 3160 „Betonoptimierung“

6.0 Problemdarstellung

Sliwa, Nina
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Das Bundesautobahnnetz besteht zu etwa 30 % aus Betonfahrbahndecken. Die Betonbauweise zeichnet sich bei sachgerechter Herstellung durch eine hohe Tragfähigkeit und Verformungsstabilität

aus, die den stetig steigenden Verkehrsbelastungen durch den Schwerverkehr Rechnung tragen, jedoch ist eine weitere Optimierung der Gebrauchseigenschaften erforderlich. Im Rahmen des Projektes wurde der Schwerpunkt auf die Möglichkeiten zur Geräuschreduzierung der Betonoberfläche gelegt.

Die Betonfahrbahndecke im Straßenbau ist in der Regel eine zweischichtige Bauweise. Sie besteht aus Ober- und Unterbeton und wird mittels Gleitschalungstechnik hergestellt. Eine geschlossene Oberfläche entsteht bei der Glättung in Längs- und Querrichtung, in die zum Erreichen der erforderlichen Griffigkeit eine zusätzliche Struktur eingepägt wird. Diese Oberflächenrauheit oder Oberflächentextur muss außerdem so ausgebildet werden, dass die aerodynamischen im Reifenprofil erzeugten Geräusche reduziert werden. Hierzu sind Rauheitselemente mit Wellenlängen kleiner als 1 cm erforderlich. Andererseits sind Rauheitselemente mit Wellenlängen größer 1 cm, die mechanische Schwingungen am Reifen verursachen, zu vermeiden bzw. deren Amplituden gering zu halten. Standardmäßig erfolgt die Strukturierung der frischen Betonoberfläche derzeit mit einem in Längsrichtung nachgezogenen Jutetuch. Für eine derartig texturierte Fahrbahnoberfläche ist ein D_{StrO} -Wert von -2 dB(A) festgeschrieben. Die Geräuschentstehung auf Betonfahrbahndecken ist demnach, neben den Materialeigenschaften des Betons, wesentlich beeinflusst von der Einbautechnik sowie der abschließenden Strukturierung.

Im Rahmen des Teilverbundes TV 3160 „Betonoptimierung“ wurden diese Parameter unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Griffigkeit weiterentwickelt. Darüber hinaus erfolgte sowohl die einbauals auch die materialtechnische Optimierung eines Fahrbahnbelages aus offenporigem Beton. Die Forschungsarbeiten nahmen folgende Partner wahr:

- Forschungsinstitut der Zementindustrie, Wirtgen GmbH, Celanese Emulsions GmbH, HeidelbergCement AG (Teilprojekt 3161),
- Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton e. V., Forschungsinstitut der Zementindustrie, Bundesanstalt für Straßenwesen (Teilprojekt 3162).

6.1 Teilprojekt 3161 „Entwicklung lärm- armer offenporiger Betone für hochbelastete Schnellstraßen“

6.1.1 Kurzberichte der Projektpartner (unverändert übernommen)

6.1.1.1 Forschungsinstitut der Zementindustrie

Siebel, Eberhard; Eickschen, Eberhard

Bereits seit einigen Jahren wird versucht, offenporige Betonbeläge (Dränbeton) als lärmindernde Fahrbahndecke einzusetzen. Vorteil des Dränbetons ist neben der geringeren Lärmemission eine erhöhte Verkehrssicherheit bei Regen wegen geringerer Sprühfahnenbildung und Aquaplaninggefahr. Die Auswertung des Schrifttums zeigt, dass über das Langzeitverhalten keine ausreichenden Erkenntnisse vorliegen. Versuchsstrecken auf schnell befahrenen Autobahnen in Deutschland mussten bereits nach Liegedauern von 1 bis 3 Jahren ausgebaut werden. Ursache war u. a. eine mangelnde Dauerhaftigkeit des Dränbetons und des Verbundes zwischen offenporigem Dränbeton und dichtem Unterbeton. Daher sollten in Laboruntersuchungen die Dauerhaftigkeit und die Festigkeitseigenschaften von Dränbeton durch Zugabe unterschiedlicher Zusätze und die akustischen Eigenschaften (Absorption, Hohlraumgehalt, Strömungswiderstand) verbessert werden. Außerdem musste der Verbund zwischen Dränbeton und Unterlage optimiert werden, wobei als Unterlage neben Beton auch Asphalt einbezogen wurde. Entsprechende Haftbrücken und Dränbeton-Zusätze wurden von zwei am Programm beteiligten Partnern entwickelt. Als Ergebnis der Laboruntersuchungen sollten Empfehlungen für den Bau einer Dränbeton-Versuchsstrecke gegeben werden. Dabei sollte ein rd. 100 m langer Abschnitt mit Splittmastixasphalt und ein rd. 100 m langer Abschnitt mit durchlaufend bewehrter Betondecke mit Dränbeton überbaut werden.

Untersuchungsprogramm

Das Versuchsprogramm gliederte sich in folgende Teile:

a) Optimierung der Dauerhaftigkeit und der akustischen Eigenschaften des Dränbetons

Durch Zugabe von Zusätzen sollte das Langzeitverhalten des Dränbetons verbessert werden. Mit drei unterschiedlichen Zusätzen (Fließmittel,

Polymer, Kombination Silicastaub und Polymer) wurden Dränbetone mit 20 Vol.-% und 25 Vol.-% rechnerischem Hohlraumgehalt hergestellt. Bei dem als „Fließmittel“ bezeichneten Zusatz handelt es sich nicht um ein herkömmliches Fließmittel, sondern um einen speziellen Dränbeton-Zusatz auf Polymerbasis. Der Zementgehalt betrug 340 kg/m^3 und der w/z-Wert 0,25. Als Gesteinskörnung wurde Grauwacke-Edelsplitt 5/8 verwendet. In den Laborversuchen wurde der Einfluss der Mischungszusammensetzung und des Hohlraumgehalts des Dränbetons auf die akustischen Eigenschaften (Absorptionsverhalten) und die Festigkeitseigenschaften (Druck-, Spalt- und Biegezugfestigkeit, Haftung Zementstein/Splitt) sowie auf Frost-Tausalz-Widerstand, Griffigkeit und Verformungsverhalten (E-Modul, Quellen/Schwinden) untersucht.

b) Prüfung des Verbundverhaltens

Um die Dauerhaftigkeit des Verbundes zwischen offenporigem Beton und Beton- bzw. Splittmastixasphalt-Unterlage zu untersuchen, wurden mit zwei ausgewählten Dränbeton-Mischungen kleinformatige Verbundprobekörper hergestellt. Die Platten wurden mit Tausalz-Lösung beaufschlagt und Frost-Tau-Wechseln unterzogen. Zum Vergleich wurden auch Platten ohne eine Frost-Tausalz-Beanspruchung bei einer Temperatur von rd. $20 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchte von rd. 65 % gelagert. Zur Beurteilung des Verbundes wurde die Haftzugfestigkeit zu Beginn der Prüfung und nach 25, 50, 75 und 100 Frost-Tau-Wechseln geprüft.

c) Überrollversuche im Versuchsstand

Zusätzlich wurden zwei großformatige Verbundprobekörper (Dränbeton mit Fließmittel bzw. Polymer-Zusatz auf Betonunterlage) hergestellt und im Prüfstand der TU München in Überrollversuchen geprüft. Die aufgebrachte Belastung mit 60.000 Überrollungen mit einer Achslast von 100 kN entspricht nach den RStO einem Nutzungszeitraum einer Straße der Bauklasse III von ca. 2 Jahren. Aufgrund der extrem engen Spurführung (keine Querverteilung) wurde beim Versuch eine zweifach größere Verkehrsbelastung simuliert, so dass ein Zeitraum von 4 Jahren erfasst wurde. Nach rund 27.000 Überrollungen wurde ein vertikaler Riss in den Platten erzeugt. Dadurch wurde das Überrollen eines „wilden“ Risses im Dränbeton (Riss senkrecht zur Fahrtrichtung) simuliert.

Versuchsergebnisse

Dränbeton

a) Festigkeit

Bei der Druckfestigkeit ergab sich kein Einfluss der unterschiedlichen Zusätze. Die Zugabe von Silikastaub erbrachte im Gegensatz zu anderen Untersuchungen keine Festigkeitssteigerungen. Die höchste Biegezug- und Spaltzugfestigkeit wurde bei Verwendung der Polymerdispersion erzielt. Die Verwendung von Fließmittel bzw. die Kombination von Silikastaub und Polymer ergab etwas geringere Werte. Die Anforderung der ZTV Beton an die Druckfestigkeit (Betonfestigkeitsklasse B35 für Bauklasse SV) wurde selbst bei dem geringen Hohlraumgehalt von rd. 20 % mit rd. 30 N/mm² deutlich unterschritten. Die wesentlich wichtigere Anforderung der ZTV Beton an die Biegezugfestigkeit von 5,5 N/mm² ließ sich z. B. bei Verwendung der Polymerdispersion in einer Zugabemenge von 20 % v. Z. und einem zugänglichen Hohlraumgehalt von rd. 20 Vol.-% annähernd erreichen.

b) Frost-Tausalz-Widerstand

Die Probekörper wurden 56 Frost-Tau-Wechseln mit dem CDF-Verfahren bzw. 100 Frost-Tau-Wechseln mit zwei Fußbadverfahren (Varianten Einfrieren und Auftauen von 10-cm-Würfeln eingetaucht in einem 1-cm-Fußbad aus 3-%iger NaCl-Lösung in einer CDF-Frosttruhe bzw. in einer Frostkammer) ausgesetzt. Bei Anwendung des CDF-Verfahrens war zwischen den Mischungen mit unterschiedlichen Zusatzvarianten und Hohlraumgehalten von 20 bzw. 25 % kein praxisrelevanter Unterschied feststellbar. Die Abwitterungen nach 28 Frost-Tau-Wechseln lagen weit unterhalb von 1.500 g/m². Ein Abfall des dynamischen E-Moduls war nicht erkennbar. Ein ähnliches Bild zeigte sich bei den Dränbetonwürfeln, die im Fußbadverfahren in der CDF-Frosttruhe geprüft wurden. Die maximale Abwitterung nach 100 Frost-Tau-Wechseln betrug weniger als 1 Gew.-% und ein Abfall des dynamischen E-Moduls war ebenfalls nicht zu erkennen. Bei der Prüfung der Dränbetonwürfel mit dem Fußbadverfahren in einer großen Frostkammer zeigten sich demgegenüber nach rd. 60 Frost-Tau-Wechseln ein beginnender Abfall des dynamischen E-Moduls und eine Zunahme der Abwitterungen. Die kombinierte Zugabe von Silikastaub und Polymer ergab die geringsten Abwitterungen.

Die Ursache für den unterschiedlichen Schadensverlauf bei den beiden Fußbadverfahren konnte nicht zweifelsfrei ermittelt werden. Welches Prüfverfahren letztlich mit dem Praxisverhalten am besten korreliert, kann noch nicht angegeben werden, da langjährige Praxiserfahrungen mit Dränbeton bisher noch nicht vorliegen.

c) akustische Eigenschaften

Die Ergebnisse der Messungen mit dem großen Impedanzrohr sind in einem Prüfbericht der BAST (Anlage A3) zusammengefasst. Als Kennwert für die akustische Wirksamkeit des Dränbelags wurde der Differenzpegel zwischen dem Dränbelag und einem schallharten Belag gebildet. Die Pegeldifferenz betrug bei den Dränbetonen mit 25 % rechnerischem Hohlraumgehalt zwischen 1,5 und 1,8 dB. Die Reduzierung des rechnerischen Hohlraumgehalts auf 20 % verringerte die Pegeldifferenz nur um rd. 0,5 dB. Ursache hierfür war der geringere Absorptionsgrad der Proben mit 20 % Hohlraumgehalt.

Verbund Dränbeton/Unterlage

Bei einer Lagerung ohne Frost-Tausalz-Beanspruchung betrug die Haftzugfestigkeit 28 Tage nach Auftrag des Dränbetons rd. 2 N/mm² und änderte sich mit zunehmendem Alter unabhängig von der Verbundvariante (Beton bzw. Asphalt als Unterlage) nicht mehr nennenswert. Bei einer Frost-Tausalz-Beanspruchung der Verbundplatten sank die Haftzugfestigkeit nach 100 Frost-Tau-Wechseln bei drei Verbundvarianten (Dränbeton mit Fließmittel bzw. Polymer auf Beton- und Dränbeton mit Polymer auf Asphaltunterlage) auf Werte zwischen 1,3 bis 1,5 N/mm² ab. Allein die Verbundvariante mit der Dränbeton-Mischung mit Fließmittel auf Asphaltunterlage wies eine geringere Haftzugfestigkeit von rd. 0,5 N/mm² auf.

Überrollversuche

Durch die Überrollungen war nur vereinzelt ein Ablösen von Splittkörnern zu verzeichnen. Nach 27.000 Überrollungen wurde ein Riss erzeugt (Simulation eines Reflektionsrisses im Dränbeton über einer Quertuge im Unterbeton). Danach lösten sich im Bereich des Rissrandes vereinzelt Splittkörner ab, da hier keine Stützung zum Nachbarkorn mehr vorhanden war. Das Ausbrechen der Körner im Rissbereich führte zu Folgeschäden und zum vermehrten Herauslösen von Splittkörnern

(Reißverschlusseffekt). Im ungeschädigten Überrollbereich vor und nach dem Riss war kein zusätzliches Herauslösen von Splittkörnern zu verzeichnen. Diese Effekte traten bei beiden Dränbeton-Varianten auf. Die Versuche zeigen, dass mit zunehmender Rissweite und Rissrandbewegung mit Ausbrechen von Körnern im Rissbereich gerechnet werden muss. Bereiche ohne Risse sind auf der Basis der durchgeführten Überrollversuche nicht problematisch. Für die Nutzungsdauer einer Dränbeton-Deckschicht auf einem Unterbeton ist daher der Lastfall im Bereich eines Querrisses maßgebend. Querrisse können in der Praxis entstehen, wenn sich über den Fugen des Unterbetons Reflektionsrisse im Dränbeton bilden. Bei freier Rissbildung (z. B. bei durchlaufend bewehrten Decken) bilden sich ebenfalls Querrisse im Unterbeton, die aber eine geringere Rissweite aufweisen und auch im Dränbeton geringere Rissweiten erwarten lassen.

Zusammenfassung und Empfehlungen für den Bau der Versuchsstrecke

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass bei einigen Kriterien der Einfluss des Hohlraumgehalts stärker ausgeprägt ist als der Einfluss des jeweiligen Dränbeton-Zusatzes. Die Dränbetonzusammensetzung mit der Kombination Silicastaub/Polymer bietet Vorteile z. B. beim Frost-Tausalz-Widerstand. Nachteilig für eine Bauausführung ist aber die schlechte Verarbeitbarkeit der Mischung. Für den Bau der Versuchsstrecke auf der B 56 wurden die beiden Dränbetone mit den Zusatz-Varianten Fließmittel und Polymer ausgewählt. Bei einem geringeren Hohlraumgehalt des Dränbetons (z. B. 20 anstatt 25 Vol.-%) sind bessere Festigkeits- und Dauerhaftigkeitseigenschaften zu erwarten. Ein akustisch wirksamer Dränbeton sollte aber einen möglichst großen Hohlraumgehalt, eine große Dicke und einen hohen Strömungswiderstand aufweisen. Ein hoher Strömungswiderstand (erreichbar durch kleinere Poren, z. B. durch eine kleinere Gesteinskörnung) wäre für eine wirksamere Absorption günstiger. Ein kleines Größtkorn könnte jedoch das Zusammendrücken von Luft zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche erleichtern und sich negativ auf die Schallanregung durch „Airpumping“ auswirken. Die infolge eines z. B. von 25 auf 20 Vol.-% verminderten Hohlraumgehalts etwas geringere Schallabsorption verschlechtert die akustischen Eigenschaften nur unwesentlich. Für die Bauaus-

führung wurde daher ein rechnerischer Hohlraumgehalt von 22,5 Vol.-% vorgegeben.

Bei einem Verbund zwischen Dränbetondeckschicht und Unterlage kann von einer mittragenden Wirkung der Dränbetondeckschicht ausgegangen werden. Eine entsprechende Dimensionierung, vergleichbar den RStO-Bauweisen, liegt aber bisher noch nicht vor. Die Überrollversuche zeigen, dass auf das Schneiden von Fugen in der Dränbetondeckschicht verzichtet werden sollte. Durch die mangelnde Stützung in der Fuge ist ein Abscheren in der Rollspur im Fugenbereich zu befürchten. Durchlaufend bewehrte Decken als Unterlage sind vorteilhaft, da die sich im Unterbeton bildenden Querrisse eine geringere Rissweite aufweisen und somit auch im Dränbeton geringere Rissweiten erwarten lassen.

6.1.1.2 Wirtgen GmbH, Windhagen

Lenz, Martin

Die Aufgabenstellung für das gesamte Teilprojekt bestand in der Entwicklung eines dauerhaft offeneren und damit lärmindernden Fahrbahnbelags aus Beton. Innerhalb des Teilprojektes war es die Aufgabe der Wirtgen GmbH, ein geeignetes Verfahren zu entwickeln, mit der die erforderliche Haftbrücke aufgebracht werden kann.

Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Zusammensetzung des Konsortiums mit den führenden Unternehmen aus der Bauchemie und des Maschinenbaus auf der einen Seite und der wissenschaftlichen Betreuung durch das Forschungsinstitut der Zementindustrie hat maßgeblich zur erfolgreichen Durchführung beigetragen. Mit der Kirchhoff AG konnte schließlich auch eine mit der Durchführung von Sonderprojekten vertraute Bauunternehmung für den Einbau der Versuchsstrecke auf der B 56 gewonnen werden.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Ablauf des Projektes hat sich immer eng an der Planung orientiert. Zu keiner Zeit wurde eine Änderung der Zielsetzung oder der Vorgehensweise erforderlich. Der Terminplan wurde auch insgesamt eingehalten, sodass das Vorhaben innerhalb der Laufzeit abgeschlossen werden konnte.

Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die lärmindernde Wirkung von offenporigen Straßenbelägen aus Beton als auch aus Asphalt ist evident. Offenporige Straßenbeläge aus Asphalt verlieren über ihre Lebensdauer einen Teil ihrer akustischen Wirksamkeit und haben im Vergleich zu dichten Asphaltdeckschichten eine stark verkürzte Lebensdauer. Offenporige Straßenbeläge aus Beton, soweit als Testfeld vorhanden, zeigen Auffälligkeiten durch Kornausbrüche im Bereich der Fugen.

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit mit den anderen Partnern des Konsortiums war effektiv. Nicht nur in den Workshops oder bei den gemeinsamen Arbeitssitzungen, sondern auch auf bilateraler Ebene war eine gute Kooperation unter den Partnern zu verzeichnen.

Bewertung

Innerhalb des Projektes wurde ein Verfahren zur Ausbringung der Haftbrücke entwickelt. Das Verfahren ist durch die Funktionsstruktur, wie in Bild 6.1 dargestellt, gekennzeichnet.

Die Funktionsstruktur sieht eine separate Mischstation zum Anmischen der Haftbrücke vor. Die Mischung erfolgt in Chargen, um ein Höchstmaß an Genauigkeit für die Dosierung der einzelnen Komponenten der Haftbrücke nach der Rezeptur zu gewährleisten. Auf dem Fertiger ist eine Ringleitung für die Haftbrücke vorgesehen (Bild 6.2), die dafür

sorgt, dass die Haftbrücke ständig in Bewegung bleibt und somit fließfähig gehalten wird.

Das Bestreben der Haftbrücke, zu sedimentieren bzw. anzudicken, ist so stark, dass die Rückführung der Ringleitung in den Speicher nicht ausreicht, um auch den Inhalt des Speichers fließfähig zu halten. Deshalb wurde der Tank mit einem zusätzlichen Rührwerk ausgestattet. Für das Fördern der Haftbrücke hat sich eine Schlauchpumpe bewährt, die selbst hochviskose Flüssigkeiten auch dann fördern kann, wenn bis zu einem gewissen Grad Feststoffanteile vorhanden sind.

Für die Teilfunktionen „Auftragen“ und „Verteilen“ der Haftbrücke konnte die Lösung in einer Walzbürste gefunden werden. Die Walzbürste arbeitet die Haftbrücke regelrecht in die Oberfläche ein und schiebt den überschüssigen Anteil vor sich her, so dass die Haftbrücke gleichmäßig über die Arbeitsbreite verteilt wird. Die Walzbürste hat weiterhin den Vorteil gegenüber starren Hilfsmitteln zur Auf-



Bild 6.2: Ringleitung zur Ausbringung der Haftbrücke

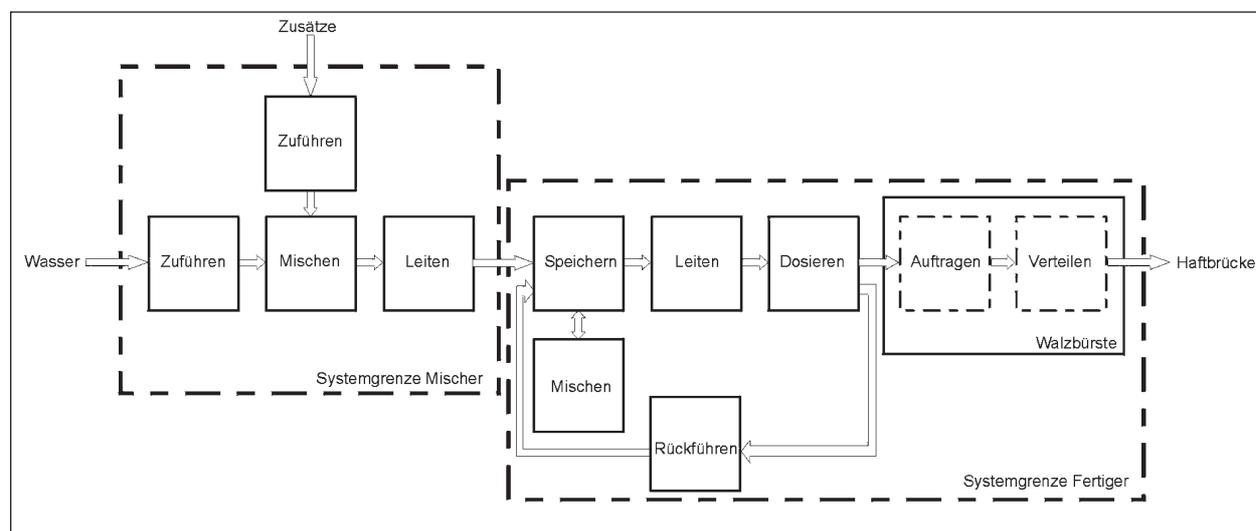


Bild 6.1: Funktionsstruktur für die Ausbringung der Haftbrücke (Hauptumsatz)



Bild 6.3: Gleichmäßig aufgebrachte Haftbrücke

bringung und Verteilung, dass sie sich besser an Unebenheiten anpassen kann. Das gilt auch für Unebenheiten, die sich quer zur Fahrtrichtung erstrecken. Diese Eigenschaft ist besonders wertvoll für Baumaßnahmen, bei denen bestehende Fahrbahndecken mit Dränbeton überbaut werden sollen.

