

TEXTE

20/2014

Lärmindernde Fahrbahnbeläge

Ein Überblick über den Stand der Technik

TEXTE 20/2014

Lärmindernde Fahrbahnbeläge

Ein Überblick über den Stand der Technik
Aktualisierte Überarbeitung

von

Ulrich Peschel, Urs Reichart

Umweltbundesamt

unter Mitwirkung von

Wolfram Bartolomaeus, Oliver Ripke, Ulrike Stöckert, Marek Zöller

Bundesanstalt für Straßenwesen

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

Tel.: 0340/2103-0

Telefax: 0340/2103 2285

info@umweltbundesamt.de

Internet: www.umweltbundesamt.de

<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

www.facebook.com/umweltbundesamt.de

www.twitter.com/umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Umweltbundesamt,

Fachgebiet I 3.3

unter Mitwirkung der

Bundesanstalt für Straßenwesen,

Referate F3, S3 und GS4,

Bergisch Gladbach

Abschlussdatum:

Februar 2014

Redaktion:

Fachgebiet I 3.3 Lärminderung im Verkehr

Ulrich Peschel

Publikation als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/>

[publikationen/laermmindernde-](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/laermmindernde-fahrbahnbelaege-0)

[fahrbahnbelaege-0](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/laermmindernde-fahrbahnbelaege-0)

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, März 2014

Vorwort zur zweiten, überarbeiteten Auflage

In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) erscheint die zweite Auflage der Broschüre „Lärmindernde Fahrbahnbeläge“. Die Überarbeitung der Broschüre war notwendig geworden, da in den letzten vier Jahren viele neue Erkenntnisse zu lärmindernden Bauweisen veröffentlicht wurden. Die Literaturliste enthält über siebenzig neue Publikationen. Die Zusammenarbeit mit der BASt ermöglichte es, auf viele Messdaten und einen großen Wissensstand zurück zu greifen.

In dieser Auflage wurden entsprechend dem technischen Fortschritt insbesondere lärmindernde Fahrbahnbeläge für Innerortsstraßen berücksichtigt. Diese Broschüre erhebt keinen Anspruch darauf, alle lärmindernden Fahrbahnbeläge darzustellen. Beschrieben werden alle in Deutschland zurzeit (Herbst 2013) gebräuchlichen Bauweisen für Fahrbahnbeläge, die lärmindernd sind. In anderen Ländern werden auch andere Fahrbahnbeläge – teilweise firmenspezifisch - entwickelt und eingesetzt (z.B. ZSA-SD in den Niederlanden, Microvia LOA).

Hinweise zur Weiterentwicklung dieser Zusammenstellung nehmen wir gerne entgegen (ulrich.peschel@uba.de).

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur zweiten, überarbeiteten Auflage.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	6
Abkürzungen	7
Zusammenfassung	8
1 Motivation für lärmmindernde Fahrbahnbeläge	9
2 Wirkung von Lärm auf Menschen.....	10
3 Auswirkung der Fahrbahneigenschaften auf die Geräuschemission.....	11
4 Akustisch relevante Parameter von Fahrbahnoberflächen	12
5 Hinweise zur Gestaltung von lärmmindernden Fahrbahnoberflächen.....	14
6 Messung der Geräuschemissionen von Straßenoberflächen	15
7 D_{StrO} -Wert und Pegelminderung	17
8 Lärmmindernde Fahrbahnbeläge.....	18
8.1 Lärmarmer Gussasphalt	18
8.2 Splittmastixasphalt (SMA).....	19
8.3 Lärmarmer Splittmastixasphalt (SMA LA).....	20
8.4 SMA 5 und SMA 5 LA	21
8.5 Lärmoptimierte Asphaltdeckschicht LOA 5 D.....	22
8.6 Offenporiger Asphalt (OPA) einschichtig und zweischichtig	23
8.7 Gussasphalt mit offenporiger Oberfläche (PMA).....	26
8.8 Dünne Asphaltdeckschichten in Kalt- bzw. Heißbauweise.....	27
8.9 Dünne Asphaltdeckschichten in Heißbauweise auf Versiegelung DSH-V	28
8.10 Asphaltbeton	29
8.11 Waschbeton.....	30
8.12 Betondecken mit Jutetuch-Längstexturierung	31
8.13 Betondecke mit Grinding-Oberfläche	32
9 Akustische Haltbarkeit von lärmmindernden Fahrbahnbelägen	33
10 Hinweise zum Einbau von lärmmindernden Fahrbahnbelägen auf Innerortsstraßen.....	34
11 Hinweise zum Einbau von lärmmindernden Fahrbahnbelägen auf Außerortsstraßen.....	36
12 Hinweise zur Auswahl von geeigneten Fahrbahnbelägen im konkreten Fall	38
13 Literatur	39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Darstellung der unterschiedlichen Texturtypen	12
Abbildung 2:	Einfluss des Texturspektrums von Straßen auf Verschleiß, Rollwiderstand, Reibung, Reifen-Fahrbahn-Geräusch und Fahrkomfort.....	13
Abbildung 3:	Beispiel eines SPB-Messsystems (mehrere Mikrofonpositionen).....	15
Abbildung 4:	Beispiel eines CPX-Messsystems (als Anhängervariante).....	16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Referenzwerte zur Ermittlung der Pegelminderung	17
Tabelle 2:	Korrekturwerte Straßenoberfläche (D_{stro}) in dB(A) nach RLS-90 und ARS	37

Abkürzungen

AC	Asphaltbeton
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
CPX	Close-Proximity
dB(A)	Dezibel mit Frequenzbewertungsfilterkurve A
DSH	dünne Asphaltdeckschicht in Heißbauweise
DSH-V	dünne Asphaltdeckschicht in Heißbauweise auf Versiegelung
DSK	dünne Asphaltdeckschichten in Kaltbauweise
D_{StrO}	Korrektur für unterschiedliche Straßenoberflächen
LOA 5 D	lärmoptimierte Asphaltdeckschicht
MA LA	lärmarmer Gussasphalt
OPA	offenporiger Asphalt
PMA	Porous Mastic Asphalt
RLS-90	Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (Ausgabe 1990)
SMA	Splittmastixasphalt
SMA LA	lärmarmer Splittmastixasphalt
SPB	Statistical Pass-By
UBA	Umweltbundesamt
VBUS	Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen
WB	Waschbeton

Zusammenfassung

Über die Hälfte der Deutschen fühlt sich durch Straßenverkehr gestört oder belästigt [UBA 2013]; ca. 16 % der Bevölkerung sind durch den Straßenverkehr gesundheitsgefährdenden Lärmpegeln ausgesetzt [UBA 2000]. Da das Reifen-Fahrbahngeräusch von Pkw ab Geschwindigkeiten von ca. 30 km/h die dominierende Geräuschquelle im Straßenverkehr ist, kann der Einsatz lärmindernder Fahrbahnbeläge einen Beitrag zur Verringerung der Lärmbelastung und ihrer Folgen leisten.

Geringe Reifen-Fahrbahn-Geräusche werden vorwiegend über eine günstige Textur der Oberfläche und/oder einen hohen Hohlraumgehalt der Deckschicht erreicht. Da sich diese Unterschiede in der Zusammensetzung auch auf andere Eigenschaften der Fahrbahn (Haltbarkeit, Belastbarkeit, etc.) auswirken, ist bei der Auswahl der lärmindernden Fahrbahnbeläge der Verwendungszweck (zulässige Höchstgeschwindigkeit, Schwerverkehrsanteil etc.) zu berücksichtigen. Der lärmindernde Effekt von solchen Fahrbahnoberflächen wird in den Lärmberechnungsvorschriften RLS-90 und VBUS mit einem Korrekturwert für die Straßenoberfläche DStrO ausgewiesen.

Für Straßen außerorts steht eine Reihe von lärmindernden Fahrbahnbelägen mit D_{StrO}-Wert zur Verfügung: Offenporiger Asphalt OPA (einschichtig, zweischichtig), lärmarmes Gussasphalt MA LA, Splittmastixasphalt SMA, Asphaltbeton AC und Waschbeton WB. Daneben gibt es weitere Beläge mit lärmindernden Eigenschaften wie den lärmarmen Splittmastixasphalt SMA LA, den Porous Mastic Asphalt PMA (Gussasphalt mit offener Oberfläche), die dünne Deckschicht im Heißeinbau auf Versiegelung DSH-V und den Beton mit Grindoberfläche, denen derzeit noch kein DStrO-Wert zugewiesen wurde. Asphalte mit hohem Hohlraumgehalt (OPA) und dementsprechend großer Lärmreduzierung bleiben in den meisten Fällen Straßen mit annähernd konstant fließendem Verkehr bei Geschwindigkeiten von 60 km/h und mehr vorbehalten.

Für Innerortsgeschwindigkeiten wurden noch keine DStrO-Werte für lärmindernde Fahrbahnbeläge vergeben. Durch die Randbedingungen (Einbausituation, Durchführung von Aufgrabungen, etc.) und die Verkehrssituationen (viele Lenk-, Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge und daraus resultierend größere horizontale Scherkräfte) bedingt, empfiehlt es sich, Beläge mit einer Textur einzusetzen, die wenig mechanische Anregung verursacht. Hierfür ist ein kleines Größtkorn hilfreich. Es bieten sich der lärmarme Splittmastixasphalt SMA LA, die lärmoptimierte Asphaltdeckschicht LOA 5 D, die dünne Asphaltdeckschicht im Heißeinbau auf Versiegelung DSH-V und eventuell auch Splittmastixasphalte SMA und Asphaltbetone AC an.