Durch den Einsatz einer Walzbürste besteht auch eine einfache und effektive Möglichkeit, die Menge der ausgebrachten Haftbrücke einzustellen. Dies kann einerseits durch mehr oder weniger starkes Andrücken der Walzbürste gegen den zu bearbeitenden Boden mittels einer Höhenverstellung erfolgen oder aber auch über die Drehzahl. In Bild 6.3 ist das Ergebnis zu sehen, eine in der erforderlichen Menge und gleichmäßig aufgebrachte Haftbrücke.

Zusammenfassung und Ausblick

Innerhalb des Vorhabens wurde ein Dränbeton mit der dazugehörigen Haftbrücke entwickelt, der bezüglich der akustischen und mechanischen Eigenschaften optimiert ist. Die anfängliche akustische Wirksamkeit wurde durch Messungen bestätigt und hat überragende Ergebnisse gezeigt. Die Dauerhaftigkeit der lärmindernden Wirkung wird weit über das Ende der Projektlaufzeit hinaus untersucht werden. Der erreichte hohe Hohlraumgehalt von 24 Vol.-% bzw. 28 Vol.-% sowie die Tatsache, dass es sich um einen kunststoffmodifizierten Zementbeton handelt, der im Gegensatz zu Asphalt nicht zum Verkleben neigt, lassen eine Beibehaltung der akustischen Wirkung bis zum Ende der Liegedauer erwarten.

Die mechanischen Eigenschaften, soweit zugänglich, sind ebenfalls als gut zu bewerten. Doch wie

bei den akustischen Eigenschaften auch, kann eine endgültige Aussage erst im Verlauf der Liegezeit gemacht werden. Mit der Ausführung als fugenlose Fahrbahndecke ist allerdings der größten Gefahr für die Standfestigkeit, nämlich dem Kornausbruch in den Fugen, Rechnung getragen worden. Wenn auch nicht dieselbe Lebensdauer wie bei dichten Betondecken erwartet werden kann, so doch eine wirtschaftliche Lebensdauer, die deutlich über die von offenporigen Asphaltdecken hinausgeht.

Ein absolutes Novum ist die Möglichkeit, bestehende Asphaltdeckschichten zu überbauen. Dies erweitert das Anwendungsgebiet für den Dränbeton, dessen Einbau dann nicht nur auf Neubaustrecken beschränkt ist. Dadurch wird den wirtschaftlichen Erfolgsaussichten ein wesentlicher Vorschub geleistet.

Der Einbau der Versuchsstrecke auf der B 56 bei Düren hat eindrucksvoll bestätigt, dass Dränbeton in großtechnischem Stil und auch wirtschaftlich umzusetzen ist. Das Verfahren zur Aufbringung der Haftbrücke hat seine Funktionstüchtigkeit unter Beweis gestellt. Nach Auswertung der Langzeitergebnisse sollten für die Zukunft größere Versuchsstrecken, z. B. auf bundesdeutschen Autobahnen, in Angriff genommen werden.

6.1.1.3 Celanese Emulsions GmbH, Frankfurt a. M.

Textor, Dieter

Für den kraftschlüssigen Verbund von Dränbeton (offenporiger Beton) als Fahrbahnbelag mit asphalt- und zementgebundenen Tragschichten sollte eine Haftbrücke entwickelt werden.

In Vorversuchen wurden verschiedene, handelsübliche Haftschrämlämme aus Trockenkomponenten mit einer Kunststoffdispersion/Wasser-Mischung hergestellt und deren Verbundeigenschaften an Versuchskörpern unter verschiedenen klimatischen Bedingungen untersucht.

In Voruntersuchungen sollten die für die Gebrauchseigenschaften wichtigen Parameter Konsistenz, Verarbeitungszeit und Verträglichkeit der Systemkomponenten untereinander sowie Hafteigenschaften der fertigen Schrämlämme geklärt werden. Das Haftschrämlammensystem mit dem günstigsten Eigenschaftsprofil wurde detailliert weiter untersucht.

In 1994 wurde auf der BAB 5, bei Karlsruhe Dur-lach, erstmals ein kunststoff-modifizierter offenporiger Beton als Fahrbahnbelag auf einer alten Betontragschicht eingebaut. Die dort verwendete Haftschrämme bestand aus einem reinen Zement/Dispersion/Wasser-Gemisch, mit einer geringen Menge an Fließmittel. Auch nachfolgende Dränbeton-Versuchsstrecken am Hockenheimring wurden mit dieser Haftschrämme auf einer zementgebundenen Tragschicht hergestellt.

Im Oktober 1999 wurde auf dem Betriebsgelände der Fa. Rau, Ebhausen, erstmalig eine handelsübliche Haftschrämme-Trockenkomponente in Kombination mit einer Kunststoffdispersion erfolgreich angewendet. Der Haftverbund des Dränbetons war auf einer zementgebundenen Tragschicht ausreichend.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Leiser Verkehr“ im TP 3161 wurde erstmals ein kunststoff-modifizierter offenporiger Beton als Fahrbahnbelag auf einer asphaltgebundenen Tragschicht eingebaut.

6.1.1.4 HeidelbergCement AG, Projektmanagement Verkehrswegebau, Shecklingen

Felsch, Klaus

HeidelbergCement arbeitet seit einigen Jahren an der Entwicklung offenporiger Betondeckschichten. Schwerpunkte liegen in der Baustoffoptimierung und der Verfahrenstechnik/Einbautechnik. Dränbeton-Versuchsstrecken wurden unter unserer Federführung gebaut und hinsichtlich ihrer technischen Eigenschaften und ihrer Dauerhaftigkeit unter Verkehrsbeanspruchung bewertet. Als wichtigste Referenzstrecke kann der Neubau der Querspange 2 - Hockenheimring aufgeführt werden. Die gesammelten Erfahrungen wurden in das Projekt „Leiser Verkehr“ eingebracht und dienen als Basis für weitere Forschung. Im Teilprojekt Tp 3161 wurden von HeidelbergCement und Sika-Addiment folgende Entwicklungen durchgeführt:

- Rezepturoptimierung von Dränbeton
- Einstellung einer Haftbrücke für den Haftverbund Dränbeton-Unterlage

Die getesteten Baustoffe wurden bei der Fertigung einer Dränbetondeckschicht auf der B 56 bei Düren berücksichtigt. Es zeigte sich, dass der optimierte Dränbeton auf Haftbrücke mit dem Fertiger problemlos einzubauen und eine ebene bzw. gleich-

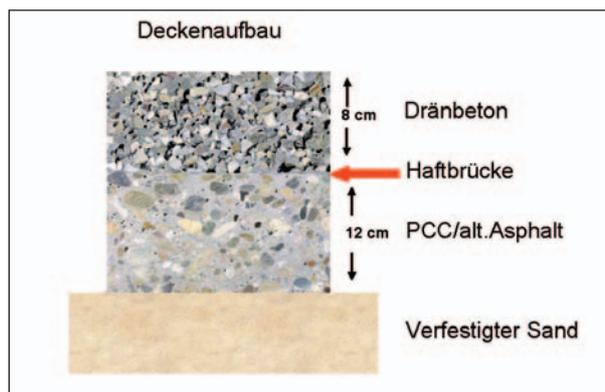


Bild 6.4: Zweilagige Betondecke aus Dränbeton auf dichter Unterlage

	<u>m³-Beton</u>
CEM I 32,5 R (Mainz)	340 kg
5/8 Syenit Edelsplitt	1.557 kg (feucht)
FM ADDIMENT	6,12 kg (1,80 %)
w/z =	0,22
Ergebnisse der Güteprüfung	
Temp. Luft	12,0 °C
Temp. Beton	19,0 °C
Konsistenz (27 min)	V = 1,32
Hohlraumgehalt	28 %
Rohdichte	1,826 kg/dm ³
w/z durch Darren	0,22

Bild 6.5: Rezeptur Dränbeton

mäßige Oberfläche zu erzielen war. Die Anforderungen an Hohlraumgehalt, Festigkeiten und Frost-Tausalz-widerstand wurden erfüllt. Messungen belegen, dass Dränbetone Reifen-Fahrbahn-Geräusche deutlich reduzieren.

Deckenaufbau

Offenporige Deckschichten werden in der Regel als dünner Belag auf dichtem Unterbeton oder Asphalt mit einem Fertiger verlegt (Bild 6.4).

Der Verbund wird durch eine kunststoffmodifizierte Zementhaftbrücke erzielt, die unmittelbar vor der Verlegung des Dränbetons aufgebürstet wird.

Rezepturen und Festigkeiten

Die beispielhafte Zusammensetzung eines Dränbetons für Deckschichten ist Bild 6.5 zu entnehmen.

Die Dauerhaftigkeit des Dränbetons wird durch die Auswahl geeigneter Ausgangsstoffe (gebrochenes Korn) sowie eine Modifikation des Zementleims durch spezielle Betonzusätze verbessert. Der kunststoffhaltige Dränbetonzusatz beeinflusst maßgeblich die Frisch- und Festbetoneigenschaften.

Die vom Hohlraumgehalt abhängigen Festigkeiten des Dränbetons sind für hochbelastete Fahrbahndecken vollkommen ausreichend (Ergebnis der Praxisversuche). Durch die Kunststoffvergütung werden Biegezug- und Spaltzugfestigkeit grundsätzlich erhöht (Bild 6.6).

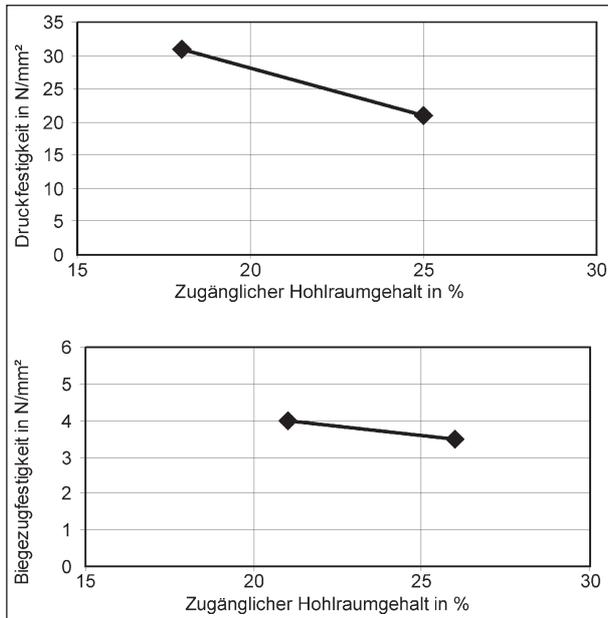


Bild 6.6: Festigkeitsentwicklung Dränbeton in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt

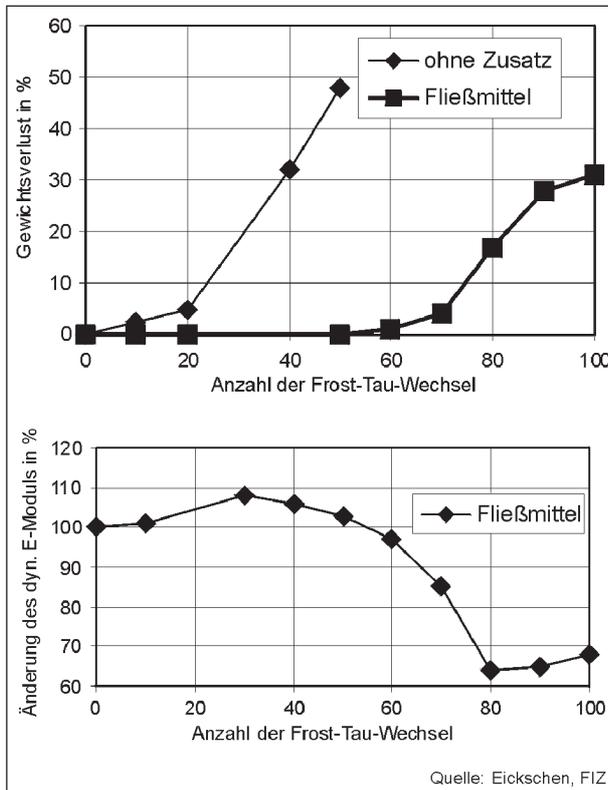


Bild 6.7: Frost-Tausalz-widerstand von Dränbeton ohne/mit Ad-diment FM

Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand

Bei der Prüfung mit Hilfe des CDF-Verfahrens und des Fußbadverfahrens zeigen sich für die gewählten Dränbetone nur geringe Abwitterungswerte. Rezepturen, die keinen Kunststoffzusatz (Dränbetonzusatz) enthalten, sind jedoch nicht ausreichend widerstandsfähig (Bild 6.7).

Fertigertechnik

Mit der Verfahrensweise „schwimmende Einbaubohle“ besitzen Straßenfertiger (die auch zum Asphalteinbau eingesetzt werden) hervorragende Voraussetzungen für die wirtschaftliche Fertigung von offenporigen und dichten Betondecken (Bilder 6.8 bis 6.10).

In den ausgeführten Versuchsstrecken (Querspange Hockenheimring und B 56 bei Düren) wurden mit den Fertigern Einbaubreiten bis zu 7,50 m realisiert.

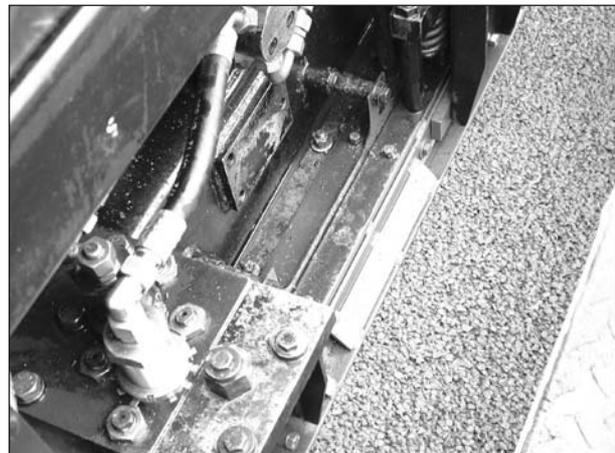


Bild 6.8: Verdichtungsbohle



Bild 6.9: Einbau Dränbeton B56

Entwicklung und Optimierung einer Haftbrücke

Die Entwicklung einer geeigneten Haftbrücke für die nachträgliche Verlegung von Dränbeton auf vorhandenen Betonfahrbahndecken bzw. Asphalt war das Ziel weiterer Versuche. Nach Einstellung der benötigten Konsistenzen und Verarbeitbarkeitszeiten sollte vor allem die Haftzugfestigkeit an praxisorientierten Verbundprüfkörpern ermittelt werden. Abschließend sollten Versuche zur wirtschaftlichen Rezepturoptimierung durchgeführt werden. Als günstigste Variante für eine Haftbrücke unter Dränbeton stellte sich die Kombination der ADDIMENT Haftbrücke P mit BD 10 heraus. Die Konsistenz ist dabei mit FM 207 bzw. FM 34 (0,60 % v. HB) einzustellen. Untergrundvorbereitungen bzw. das Einarbeiten der Haftbrücke zeigten infolge der geringen Dränbetonzugfestigkeiten kaum Einfluss. Eine Reduzierung des Dispersionsanteils in der Haftbrücke führte zu Festigkeitsabfällen und ist somit als nicht zweckmäßig zu bewerten. Die Abmagerung mit Kalksteinmehl ist demgegenüber bei gleichem (w+k)/z-Wert möglich, Konsistenzprobleme können allerdings auftreten. Die Haftbrücke mit BD 10 erhöhte den Frost-Tausalz-Widerstand. Abwitterungsmengen nach 28 FTW (512 g/m²) unterschritten den Grenzwert von 1.500 g/m² deutlich. Die Erhöhung des w/z-Wertes führte zu deutlich schlechteren Frost-Tausalz-Widerständen, sodass die Einsparung des FM nicht zweckmäßig ist. Die Versuchsprodukte zeigten gegenüber BD 10 noch bessere Kennwerte.

Mit der gewählten Haftbrücke auf Basis von ADDIMENT Haftbrücke P/ADDIMENT Dispersion BD 10 konnte die Eignung auf Asphalt nachgewiesen werden. Alle Brüche bei der Analyse der Haftzugfestigkeit an Verbundprüfkörpern erfolgen im Asphalt. Die mittlere Haftzugfestigkeit lag bei 0,7 N/mm². Anwendungstechnische Parameter des Verbundverhaltens Dränbeton auf Asphalt wie beispielsweise dynamische Belastungen und Temperatureinflüsse sind in weiteren Versuchen separat zu untersuchen.

6.1.2 Bewertung des Teilprojektes 3161

Sliwa, Nina
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Im Zuge dieses Teilprojektes wurden die folgenden Forschungsarbeiten durchgeführt:

- Optimierung der Dauerhaftigkeit und der akustischen Eigenschaften des Betons,
- Verbesserung des Verbundes zwischen Trag- und Deckschicht durch Entwicklung einer geeigneten Haftbrücke für Beton- und Asphaltunterlagen mit ausreichender Verarbeitungszeit, Konsistenz sowie dauerhafter Wirkung und
- Entwicklung eines geeigneten Verfahrens zur gleichmäßigen Applikation der Haftbrücke.



Bild 6.10: Lagertank und Kehrbürste für die Haftbrückenapplikation

Auf der Bundesstraße B 56 kamen zwei Erprobungsabschnitte aus offenporigem Beton zur Durchführung, deren Zusammensetzung mit einem angestrebten zugänglichen Hohlraumgehalt von 22,5 Vol.-% der Labor-Rezepturoptimierung entsprach. Zur Beurteilung der Oberflächeneigenschaften und des längerfristigen Verhaltens des offenporigen Betons unter den Einflüssen von Wetter und Verkehr wurden und werden durch die BAST bzw. in deren Auftrag umfangreiche Untersuchungen durchgeführt (Kap. 8.3.1 und Anlage A1).

Für die Herstellung des offenporigen Belages und die Applikation der Haftbrücke wurde erfolgreich ein Asphaltstraßenfertiger maschinentechnisch umgerüstet. Eine separate Mischstation, die der Anmischung der Haftbrücke in Chargen diente, sowie ein Ringleitungssystem, welches die Haftbrücke ununterbrochen in Bewegung hielt, stellten den reibungslosen Einbau des Belages sicher. Erreicht wurden Hohlraumgehalte von rd. 28 Vol.-% (Mischung 1) und rd. 23 Vol.-% (Mischung 2). Diese Differenz zeigte keinen Einfluss auf die Geräuschminderung. Messungen der Schalldruckpegel nach der statistischen Vorbeifahrtmethode ergaben anfänglich eine Geräuschreduzierung gegenüber dem Pegel des fiktiven Referenzbelages „nicht geriffelter Gussasphalt“ bei 100 km/h von rd. -7 dB(A), die sich nach einem Jahr Verkehrsbelastung um rd. 1 dB(A) verringerte. Im gleichen Zeitraum zeigten u. a. die Ergebnisse der Durchflussmessungen keine Zunahme, jedoch sank die Griffigkeit der Oberfläche auf ein nicht zufrieden stellendes Niveau ab. Analysen ergaben, dass der mit Kunststoff angereicherte Zementstein die Straßenoberfläche glättet. Der Verringerung der Geräuschreduzierung liegt möglicherweise die fehlende Mikrorauheit oder eine Verschmutzung der offenporigen Schicht zugrunde. Folgemessungen werden dazu Aufschluss geben.

Im Rahmen des Teilprojektes Tp 3161 zeigte sich, dass offenporige Betondecken mit hohem Geräuschminderungspotenzial im großtechnischen Stil und wirtschaftlich herstellbar sind. Das setzte neben der maschinentechnischen Umrüstung eines modifizierten Asphaltstraßenfertigers eine gelungene Rezeptur sowie eine funktionstüchtige Haftbrücke voraus. Eine wesentliche Voraussetzung für den Bau einer dauerhaften Betonstraße aus offenporigem Beton ist jedoch die fugenlose Unterlage. Diese kann aus Beton oder Asphalt bestehen. Trotz etwas geringerer Haftzugfestigkeiten der speziellen Haftbrücken für Asphaltunterlagen

im Labor weist der Abschnitt aus offenporigem Beton auf Asphalt auf der Versuchsstrecke B 56 bisher eine gute Haftung auf.