Das Hauptproblem lärmarmen Beläge ist ihr akustisches Langzeitverhalten: Messungen zeigen, dass hohe Anfangs-Pegelreduzierungen möglich sind, nach wenigen Jahren verlieren viele Beläge jedoch einen Großteil ihrer guten akustischen Eigenschaften. Bei den offenporigen Asphalten (OPA) ist dieser Sachverhalt durch das Vorhaltemaß berücksichtigt. Der Einbau von neuen lärmindernden Fahrbahnbelägen ohne DStrO-Wert sollte zurzeit mit Forschung zur akustischen Haltbarkeit begleitet werden.

Dieser Bericht fasst die wichtigsten generellen Empfehlungen für die Gestaltung von lärmindernden Fahrbahndecken zusammen und stellt die Erkenntnisse aus der Literatur dar.

1 Motivation für lärmindernde Fahrbahnbeläge

Für die Menschen in Deutschland ist Lärm eine der am stärksten empfundenen Umweltbeeinträchtigungen. Das geht aus einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage an etwa 2.000 Erwachsenen zum „Umweltbewusstsein in Deutschland 2012“ hervor [UBA 2013]. 54 % der Befragten gaben an, sich in ihrem Wohnumfeld durch Straßenverkehr gestört oder belästigt zu fühlen, 6 % fühlten sich sogar „äußerst“ oder „stark belästigt“.

Mit der EU-Umgebungslärmrichtlinie (2002/49/EG, §§ 47 a-f BImSchG) wurde 2012 die Geräuschbelastung der Bevölkerung in Ballungsräumen und an Hauptverkehrsstraßen erfasst. Demnach (Stand: Ende November 2013) sind 2,8 Millionen Menschen in Deutschland ganztags Pegeln von mehr als 65 dB(A) ausgesetzt, nachts leiden 2,6 Millionen Menschen unter Pegeln von mehr als 55 dB(A). Die Kartierung der EU-Umgebungslärmrichtlinie erfasst jedoch durch die Fokussierung auf die großen Städte und die stark befahrenen Straßen bei Weitem nicht alle Belastungen durch den Straßenverkehrslärm. An innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen betragen die Überschreitungen der gesundheitsgefährdenden Schwellenwerte (65 dB(A) tags beziehungsweise 55 dB(A) nachts) bis zu 20 dB(A).

Durch die Umgebungslärmrichtlinie sind die Kommunen in Deutschland aufgefordert, Maßnahmen zur Verminderung der Lärmbelastung zu ergreifen (siehe <http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/umgebungslaermrichtlinie>).

Dazu werden im Rahmen der Lärmaktionsplanung auch technische Maßnahmen zur Lärmreduzierung geprüft. Die ersten Ergebnisse der Erfassung der Lärmbelastung (Lärmkartierung) haben beispielsweise gezeigt, dass die größten Lärmbelastungen und Probleme in den Innenstädten vorhanden sind. So wohnen circa 78 % der betroffenen Bevölkerung an Straßen in der Baulast der Kommunen. Den Gemeinden steht jedoch meist nur eine begrenzte Anzahl an technischen Maßnahmen zur Lärmreduzierung zur Verfügung:

- lärmindernde Fahrbahndecken,
- Geschwindigkeitsbegrenzungen,
- Vergrößerung des Abstandes zwischen den Fahrspuren für den Kfz-Verkehr und der Bebauung (durch Markierung von Parkbuchten, Fahrradspuren u.ä.),
- Verstetigung des Verkehrsflusses (z. B. „Grüne Welle“).

Deutliche Pegelreduzierungen sind meist nur durch ein Maßnahmenbündel zu erreichen. Anwohnerinnen und Anwohnern nehmen Pegeländerungen von Verkehrsgeräuschen schon ab 1 dB(A) wahr [Ortscheid 2004] [Beckenbauer 2011].

2 Wirkung von Lärm auf Menschen

Lärm löst in Abhängigkeit von der Tageszeit (Tag bzw. Nacht) in unterschiedlichem Maße unterschiedliche Reaktionen aus. Im Allgemeinen sind innerhalb von Wohnungen bei Mittelungspegeln (L_m), die nachts unter 25 dB(A) und tags unter 35 dB(A) liegen, keine nennenswerten Beeinträchtigungen zu erwarten. Diese Bedingungen werden bei geöffneten Fenstern (bei Annahme einer mittleren Schalldruckpegeldifferenz von 10 dB(A)) bei Außenpegeln nachts unter 35 dB(A) und tags unter 45 dB(A) sichergestellt. Bei gekippten Fenstern (max. etwa 10 cm Öffnungsschlitz in Kippstellung) kann von einer 5 dB(A) höheren Schallpegeldifferenz ausgegangen werden [Kötz 2004]. Die Bedingungen werden demnach bei gekippten Fenstern noch erreicht, wenn die Außenpegel nachts unter 40 dB(A) und tags unter 50 dB(A) liegen. Bei Mittelungspegeln über 55 dB(A) tags außerhalb der Häuser ist zunehmend mit Beeinträchtigungen des psychischen und sozialen Wohlbefindens zu rechnen.