Im Hinblick auf eine Verbesserung der Anfangsgriffigkeit dieser Oberfläche konnte noch keine Lösung im Zuge der Deckenfertigung gefunden werden. Für zukünftige Forschungsarbeiten muss diese Problematik ein wesentlicher Ansatz sein. Am erhärteten offenporigen Beton wurde erfolgreich ein Schleifverfahren angewandt, das zu einer deutlichen Erhöhung der Griffigkeit führte. Aufgrund der positiven Erfahrungen auf der Versuchsstrecke B 56 im Hinblick auf die deutliche Geräuschminderung sollten zukünftig längere Versuchsstrecken mit offenporigem Beton auf bundesdeutschen Autobahnen angelegt werden, gegebenenfalls auch auf Asphalt.

6.2 Teilprojekt 3162 „Weiterentwicklung und Optimierung von dauerhaft lärmarmen dichten Betondecken“, Teil: Einbautechnik der Betondecke – Kurzbericht des Projektpartners

Bermel, Hans-Jörg
Gütegemeinschaft Verkehrsflächen
aus Beton e. V., Köln

Im Straßenbau wird aus vielerlei Gründen die Herstellung von möglichst gleichmäßigen Oberflächen im Mikro- und Makrotexturbereich angestrebt. Neben der Vermeidung von Kräften am fahrenden Fahrzeug, die zu zusätzlichen dynamischen Achslasten und damit zu einer zusätzlichen Beanspruchung und einem frühen Verschleiß der Fahrbahn führen, sind gleichmäßig texturierte Oberflächen wichtig, um die Rollgeräusche der Fahrzeuge so gering wie möglich zu halten.

In dieser Studie wurde nach Kriterien gesucht, die als Parameter herangezogen werden können, um die Bauqualität und die Güte einer gerade hergestellten Betonfahrbahnoberfläche zu beschreiben. An 5 Baustellen auf der A 3 im Wiedtal und der A 4 zwischen dem Aachener Kreuz und Eschweiler bzw. in Gegenrichtung sowie im Bereich Kerpen sowie der A 9 Coswig wurden messtechnische Untersuchungen an Betonfertigern durchgeführt. Anschließend wurde die Textur des fertigen Produktes, die Betonoberfläche, mit einem stationären dreidimensionalen Texturmessgerät vermessen.

Am Fertiger wurden im Wesentlichen die Parameter Vorschubgeschwindigkeit der Maschine, Höhenniveauregelung und die Änderungen der Längs- und Querneigung des Querglätters sowie der Aufhängungen des Längsglätters über die Zeit registriert. Fotos und Texturmessungen im selben Messabschnitt dokumentierten das Resultat auf der Fahrbahnoberfläche.

Als unbekannte Bindungsglieder zwischen dem Querglätter des Fertigers und dem Endresultat blieben der Längsglätter und die Oberflächenbehandlung des Betons durch die Nachbehandlungsbühne. Die Längsglätterbewegung sowie der Auflage- und Druck des Glätters auf dem frischen Beton ließen sich bisher noch nicht messtechnisch ermitteln.

Aus den bisherigen Untersuchungen ergibt sich Folgendes:

- Die Quellen für Welligkeiten in der Textur der Fahrbahnoberflächen lassen sich als Folge des Fertigungsprozesses ausmachen. Dabei sind kurzwellige Texturen bis ca. 50 cm eher durch den Glättprozess bedingt und langwellige Texturen (ca. 3–5 m) durch die Neigung der gesamten Maschine verursacht durch unebene Auflage der Fertigerbahn und das hieraus resultierende Verhalten der Maschinenkonstruktion während des Regelvorgangs.
- Fehler in der Belagsoberfläche treten auf, wenn der Querglätter sich in Fahrtrichtung aus der Horizontalen neigt. Dies tritt u. a. beim erneuten Anfahren des Fertigers nach einem Stillstand auf. Dieser Effekt wird gut durch die Korrelation zwischen Textur und Neigungssignal bestätigt. Ursachen für mehr oder weniger periodische Veränderungen der Querglätterneigung auch während der Fahrt sind noch nicht eindeutig geklärt. Beim Stillstand der Maschine sollte die Auflast der zur Längsstrukturierung nachgeführten Geräte (Kamm, Besen) automatisch verringert werden, um unerwünschte Eindrücke im Beton zu vermeiden.
- Der Einfluss des Längsglätters konnte bisher messtechnisch nicht ausreichend erfasst werden. Fotos der fertigen Oberfläche zeigen jedoch eindeutige Spuren des Längsglätters, die auch durch das Jutetuch oder den Kunstrasen nicht vollständig beseitigt werden. Insbesondere die Art der durch den Längsglätter erzeugten Struktur steht in engem Zusammenhang mit der Konsistenz des Betons.

- Periodische Welligkeiten der Betonoberfläche sind im Wesentlichen als Folge des Längsglätters in den Texturspektren erkennbar, andere Einflüsse der Maschine auf die Oberfläche sind eher statistisch verteilt.

Neben den maschinentechnischen Aspekten spielen an Großbaustellen logistische Probleme und das Zusammenwirken des gesamten Teams eine wichtige Rolle für die Qualität des Endproduktes.

Es ist nicht gelungen, eine befriedigende Korrelation zwischen Maschinentechnik und der Oberflächengestaltung zu finden. Voraussetzungen hierzu sind Messungen bei unterschiedlichen Arbeitseinstellungen des Längs- und Querglätters. Zum jetzigen Zeitpunkt können diese wesentlichen Punkte der Aufgabenstellung des TP 3162 ohne zusätzliche Untersuchungen nicht ausreichend beantwortet werden. Die bisher aufgenommenen Datensätze sind eine gute Basis für weitere Forschungsarbeit. Dies setzt allerdings voraus, dass hierfür verschiedene Arbeitseinstellungen an den Einbaugeräten vorgenommen werden.

Ausblick

Der Einbau einer hochwertigen Betonfahrbahndecke ist ein komplexer Vorgang, bei dem neben den logistischen Voraussetzungen und der einschlägigen Erfahrung des Einbauteams, insbesondere im Hinblick auf die gewünschte Oberflächentextur, gerätetechnische Faktoren wesentlich zum Ergebnis beitragen.

Das Ziel zukünftiger messtechnischer Untersuchungen sollte daher sein, dass neben den Parametern Höhenniveauregelung, Quer- und Längsglätterneigung, Gerätestillstand und Vortriebgeschwindigkeit, die sich als geeignete und notwendige Messgrößen zur Beschreibung des momentanen Maschinenzustandes in Bezug auf die Qualität der resultierenden Betondecke erwiesen haben, auch der Einfluss des Längs- und Querglätters ermittelt wird. Die hierzu notwendigen Untersuchungen zur Optimierung ihrer Form und der Art der Führung sind nur in enger Zusammenarbeit mit dem Maschinenhersteller lösbar. Dies wird voraussichtlich aufwändig sein, da das Optimum empirisch ermittelt werden muss. Prinzipiell sollte vorher die Bedeutung des Längs- und Querglätters geprüft werden, mit der Möglichkeit, völlig auf den Längsglätter zu verzichten und stattdessen z. B. teppichartige Strukturen als Glätt- und Strukturie-

rungsvorrichtung einzusetzen. Für diese Optimierungsversuche werden Baustellen benötigt, auf denen die wesentlichen Maschinenparameter sowie Glätt- und Texturierungsmethoden gezielt für Versuchsabschnitte von 30-50 m variiert werden können.

Die vorliegenden Untersuchungen haben ergeben, dass der Längsglätter zwar die Spuren des Querglätters beseitigt, dafür aber selbst deutlich sichtbare eigene Spuren hinterlässt. Diese Welligkeiten werden bei der nachfolgenden Texturierung mit z. B. Jutetuch zwar verwischt, aber nicht beseitigt.



Bild 6.11: Struktur nach Querglättger und Einfluss des Längsglätters

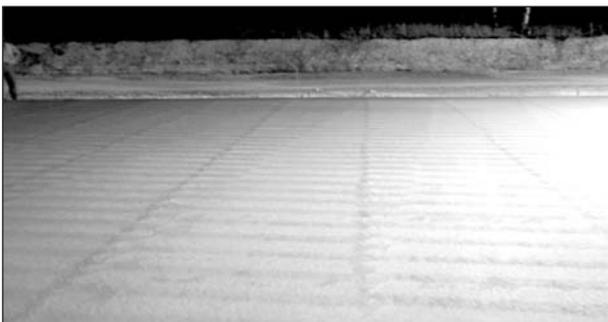


Bild 6.12: Einfluss Längsglättger, Tag



Bild 6.13: Einfluss Längsglättger, Nacht

Gleichzeitig mit dem Weglassen der alternierenden Glättelemente könnten dafür erweiterte Funktionen anderer nachlaufender Geräte, wie eine schwimmend auf der frisch eingebauten Decke gelagerte vibrierende Platte zum Einsatz kommen. Bei geeigneter Größe, Form und Gewicht sollte diese Platte die Wellen des Querglätters einebnen, evtl. vorhandene offene Lunkerstellen schließen und eine megatexturarme Oberfläche herstellen.

Unabhängig von den gemessenen Textureigenschaften während des Einbauvorganges ist die Überprüfung der akustischen Homogenität der fertigen Decke eine wichtige Beurteilungsmethode. Nach den hier vorliegenden Erfahrungen eignet sich dazu am besten der Schallmessanhänger. Zur Auswertung der hierbei gewonnenen Werte existiert eine Datenbank, die eine direkte Einordnung der Messergebnisse in die bereits vorhandenen Werte anderer Strecken zulässt.

6.3 Teilprojekt 3162 „Weiterentwicklung und Optimierung von dauerhaft lärmarmen dichten Betondecken“, Teil: Stabilität und Wirksamkeit der Oberfläche – Kurzbericht des Projektpartners (unverändert übernommen)

Siebel, Eberhard; Eickschen, Eberhard
Forschungsinstitut der Zementindustrie,
Düsseldorf

Griffigkeit und Lärmemission einer Betonfahrbahn-decke werden durch die Oberflächentexturierung der Fahrbahn-decke bestimmt. Betonfahrbahnen werden sowohl in Längs- als auch in Querrichtung strukturiert, indem in den frischen Oberflächenmörtel eine lärm-mindernde Textur z. B. mit einem Jute-tuch, einem Kunstrasenteppich oder einem Stahl-besen eingepägt wird. Für die Sicherstellung einer ausreichenden Griffigkeit und einer geringen Lärm-emission muss die Oberflächentextur langfristig erhalten bleiben. Voraussetzung hierfür ist ein dauerhafter Oberflächenmörtel. Der Mörtel muss eine hohe Festigkeit (geringer Wasserzementwert), einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand sowie einen hohen Abnutzwiderstand (Verwendung von hartem verschleißfestem Quarzsand) aufweisen.

Um die Dauerhaftigkeit des Oberflächenmörtels über das jetzige Maß hinaus zu verbessern, wurden

in Laboruntersuchungen Mörtel unterschiedlicher Zusammensetzung hergestellt und der Einfluss verschiedener Parameter auf Festigkeit, Frost-Tausalz- und Verschleißwiderstand sowie Griffbarkeit geprüft. Aus den Versuchsergebnissen sollten Vorschläge für optimierte Mörtel mit einer verbesserten Dauerhaftigkeit der eingepprägten Textur abgeleitet werden. Es ist anzunehmen, dass Mischungen, die in den Mörtelversuchen eine verbesserte Dauerhaftigkeit aufweisen, auch im Beton eine bessere Dauerhaftigkeit der Oberflächeneigenschaften gewährleisten.

Untersuchungsprogramm

Um die Dauerhaftigkeit des Oberflächenmörtels über das bis jetzt erreichte Maß hinaus zu verbessern, wurde ausgehend von einem Standardmörtel der Einfluss verschiedener Parameter auf Festigkeit, Frost-Tausalz-Widerstand, Verschleißwiderstand und Griffbarkeit untersucht. Folgende Parameter wurden variiert:

- Sand,
- Zementart und -gehalt,
- Zusätze (Polymerdispersion, Silikastaubsuspension, Polymerfasern),
- w/z-Wert,
- Luftgehalt,
- Dauer der Nachbehandlung.

Neben der Prüfung der Frischmörteleigenschaften (Luftgehalt und Konsistenz mit dem Verdichtungsmaß) wurden folgende Festmörteleigenschaften bestimmt:

- Druck- und Biegezugfestigkeit an Mörtelprismen,
- Frost-Tausalz-Widerstand mit dem CDF-Verfahren,
- Verschleißprüfung mit der Schleifscheibe nach Böhme
- Griffigkeitsentwicklung mit dem Wehner/Schulze-Gerät (BAST).

Insgesamt wurden 18 Mischungen im Forschungsinstitut der Zementindustrie hergestellt. Alle Prüfungen mit Ausnahme der Untersuchungen zur Griffigkeitsentwicklung (Prüfung durch die BAST) wurden im FIZ durchgeführt.

Versuchsergebnisse

Frishmörteleigenschaften

Zehn Minuten nach der Herstellung der Mörtel lag das Verdichtungsmaß bei der überwiegenden Mehrzahl der Mischungen zwischen rd. 1,25 und 1,35. Die Texturierbarkeit der Mörtel war sehr unterschiedlich. Bei den weicheren Mörteln konnte nach Augenschein eine tiefere Textur eingepragt werden. Andererseits zeigte sich hierbei auch vereinzelt ein Wasserabsondern an der Oberfläche. Dies führte vereinzelt zu einem teilweisen Zusetzen der eingepprägten Texturriefen durch nach oben geschwemmte Feinstanteile bzw. ein Verlaufen der eingepprägten Texturierung.

Festmörteleigenschaften

Verschleißwiderstand (Prüfung mit der Böhme-Scheibe)

Der Verschleißwiderstand wurde nur an wenigen Mörtelmischungen (Parameter Nachbehandlung, w/z-Wert und Zement) geprüft. Infolge der starken Verschleißbeanspruchung (Trockenschleifen unter Zugabe von Korundpulver) wurde die Oberflächenstruktur bei allen Probekörpern vollständig abgeschliffen. Insgesamt waren die Unterschiede sehr gering, sodass kein systematischer Einfluss der Nachbehandlung, des Zements bzw. des w/z-Wertes erkennbar ist.

Druck- und Biegezugfestigkeit

Die Mörteldruckfestigkeit stieg wie erwartet mit zunehmender Dauer der Nachbehandlung sowie mit Verringerung des w/z-Wertes bzw. des Luftgehalts an. Die Verwendung von Silikastaub erhöhte ebenfalls die Druckfestigkeit. Der verwendete Sand hatte keinen Einfluss auf die Druckfestigkeit. Die Verwendung von CEM-II-Zement anstatt von CEM-I-Zement führte bei dem eingesetzten CEM-II/B-S-Zement zu einer geringeren und bei dem CEM-II/A-LL-Zement zu einer höheren Druckfestigkeit. Den größten Einfluss hatte die Variation des w/z-Wertes von 0,40 bis 0,50 mit Druckfestigkeiten zwischen 51,0 und 66,7 N/mm².

Frost-Tausalz-Widerstand

Die Abwitterungen nach 28 Frost-Tau-Wechseln lagen zwischen rd. 300 und 650 g/m² und damit weit unterhalb des häufig angegebenen Grenzwertes von 1.500 g/m². Der dynamische E-Modul än-

derte sich ebenfalls nur geringfügig. Ein herausgehobener Einflussfaktor war bei beiden Beurteilungskriterien nicht zu erkennen.

Griffigkeit nach Polierbeanspruchung mit dem Wehner/Schulze-Versuch

a) Nullmessung

Die Nullmessung wird in unbeanspruchtem Zustand durchgeführt und kann stark durch die noch auf der Oberfläche vorhandene glatte Zementhaut beeinflusst werden. Die Nullmessungen zeigten sehr unterschiedliche Ergebnisse mit PWS-Werten (Polierwert Wehner-Schulze) von rd. 0,20 bis rd. 0,50. Die sehr hohen Werte wurden bei Mörtelmischungen erreicht, die bei der Herstellung eine weichere Konsistenz, d. h. ein geringeres Verdichtungsmaß, aufwiesen. Bei diesen Mörteln reicherte sich nach dem Verdichtungs Vorgang eine größere Menge Mörtel an der Oberfläche an. Nach der Texturierung war bei diesen Varianten auch eine stärker ausgeprägte Textur zu erkennen. Dies traf insbesondere zu bei den Varianten mit

- hohem w/z-Wert von 0,50,
- Verwendung der Zemente des Werks A (CEM I und CEM II/A-LL),
- hohem Zementgehalt von 450 kg/m³,
- hohem Luftgehalt von 7 Vol.-%.

Die vergleichsweise geringeren PWS-Werte wurden durch eine weniger stark ausgeprägte Texturierung hervorgerufen. Hierbei machte sich auch die relativ glatte oberflächliche Zementhaut, die bei der Polierprüfung im Nullzustand noch vorhanden war, stärker griffigkeitsmindernd bemerkbar.

b) Polierbeanspruchung

Nach der ersten Polierbeanspruchung mit 30.000 Umdrehungen des Polierkopfes zeigte sich ein unterschiedliches Verhalten in der Entwicklung des PWS-Werts. Bei den Mörteln mit anfänglich (Nullmessung) geringem PWS-Wert führte die Polierbeanspruchung zu einem Anstieg des PWS-Werts nach 30.000 Umdrehungen. Bei den Varianten mit anfänglich hohem PWS-Wert führte die Polierbeanspruchung dagegen zu einem Abfall des PWS-Werts. Die anfänglich stärker ausgeprägte (griffigkeitsstei-

gernde) Textur war nicht so dauerhaft und wurde z. T. durch die Polierbeanspruchung abgetragen.

Bemerkenswert ist, dass nach der Polierbeanspruchung tendenziell die höchsten Werte mit rd. 0,40 PWS-Einheiten bei den Varianten mit kurzer Nachbehandlungsdauer von drei Tagen, einem w/z-Wert von 0,50 bzw. einem Luftgehalt von 7 Vol.-% bestimmt wurden. Diese Varianten weisen vergleichsweise geringere Mörtelfestigkeiten auf. Die höhere Griffigkeit wird wahrscheinlich dadurch hervorgerufen, dass die Sandkörner in dem weniger festen Zementstein nicht so gut eingebettet sind und bei der Polierbeanspruchung leichter entfernt werden. Dadurch werden neue, noch nicht polierte und damit die Griffigkeit verbessernde Sandkörner freigelegt.

Zwischen 30.000 und 90.000 Umdrehungen änderte sich der gemessene PWS-Wert nur geringfügig. Die weitere Steigerung der Beanspruchung von 90.000 auf 180.000 Umdrehungen des Polierkopfes bewirkte tendenziell eine leichte Erhöhung des PWS-Werts.

Nach 180.000 Umdrehungen war die anfänglich eingeprägte Textur noch am besten bei den Mörteln mit geringem Luftgehalt von 3 % und mit hohem Zementgehalt von 450 kg/m³ sowie bei den Varianten mit Polymerfasern und Silikastaub als Zusatz zu erkennen. Andererseits waren die gemessenen PWS-Werte dann relativ gering. Dies zeigt, dass die vergleichsweise dauerhaftere Textur stärker poliert wurde. Ursache ist wahrscheinlich, dass der dauerhafte Zementstein selbst und die besser in den Zementstein eingebetteten Sandpartikel stärker poliert und glatter wurden, so dass die PWS-Werte mit rd. 0,30 geringer ausfielen.

Zusammenfassung

Ausgangspunkt der Untersuchungen war die weitere Verbesserung der Dauerhaftigkeit des Oberflächenmörtels über das bis jetzt erreichte Maß hinaus. Damit sollte die Langlebigkeit der Oberflächeneigenschaften Griffigkeit und Lärmemission optimiert werden. Hierzu wurden betontechnologische Untersuchungen durchgeführt. Ausgehend von einem Standardmörtel wurde der Einfluss verschiedener Parameter auf Festigkeit, Frost-Tausalz-Widerstand, Verschleißwiderstand und Griffigkeit untersucht. Obwohl sehr unterschiedliche

Mörtelvarianten geprüft wurden, zeigen sich vergleichsweise geringe Unterschiede bei den Prüfkriterien Festigkeit, Frost-Tausalz- und Verschleißwiderstand (Prüfung mit der Böhme-Scheibe).

Die größten Unterschiede wurden bei der Prüfung der Griffigkeitsentwicklung während der Polierbeanspruchung mit dem Wehner/Schulze-Versuch ermittelt. Dabei lässt sich feststellen, dass anfängliche Griffigkeitsunterschiede bei verschiedenen Mörteln mit zunehmender Polierbeanspruchung geringer wurden. Bemerkenswert ist, dass etwas schlechtere Zementsteinqualitäten und damit eine geringere Dauerhaftigkeit des Mörtels bei dieser Laborprüfung nicht unbedingt zu einer schlechteren Griffigkeit führten. Bei einem dauerhafteren Mörtel bleibt die Oberflächentextur längere Zeit erhalten und wird gerade deshalb stärker poliert. Wenn mit zunehmender Polierbeanspruchung die Textur abgetragen wird, gleichen sich die Werte allmählich an. Wenn der gesamte Oberflächenmörtel abgetragen wurde, wird die Griffigkeit von den gröberen Gesteinskörnungen bestimmt. Dieser Zustand kann auch gezielt bei der Herstellung von feinkörnigem Waschbeton (Größtkorn 8 mm) erreicht werden.

Die Verbesserung der Dauerhaftigkeit des Oberflächenmörtels durch den Einsatz von hochfestem Beton z. B. durch die Verwendung von Silikastaub führt zu einem höheren Verschleißwiderstand der Oberflächentextur. In einen Zementstein mit höherer Festigkeit sind die feinen Sandpartikel besser eingebettet und können wie der Zementstein stärker poliert und damit letztendlich glatter werden. Ein dauerhafter Oberflächenmörtel kann daher zu einer Verschlechterung der Griffigkeit führen.