Die akustische Kommunikation ist eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung der Persönlichkeit und für die soziale Entwicklung. Störungen der Kommunikation führen zu einer Minderung des Wohlbefindens und werden sehr häufig bei Befragungen genannt. Nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen besteht eine gute Sprachverständlichkeit bei normalhörenden Erwachsenen bei entspannter Sprechweise in Räumen üblicher Größe bei Störgeräuschpegeln, die 40 dB(A) nicht übersteigen. Für den Außenbereich unterstellt man geringere Erwartungen, Sprecher und Hörer werden größere Anstrengungen zugemutet. Mit Störungen der Kommunikation ist außerhalb von Gebäuden bei Mittelungspegeln über 50 dB(A) zu rechnen.

Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen zeigen, dass Straßenverkehrslärm ein Risikofaktor für Herzinfarkt ist. Eine Studie des Umweltbundesamtes bestätigt einen Zusammenhang zwischen Straßenverkehrslärm und Herzinfarkt: Das Risiko, einen Herzinfarkt zu erleiden, steigt bei Männern um etwa 30 %, wenn sie längere Zeit in Gebieten mit Mittelungspegeln über 65 dB(A) am Tage wohnen [Babisch 2004]. Das Umweltbundesamt hat bereits vor längerer Zeit als vorrangiges Umweltqualitätsziel zum vorbeugenden Gesundheitsschutz vor Straßenverkehrslärm die Einhaltung eines Mittelungspegels von 65 dB(A) am Tage in Wohngebieten formuliert [Wende 2006]. Mittel- bis langfristig sieht das Umweltbundesamt die Einhaltung von 55 dB(A) tags und 45 dB(A) nachts als notwendig an.

Umwelt- und Gesundheitsexperten gehen davon aus, dass ca. 25 % der Krankheitslast der Bevölkerung in Europa auf Umwelteinflüsse zurückzuführen sind. Nach Luftverschmutzung stellt Verkehrslärm das zweitgrößte Gesundheitsrisiko dar - mit schwerwiegenden Folgen wie Herzinfarkten und anderen Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie Schlafstörungen und Stress [WHO 2011].

3 Auswirkung der Fahrbahneigenschaften auf die Geräuschemission

Geräuschemissionen aus dem Straßenverkehr setzen sich im Allgemeinen aus zwei Geräuschquellen zusammen: Dem Antriebs- und dem Reifen-Fahrbahn-Geräusch¹. Je nach Geschwindigkeit und Fahrzeugklasse (Pkw oder Lkw) überwiegt eines der beiden.

Bei Pkw mit konstanter Geschwindigkeit dominiert ab circa 30 km/h – abhängig von Gangwahl und Fahrbahnbelag – das Reifen-Fahrbahn-Geräusch, bei Lkw ab circa 60 km/h. Für Pflaster verschiebt sich dieses Verhältnis zu noch geringeren Geschwindigkeiten.

Das Reifen-Fahrbahn-Geräusch entsteht im Wesentlichen durch zwei Mechanismen:

- Beim Rollvorgang wird der Reifen zu mechanischen Schwingungen angeregt, die sich von der Reifenoberfläche auf die umgebende Luft übertragen und als Schall abgestrahlt werden.
- Bei der aerodynamischen Anregung (Air-Pumping) wird die Luft in der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn in den Hohlräumen komprimiert und mit dem Abrollen des Reifens wieder dekomprimiert [Beckenbauer 2007].

Durch den Horneffekt wird die Schallabstrahlung verstärkt. Die gekrümmte Lauffläche des Reifens und die Fahrbahnoberfläche bilden im Ein- und Auslauf des Reifens Schalltrichter, die die Schallabstrahlung erheblich verstärken [Kropp 2000].

Die in Zukunft zunehmende Verbreitung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben (Hybrid- und Elektrofahrzeuge) wird die Reifen-Fahrbahn-Geräusche noch stärker in den Vordergrund rücken lassen. Dies eröffnet die Möglichkeit, über eine geeignete Wahl von Fahrbahnbelägen in Verbindung mit geräuschemissionsarmen Reifen auch innerorts eine Reduktion der Schallemissionen zu erreichen.

¹ Für das Vorbeifahrtgeräusch spielen Windgeräusche erst bei sehr hohen Geschwindigkeiten eine Rolle und können im Allgemeinen vernachlässigt werden.

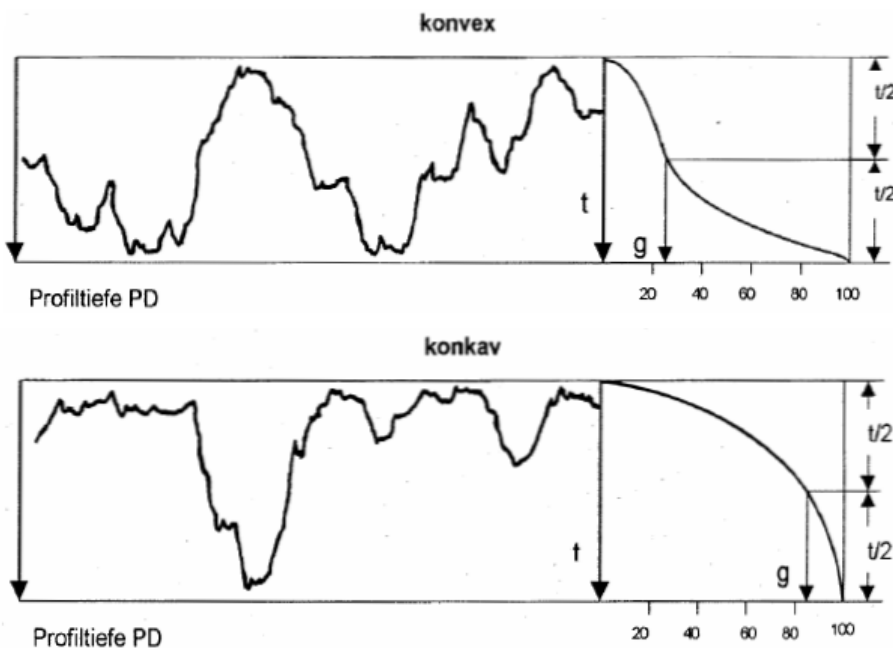
4 Akustisch relevante Parameter von Fahrbahnoberflächen

Straßendecken können für die Betrachtung ihrer akustischen Eigenschaften hinsichtlich des Hohlraumgehaltes, ihrer Oberflächengestalt und ihres Texturspektrums unterschieden werden.

Die Oberflächengestalt hat einen starken Einfluss auf die Schwingungsanregung des Reifens, die wiederum zur Abstrahlung von Schall nach außen und innen führt.

Vorteilhaft im Sinne des Lärmschutzes sind hierbei konkave Oberflächengestalten („Plateaus mit Schluchten“ - siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Darstellung der unterschiedlichen Texturtypen



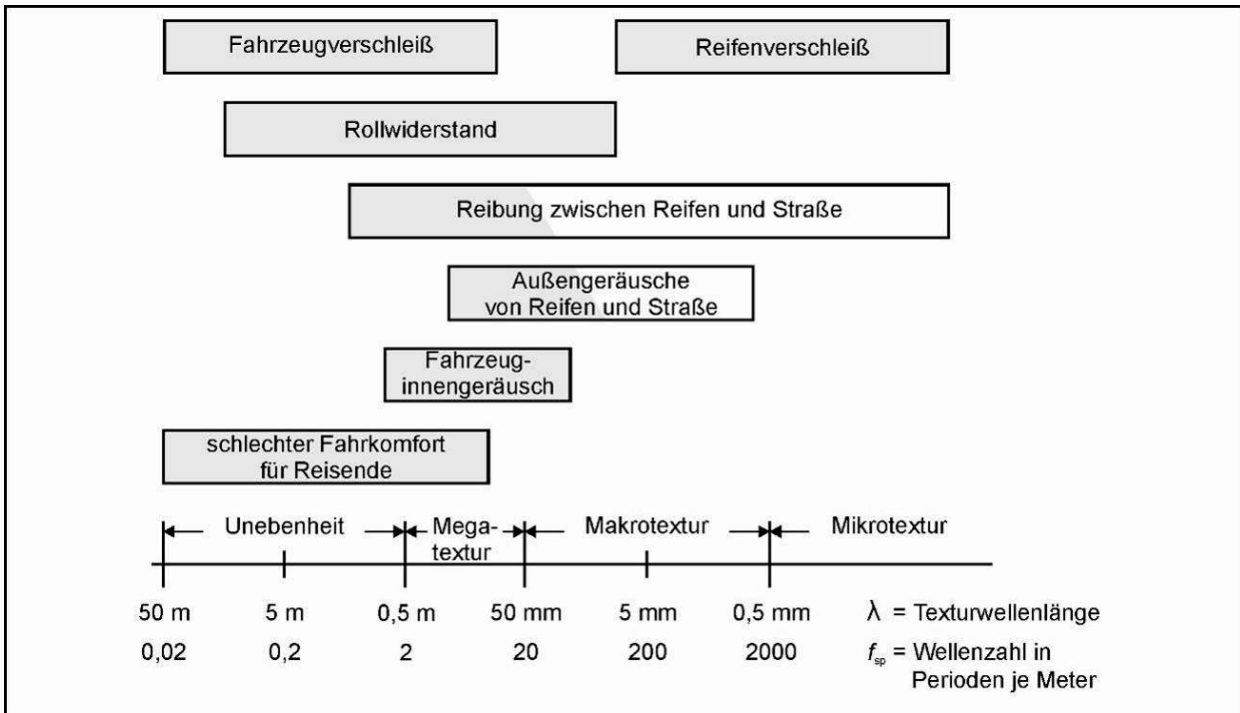
Quelle: [Beckenbauer 2002]