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen ist es bisher nicht möglich, weitere allgemein gültige betontechnologische Vorschläge zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften (Griffigkeit und Lärmemission) zu geben. In Absprache mit der BAST sollen nach Abschluss des Forschungsvorhabens an einigen ausgewählten Proben weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Dabei sollen die Oberflächen der Mörtel mit einem Lasertexturmessgerät vermessen und die Polierbeanspruchung mit dem Wehner/Schulze-Gerät fortgeführt werden.

6.4 Teilprojekt 3162 „Weiterentwicklung und Optimierung von dauerhaft lärmarmen dichten Betondecken“, Teil: Waschbeton“

– Kurzbericht des Projektpartners

Sliwa, Nina
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Mit dem Ziel, eine dauerhaft lärmindernde Waschbetonoberfläche zu erzeugen, wurde ein Untersuchungsprogramm sowohl für den erhärteten als auch für den frischen Beton erstellt.

Die Bohrkern erhalteter Waschbetonoberflächen wurden im Labor stufenweise mit einer Schleifmaschine behandelt. Vor und nach dem Schleifen war die Textur dreidimensional zu erfassen. Diese Daten wurden dem Projektpartner Müller BBM zur Analyse mit dem „Sperenberg“-Modell übersandt. Darüber hinaus erfolgte die Einrichtung von zwei Testfeldern auf der Versuchsstrecke B 56, auf der die Laborergebnisse in die Baupraxis umgesetzt werden sollten. Für die Laboruntersuchungen am frischen Beton war die Herstellung von Probekörpern erforderlich, anhand derer in einem ersten Schritt die Parameter Auswaschtechnik, Verdichtung, w/z-Wert und Verzögerermenge variiert wurden. Die Oberfläche der Probekörper wurde ebenfalls durch eine dreidimensionale Texturmessung erfasst. Die hier erzielten Ergebnisse wurden in einem Testfeld auf der Bundesautobahn A9 umgesetzt.

Versuchsergebnisse

Erhärteter Waschbeton

Tabelle 6.1 zeigt eine Gegenüberstellung von dreidimensionalen Oberflächengrafiken, Höhenbildern und ungefilterten Profilen der verschiedenen Labor- und In-situ-Oberflächen. Mittels Schleifen des Bohrkerns im Labor konnte im ersten Schritt eine ebene, als „Plateau mit Schluchten“ ausgeprägte Oberfläche erzeugt werden. In diesem Profil zeigen sich keine herausragenden Spitzen und ein überwiegend gleichmäßiges Höhenbild. Die Auswirkung ist eine konkave Ausbildung der Tragflächenanteilskurve und ein hoher Gestaltfaktor. Eine weitere Verbesserung konnte im zweiten Schritt nicht erreicht werden. Aufgrund dessen wurde auf die Darstellung dieser Ergebnisse in der Vergleichstabelle verzichtet.

	3D-Oberflächengrafik	Höhenbild	Ungefiltertes Profil
Bohrkern BAB A4, Oberfläche ungeschliffen			
Bohrkern BAB A4, Oberfläche 1 mm geschliffen			
B56, Ausgangswaschbetonoberfläche (Typ 1)			
B56, gefräste Waschbetonoberfläche (Typ 2)			
B56, geschliffene Waschbetonoberfläche (Typ 3)			

Tab. 6.1: Vergleich der behandelten Waschbetonoberflächen in situ und im Labor

In situ konnte mit dem angewendeten Fräsverfahren (Typ 2) keine Ausprägung der isotropen Oberfläche entsprechend den Laborversuchen erreicht werden. Der erzielte Oberflächenabtrag erscheint zu gering, um eine Geräuschreduktion hervorzurufen. In Abhängigkeit von den freidrehenden Lamellen der horizontalen Fräsköpfe, die die Oberfläche bearbeiten, findet der Materialabtrag sowohl auf der Gesteinsoberfläche als auch zwischen den Gesteinen statt.

Mittels Rillenschnitt und anschließendem Kantenbruch in Längsrichtung wurde eine anisotrope Textur (Typ 3) erzeugt. Die Rillen können dazu beitragen, aerodynamische Geräusche im Reifenprofil zu verringern. Die verbleibenden Stege weisen jedoch keine gleichmäßige Höhe auf, was mechanische Schwingungen am Reifen hervorruft und zu einer Verstärkung des Rollgeräusches führt. Die vorliegenden akustischen Wiederholungsmessungen nach einem Jahr liefern keinen signifikanten Unterschied zwischen der Ausgangsoberfläche (Typ 1) und den behandelten Waschbetonoberflächen (Typ 2 und 3). Entsprechend früheren Messungen auf verschiedenen Waschbetonstrecken erzeugen Rautiefen bis rd. 0,8 mm einen tendenziell redu-

zierten Geräuschpegel sowohl für den Pkw- als auch für den Lkw-Verkehr [1].

Insgesamt betrachtet, ist die Herstellung der angestrebten optimalen Oberfläche als „Plateau mit Schluchten“ mit abtragenden Verfahren zwar im Labor als gelungen zu beurteilen. Für die Praxis sind die mechanischen Abtragverfahren jedoch weiter zu erproben bzw. zu entwickeln. Parallel zu Untersuchungen unterschiedlichster vorhandener Abtragverfahren in der Realität sind die Erprobung neuer Oberflächenbehandlungen im Prüfstand Fahrzeug-Fahrbahn der BAST sowie deren akustische Vermessung unter Laborbedingungen anzustreben.

Frischer Waschbeton

Unter Laborbedingungen sind Probekörper hergestellt worden, an denen die Parameter Ausbürsttechnik, Verdichtung, w/z-Wert und Verzögerermenge variiert wurden.

Das trockene Ausbürsten der Oberflächen mit der Kombination aus weicher Draht- und Kunststoffbürste erzielte eine zufrieden stellend gleichmäßige

Oberfläche. Sowohl die Kombination aus harten Draht- und Kokos- als auch die aus Kokos-, Rosshaar- und Piassavabesen eignen sich für die Laborversuche nicht. Die Oberfläche der Probekörper, die mit Rütteltisch und Auflast verdichtet wurden, weist gegenüber denen, die ohne zusätzliche Auflast hergestellt worden sind, eine gleichmäßigere Textur auf. Jedoch konnte insgesamt keine deutliche Ausprägung der Oberfläche als „Plateau mit Schluchten“ erzeugt werden, was einer geräuscharmen Fahrbahndecke entgegenkommt und sich in einem hohen Gestaltfaktor ausdrückt. Die Verdichtung der Probekörper mit einer Rüttelflasche stellte sich nicht zielführend dar, da beim Entfernen der Rüttelflasche deutliche Fehlstellen in der Oberfläche erzeugt wurden. Weitere Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Gestaltfaktor mit ansteigendem w/z-Wert zunimmt. Bei dieser Stichprobe errechnet sich ein Korrelationskoeffizient von 0,75. Es empfiehlt sich für die Baupraxis, die Konsistenz entsprechend anzupassen. Ein Einfluss der Verzögerermenge auf die Oberfläche konnte nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Insgesamt betrachtet sollte zukünftig neben verschiedenen Verdichtungsverfahren, z. B. ohne Aufhebung der inneren Reibung und mit höherer Belastung, auch die Variation der Kornform im Weiteren erprobt werden. Darüber hinaus ist zur Verifizierung der Ergebnisse ein statistischer Nachweis zu erbringen.

Auf dem auf der Bundesautobahn A 9 angelegten Waschbetontestfeld wurde in der Betonmischung ein w/z-Wert von 0,40 angestrebt und mittels Fließmittelzusatz für den Einbau die Konsistenz herabgesetzt. Das trockene Ausbürsten der Oberfläche begann nach ca. 12 Stunden. Die Ergebnisse der SRT-Messungen liegen im Mittel über das gesamte Messfeld unter dem Grenzwert der ZTV Beton-StB 01, die Anforderungen an die Griffigkeit mit der SCRIM werden dennoch erfüllt. Die durchschnittliche Rautiefe betrug $0,90 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$. Dieser Messwert ist geringfügig höher als die angestrebte Rautiefe von rd. $0,80 \text{ mm}$. Die Ergebnisse der Geräuschemessungen weisen höhere Vorbeifahrtpegel auf als verschiedene in der Vergangenheit gefertigte Waschbetontestfelder. Auf der BAB A 9 ist die Fertigung nicht zufrieden stellend verlaufen. Erfahrungen mit anderen Gleitschalungsfertigern zeigen, dass gleichmäßige geräuscharme Waschbetonoberflächen herstellbar sind.

Für zukünftige Testfelder erscheint es notwendig, neben der Ausführung von Varianten im Gestein die Glätttechnik zu verändern, da die Glättelemente möglicherweise bereits Welligkeiten in die Oberfläche einprägen, die trotz Ausbürsten des Oberflächenmörtels nicht mehr entfernt werden können.

Literatur

- [1] HABERKORN, U.; KÖLLMANN, A.; KÜPPERS, D.: „Messung der aktuellen Geräuschemission des Verkehrs auf Waschbetondecken“, TÜV Automotive GmbH, FE 89.051/1998, Dezember 2000

6.5 Bewertung des Teilprojektes 3162

Sliwa, Nina
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Dieses Teilprojekt schlüsselt sich in drei separate Abschnitte auf, die sich mit den Auswirkungen der Einbautechnik, der Stabilität und Wirksamkeit des Oberflächenmörtels sowie der Waschbetonstrukturierung der Fahrbahnoberfläche befassen.

Die Untersuchungen an Gleitschalungsfertigern fanden unter realen Bedingungen auf fünf Baustellen statt, was teilweise mit logistischen Schwierigkeiten verbunden war. Insgesamt ließen sich Quellen für kurzweilige Unregelmäßigkeiten in der fertigen Betonoberfläche, die eine Verstärkung des Reifen-Fahrbahn-Geräusches generieren, sowohl am Längs- als auch am Querglätter messtechnisch ermitteln. Langwellige Unregelmäßigkeiten entstanden bei einer Schiefstellung der Fertigerbahn und dem daraus resultierenden Verhalten der gesamten Maschinenkonstruktion. Die Ursache von periodischen Welligkeiten in der Oberfläche, die mit Texturaufnahmen des erhärteten Betons erfasst wurden, konnten jedoch nicht eindeutig geklärt werden. Um die Vorgänge bei der Glättung konkret analysieren zu können, sind weitere Untersuchungen mit unterschiedlichen Einstellungen der Glätter notwendig. Mit den gewonnenen Erkenntnissen ist eine gute Basis für zukünftige Forschungsarbeiten geschaffen. Die Schwerpunkte sollten auf den frequenzabhängigen Einstellungsvariationen des Gleitschalungsfertigers sowie der Erprobung neuer Glätttechniken liegen. Auch ein kompletter Austausch der bisher standardmäßig ausgeführten al-

ternierenden Glättung sollte in Betracht gezogen werden.

Der Stabilität des strukturierten Oberflächenmörtels wurde mit Laboruntersuchungen nachgegangen. Eine Vielzahl von Probekörpern, die sich in Sandart und -gehalt sowie Zementart und -gehalt, Zusätzen (Polymerdispersion, Silikastaubsuspension, Polymerfasern), w/z-Wert, Luftgehalt und Dauer der Nachbehandlung unterscheiden, wurde umfangreich hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit untersucht. Trotz unterschiedlichster Zusammensetzungen konnte bei der Analyse der Versuchsergebnisse kein herausragendes Resultat erzielt werden. Eine dauerhaftere Oberflächentextur trat lediglich bei der Zugabe von Silikastaub auf. Bei der Prüfung des Polierwiderstandes führte dies hingegen zu einer nicht zufrieden stellenden Griffigkeit der Oberfläche. Ursache ist, dass der dauerhafte Zementstein selbst und die besser in den Zementstein eingebetteten Sandpartikel stärker poliert werden. Nach Abschluss der Mörteluntersuchungen konnten keine allgemeinen betontechnologischen Vorschläge zur Verbesserung der Stabilität der strukturierten Oberfläche gegeben werden. Aufgrund dieser Erkenntnisse stellen sich Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit der Oberfläche mit verschiedenen Betonrezepturen zielführender dar. Entsprechende Forschungsarbeiten hierzu laufen derzeit an.

Als Alternative zur Strukturierung des frischen Oberflächenmörtels bietet sich das Entfernen des Mörtels in Anlehnung an die Waschbetontechnik an. Die Optimierung von Waschbetontexturen unterteilte sich in Untersuchungen an der erhärteten Betondecke sowie an der frischen Betonoberfläche.

Mit dem Ziel, auf der erhärteten Oberfläche ein „Plateau mit Schluchten“ zu erzeugen, das sich durch einen hohen Gestaltfaktor auszeichnet, wurden Bohrkerne unter Laborbedingungen stufenweise abgeschliffen und in situ die Waschbetonoberfläche auf der Bundesstraße B 56 mit auf- und abtragenden Verfahren modifiziert. Die gewünschte Oberflächenausbildung am Bohrkern konnte in der ersten Stufe erfolgreich, mit einem Gestaltfaktor von rd. 90 %, erzielt werden. In diesem Profil zeigten sich keine herausragenden Spitzen und ein überwiegend gleichmäßiges Höhenbild. Beim abtragenden isotropen Fräsverfahren auf der B 56 kam es zu keinem zufrieden stellenden Ergebnis. Zum einen fand der Materialabtrag sowohl auf der

Gesteinsoberfläche als auch zwischen den Gesteinen statt. Zum anderen erscheint der gesamte Oberflächenabtrag zu gering, um eine Geräuschreduzierung zu erzielen. Der Rillenlängsschnitt der Oberfläche mit anschließendem Kantenbruch führte zu keiner gleichmäßigen Höhe der verbleibenden Stege, was den Reifen zu mechanischen Schwingungen anregt und eine Verstärkung des Rollgeräusches verursachte.

Insgesamt betrachtet ist die Herstellung der angestrebten Oberfläche im Labor mit abtragenden Verfahren zwar als gelungen zu beurteilen. Für die Praxis sind die mechanischen Abtragverfahren jedoch weiterzuentwickeln. Parallel dazu ist die Entwicklung neuer Oberflächenbehandlungen im Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn der BAST anzustreben.

Für die Optimierung der frischen Waschbetonoberfläche hin zu einem „Plateau mit Schluchten“ sind Probekörper im Labor hergestellt und auf der Bundesautobahn A 9 ein Waschbetontestfeld angelegt worden. Bei den Laboruntersuchungen variierten die Parameter Ausbürsttechnik, Verdichtung, w/z-Wert und Verzögerermenge. Das trockene Ausbürsten des Probekörpers mit der Bürstenkombination aus weichem Draht und Kunststoff sowie dessen Verdichtung auf dem Rütteltisch mit zusätzlicher Auflast erzielten, die gleichmäßigste Oberfläche. Darüber hinaus war kein eindeutiger Einfluss der Verzögerermenge auf die Textur nachweisbar. Hingegen deuten die Ergebnisse an, dass mit ansteigendem w/z-Wert der Gestaltfaktor zunimmt. Die Laborergebnisse können als gute Basis herangezogen werden. Im Weiteren sollten die Verdichtungsarten und die Kornformen in die Untersuchungen mit einbezogen werden.

Auf der BAB A 9 kam ein Fließmittelzusatz zur Anwendung, um die Konsistenz des Betons beim Einbau herabzusetzen. Die mittlere Rautiefe betrug anschließend rd. 0,90 mm und lag geringfügig über dem angestrebten Wert von 0,80 mm. Die Geräuschmessungen erzielten höhere Vorbeifahrtpegel als auf anderen in der Vergangenheit gefertigten Waschbetontestfeldern. Die hergestellte Oberfläche des Waschbetontestfeldes weist zudem deutliche Welligkeiten auf, die vermutlich aus der Fertigung resultieren. Die alternierenden Glättelemente des Gleitschalungsfertigers erzeugten z. T. deutliche Abweichungen von einer planen, gleichmäßig ausgebildeten Oberfläche. Inwieweit diese Welligkeiten im grobrauen Bereich die Lage der Gesteinskörner in der endgültigen Waschbeton-

oberfläche beeinflussen, ist bisher nicht untersucht. Da auf dem Testfeld keine Variationen durchgeführt werden konnten, bleibt offen, ob die Glättlemente (Längs- und Querglätter) für die Herstellung einer Waschbetonoberfläche notwendig sind.

Waschbetontestfelder auf verschiedenen Bundesautobahnen zeigen, dass deren Oberflächentextur mit einer Rautiefe von rd. 0,8 mm unter den Einflüssen von Wetter und Verkehr dauerhaft geräuscharm sowohl für Pkw als auch für Lkw sein kann.

7 Ergebnisse Teilverbund 3170 „Optimierung von Fahrbahn- übergängen“

7.0 Problemdarstellung

Hemmert-Halswick, Arnold; Sliwa, Nina
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Fahrbahnübergänge sind ein wichtiger Bestandteil unseres Straßensystems, da sie die Längenänderungen der Brücke infolge Temperaturschwankungen und Verkehrsbelastungen ausgleichen. Seit ca. 20 Jahren werden wasserdichte Fahrbahnübergänge in Lamellenbauweise bevorzugt eingebaut, um Korrosions- und Betonschäden an den darunter liegenden Konstruktionsteilen zu vermeiden. Deren Querorientierung in der Fahrbahnoberfläche verursacht bei der Überrollung Lärm, durch den sich die Anwohner gestört fühlen können. Mit der Weiterentwicklung von regelgeprüften Fahrbahnübergängen soll erreicht werden, dass sich deren Schallmissionen denen der angrenzenden Fahrbahnoberflächen annähern.

Zur Zeit verfügen lediglich die Fahrbahnübergänge in Lamellenbauweise über eine Regelprüfung hinsichtlich der statischen Aspekte und der Betriebsfestigkeit, die eine Zulassung für den Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen darstellt. Sie können zusätzlich mit Lärminderungselementen in Form von Rauten, Fingerplatten o. Ä. ausgerüstet werden, für die bei zwei Herstellern auch eine Regelprüfung existiert. Für Fingerübergänge wird das Regelwerk erweitert, sodass für diese auch eine Regelprüfung durchgeführt werden kann. Dabei ist auf eine geregelte und dauerhaft zuverlässige Wasserableitung

besonderer Wert zu legen. Die früher üblichen Bauweisen von Fahrbahnübergängen wie Rollverschlüsse, Schleppbleche und Matten alter Bauart werden heute nur noch mit Zustimmung im Einzelfall eingebaut, da sie wasserdurchlässig sind und/oder schlechte lärmtechnische Eigenschaften haben. Bei Matten neuer Bauart, wie sie im Vorhaben verwendet wurden, gelingt der dichte Anschluss an die Brücke und an die Straße.

Fahrbahnübergänge aus Asphalt sind lärmtechnisch über jeden Zweifel erhaben – sie verhalten sich lärmtechnisch normalerweise wie die angrenzenden Fahrbahnbeläge der Brücke und der Straße, allerdings erlauben sie nur einen maximalen Dehnweg entsprechend dem geltenden Regelwerk von 37,5 mm und sind damit nur für Brücken bis Längen von etwa 35 m geeignet.

Die Forschungsarbeiten im Teilverbund 3170 „Fahrbahnübergänge“ nahm der Partner Federal-Mogul Sollinger Hütte wahr.

7.1 Teilprojekt 3171 „Fahrbahnübergänge“

7.1.1 Kurzbericht des Projektpartners

Braun, Joachim
Federal-Mogul Sollinger Hütte GmbH, Uslar

Fahrbahnübergänge zwischen Straßen und Brücken sind notwendig, um Längenänderungen der Brücke als Folge von Temperaturänderungen und Verkehrsbelastungen auszugleichen. Von den ca. 36.000 Brücken der Bundesfernstraßen haben ca. 5.800 eine Länge von über 30 m. Für diese Bauwerke eignen sich Fahrbahnübergänge mit Lamellenstruktur. Schätzungsweise 5 %, also ca. 300 dieser Brücken, befinden sich in der Nähe von Besiedlungen.

Werden Fahrbahnübergänge zwischen Brücken und Straßen von Kraftfahrzeugen überrollt, entstehen besonders bei solchen Fahrbahnübergängen in wasserdichter Lamellenbauart Überfahrgeräusche, die Anlieger oft als Störung empfinden. Bei dem Lärm handelt es sich um impulshaltige, schlagartige Geräusche, die sich von den Reifen-Fahrbahn-Geräuschen stark abheben.

Weil die Lamellenbauart nach langjährigen aufwändigen Entwicklungen ein sehr hohes Niveau hinsichtlich Funktionstüchtigkeit und Lebensdauer

erreicht hat und vielfach im konkreten Fall die einzige sinnvolle technische Lösung darstellt, sollten akustische Verbesserungen der Lamellenbauart in dem Sinn erreicht werden, dass deren Schallemission beim Überrollen des Reifens nicht wesentlich über denjenigen der angrenzenden Straßenoberfläche liegt. Als optimale Lösung zur lärmtechnischen Verbesserung dieser Lamellenübergänge wurde die Ausfüllung der Spalte durch ein elastisches Material angesehen, weil damit eine ebene Oberfläche im Bereich des Fahrbahnübergangs erzielt werden kann (Verringerung oder Beseitigung der Waschbrettstruktur). Dazu gab es bereits einfache Versuche mit dem Einkleben von Schaumstoffstreifen zwischen den Mittel- und Randprofilen. Die erzielten lärmtechnischen Verbesserungen waren sehr gut und bestätigten die grundsätzliche Wirksamkeit solcher Maßnahmen. Im Rahmen des Projektes sollte unter Verwendung weiterer Füllmaterialien, die den Verkehrsbelastungen standhalten sollten, in situ die Eignung der modifizierten Fahrbahnübergänge im Hinblick auf die Minderung der Lärmemission nachgewiesen werden.