Der Hohlraumgehalt der Fahrbahndecke (dicht, semi-dicht und offenporig) hat sowohl Einfluss auf die Entstehung von Geräuschen (aerodynamische Anregung, „Air-Pumping“²) als auch auf die Ausbreitung von Schall (Schallabsorption bei offenporigen Asphalten).

Das Texturspektrum gibt die Rauigkeit (Mikro-, Makro- und Megarauigkeit – siehe Abbildung 2) eines Fahrbahnbelages längs zur Fahrtrichtung in Amplituden (Rauhigkeitstiefe) über Wellenlängen an. Das Texturspektrum hat Einfluss auf die Griffigkeit, den Rollwiderstand und das Geräusch. Optimal für eine geringe Geräusentstehung sind geringe Amplituden im Bereich von Wellenlängen oberhalb von 10 mm bei Pkw bzw. 16 mm bei Lkw, während das Maximum des Texturspektrums im Wellenlängenbereich von 1 bis 8 mm für Pkw bzw. 0,8 bis 12 mm für Lkw liegen sollte. Megatexturen (wie beispielsweise Schlaglöcher oder regelmäßige Querfugen) sowie Unebenheiten sollten vermieden werden [Sandberg 2002]. [Beckenbauer 2008] gibt eine Rauhigkeitstiefe von 60 bis 200 Mikrometer im Maximum der Texturwellenlänge bei Wellenlängen von 4 bis 8 mm als optimal für geringe Geräusentstehung an. Diese Wellenlängen werden mit Größtkorndurchmessern von 2 bis 5 mm erreicht.

² Das Ansaugen und Verdrängen von Luft in/aus Hohlräumen des Reifenprofils wird als Air-Pumping bezeichnet [Müller 2003].

Abbildung 2: Einfluss des Texturspektrums von Straßen auf Verschleiß, Rollwiderstand, Reibung, Reifen-Fahrbahn-Geräusch und Fahrkomfort



Anmerkung: Ein heller Hintergrund bedeutet eine erwünschte Auswirkung der Textur in diesem Bereich, während der dunkle Hintergrund eine unerwünschte Auswirkung anzeigt. Quelle: [DIN EN ISO 13473-1]

Eine erhöhte Nachgiebigkeit der Fahrbahnoberfläche trägt zur Minderung des Vorbeirollpegels bei. In Vergleichsexperimenten mit Oberflächen identischer Textur aber unterschiedlicher mechanischer Impedanz konnte gezeigt werden, dass eine höhere Nachgiebigkeit der Fahrbahn geräuschkindernd wirkt. Bei vergleichbarer Textur ist der Vorbeirollpegel von Asphalt gegenüber Betondecken um 1 bis 2 dB geringer [Beckenbauer 2008].

5 Hinweise zur Gestaltung von lärmindernden Fahrbahnoberflächen

Für ein möglichst geringes Reifen-Fahrbahngeräusch sollten folgende generelle Hinweise zur Bauweise von geschlossenen Deckschichten beachtet werden [Sandberg 2002] [Beckenbauer 2008]:

- Das Größtkorn (an der Oberfläche) sollte 8 mm nicht überschreiten, besser sind 4 bis 6 mm.
- Eine konkave Textur ist einer konvexen Textur vorzuziehen. Gewalzte Oberflächen besitzen tendenziell eher konkave, abgestreute tendenziell eher konvexe Oberflächen [Beckenbauer 2001]. Wenn möglich sollte auf Abstreuerung verzichtet werden. Ausgenommen sind das Abstreuen mit sehr feiner Körnung (z.B. 1/3) zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit und das Abstreuen bei lärmarmem Gussasphalt.
- Die Körner sollen möglichst kubisch sein. Der Anteil schlecht geformter Körner (Verhältnis Länge : Dicke > 3:1) soll gering sein [Ehlert 2008].
- Die Fahrbahnoberfläche soll sehr ebenflächig sein. Darum sind z.B. für OPA erhöhte Anforderungen im Regelwerk verankert. Um diese Anforderung zu erfüllen sollte auch die Binderschicht mit erneuert werden.
- Stark ausgeprägte Megatextur (Wellenlängen zwischen 50 und 500 mm, z.B. durch Kornausbrüche, Querrugen, Querrillen, Fahrbahnschäden, ‚geflickte‘ Fahrbahndecken, Schlaglöcher) ist unbedingt zu vermeiden.