Ablauf

Nach verschiedenen Entwurfsphasen des Elastomerprofils sind Vorberechnungen mit Hilfe der Finite-Element-Methode (FEM) durchgeführt worden. Die Berechnungen wurden schrittweise verfeinert und zeigten, dass das gewählte Design im Rechenmodell funktioniert. In dieser Phase der Berechnungen wurde nur die Funktionstüchtigkeit hinsichtlich der Verformungen mit dem Ziel „Ebene Oberfläche“ untersucht.

Vor der endgültigen Herstellung des Versuchskörpers 2 mit dem neu entwickelten fugenfüllenden Elastomerprofil sind umfangreiche Modellversuche mit dem Ziel durchgeführt worden, den Aufwand zur Herstellung und Verbesserung von Mundstücken für das Extrudieren bzw. die Musterspritzung des neu zu entwickelnden Elastomerprofils einzuschränken.

Dazu wurde für die erste Stufe der Modellversuche die handwerkliche Herstellung von Profilmodellen aus ca. 50 mm dicken Elastomerplatten geplant.

In der zweiten Stufe wurden Modellversuche an Abschnitten der ersten großtechnischen Musterspritzung geplant. Es wurde davon ausgegangen, dass diese erste Musterspritzung noch nicht das endgültige gebrauchsfertige Elastomerprofil liefern würde, sondern dass das Mundstück und eventuell der Herstellungsprozess verbessert werden müssten.

Das Messprogramm für Sperenberg ist in Abstimmung mit der Fa. Müller BBM festgelegt worden. Eine detaillierte Beschreibung enthält der Schlussbericht zum TP 3184.

Im Verlauf des Teilprojektes erfolgte eine sehr effektive Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, und mit unserem Partner für die Durchführung und Auswertung der Messungen, der Fa. Müller BBM, Planegg/München.

Die Zusammenarbeit mit unserem Partner für die Herstellung des neu entwickelten fugenfüllenden Elastomerprofils, der PHOENIX AG, Hamburg, erlitt während der Entwicklungsarbeiten dadurch einen Rückschlag, dass im Unternehmen Umstrukturie-

Versuchskörper (VK)	Beschreibung	Abmessungen	Bemerkungen
1a	Normaler regelgeprüfter FÜ*) WSG**), Fahrbahnquerschnitt, 4 Stützträger	WSG 320, 3 Felder à 2.000 mm	Grundtyp des FÜ in Lamellenbauweise mit V-förmigen extrudierten Elastomer-Dichtprofilen
1b	Wie VK 1a, jedoch mit aufgeschraubten Finger-Abdeckplatten	Wie VK 1a	VK 1b aus VK 1a durch Aufschrauben der Finger-Abdeckplatten
2	Neuer WSG (Noisekill) mit fugenfüllendem Elastomerprofil, 4 Stützträger	WSG 320, 3 Felder à 2.000 mm	neue Rand- und Mittelprofile und neue Elastomerprofile
3	Fingerübergang F	F 320 mit ca. ±160 mm Bewegungskapazität	zusätzliche Adapter zum Ausgleich der Höhendifferenz
4	Mattenübergang T	T 160 mit ca. ± 80 mm Bewegungskapazität	zusätzliche Adapter zum Ausgleich der Höhendifferenz

*) FÜ => Fahrbahnübergang **) WSG => Typenbezeichnung

Tab. 7.1: Übersicht der Versuchskörper

rungen erfolgten und die Produktion solcher Großprofile, wie z. B. des neuen Elastomerprofils, ausgelagert wurden. Dadurch kam es zu einer Verzögerung von etwa einem Jahr, die trotz großer Anstrengungen bis zum Abschluss des Projektes nicht aufgeholt werden konnte. Ein Wechsel des Partners schied als Lösung aus, weil es in Europa keinen anderen Hersteller für solche speziellen Großprofile gibt.

Ergebnisse

Die Versuche mit den handwerklich hergestellten Profilmodellen verliefen erfolgreich. Deshalb wurde unmittelbar danach begonnen, ein Mundstück für das Extrudieren der ersten Elastomerprofile (Musterspritzung) herzustellen.

Mit dem Mundstück-Prototyp sind die ersten 32 m Elastomerprofil als Musterspritzung extrudiert und ausgeliefert worden. Diese Menge reichte aus, um den Versuchskörper 2 herstellen zu können. Die Prototypen erfüllten die Erwartungen noch nicht vollständig und die Verformungsversuche in der zweiten Stufe mit 500 mm langen Versuchsstücken aus der Musterspritzung verliefen dann erwartungsgemäß auch nicht zur vollen Zufriedenheit. Trotzdem konnte gezeigt werden, dass

- bei ca. 40 bis 70 mm Spaltöffnung eine gute Ebenheit der Oberfläche des Fahrbahnübergangs erreicht wird,
- die für die Gesamtfunktion sehr wichtige Gleitbewegung zwischen den keilförmigen Unterseiten des Obergurtes und den schrägen oberen Flächen des Elastomerprofils stattfindet.

Die Ergebnisse der Messungen in Sperenberg sind im Schlussbericht TP 3184 [6] zusammengestellt, gegliedert in Vorbeirollpegel, Richtwirkung und Spektren. Wesentlich für die Auswertung sind die Vorbeirollpegel und die Richtwirkung.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Teilverbundes TV 3170 konnte ein multifunktionales Elastomerprofil zur Verwendung für modulare Fahrbahnübergänge in Lamellenbauweise entwickelt und in einem Fahrbahnübergangs-Prototyp unter praxisnahen Bedingungen getestet werden. Hauptziel der Entwicklung war die Reduzierung der A-bewerteten Lärmpegel (Vorbeifahrpegel) beim Überrollen der Fahrbahnübergänge durch Pkw und Lkw. Die Tests auf einem Versuchs-

gelände bestätigten, dass das neu entwickelte Elastomerprofil geeignet ist, die Lamellenstruktur des Fahrbahnübergangs und damit die Überrollgeräusche zu reduzieren.

Eine Vorkalkulation der Herstellungskosten ergab, dass ein Lamellenübergang mit dem neu entwickelten fugenfüllenden Elastomerprofil nicht teurer wird als der Grundtyp mit offenen Fugenspalten, aber um ca. 30 % billiger als ein Lamellenübergang mit Blechabdeckungen. Es ergeben sich auch statische Vorteile dadurch, dass die Mittelprofile in horizontaler Richtung nicht mehr punktförmig, sondern kontinuierlich abgestützt werden. Angemeldete Patente sichern die Entwicklung.

Eine Weiterentwicklung des getesteten Prototyps muss sich auf folgende Schwerpunkte konzentrieren:

- Optimierung des Elastomerprofils, um die Sollform im großtechnischen Herstellungsprozess sicher zu erreichen,
- Prüfung der Wasserdichtigkeit und Gebrauchstauglichkeit (z. B. einfache Unterhaltung oder Wartungsfreundlichkeit) unter realen Verkehrsbedingungen,
- Überführung der Herstellung und des Einbaus des neuen Lamellenübergangs in die Produktion und Montage einschließlich Erlangung einer Regelprüfung gemäß den aktuellen Zulassungsanforderungen.

Ergänzend soll am neuen Fahrbahnübergang die Schallabstrahlung nach unten geprüft werden. Es ist zu erwarten, dass hier gegenüber der Grundkonstruktion deutliche Verbesserungen durch das kompakte Elastomerprofil erzielt werden können.

Weiterhin sind die Einbaubedingungen für den neuen Fahrbahnübergang so zu optimieren, dass der Übergang zwischen den angrenzenden Fahrbahnen und dem Fahrbahnübergang völlig eben ist. Dazu ist zur Verhinderung der Spurrinnenbildung der Einsatz von verbesserten Straßenbelägen, z. B. aus Polymerbeton, in der Umgebung der Fahrbahnübergänge zu intensivieren.

Schließlich ist der Einsatz anderer Werkstoffe als bisher üblich für Komponenten des Fahrbahnübergangs ein Erfolg versprechender Ansatz zur Verbesserung der Gebrauchseigenschaften, insbesondere zur Reduzierung des Überroll-Lärmpegels.

7.1.2 Bewertung des Teilprojektes 3171

Hemmert-Halswick, Arnold
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Der Partner Federal-Mogul Sollinger Hütte hat die vereinbarten Fahrbahnübergangsuntersuchungen durchgeführt und schriftlich dokumentiert. Die Untersuchungen wurden wie geplant an fünf Varianten unterschiedlicher Fahrbahnübergangsbauarten auf dem Versuchsgelände in Sperenberg durchgeführt.

Die Messungen wurden von der Firma Müller BBM durchgeführt und im Anhang B4 dokumentiert. Darin sind Vorbeirollpegel, Richtwirkungen und Spektren dargestellt.

Als Parameter wurden realisiert:

- fünf verschiedene Bauarten von Fahrbahnübergängen,
- bei der Lamellenbauart Typ 1a und 1b je zwei Rollspuren,
- bei Lamellenbauart 1a, 1b und beim Fingerübergang drei verschiedene Öffnungszustände,
- bei Lamellenbauart Typ 2 zwei unterschiedliche Öffnungsstellungen,
- bei Mattenübergang Typ 4 eine Öffnungsstellung,
- Überfahrten mit zwei Pkw-Typen und einem Lkw,
- Überfahrten mit drei Geschwindigkeiten (Lkw zwei).

Als Ergebnis hinsichtlich der Schallmessungen lässt sich auf der Basis der temperaturkorrigierten A-bewerteten Maximalpegels auf der Basis der Abbildungen 12 bis 25 des Messberichtes (siehe Anhang B4) die folgende messquerschnittbezogene Wertung abgeben:

Messpunkte südlich und nördlich neben dem Fahrzeug bzw. dem Fahrbahnübergang (Messstelle B19)

Bei den Messungen ergeben sich für den Fingerübergang die geringsten Werte, siehe Bilder 12 und 13 des Messberichtes im Anhang B4. Die Konstruktion 2 „Neuentwicklung WSG 320 („Noisekill“) mit fugenfüllendem Elastomerprofil“ liegt so hoch im Pegel wie das Grundmodell des Lamellenüber-

gangs WSG 320. Der Lkw liefert niedrigere Pegel als die beiden Pkw. Die Pegel zwischen Nord und Süd unterscheiden sich um mehrere dB(A), die Pegel Nord liegen immer mehrere dB(A) unter den Pegeln Süd (Kanteneffekt).

Die gewählte Temperaturkorrektur von 0,1 dB(A)/K° erscheint relativ hoch.

Grundsätzlich bedeuten unterschiedliche Öffnungszustände auch unterschiedliche Pegel.

Bei der Darstellung der Richtwirkung in den Abbildungen 20 bis 25 werden die A-bewerteten Schalldruckpegel in 40 m seitlicher Entfernung vor und in 20 m sowie 40 m seitlicher Entfernung hinter dem Fahrzeug zum Zeitpunkt des Überrollens am Fahrbahnübergang wiedergegeben.

Messpunkte 40 m südlich und nördlich vor dem Fahrzeug (B21)

Die Tendenzen der Darstellungen in den Abbildungen 12 und 13 wiederholen sich, allerdings liegen die Pegel aufgrund der größeren seitlichen Entfernung um rund 10 dB(A) niedriger als dort, siehe Abbildungen 20 und 21.

Messpunkte 20 m südlich und nördlich hinter dem Fahrzeug (C33 = B3.3)

Die Tendenzen der Darstellungen in den Abbildungen 12 und 13 wiederholen sich, allerdings liegen die Pegel aufgrund der größeren seitlichen Entfernung um rund 5 dB(A) niedriger als die Werte der Abbildungen 12 und 13, da die seitliche Entfernung geringer ist als bei den Messpunkten B21, siehe Abbildungen 22 und 23.

Messpunkte 40 m südlich und nördlich weiter hinter dem Fahrzeug (C34 = B3.4)

Die Tendenzen der Darstellungen in den Abbildungen 12 und 13 wiederholen sich, siehe Abbildungen 24 und 25, allerdings liegen die Pegel um rund 10 dB(A) niedriger als dort, siehe Abbildungen 22 und 23. Das heißt, dass hinter dem Fahrzeug vergleichbare Pegel gemessen werden wie vor dem Fahrzeug.

Messungen bei einer Öffnung von 5 mm wurden an der Konstruktionsart 2 nicht vorgenommen.

Insgesamt gesehen lässt sich die folgende Wertung abgeben: Die Konstruktionsart 2 Lamellen-

übergang mit fugenfüllenden Elastomerprofil hat bei den (objektiven) Messungen der Firma Müller BBM noch nicht die Lärminderungswirkung (0,5 bis 2dB(A)) gezeigt, wie sie (subjektiv) von mehreren Zuhörern empfunden wurde. Die Empfindung war, dass die Lärmcharakteristik deutlich weniger „aggressiv“ als bei den normalen Lamellen war. Die Fingerübergangsbauart hat sich erwartungsgemäß vom Lärmpegel am geringsten gezeigt. Auch die Mattenübergänge zeigen erfreulich niedrige Pegel. Die aufgeschraubten wellenförmigen Bleche bringen eine Lärminderung um mehrere dB(A) gegenüber den Lamellenoberflächen, wobei dies stark geschwindigkeitsabhängig ist; allerdings ist diese Lärminderungsart von der Brückenunterhaltung her problematisch.

Der Bericht des Partners zu 3171 nennt offen gebliebene Punkte, die aber nicht Gegenstand dieses Vorhabens waren. Es würde sich lohnen, diese in einem weiteren Projekt zu bearbeiten. Es sollte auch herausgestellt werden, welchen Einfluss eine Überhöhung des Belagsanschlusses hat, wie sie im derzeit gültigen Regelwerk (ZTV-ING Teil 8 Abschnitt 1 Fahrbahnübergänge aus Stahl und aus Elastomer 1 Allgemeines (9) mit einem Maß von 3 bis 5 mm gefordert wird.

8 Ergebnisse Teilverbund 3180 „Messaufgaben“

8.0 Allgemeines

Im Rahmen des Teilverbundes 3180 wurden die Messungen koordiniert und abgewickelt, die eine Weiterentwicklung und Optimierung der einzelnen Komponenten des geräuscherzeugenden Systems Fahrzeug-Reifen-Fahrbahn ermöglichen.

Die dabei erhobenen Daten sollen als Input für die Validierung der Modelle (TV 3110) und zur Kalibrierung der neu entwickelten Messverfahren (TV 3120) verwendet werden.

Des Weiteren wurden auch die Griffigkeitseigenschaften jeder neuen oder modifizierten Fahrbahnoberfläche überprüft.

8.1 Kurzberichte zu den Messverfahren

Bartolomaeus, Wolfram; Sliwa, Nina; Weck, Ute
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

8.1.1 Schwingungs- und steuerungstechnische Überprüfung des Fertigungsprozesses

Im Rahmen des Teilprojektes 3151 wurden Schwingungsmessungen an den Einbaubohlen der Straßenfertiger beim Fertigungsprozess von Walzasphalten, wie z. B. Splittmastixasphalt, durchgeführt. Die ausführliche Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 5.1.

Des Weiteren wurden im Rahmen des Teilprojektes 3162 die Auswirkungen der Einbautechnik auf die Textur mit Hilfe von Bewegungs- und Vibrationsmessungen an Betondeckenfertigern sowie an den Glätteinrichtungen untersucht. Zur Beschreibung des Messverfahrens und der Ergebnisse wird auf Kapitel 6.2 verwiesen.

8.1.2 Messung der Textur

Im Rahmen des Projektes wurde die Textur der Oberflächen auf den Messfeldern der Bundesstraße B 56 ermittelt. Es standen zwei Verfahren zur Verfügung:

- Verfahren A liefert Texturprofilschnitte der Fahrbahnoberfläche in Längsrichtung. Analysiert werden Stücke mit einer Länge von ca. 4 m (Texturmessfahrzeug TMF).
- Verfahren B liefert dreidimensionale Abbildungen der Oberfläche über eine Fläche von 4 cm x 5 cm bzw. 40 cm x 50 cm (Texturmessung 3-dimensional T3D)

Die beiden Messungen ergänzten sich in Bezug auf Genauigkeit und Vollständigkeit der Texturbeschreibung. Die ausführliche Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 8.3.3 des Berichtes.

Texturmessverfahren TMF

Das optische Messsystem TMF der BAST dient der zweidimensionalen Messung von Oberflächentexturen im Bereich der Makro- und Megarauheit. Es ist mobil, besteht aus einem Messfahrzeug, einer Lasersonden-Konstruktion, einer Videokamera sowie aus einem PC mit Analog-Digital-Wandlerkarte (Bild 8.1). Die Lasersonden-Konstruktion mit drei Lasern,

die an einer Aluminiumplatte angeordnet sind, ist an der Beifahrerseite des Messfahrzeugs befestigt. Dabei befindet sich die erste Lasersonde am Anfang, die zweite bei 0,05 m und die dritte bei 1,0 m an der Platte. Die Videokamera ist auf dem Fahrzeugdach montiert. Die Auswerteelektronik mit dem Messrechner und dem batteriegepufferten Spannungswandler ist im Kofferraum installiert.

Das TMF-Messsystem arbeitet nach dem Triangulationsprinzip. Die von den Lasern auf die Fahrbahnoberfläche projizierten Laserlichtpunkte beschreiben beim Abfahren der Messstrecke eine Profilkurve, welche die Textur wiedergibt. Die eingebaute Videokamera nimmt den Straßenzustand auf. Der Beginn der Messungen kann sowohl intern vom Bediener als auch durch ein externes Triggersignal mittels Reflexlichtschranke gestartet werden. Der Rechner steuert den gesamten Messablauf und speichert die Daten.

Technische Daten

Anwendungsbereich:	mobile, berührungslose 2D-Messdatenerfassung von Oberflächenstrukturen auf den rechten Radspuren der Straßen
Messgeschwindigkeit:	60–85 km/h
Typ/Leistung:	BMW 318 Compact/103 kW
Messprinzip:	Triangulation mit drei impulsgesteuerten Lasersonden
Texturwellenlängenbereich:	0,63 mm bis 500 mm
Messintervall weggesteuert:	0,5 mm
Arbeitsbereich der Lasersonden:	± 25 mm
Abstand von Lasersonden bis zur Fahrbahnoberfläche:	110 mm
Abstand von der Aluminiumplatte bis zur Fahrbahnoberfläche:	85 mm
vertikale Auflösung:	0,01 mm
horizontaler Messbereich:	abhängig von der Festplattenkapazität (ca. 10 km)
horizontale Auflösung	0,2 mm



Bild 8.1: Texturmessfahrzeug TMF

T3D-Messverfahren

Das optische Messsystem T3D der BAST dient der dreidimensionalen Messung von Oberflächenstrukturen im Bereich der Mikro- und Makrorauheit. Es ist statisch und besteht aus einem Messkopf mit dem Mikrospiegelprojektor, einer Digitalkamera sowie aus einem Messrechner inkl. Zubehör (Bild 8.2). Das T3D-Messsystem arbeitet nach dem Prinzip der Streifenprojektion. Der Mikrospiegelprojektor projiziert die optischen Streifen unter einem bestimmten Triangulationswinkel auf die Oberfläche des Messobjektes, und eine Digitalkamera nimmt ein Bild auf. Dann wird das Höhenbild aus der Lage der Streifen und dem Grauwert einzelner Bildpunkte errechnet. Der Steuerung des Messsystems sowie der Auswertung der Messdaten dient das ODSCAD-Programm. Bei den Messungen muss zunächst der Messkopf auf die Fahrbahn in die Fahrtrichtung positioniert und das Messprogramm gestartet werden. Mit verschiedenen automatisierten Auswerteroutinen werden die Messdaten anschließend analysiert.

Technische Daten

Anwendungsbereich:	statische, berührungslose 3D-Messdatenerfassung von Oberflächenstrukturen im Labor und auf den Straßen
Messprinzip:	optische Streifenprojektion mit Mikrospiegelprojektor und Bildaufnahme mit Digitalkamera
Messgeschwindigkeit:	ca. 1 Sekunde für 440.000 Messpunkte
Messzeit:	7,5 s – 15 s

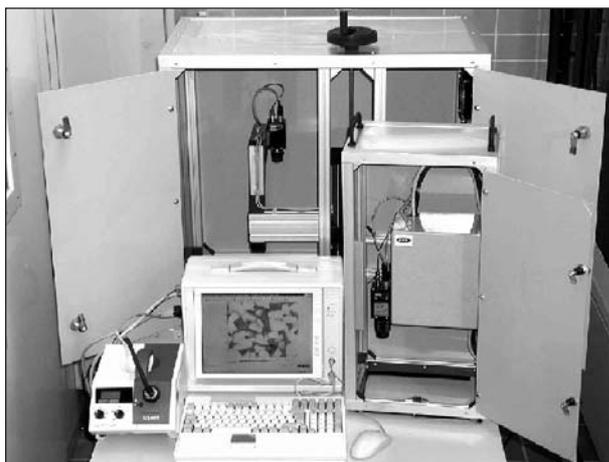


Bild 8.2: Dreidimensionales Texturmessgerät T3D

Kleines Messfeld:	40 x 50 mm
Großes Messfeld:	400 x 500 mm
Auflösung (X x Y x Z)	
Kleines Messfeld	0,04 x 0,04 x 0,004 mm
Großes Messfeld	0,4 x 0,4 x 0,04 mm

8.1.3 Messung von akustischer Impedanz und Strömungswiderstand

Im Rahmen der Teilprojekte 3122 wurde ein Messverfahren zur Erfassung des Strömungswiderstandes und im 3121 zur Erfassung der akustischen Impedanz unter nahezu senkrechtem und streifenden Einfall entwickelt (siehe Kapitel 2).

8.1.4 Messung von Geräuschen

Die Geräuschemissionen einer Straßenoberfläche können sowohl mit dem „Statistischen Vorbeifahrverfahren“ nach DIN EN ISO 11819-1, dem „Kontrollierten Vorbeifahrverfahren“ nach ISO 13325 als auch mit dem Lärmmessanhänger ermittelt werden [1, 3].

Zur Erfassung der Vorbeifahrtpegel werden Mikrofone in 7,50 m Abstand von der Fahrzeugachse sowie in 1,20 m und 4,80 m Höhe über der Fahrbahn angebracht. Gemessen werden die Pkw-Vorbeifahrtpegel im fließenden Verkehr. Dabei sind so viele Fahrzeuge zu erfassen, dass der Mittelwert statistisch abgesichert ist. Für jeden Straßenbelag wird durch eine Vielzahl von Messungen ein mittlerer Geräuschpegel ermittelt, der, in Beziehung gesetzt zu einem Referenzbelag, eine Pegeldifferenz D_{StrO} aufweist, die im Rahmen der „Richtlinie für

den Lärmschutz an Straßen“ (RLS-90) anzuwenden ist [2]. Diese Messmethode wurde für die Entwicklung lärmarter Straßenbeläge eingesetzt (Teilverbände 3150 und 3160).

Die Geräuschemissionen einer Straßenoberfläche bei der Messung nach der Anhänger Methode werden direkt am rollenden Rad mit Mikrofonen erfasst. Im Innern eines Anhängers werden die Rollgeräusche eines definierten Rades kontinuierlich über den gesamten Streckenabschnitt aufgenommen, was sich im Besonderen für Vergleichsmessungen und zur Kontrolle der Homogenität eines Belages eignet (Teilprojekte 3152, 3161 und 3162 – Teil 3).

Für die Entwicklung von Reifen (Teilprojekte 3131 und 3132) sowie von Fahrbahnübergängen (Teilprojekt 3171) kam die Messmethode der „kontrollierten Vorbeifahrt“ zur Anwendung. Dabei wird mit definierten Reifensätzen und einem ausgewählten Fahrzeug bei verschiedenen Geschwindigkeiten gemäß ISO 13325 der Geräuschpegel des vorbeifahren Pkw bzw. Lkw registriert. Das Messsystem ist entsprechend der statistischen Vorbeifahrtmethode installiert.

8.1.5 Messung der Griffbarkeit

Zur Bestimmung der Textur (Rauheit) kamen zum einen das kombinierte Messverfahren mit dem Pendelgerät und dem Ausflussmesser nach Moore in Anlehnung an die Arbeitsanweisung für kombinierte Griffbarkeits- und Rauheitsmessungen [4] und zum anderen das Messverfahren nach der Sandfleckmethode gem. ISO 10844, Anhang F [5] zur Anwendung. Des Weiteren wurde die Griffbarkeit der Fahrbahnoberfläche nach den „Technischen Prüfvorschriften für Griffbarkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: SCRIM“ (TP Griff-StB (SCRIM)) [6] bestimmt (Teilprojekte 3152, 3161, 3162).

8.2 Umfang der Untersuchungen

Tabelle 8.1 bietet einen Überblick über die in den einzelnen Teilprojekten durchgeführten Untersuchungen. In der letzten Spalte der Tabelle ist angegeben, in welchen Kapiteln die Ergebnisse der Untersuchungen behandelt werden.

Teilprojekt	Strecke	Auftragnehmer	Ergebnisse
Tp 3181 – Schwingungs- und steuerungstechnische Überprüfung des Fertigungsprozesses am - Betongleitschalungsfertiger - Asphaltfertiger	A 4 – Kerpen A 9 – Coswig	RW TÜV RW TÜV	siehe Kap. 6.2
	B 39 – Geinsheim A 63 – Kaiserslautern A 293 – Oldenburg	RW TÜV RW TÜV RW TÜV	siehe Kap. 5.1
Tp 3182 – Messungen der Textur – 3D-Texturmessung (T3D) – mobile Texturmessung (TMF)	B 56 – Düren A 9 – Coswig B 39 – Geinsheim A 63 – Kaiserslautern	BASt BASt BASt BASt	siehe Kap. 5.1, Kap. 6.4 & Kap. 8.3.3
	B 56 – Düren B 39 – Geinsheim A 63 – Kaiserslautern	BASt BASt BASt	Kap. 5.1 & Kap. 8.3.3
Tp 3183 – Messung von akustischer Impedanz und Strömungswiderstand	Sperenberg A 4 – Kerpen B 56 – Düren	Müller BBM Müller BBM Müller BBM	siehe Kap. 2
Tp 3184 – Messung von Geräuschen – Kontrollierte Vorbeifahrt – Statistische Vorbeifahrt – Lärmessanhänger	B 56 – Düren Sperenberg	BASt RW TÜV	siehe Kap. 3, siehe Kap. 3, Kap. 4 & Kap. 7
	A 1 – Wißkirchen B 56 – Düren A 9 – Coswig	BASt BASt RW TÜV	siehe Kapitel 5.3, siehe Kap. 8.3.2, siehe Kap. 6.4
	B 56 – Düren A 9 – Coswig	RW TÜV RW TÜV	siehe Kap. 6.4 & Kap. 8.3.2
Tp 3185 – Messung der Rauheit/ Griffigkeit – SRT/Ausflussmessung – SCRIM	B 56 – Düren A 9 – Coswig	BASt BASt	siehe Kap. 6.4 & Kap. 8.3.2
	B 56 – Düren A 9 – Coswig	BASt BASt	siehe Kap. 6.4 & Kap. 8.3.2

Tab. 8.1: Umfang der durchgeführten Untersuchungen

8.3 Versuchsstrecke B 56

8.3.1 Herstellung der Oberflächenvarianten

Sliwa, Nina
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Für den Einbau von neun neuen Testfeldern wurde die Bundesstraße B 56 zwischen Stockheim und Soller ausgewählt. Im Zuge eines vorangegangenen Forschungsvorhabens sind hier bereits 1997 Oberflächentexturen in Waschbeton (WB), Besen- und Jutetuchlängsstrich hergestellt und erprobt worden. Darüber hinaus wurde erstmalig ein 800 m langer Streckenabschnitt mit einer fugenlosen durchlaufend bewehrten Betonfahrbahndecke angelegt [7]. Als Referenzbeläge fungieren ein ca. 450 m langer Abschnitt Splittmastixasphalt 0/8 (SMA) und ein 100 m langer Abschnitt Beton mit Jutetuchtextur.

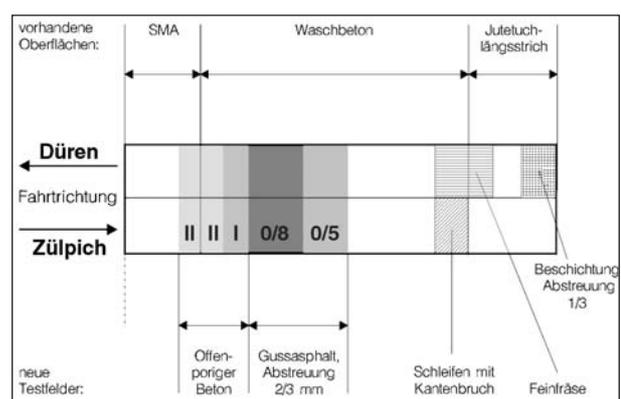


Bild 8.3: Anordnung der vorhandenen und neuen Versuchsfelder auf der Bundesstraße B 56

Die neun neuen Testfelder aus dem Jahr 2002 unterscheiden sich signifikant in ihrer Herstellungsart und Texturausbildung von den bereits bestehenden Betonoberflächen. Eine Übersicht der Versuchsfelder ist in Bild 8.3 dargestellt.

Bezüglich der Herstellung der Oberflächenvarianten, des Messprogramms auf der B 56 und der Ergebnisse wird auf den Bericht „Optimierung von Fahrbahnoberflächentexturen auf der Bundesstraße B 56 bei Düren“ [8] verwiesen, der als Anlage A 1 dem Schlussbericht beigelegt ist.

8.3.2 Geräusch- und Griffigkeitsergebnisse

Alle neuen und modifizierten Oberflächen wurden unter akustischen und sicherheitsrelevanten Aspekten untersucht. Durchgeführt wurden Messungen für die akustischen Eigenschaften mit der statistischen Vorbeifahrt- und der Anhängerermethode, für die Griffigkeit mit der SCRIM sowie für die Textur mit der Sandfleckmethode und dem kombinierten Verfahren SRT-Pendelgerät/Ausflussmesser.

Die akustischen Untersuchungen an den neuen Oberflächen aus offenporigem Beton (Dränbeton) ergaben bei der statistischen Vorbeifahrtmethode einen Emissionspegel, der um 7 dB(A) geringer ist als der Mittelwert des Referenzbelages für die D_{StrO} -Werte „nicht geriffelter Gussasphalt“. Dieser Anfangsmesswert ist vergleichbar mit dem eines offenporigen Asphalttes.

Die Ergebnisse aus den Messungen mit dem Geräuschmessanhänger bestätigen eine Geräuschreduzierung und liefern einen um 3 dB(A) geringeren Pegel im Vergleich zu dem auf der B 56 vorhandenen Belag aus Beton mit Jutetuchtextur.

Im Untersuchungszeitraum zeigt sich eine deutliche Reduzierung der Griffigkeit und der Mikrotextur, die aus dem auf der Oberfläche vorhandenen Zementleim resultiert. Die Anforderungen nach den ZTV Beton-StB 01 sind nicht eingehalten. Durch die Einwirkungen von Verkehr und Witterung wurde der Leim bisher nicht beseitigt, sodass das verwendete polierresistente Gestein die Griffigkeit noch nicht positiv beeinflussen konnte. Um kurzfristig eine Erhöhung der Griffigkeit herbeizuführen, scheint eine bauliche Maßnahme sinnvoll.

Die Untersuchungen zum Drainagevermögen ergaben einen schnellen Wasserabfluss durch die Prüflfläche.

Unter akustischen Gesichtspunkten verhält sich die neue Gussasphaltoberfläche sehr günstig. Die gemessenen Geräuschpegel nach der statistischen Vorbeifahrtmethode liegen über dem Niveau der Belagsart Splittmastixasphalt, für die nach den RLS-90 bereits eine lärmreduzierende Wirkung von

-2 dB(A) im Vergleich zum Referenzbelag ermittelt worden ist. In der Tendenz bestätigen die Messungen nach der Anhängerermethode diese Ergebnisse. Nach einjähriger Verkehrsbelastung trat eine tendenziell weitere Reduzierung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche ein.

Im Vergleich zur Oberfläche aus Splittmastixasphalt weisen die Gussasphalte eine bessere Griffigkeit und eine ausgeprägtere Makrotextur auf. Die Anforderungen nach den ZTV Asphalt-StB 01 sind trotz eines geringfügigen Abfalls der Messwerte eingehalten.

Es wurden drei Maßnahmen zur Modifizierung der bestehenden Betonoberflächen ausgeführt:

- Abtragendes anisotropes Verfahren: Schleifen mit Kantenbruch der Waschbetonoberfläche.
- Abtragendes isotropes Verfahren: Feinfräsen der Betondecke mit Jutetuchtextur und der Waschbetonoberfläche.
- Auftragendes isotropes Verfahren: Oberflächenbehandlung mit Reaktionsharz und Abstreuerung 1/3 mm auf der Betondecke mit Jutetuchtextur.

Die Messungen nach der statistischen Vorbeifahrt und der Anhängerermethode ergaben für die durchgeführten Maßnahmen im Vergleich zu den Ausgangsbelägen mit Ausnahme der geschliffenen Waschbetonoberfläche keine deutlichen Unterschiede, wobei die Pegel auf den Waschbetonoberflächen geringfügig höher liegen als die auf der Betondecke mit Jutetuchtextur. Der Emissionspegel aus der Erstmessung der statistischen Vorbeifahrt des geschnittenen Waschbetons entspricht dem Niveau des Belages aus Splittmastixasphalt. Nach einem Jahr Verkehrsbelastung bestätigen sich diese günstigen Ergebnisse nicht. Die Rollgeräuschmessungen nach der Anhängerermethode zeigen hier aufgrund der Messmethodik keine Unterschiede.

Das Feinfräsen auf der Betondecke mit Jutetuchtextur führte auf der Ausgangsoberfläche nur geringfügige Veränderungen herbei, die auch keine signifikanten Auswirkungen auf die Griffigkeit mit sich brachten. Die weiteren modifizierten Oberflächen verzeichnen einen Anstieg der Griffigkeit. Bei den Untersuchungen zur Mikro-, Makro- und Megatextur sind hingegen keine nennenswerten Veränderungen im Vergleich zu den Ausgangsbelägen Betondecke mit Jutetuchtextur bzw. Waschbetonoberfläche festgestellt worden.

Eine Ausnahme bildet hier die Reaktionsharzbeschichtung auf der Betondecke, die der Ausgangsoberfläche eine vollständig neue Struktur verleiht und die Mikro- und Makrotextur signifikant verändert. Die Griffigkeitsanforderungen nach den ZTV Beton-StB 01 bezüglich SCRIM sind sicher eingehalten.

8.3.3 Ergebnisse der Texturmessungen mit den Messverfahren TMF und T3D

Bartolomaeus, Wolfram
 Bundesanstalt für Straßenwesen,
 Bergisch Gladbach

Auf den Testfeldern der B 56 wurden an jeweils ein bis zwölf Stellen im Verlauf der Strecke Messungen durchgeführt. Mit dem Verfahren TMF wurden neun Profilschnitte in Längsrichtung (jeweils drei in Gruppen zu 3 ca. 1 m voneinander entfernt) und ein Profilschnitt in Querrichtung sowie mit dem Verfahren T3D drei Flächen in Längsrichtung (jeweils ca. 2 m voneinander entfernt) aufgenommen.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in einer standardisierten Darstellung. Die verwendeten Abkürzungen für die verschiedenen Fahrbahnoberflächen der B 56 (Bild 8.3) enthält Tabelle 8.2.

Im Einzelnen werden die folgenden Grafiken gezeigt:

- Texturprofilschnitt des wirklichen Profils,
- Texturprofilschnitt des gefilterten Profils,
- Wellenlängenspektrum (in Terzen) und
- Profiltragkurve und Verteilungsdichte.

Oberfläche	Bezeichnung
Beton mit Jutetuchtexturierung beschichtet, abgestreut	ZBJ-AS 1/3
Beton mit Jutetuchtexturierung (Standard, gebaut 1997)	ZBJ
Beton mit Jutetuchtexturierung gefräst	ZBJ-F
Washbeton mit Fugen, gefräst	WB 4/8 m.F. -F.
Washbeton mit Fugen (Standard, gebaut 1997)	WB 4/8 m.F.
Washbeton, fugenlos (Standard, gebaut 1997)	WB 4/8 o.F.
Gussasphalt Körnung 0/5S	GA 0/5
Gussasphalt Körnung 0/8S	GA 0/8
Dränbeton 1 auf Beton	OPB 1
Dränbeton 2 auf Beton bzw. Asphalt	OPB 2
Spülmastixasphalt (Standard, gebaut 1997)	SMA 0/8
Washbeton, geschliffen	WB 4/8 m.F.-S.
Beton mit Besenlängsstrichtextur	BL

Tab. 8.2: Bezeichnung der verschiedenen Testfelder

Neben den üblichen Angaben zu Messort, Fahrtrichtung, Messdatum, Belag, Messgerät, Fensterbreite und einer Messnummer werden die zur weiteren Berechnung benötigten Profildaten der Texturtiefe (Maximum und Minimum, 5 % und 95 %, 1/3 und 2/3) sowie die akustisch relevanten Texturkenngrößen angegeben:

- Texturtiefe bei 5/95 % TD 5/95
- Gestaltfaktor bei 5/95 % GF 5/95
- Wellenlänge bei der maximalen Amplitude Wmax
- Maximale Amplitude im Terzspektrum Amax

Nähere Angaben über die Auswertung sind dem Bericht „Erfassung und Bewertung der Textur von Fahrbahnoberflächen“ [9] zu entnehmen.

Akustisch relevante Kenngrößen des TMF

Die Auswertungen aller Einzelmesswerte des TMF sind im Anhang A4 dargestellt. In den Bildern 8.4 bis 8.7 sind die Mittelwerte der Kenngrößen TD 5/95, GF 5/95, Wmax und Amax für die einzelnen Oberflächen mit Standardabweichungen dargestellt.

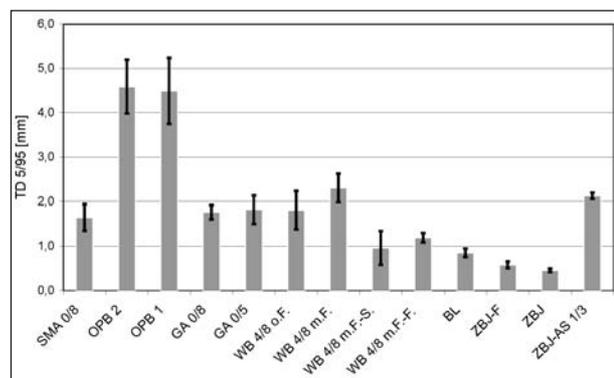


Bild 8.4: Kennwert TD 5/95, Messverfahren TMF

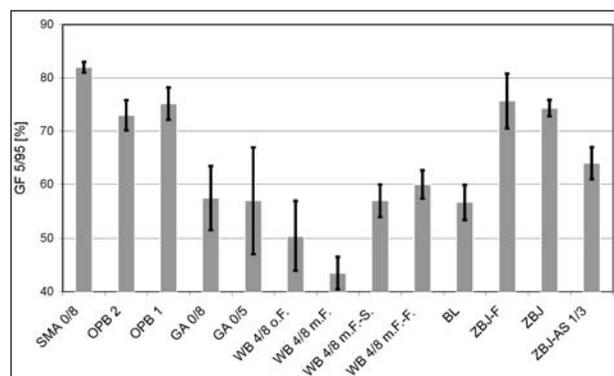


Bild 8.5: Kennwert GF 5/95, Messverfahren TMF

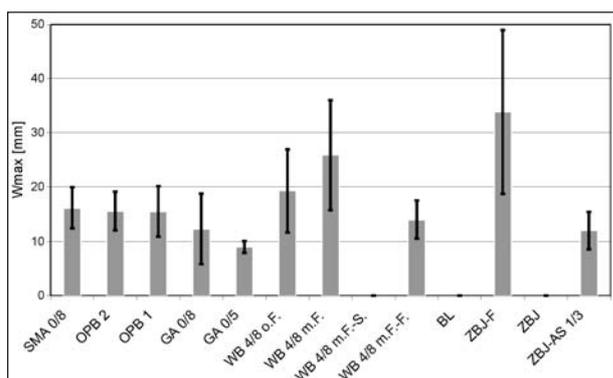


Bild 8.6: Kennwert Wmax, Messverfahren TMF

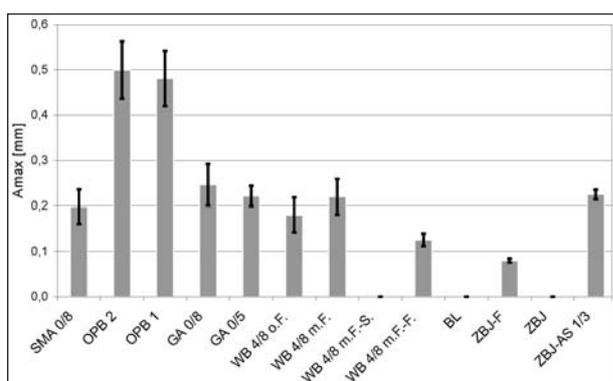


Bild 8.7: Kennwert Amax, Messverfahren TMF

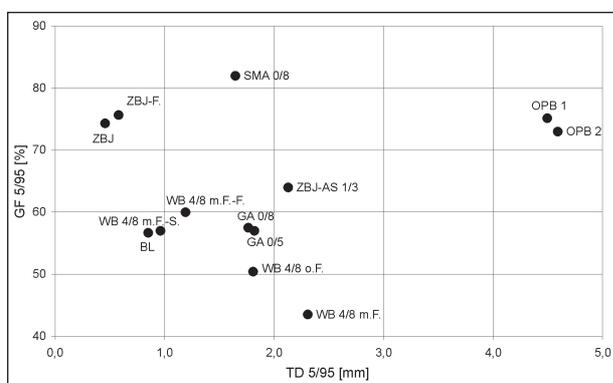


Bild 8.8: Kennwerte TD 5/95 und GF 5/95, Messverfahren TMF

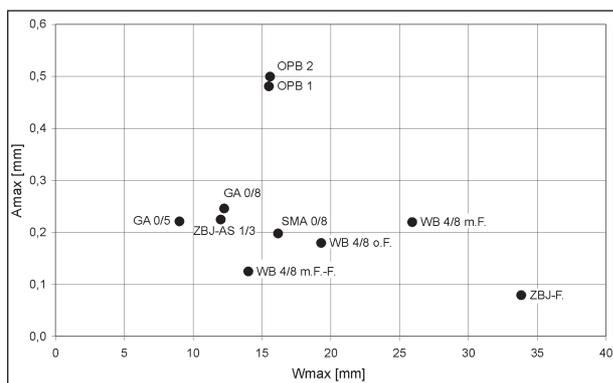


Bild 8.9: Kennwerte Wmax und Amax, Messverfahren TMF

In Bild 8.8 sind die Kenngrößen TD 5/95 und GF 5/95 für die einzelnen Oberflächen und in Bild 8.9 die Kenngrößen Wmax und Amax für die einzelnen Oberflächen gegeneinander aufgetragen.

Akustisch relevante Kenngrößen des T3D

Die einzelnen Auswertungen des T3D auf allen Messpunkten auf der B 56 sind im Anhang A 5 dargestellt. In den Bildern 8.10 bis 8.13 sind die Mittelwerte der Kenngrößen TD 5/95, GF 5/95, Wmax und Amax für die einzelnen Oberflächen mit Standardabweichungen dargestellt.