Der letzte Gestaltungshinweis lässt darauf schließen, dass sich aus der Sanierung von schadhafte Fahrbahndecken und Pflasterstraßen Möglichkeiten zur Lärminderung ergeben. Selbst wenn derselbe Belagstyp wie zuvor gewählt wird, lassen sich Geräuschminderungen erreichen. Diese sind allerdings im entsprechenden Regelwerk der RLS-90 (Richtlinie zum Lärmschutz an Straßen, Ausgabe 1990) nicht abgebildet – es wird ‚nur‘ der Zustand nach RLS-90 wiederhergestellt.

Daraus ergibt sich folgende Handlungsempfehlung:

Im Allgemeinen ist das Potential zur Lärminderung an Straßen in schlechtem baulichen Zustand (und Pflasterstraßen) größer als das an Straßen in gutem baulichen Zustand gleichen Belagstyps, auch wenn die gesetzlichen Regelwerke dies nicht wiedergeben. Straßen in schlechtem baulichen Zustand sollten deswegen vorrangig behandelt werden. Allerdings ist darauf zu achten, dass es nicht zu einer Verlagerung des Verkehrs hin zur sanierten Straße kommt, so dass durch erhöhtes Verkehrsaufkommen die erreichte Pegelminderung (über-)kompensiert wird.

6 Messung der Geräuschemissionen von Straßenoberflächen

Üblicherweise werden zur Bestimmung der Lärmemissionen von Straßenoberflächen zwei Verfahren verwendet.

Bei der statistischen Vorbeifahrtmethode (Statistical Pass-By - SPB) werden die maximalen A-bewerteten Schalldruckpegel einer großen Anzahl einzelner Fahrzeuge verschiedener Fahrzeugkategorien während ihrer Vorbeifahrt an einem geeigneten Ort im akustischen Fernfeld am Straßenrand mit einem Mikrofon gemessen. Die Messungen erfolgen bei genau definierten Wetterbedingungen bezüglich Temperatur und Wind. Aus den einzelnen Vorbeifahrtpegeln wird zusammen mit den ebenfalls gemessenen Fahrzeuggeschwindigkeiten in einer mathematischen Regression der mittlere A-bewertete Schalldruckpegel für eine Referenzgeschwindigkeit bestimmt. Für das Endergebnis werden die Schalldruckpegel der Fahrzeugkategorien gewichtet energetisch addiert. Es ergibt sich der statistische Vorbeifahrtindex (SPBI). Er kann für den Vergleich von Straßenoberflächen verwendet werden. Der Wert eignet sich jedoch nicht zur Berechnung des tatsächlichen Verkehrsgeräusches [ISO 11819-1].

Abbildung 3: Beispiel eines SPB-Messsystems (mehrere Mikrofonpositionen)



Foto: BAST

Bei der CPX-Methode (Close-Proximity) wird der Pegel des Reifen-Fahrbahn-Geräusches im akustischen Nahfeld zweier definierter Referenzreifen an jeweils zwei vorgeschriebenen Mikrofonpositionen gemessen. Bei dem Messsystem kann es sich um einen gezogenen Messanhänger, um ein Serienfahrzeug (meistens ein Pkw mit vornehmlich an der rechten hinteren Außenseite angebrachten Mikrofonen) oder um ein Spezialfahrzeug mit eigener Aufhängung für einen oder zwei Messreifen handeln. Zur Minderung des Einflusses von

Umgebungsgeräuschen kann eine schalldämmende Einhausung um die Referenzreifen Verwendung finden, wobei aber gewährleistet sein muss, dass darunter quasi Freifeldbedingungen nach den Vorgaben des Normenentwurfs [ISO 11819-2] herrschen.

Das Messsystem wird mit einer konstanten Geschwindigkeit (möglichst nahe an der jeweils gewählten Referenzgeschwindigkeit bei genau definierten Wetterbedingungen bezüglich Temperatur und Wind) über die zu untersuchende Fahrbahn bewegt. Das Ergebnis der Messungen ist u.a. der Nahfeldindex CPXI.

Der Vorteil der CPX-Methode liegt darin, dass die akustischen Eigenschaften (u.a. die Homogenität) einzelner Streckenabschnitte und Fahrspuren bestimmt werden können [ISO 11819-2].