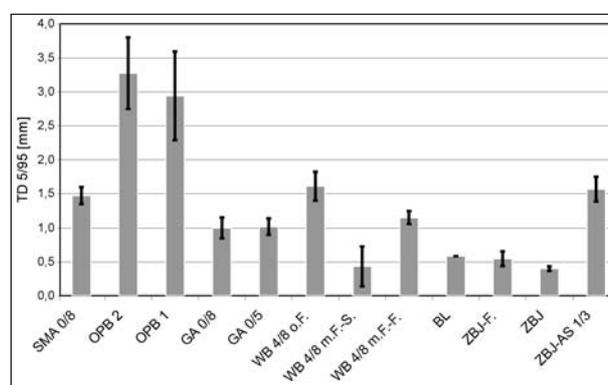


Bild 8.10: Kennwert TD 5/95, Messverfahren T3D

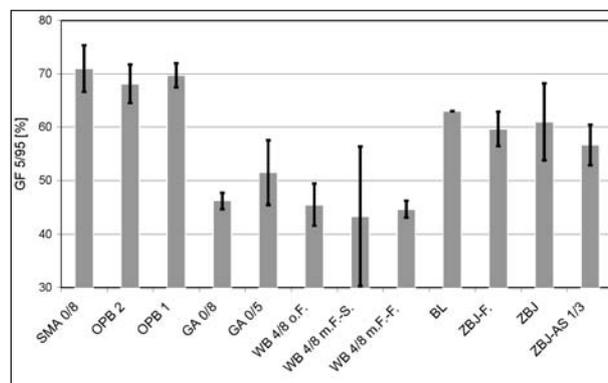


Bild 8.11: Kennwert GF 5/95, Messverfahren T3D

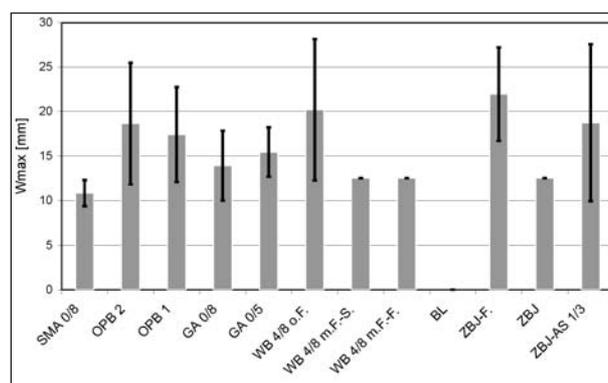


Bild 8.12: Kennwert Wmax, Messverfahren T3D

In Bild 8.14 sind die Kenngrößen TD 5/95 und GF 5/95 für die einzelnen Oberflächen gegeneinander aufgetragen. In Bild 8.15 sind die Kenngrößen Wmax und Amax für die einzelnen Oberflächen gegeneinander aufgetragen.

Bewertung der Ergebnisse

Ein Vergleich der Ergebnisse von T3D mit denen vom TMF ergibt für die Kenngröße TD 5/95 einen um den Faktor von ca. 1,5 niedrigeren Wert. Für die Kenngröße GF 5/95 liefert das T3D um ca. zehn

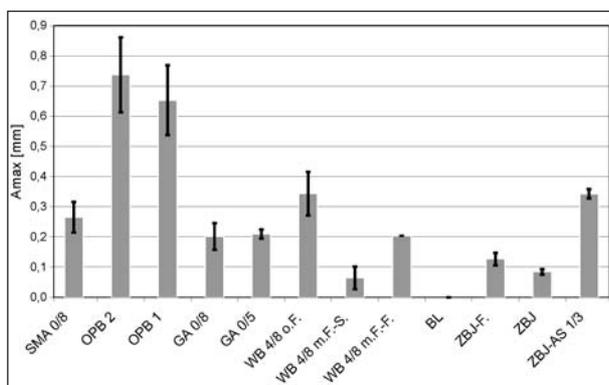


Bild 8.13: Kennwert Amax, Messverfahren T3D

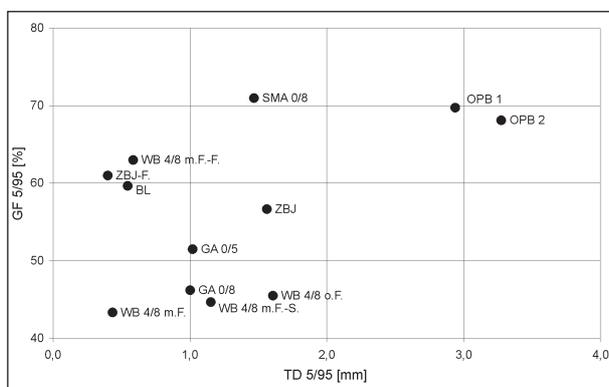


Bild 8.14: Kennwerte TD 5/95 und GF 5/95, Messverfahren T3D

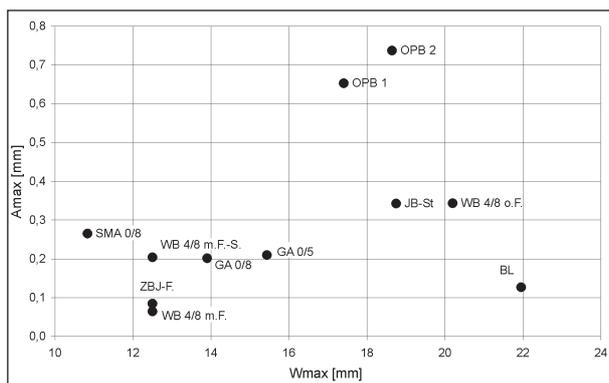


Bild 8.15: Kennwerte Wmax und Amax, Messverfahren T3D

Prozentpunkte geringere Werte als das Verfahren TMF. Für die Wellenlänge Wmax liefern beide Verfahren ungefähr die gleichen Werte. Bei der Amplitude Amax ist das Ergebnis des TMF wieder um den Faktor von ca. 1,5 höher als bei T3D. Die Unterschiede in der Bewertung von TD 5/95 und Amax lassen sich durch den unterschiedlichen Wellenlängenbereich erklären, der ausgewertet wird. Beim TMF beträgt die Fensterbreite 4 m, beim T3D nur 0,5 m. Da die Werte ansonsten gleich sind, kann zukünftig auf die aufwändige Erfassung der akustisch relevanten Kenngrößen mit dem T3D verzichtet werden. Hier reicht das TMF aus.

Im Weiteren wird nur noch die Auswertung des TMF betrachtet. Hier sind insbesondere die Auftragsarten GF 5/95 gegen TD 5/95 und Amax gegen Wmax in Bild 8.8 und Bild 8.9 geeignet. Bei einer Mindesttiefe der Textur TD 5/95 von ca. 1,5 mm und einer Mindestprozentzahl GF 5/95 von 50 % sind leise Texturen zu erwarten. Diese Werte werden vom SMA 0/8, von GA 0/5 und GA 0/8 und OPB 1 sowie OPB 2 eingehalten. Aber auch ZBJ-AS 1/3 und WB 4/8 o. F. übersteigen diese Werte. Andererseits sollte die maximale Wellenlänge Wmax einen Wert von 16 mm und ein Amax von 0,25 mm nicht übersteigen. Dieses Kriterium wird vom SMA 0/8, vom GA 0/5 und GA 0/8 sowie vom ZBJ-AS 1/3 und WB 4/8 m. F.-F. eingehalten. Als Schnittmenge der geeigneten Oberflächenarten ergeben sich SMA 0/8, GA 0/5 und GA 0/8 sowie ZBJ-AS 1/3. Der OPB hat ein zu hohes Anregungsspektrum von ca. 0,5 mm bei 16 mm Wellenlänge. Dieses erklärt das in den tiefen Frequenzen erhöhte akustische Spektrum. In der A-Bewertung wird diese Überhöhung aber durch die guten akustischen Absorptionseigenschaften und insbesondere durch den sehr geringen Strömungswiderstand mehr als kompensiert.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 11819-1: „Akustik – Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgläuschen, Teil 1: Statistisches Vorbeifahrverfahren“, Ausgabe 05/2002
- [2] Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90), Ausgabe 1990, FGSV, Köln
- [3] ISO 13325: „Reifen – Verfahren zur Messung des Reifen-Fahrbahn-Gläuschen beim Rollen“, Ausgabe 2003-02

- [4] Arbeitsanweisung für kombinierte Griffigkeits- und Rauheitsmessungen mit dem Pendelgerät und dem Ausflussmesser, Ausgabe 1972, FGSV, Köln
- [5] ISO 10844: „Acoustics – Specification of test tracks for the purpose of measuring noise emitted by road vehicles, Annex F: Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric technique, Ausgabe 1992, International Organisation for Standardisation
- [6] Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Messverfahren SCRIM (TP Griff-StB (SCRIM)), Ausgabe 2001, FGSV, Köln
- [7] KRIEGER, B.; ULLRICH, S.: „Optimierung des Glättprozesses bei der Betonfertigung“, Bundesanstalt für Straßenwesen (unveröffentlicht), Bergisch Gladbach, 2000
- [8] SLIWA, N.: „Optimierung von Fahrbahnoberflächentexturen auf der Bundesstraße B 56 bei Düren“, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2004
- [9] MÜLLER, I.; BARTOLOMAEUS, W.: „Erfassung und Bewertung der Textur von Fahrbahnoberflächen“, AP 03 330, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 2003

9 Ergebnisse Teilverbund 3190 „Bewertung“

Sliwa, Nina
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Experiment auf der Bundesstraße B 56

Die im Rahmen der Teilverbände „Reifen“- (TV 3130), „Fahrzeug“- (TV 3140), „Asphalt“- (TV 3150) und „Betonoptimierung“ (TV 3160) erzielten Ergebnisse wurden in einem Experiment auf der Bundesstraße B 56 zusammengeführt, um die erzielte Gesamtreduzierung des geräuscherzeugenden Systems zu erfassen. Die Messungen wurden nach der kontrollierten Vorbeifahrtmethode gemäß ISO 13325 (Verfahren zur Messung des Reifen-Fahrbahn-Geräusches beim Rollen, Ausgabe 2003-02) mit einem Fahrzeug des Typs VW Passat durchgeführt. Im Rahmen des gesamten Projektes wurden sowohl offeneporige Fahrbahndeckschichten wie auch dichte Straßenoberflächen optimiert. Die ver-

schiedenen Oberflächen der B 56 standen für das Experiment zur Verfügung. Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Oberflächenvarianten enthält Kapitel 8.3.

Bild 9.1 zeigt die Mittelwerte der Geräuschmessergebnisse der Bundesstraße B 56 bei 80 km/h, ermittelt aus drei markt gängigen und drei geräuschoptimierten Reifensätzen auf standardisierten (Splittmastixasphalt, Betondecke mit Jutetuchtextur) und auf optimierten Fahrbahnoberflächen (lärmminderter Gussasphalt, offenporiger Beton). Das Radhaus des Messfahrzeugs befand sich im seriengetreuen Zustand.

Die folgenden markt gängigen Reifen wurden als Referenz verwendet:

- Michelin Energy,
- Continental Sport Contact 2,
- Continental Viking Contact 2.

Die folgenden geräuschoptimierten Reifen wurden aus dem Kollektiv ausgewählt und zum Vergleich herangezogen:

- Continental Premium Contact SSR („C4“),
- Continental Premium Contact SSR („C5“),
- Continental Sport Contact („C6“).

Die mittleren Vorbeifahrtpegel liegen zwischen 71,9 dB(A) und 77,1 dB(A). Die Differenz der mittleren Vorbeifahrtpegel zwischen den herkömmlichen und den optimierten Reifensätzen beträgt auf dem standardisierten Splittmastixasphalt sowie dem optimierten Gussasphalt 1,2 dB(A), auf der Betondecke mit Jutetuchtextur 2,0 dB(A) sowie auf dem offenporigen Belag 1,4 dB(A). Das Geräuschredu-

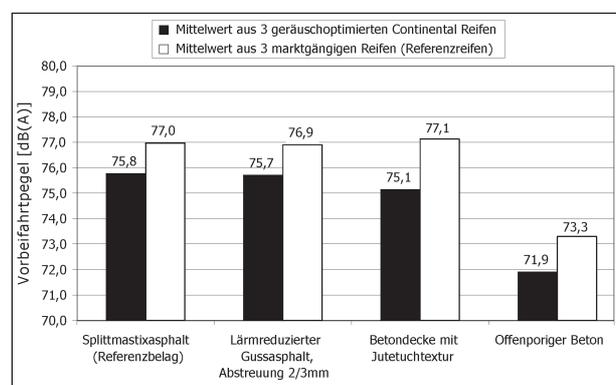


Bild 9.1: Ergebnisse der Geräuschmessungen mit drei markt gängigen und drei geräuschoptimierten Reifensätzen auf standardisierten und auf optimierten Fahrbahnoberflächen der Bundesstraße B 56 bei 80 km/h

zierungspotenzial durch den Reifen in dieser Messreihe beträgt demnach abhängig vom Fahrbelag 1 dB(A) bis 2 dB(A).

Der mittlere Vorbeifahrtpegel auf dem Belag aus offenporigem Beton zeigt unabhängig von den verwendeten Reifensätzen Messwerte, die im Vergleich zu den vermessenen dichten Belägen rd. 3,5 dB(A) niedriger sind. Die Messergebnisse entsprechen

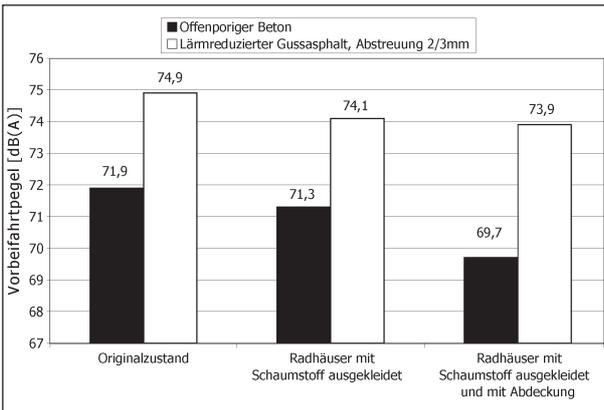


Bild 9.2: Ergebnisse der akustischen Messungen der Vorbeifahrtpegel eines VW Passat mit verschiedenen Radhäusern auf zwei optimierten Fahrbahnoberflächen der Bundesstraße B 56 bei 80 km/h

denen von offenporigen Asphalten. Ein offenporiger Asphalt konnte auf der B 56 jedoch nicht noch zusätzlich eingebaut werden. Der mittlere Vorbeifahrtpegel auf dem lärmreduzierten Gussasphaltbelag liegt bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h, ebenfalls unabhängig von den Reifen, auf einem Niveau mit den standardisierten, dichten Belägen Splittmastixasphalt und Betondecke mit Jutetuchtextur, die einen um 2 dB(A) niedrigeren Geräuschpegel aufweisen als ein herkömmlicher Gussasphalt.

Eine weitere Messkampagne, bei der auch verschiedene Radhausmodifikationen am Fahrzeug (VW Passat) vorgenommen wurden, gibt das verbesserte geräuscherzeugende Gesamtsystem wieder. Alle optimierten Komponenten wurden zusammengefügt. Zu berücksichtigen ist, dass die vorgenommenen Radhausmodifikationen nicht serientauglich sind (siehe Kapitel 4). Verwendet wurde der Reifensatz „Continental Premium Contact SSR – C5“ auf den beiden optimierten Fahrbahnoberflächen („offenporiger Beton“ und „lärmreduzierter Gussasphalt“). Die Messergebnisse, ermittelt nach der kontrollierten Vorbeifahrtmethode bei 80 km/h, enthält Bild 9.2.



Bild 9.3: Veranstaltungsort auf dem Gelände der Kreisstraßenmeisterei Düren in Stockheim



Bild 9.5: Vorführung auf der Versuchsstrecke B56



Bild 9.4: Veranstaltungshalle



Bild 9.6: Demonstration des geräuscherzeugenden optimierten Gesamtsystems – Fahrzeug, Reifen, Fahrbahn

Die mittleren Vorbeifahrtpegel liegen zwischen 69,7 dB(A) und 74,9 dB(A). Auf dem offenporigen Belag führen die Schaumstoffauskleidung des Radhauses zu einer Pegelreduzierung von 0,6 dB(A) und die zusätzlichen Abdeckungen zu einer Gesamtreduzierung von 2,2 dB(A) im Vergleich zum Originalzustand. Auf dem Fahrbahnbelag aus lärmreduziertem Gussasphalt wirkt sich die Schaumstoffauskleidung mit 0,8 dB(A) reduzierend aus. Die komplette Geräuschreduzierung auf diesem Belag beträgt 1,0 dB(A). Die Abdeckung trägt demnach nur noch geringfügig zur Geräuschminderung bei. Bei den hier durchgeführten Messreihen beträgt das Geräuschreduzierungspotenzial am Radhaus 1 dB(A) bis 2 dB(A).

Diese Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Leiser Straßenverkehr“ wurden im Rahmen einer Informationsveranstaltung unter Leitung der BAST gemeinsam mit allen Projektpartnern am 01. Oktober 2003 in Düren bei Aachen der Öffentlichkeit präsentiert. Die Veranstaltung beinhaltete neben Präsentationen und Vorträgen auch Vorführungen von Vorbeifahrtmessungen des geräuscherzeugenden Gesamtsystems mit allen optimierten Komponenten. Die Bilder 9.3 bis 9.6 geben einen Einblick in den Veranstaltungsort auf dem Gelände der Kreisstraßenmeisterei in Stockheim (bei Düren) und die Messpräsentation auf der Versuchsstrecke B 56.

10 Zusammenfassende Bewertung des Gesamtprojektes mit Ausblick

Krieger, Beata; Reichelt, Peter
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Das seit einigen Jahren laufende Verkehrsforschungsprogramm „Mobilität und Verkehr“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) setzt sich unter anderem zum Ziel, den Straßenverkehrslärm an der Quelle zu reduzieren. Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn sich die aus den unterschiedlichen Branchen stammenden Partner dieser Aufgabe gemeinsam stellen.

Eine Chance hierfür ergab sich im Jahre 2000, als eine wissenschaftliche Plattform „Leiser Verkehr“ unter dem Patronat des BMBF vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) geschaffen

wurde. Erstmals haben namenhafte Reifen- und Straßenbauunternehmen, Universitäten, Beratungsbüros sowie die Verwaltung gemeinsam potenzielle Forschungsziele im Hinblick auf die Reduzierung des Straßenverkehrslärms formuliert. Daraus entstand der Forschungsverbund „Leiser Straßenverkehr“, der das Konzept des Forschungsvorhabens „Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“ erarbeitet hat. Die Projektkosten wurden auf ca. 3,3 Mio. € veranschlagt und jeweils zu 50 % vom BMBF und den Forschungspartnern getragen. Ohne die komplementäre finanzielle Unterstützung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) hätte das Projekt im Bereich der Straßenbaumaßnahmen jedoch nicht realisiert werden können.

Um eine Reduzierung des Straßenverkehrslärms an der Quelle für die mit hoher Geschwindigkeit befahrenen Außerortsstraßen zu erreichen, ist in erster Linie die Wechselwirkung zwischen Reifen und Fahrbahn in den Vordergrund der Forschungsaktivitäten zu stellen. Dementsprechend hat der Forschungsverbund „Leiser Straßenverkehr“ ein Konzept entwickelt und ein Netzwerk von insgesamt 22 Teilprojekten formuliert. Als Hauptergebnis wurde angestrebt, dass 1 bis 3 dB(A) leisere Komponenten des geräuscherzeugenden Gesamtsystems Fahrzeug-Reifen-Fahrbahn-Fahrbahnübergang entwickelt bzw. optimiert, erprobt und seriennah gebaut werden. Dabei sollten insbesondere die langfristige akustische Wirksamkeit sowie die Wirtschaftlichkeit des Endproduktes berücksichtigt werden.

Darüber hinaus sollten zwei Reifen-Fahrbahn-Geräusch-Modelle entwickelt bzw. verfeinert werden, um mittels Parameterstudien ein um 5 dB(A) leiseres Gesamtsystem mittelfristig konzipieren zu können.

Die hohen Investitionskosten für den Bau von Straßen führen dazu, dass strenge Anforderungen an ihre Mindestdauerhaftigkeit (20 bis 30 Jahre) gestellt werden. Demzufolge findet eine strukturelle Veränderung des 11.000 km langen Bundesautobahnnetzes (BAB) nur äußerst langsam statt. Zur Zeit besteht das BAB-Netz fast ausschließlich aus dichten Belägen aus Asphalt und Beton. Der gegenwärtig wirksamste Straßenbelag hinsichtlich des Straßenverkehrslärms, der offenporige Asphalt (OPA), kann wegen signifikant höherer Bau- und Unterhaltungskosten nicht flächendeckend eingebaut werden. Hinzu kommt, dass seine akustische

Wirksamkeit derzeit nur für sechs Jahre sichergestellt ist. Aus diesen Gründen wird der offenporige Asphalt – einlagig oder zweilagig – noch einige Jahre vorwiegend an Brennpunkten des Straßenverkehrslärms eingesetzt. Demzufolge wird der lärmtechnischen Optimierung von dichten Fahrbahndecken auch weiterhin eine große Bedeutung beigemessen.

Während die Fahrbahn über Jahrzehnte genutzt werden soll, müssen die Reifen nach wenigen Jahren der Nutzung durch neue Reifen ersetzt werden. Grundsätzlich müssen die Reifen zahlreiche technische Anforderungen erfüllen, auch im Hinblick auf die Geräuschemission. So werden sie gemäß ISO 13325 auf ihre lärmtechnischen Eigenschaften auf dem ISO-Belag (Asphaltbeton 0/8) geprüft, der im schnell befahrenen und hoch belasteten Fernstraßennetz in Deutschland nicht mehr zu finden ist. Dies bedeutet, dass ein Reifen die Lärmanforderung auf dem Prüfbelag erfüllen kann, bei real vorkommenden Straßenbelägen jedoch erhöhte Reifen-Fahrbahn-Geräusche erzeugt werden können.

Der Forschungsverbund „Leiser Straßenverkehr“ ließ daher einen neuen leisen Pkw-Reifen für die in Deutschland standardisierten Straßenbauweisen entwickeln. Das Ergebnis, ein leiser Reifen-Prototyp, wurde durch den Reifenhersteller Continental AG im Herbst 2003 präsentiert. Hierbei handelt es sich um einen SSR-Reifen (Self-supporting-runflat-Reifen), bei dem u. a. die Seitenwände verstärkt wurden. Auf der Versuchsstrecke B 56 bei Düren wurde bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h nachgewiesen, dass dieser Reifen um 1,3 dB(A) auf Splittmastixasphalt (SMA) bzw. um 1,7 dB(A) auf Beton mit Jutetuchtextur leiser ist als ein gleichwertiger, handelsüblicher Reifen. Es bleibt abzuwarten, inwieweit dieses positive Ergebnis bei der serienmäßigen Produktion bestätigt werden kann.

Parallel zur Entwicklung des neuen leisen Pkw-Reifens wurden die Standardbeläge, Splittmastixasphalt und Beton mit Jutetuchtextur lärmtechnisch optimiert.

Die Ergebnisse von zahlreichen Messungen, die während der Fertigung dieser Fahrbahndecken durchgeführt wurden, zeigen, dass schon durch geringfügige Optimierung des Herstellungsprozesses eine Minderung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche um 1 dB(A) möglich ist. Wenn Splittmastixasphalt nicht wie üblich mit einer dynamisch, sondern

mit einer statisch verdichtenden Walze gefertigt wird, so ergibt sich dadurch eine leisere Fahrbahntextur. Bei der Fertigung von Betonfahrbahndecken ist besonders zu beachten, dass der Herstellungsprozess kontinuierlich verläuft, die Glättvorrichtung in einwandfreiem Zustand ist, eine flächige Texturierungsvorrichtung angewendet wird und eine eher dünne Mörtelschicht entsteht.

Ein weiteres positives Ergebnis wurde von den Firmen Gebrüder von der Wettern GmbH und TPA GmbH, Außenstelle Limburg (früher Deutsche Asphalt GmbH), durch den Einbau eines lärmarmen Gussasphaltes (Abstreuung 2/3 mm) auf der Versuchsstrecke B 56 bei Düren erzielt. Der neue lärmindernde Gussasphalt ist im Vergleich zum Referenzbelag „nicht geriffelter Gussasphalt“ (bei 100 km/h) um 3 dB(A), zu Splittmastixasphalt und Beton mit Jutetuchtexturierung um 1 dB(A) leiser. Auch hier war es möglich, durch eine Modifizierung des Fertigungsprozesses, unter anderem durch den Verzicht auf das Walzen, sowie die Optimierung des Mischgutes einen leiseren Belag herzustellen.

Auf der Versuchsstrecke B 56 wurde die Entwicklung des Reifen-Fahrbahn-Geräusches durch den Einsatz zweier mechanischer Verfahren zur Erhöhung der Griffigkeit bei Nässe auf der Standard-(Jutetuchtextur) sowie der Wasch-Betondecke getestet. Anschließend wurden die „aufgerauten“ Fahrbahnoberflächen lärmtechnisch erfasst. Auch hier ist ein zufrieden stellendes Ergebnis zu verzeichnen. Es zeigt sich, dass die genannten Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit keinen signifikanten Einfluss auf die Reifen-Fahrbahn-Geräuschemission ausüben.

Ein weiteres interessantes Ergebnis erzielten das Forschungsinstitut der Zementindustrie sowie die Firmen Celanese Emulsions GmbH, Heidelberger-Cement AG und Wirtgen GmbH, denen es gelungen ist, eine offenporige um 7 dB(A) – im Vergleich zur Referenzbelag – leisere Betondecke herzustellen. Um dies zu erreichen, musste die Betonzusammensetzung optimiert, der Herstellungsprozess angepasst, das Auftragen der Haftbrücke zwischen der Tragschicht und dem offenporigen Betonbelag automatisiert werden. Die Dauerhaftigkeit der akustischen und bautechnischen Eigenschaften muss noch nachgewiesen werden. Nach bisher 2 Jahren Liegezeit ist eine vergleichende Bewertung von offenporigem Beton und offenporigem Asphalt noch nicht möglich.

Im Rahmen des Projektes „Leiser Straßenverkehr“ wurde vorwiegend das durch die Interaktion von Pkw-Reifen auf verschiedenen Straßenbelägen erzeugte Geräusch untersucht. Es wurden aber auch drei Teilprojekte durchgeführt, bei denen die Geräuschentwicklung von Lkw-Reifen im Vordergrund stand.

Ein Teilprojekt beschäftigte sich mit der akustischen Optimierung von offenporigem Asphalt. Mit dem Bau einer Versuchsstrecke auf der BAB A 1 und entsprechenden Messungen der Schwerverkehr-Geräuschemission bei 80 km/h wurde aufgezeigt, dass der 5 cm einlagige oder 7 cm zweilagige offenporige Asphalt um 4 dB(A) im Vergleich zum Referenzbelag leiser ist.

Im zweiten Teilprojekt wurde die Waschbetonoberfläche optimiert. Bei Versuchen am Festbeton im Labor wurde die angestrebte leisere Oberflächen-gestalt „Plateau mit Schluchten“ durch Planschleifen hergestellt. Die großmaßstäbliche Umsetzung bedarf zur Zeit noch einer weiteren Erprobung, da die durchgeführten Schleifmaßnahmen auf der B 56 nicht das erwartete Ergebnis erbracht haben. Die Tastversuche am Frischbeton sind zum Teil richtungsweisend und werden in weiterführende Untersuchungen einfließen.

Das dritte Teilprojekt beschäftigte sich mit runderneuten Lkw-Reifen, die zum einem die Hälfte des Marktanteiles ausmachen, zum anderen aber von der Prüfung der Geräuschemission ausgeschlossen sind. Die Ergebnisse zeigten, dass die untersuchten runderneuten Reifen, lärmtechnisch gesehen, mit neuen Reifen vergleichbar sind.

Reifen-Fahrbahn-Geräusche könnten auch reduziert werden, wenn sie im Radhaus absorbiert würden. Die Volkswagen AG hat verschiedene Modifizierungen im Radhaus eines Pkw vorgenommen und diese lärmtechnisch bewertet. Eine Reduzierung um 0,6 dB(A) wurde durch Auskleiden des Radhauses mit Baumwollvlies erreicht. Das Projekt wurde jedoch nicht weitergeführt, weil eine serienmäßige Umsetzung dieses Lösungsansatzes nicht aussichtsreich schien.

Die BAST hat das Forschungsthema darum weiter vertieft, um ungeachtet des Aspektes der Serientauglichkeit Minderungspotenziale auszuloten. Demnach sind derzeit maximal 0,5 bis 2,2 dB(A) erreichbar.

Besonders wichtig war es dem Forschungsverbund, das Thema „Fahrbahnübergänge“ anzuge-

hen. Der stoßartigen Geräuschemission, die bei der Überfahrt der herkömmlichen Lamellen-Fahrbahnübergänge entsteht, wurde durch konstruktive Modifikationen entgegengewirkt. Aufgeschraubte wellenförmige Fingerabdeckplatten erbrachten eine Geräuschreduktion um 3 dB(A). Damit konnte das Ziel, 1 bis 3 dB(A) leisere Komponenten des geräuscherzeugenden Gesamtsystems Fahrzeug-Reifen-Fahrbahn-Fahrbahnübergang zu entwickeln bzw. zu optimieren, zu erproben und ggf. seriennah zu bauen, realisiert werden.

Die langfristige akustische Wirksamkeit aller untersuchten Maßnahmen aus den verschiedenen Teilprojekten wurde, soweit dies in der begrenzten Zeit möglich war, betrachtet und bewertet. Unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit des Endproduktes wurde das Teilprojekt „Radhaus“ vorzeitig abgeschlossen. Die BAST hat hier zusätzliche Versuche durchgeführt und Lärminderungspotenziale, ohne Berücksichtigung der Umsetzbarkeit, aufgezeigt.

Bei der Realisierung der weiter oben beschriebenen Teilprojekte zeigte sich immer wieder, wie arbeits-, zeit- und kostenintensiv derartige Forschungsaktivitäten sind. Die hierbei erzielten Ergebnisse bewegen sich zwischen 1 dB(A) und 3 dB(A). Weitere signifikante Reduzierungen der Straßenverkehrsemissionen sind zur Zeit nur auf dem Wege von Parameterstudien erreichbar.

Dieser Grundgedanke wurde bereits in der Konzeptionsphase durch Entwicklung bzw. Verfeinerung von zwei Modellen in das Forschungsvorhaben „Leiser Straßenverkehr“ aufgenommen. Mit dem weiterentwickelten Modell „SPERoN“ (Müller BBM) lassen sich neuartige bis etwa 5 dB(A) leisere Fahrbahntexturen entwerfen. Dabei kann das Modell „SPERoN“ im Frequenzbereich zwischen 300 Hz und 3 kHz mit einer Genauigkeit von +/- 2 dB(A) angewendet werden.

Das zweite „FE-Reifen-Fahrbahn-Modell“ („TINA“) steht zur Zeit für einen Glattreifen und einen Frequenzbereich von 600 Hz (Entstehung) bzw. 1.280 Hz (Abstrahlung) zur Verfügung. Die bisherige Entwicklung erforderte eine längere Bearbeitungszeit und einen höheren Arbeitsaufwand als ursprünglich geplant. Die Parameterstudien mit dem Modell „TINA“ ergaben, dass im mittleren Frequenzbereich bei ca. 700 Hz die Geräuschenstehung maßgeblich durch die Ausführung der Seitenwände der Reifen beeinflusst wird. Dies stimmt mit den Er-

gebnissen des Teilprojektes „Neuer leiser Pkw-Reifen“ sehr gut überein.

Es ist vorgesehen, eine vollständige und validierte Version des Modells „TINA“ bis Ende 2004 fertig zu stellen. Hierbei können dann die Anregungsfunktion in Abhängigkeit vom Reifenprofil sowie die Fahrbahntextur in einem Frequenzbereich bis 1.500 Hz berücksichtigt werden.

Um die beiden erwähnten Modelle entwickeln zu können, konnten drei erforderliche in-situ Messsysteme zur Erfassung der akustischen Impedanz, des Strömungswiderstandes und der dreidimensionalen Fahrbahntextur erfolgreich realisiert und eingesetzt werden.

Mit dem Modell „SPERoN“ steht ein Werkzeug für den Entwurf neuer leiserer Texturen als Grundstein für die Realisierung des angestrebten mittelfristigen Zieles (Reduzierung um 5 dB(A)) zur Verfügung. Das Modell „TINA“ für den Entwurf neuer leiserer Reifen wird ab Ende 2004 ein vergleichbares Stadium erreicht haben.

Insgesamt wurde das Forschungsprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“ nahezu vollständig zeitgerecht realisiert und die angestrebten Ziele erreicht. Damit ist die erste Kooperation zwischen Reifenherstellern, Straßenbaufirmen, Universitäten, Beratungsbüros sowie der Verwaltung im Bereich der Reduzierung des Straßenverkehrslärms positiv und erfolgreich durchgeführt worden.

Es ist deutlich geworden, dass weitere Entwicklungspotenziale vorhanden sind. Daher ist geplant, ein weiterführendes Verbundprojekt zu konzipieren und die durch Einsatz der Modelle sich abzeichnenden Lösungsansätze in technische Lösungen umzusetzen und zu erproben.

Leiser Straßenverkehr

Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche

bast

Celanese
Celanese Emulsions

EUROVIA

HEIDELBERGCEMENT

MÜLLER - BBM

**WIRTGEN
GROUP**

Wirtgen

STRABAG

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Continental

vdw

**V
DZ**

**GÜTE
GEMEINSCHAFT
VERKEHRSFLÄCHEN AUS
BETON**

ibnm

Universität Hannover **I.H.I**

sollinger hütte



 Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

 Bundesministerium
für Verkehr, Bau- und
Wohnungswesen

11 Verzeichnis der Anlagen

Die Anlagen A bis C sind separate Bände und können über die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat S3, Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach, bezogen werden (Tel. 02204/43-268, Fax: 02204/43-159).

Anlage A

- A1 SLIWA, N.: „Optimierung von Fahrbahnoberflächentexturen auf der Bundesstraße B 56 bei Düren“, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, Mai 2004
- A2 BARTOLOMAEUS, W.: „Statistische Vorbeifahrtmessungen auf der B 56 – Herbst 2002 und Herbst 2003“, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, März 2004
- A3 Einzelmesswerte der Texturmessungen mit dem Texturmessfahrzeug (TMF) auf der Bundesstraße B 56
- A4 Einzelmesswerte der Texturmessungen mit dem großen Messfeld des dreidimensionalen Texturmessgerätes (T3D) auf der Bundesstraße B 56
- A5 Messbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen – Messungen an offenporigem Beton mit dem großen Impedanzrohr, Referat V3, Bergisch Gladbach, Februar 2002

Anlage B

- B1 Teilverbund 3120 „In-situ-Messverfahren“ – Messberichte
- Messung des Schallabsorptionsgrades in situ, Versuchsstrecke B 56 südl. Düren und BAB A4
 - Messung des Strömungswiderstandes, Versuchsstrecke BAB A4
 - Messung des Strömungswiderstandes, Versuchsstrecke B 56 südl. Düren
- B2 Teilverbund 3130 „Reifenoptimierung“ – Messberichte
- Rollgeräuschmessungen an neuen Pkw-Reifen, LOOP1-2002 und LOOP2-2003

- Kontrollierte Vorbeifahrtmessungen von runderneuertem Lkw-Reifen nach EU-Richtlinie 2001/43/EG

- B3 Teilverbund 3160 „Betonoptimierung“ – Messberichte

- Messtechnische Überprüfung des Betonfertigungsprozesses auf den Autobahnen A 4 bei Kerpen und A9 bei Coswig

- B4 Teilverbund 3130 „Optimierung von Fahrbahnübergänge“ – Messberichte

- Messung der Vorbeifahrtgeräusche von Fahrbahnübergangskonstruktionen

Anlage C

- C1 Teilverbund 3110 „Modellierung“ – Schlussberichte

- Teilprojekt Tp 3111 – FE-Reifen-Fahrbahn-Modell, Teil: „Mechanik“
- Teilprojekt Tp 3112 – FE-Reifen-Fahrbahn-Modell, Teil: „Akustik“
- Teilprojekt Tp 3114 – Statistisches Modell zur Prognose von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen

- C2 Teilverbund 3120 „In-situ-Mess-Systeme“ – Schlussberichte

- Teilprojekt Tp 3121 – Messverfahren zur akustischen Impedanz
- Teilprojekt Tp 3122 – Messverfahren des Strömungswiderstandes

- C3 Teilverbund 3130 „Reifenoptimierung“ – Schlussberichte

- Teilprojekt Tp 3131 – Entwicklung von leiseren Pkw-Neureifen
- Teilprojekt Tp 3132 – Entwicklung von leiseren runderneuertem Reifen

- C4 Teilverbund 3140 „Fahrzeugoptimierung“ – Schlussberichte

- Teilprojekt Tp 3141 – Geräuschabsorption und -abschirmung durch das Radhaus

- C5 Teilverbund 3150 „Asphaltoptimierung“ – Schlussberichte

- Teilprojekt Tp 3151 – Leisere Deckschichten aus Splittmastixasphalt
- Teilprojekt Tp 3152 – Leisere Deckschichten aus Gussasphalt
- Teilprojekt Tp 3153 – Minderung der Lkw-Geräuschemission auf offenporigen Asphaltdeckschichten

C6.1 Teilverbund 3160 „Betonoptimierung“ – Schlussberichte

- Teilprojekt Tp 3161 – Entwicklung lärmärmer offenporiger Betone für hochbelastete Schnellstraßen

C6.2 Teilverbund 3160 „Betonoptimierung“ – Schlussberichte

- Teilprojekt Tp 3162 – Weiterentwicklung und Optimierung von dauerhaft lärmarmen dichten Betondecken

C7 Teilverbund 3170 „Optimierung der Fahrbahnübergänge“ – Schlussberichte

- Teilprojekt Tp 3171 – Fahrbahnübergänge

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

1993

- S 1: Verwitterungsbeständigkeit von Recycling-Baustoffen
Guth kostenlos
- S 2: Eignung von Grubenbergen als Baustoff für Tragschichten
ohne Bindemittel
Guth kostenlos
- S 3: Altlastenerfassung durch geophysikalische Methoden
Faust kostenlos
- S 4: EPS-Hartschaum als Baustoff für Straßen
Bull-Wasser kostenlos
- S 5: Baubegleitende Messungen B 73n
Heinisch, Blume kostenlos
- S 6: Eignung überdeckter Fugen mit Querkraftübertragung
Fleisch, Bartz kostenlos

1994

- S 7: 33. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00

1995

- S 8: Anleitung Qualitätsmanagementplan Asphalttragschichten
Freund, Stöckner € 12,50
- S 9: Meßwert- und rechnergestütztes Management der Stra-
ßenenerhaltung – Niederschrift und Referate des Erfahrungsaus-
tausches am 16. und 17. Mai 1995 in Berlin € 13,00
- S 10: 34. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00

1996

- S 11: Der Einfluß der Textur auf Reifen/Fahrbahngeräusch und
Rollwiderstand
Ullrich, Glaeser, Sander € 15,00
- S 12: Offenporige Asphaltdeckschichten auf Außerortsstraßen –
Projektgruppe „Lärmmindernde Straßendecken“ € 10,00
- S 13: Qualität von mineralischen Straßenbaustoffen
Tabbert € 16,50

1997

- S 14: 35. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 16,50
- S 15: Anforderungen an Fugenfüllsysteme aus Temperaturdeh-
nungen
Eisenmann, Lechner € 12,50
- S 16: Sicherheitswirksamkeit ausgewählter Straßenbaumaßnah-
men im Lande Brandenburg
Schnüll, Handke, Seitz € 22,00

1998

- S 17: Restnutzungsdauer von Asphalttschichten
Wolf € 13,00

- S 18: 2. Erfahrungsaustausch über rechnergestütztes Stra-
ßen-
erhaltungsmanagement € 14,50

- S 19: Einfluß der Bruchflächigkeit von Edelsplitten auf die Stand-
festigkeit von Asphalten
Teil 1: Literaturlauswertung
Beckedahl, Nösler, Straube
Teil 2: Einfluß des Rundkornanteils auf die Scherfestigkeit von
Gesteinskörnungen
H.G. Diel € 16,50

1999

- S 20: 36. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00
- S 21: Walzbeton: Ergebnisse aus neuester Forschung und lang-
jähriger Praxis – Kompendium
Birmann, Burger, Weingart, Westermann
Teil 1: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von
Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (1)
Schmidt, Bohlmann, Vogel, Westermann
Teil 2: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von
Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (2)
Weingart, Dreßler
Teil 3: Messungen an einer Versuchsstrecke mit Walzbeton-Trag-
schicht an der B54 bei Stein-Neukirch
Eisenmann, Birmann
Teil 4: Temperaturdehnung, Schichtenverbund, vertikaler Dichte-
verlauf und Ebenheit von Walzbeton
Burger € 17,00

2000

- S 22: 3. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen
Straßenenerhaltung – Nutzen der systematischen Straßenenerhaltung
€ 19,50
- S 23: Prüfen von Gesteinskörnungen für das Bauwesen
Ballmann, Collins, Delalande, Mishellany,
v. d. Elshout, Sym € 10,50

2001

- S 24: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Un-
tergrund - Konsolidationsverfahren -
Teil 1: Vergleichende Betrachtung von Konsolidationsver-
fahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund
Teil 2: Erfahrungsberichte über ausgeführte Straßenbauprojekte
auf wenig tragfähigem Untergrund unter Verwendung von
Konsolidationsverfahren
Koch € 17,50
- S 25: 37. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 16,50

2002

- S 26: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Un-
tergrund - Aufgeständerte Gründungspolster
Rogner, Stelter € 14,00
- S 27: Neue Methoden für die Mustergleichheitsprüfung von
Markierungsstoffen – Neuentwicklung im Rahmen der Einführung
der ZTV-M 02
Killing, Hirsch, Boubaker, Krotmann € 11,50
- S 28: Rechtsfragen der Bundesauftragsverwaltung bei Bundes-
fernstraßen – Referate eines Forschungsseminars der Universi-
tät des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“
am 25./26. September 2000 in Saarbrücken € 13,00
- S 29: Nichtverkehrliche Straßennutzung – Referate eines For-
schungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeits-
ausschusses „Straßenrecht“ am 24./25. September 2001 in Saar-
brücken € 13,50

2003

S 30: 4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Workshop Straßenerhaltung mit System –
€ 19,50

S 31: Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues „Straßenrecht“ am 23./24. September 2002 in Saarbrücken
Golkowski € 13,50

S 32: Straßenbaufinanzierung und -verwaltung in neuen Formen – Referate eines Forschungsvorhabens der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 23. und 24. September 2003 in Saarbrücken € 13,50

S 33: 38. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 17,50

S 34: Untersuchungen zum Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen
Hillmann, Koch, Wolf € 14,00

2004

S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund – Bodenersatzverfahren
Grundhoff, Kahl € 17,50

S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 22. und 23. September 2003 in Saarbrücken € 13,50

S 37: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr“ € 16,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

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

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.