Akustische Unterschiede zwischen verschiedenen Fahrbahnoberflächen basierend auf einer Nahfeldmessung (d.h. ohne Berücksichtigung der je nach Geschwindigkeit vorhandenen Antriebsgeräusche) sind keine gültigen Aussagen zum jeweils erreichbaren D_{str0} -Wert.

Abbildung 4: Beispiel eines CPX-Messsystems (als Anhängervariante)



Foto: BAST

7 D_{StrO} -Wert und Pegelminderung

Die Korrekturwerte für Straßenoberflächen nach RLS-90, die so genannten D_{StrO} -Werte, werden für Pkw bei einer Geschwindigkeit von 120 km/h ermittelt:

$$D_{\text{StrO}} = L_0(\text{Pkw}, 120 \text{ km/h}, \text{Deckschicht}) - L_0(\text{Pkw}, 120 \text{ km/h}, \text{Referenz}).$$

Dabei ist L_0 der mittlere Pkw-Vorbeifahrtpegel und die Referenzdeckschicht besteht aus nicht geriffeltem Gussasphalt [BMVBS 2009].

Aussagen darüber, wie sich die Fahrbahnoberflächen bei anderen Geschwindigkeiten und bei Lkw akustisch verhalten, lassen sich aus den D_{StrO} -Werten nicht ableiten. Im Allgemeinen ist die lärmindernde Wirkung von Fahrbahnoberflächen bei Lkw kleiner als bei Pkw, ebenso bei niedrigen im Vergleich zu hohen Geschwindigkeiten.

Bei Angaben zur Pegelminderung aufgrund von SPB-Messungen sollte der Referenzpegel beachtet werden. Es gibt zwei Referenzen für den nichtgeriffelten Gussasphalt: eine aus dem Jahr 1991 mit 83,5 dB(A) bei 120 km/h, die andere aus dem Jahr 1998 mit 85,2 dB(A) bei 120 km/h. Die BAST bezieht alle Angaben seit 2002 auf die Referenz von 85,2 dB(A). Die aktuellen Referenzwerte sind in Tabelle 1 aufgeführt. Sie sind seit 2002 gültig.

Tabelle 1: Referenzwerte zur Ermittlung der Pegelminderung

Fahrzeuggeschwindigkeit v_{fz} [km/h]	Referenzpegel $L_0(\text{Referenz}, \text{Pkw})$ [dB(A)]
30	68,3
40	70,5
50	72,7
60	74,8
70	76,9
80	78,8
90	80,6
100	82,2
110	83,8
120	85,2

Der D_{StrO} -Wert ist der Mittelwert der Messreihe, d.h. ein Teil der Fahrbahnbeläge weist größere Lärminderung auf, ein anderer Teil kleinere.

Lärmindernde Straßenoberflächen sind nach RLS-90 solche mit einem negativen Korrekturwert D_{StrO} . Als lärmarm werden Straßenoberflächen bezeichnet, die eine Lärminderung von mindestens 2 dB(A) aufweisen.

Die Zuweisung eines rechtlich anerkannten Korrekturwertes D_{StrO} ist Voraussetzung für die Anerkennung im Planfeststellungsverfahren. Lärmindernde Fahrbahnbeläge ohne D_{StrO} -Wert können aktuell nur zu Erprobungszwecken eingebaut werden.

8 Lärmindernde Fahrbahnbeläge

8.1 Lärmarmes Gussasphalt

Nicht geriffelter (gewalzter) Gussasphalt stellt den Referenzbelag nach RLS-90 dar und hat somit eine Korrektur D_{StrO} von 0 dB(A)³. Gussasphalt ist selbst auf hochbelasteten Straßen über lange Zeiträume sehr verformungsbeständig und haltbar. Wegen seiner hohen Nutzungsdauer von 30 und mehr Jahren ist Gussasphalt, trotz höherer Einbaukosten, ein Fahrbahnbelag mit einem guten Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Gussasphalt gehört zu den dichten Fahrbahnbelägen; eine Lärminderung kann nur über eine günstige Gestaltung der Oberfläche erreicht werden. Die wichtigsten Gestaltungsgrößen sind das Größtkorn (5 oder 8 mm) und die Kornform des Abstreumaterials (feinkörnig, möglichst kubisch gebrochen), sowie die Methode zum Aufbringen des Abstreumaterials auf die Fahrbahn. Bei lärmarmem Gussasphalt muss die Gussasphalt-Oberfläche ausreichend heiß und das leicht mit Bitumen umhüllte Abstreumaterial der Lieferkörnung 2/3 oder 2/4 ausreichend warm sein. Auf einen Walzeneinsatz sollte möglichst verzichtet werden. Hierbei sind die Angaben für das Verfahren B der ZTV Asphalt-StB 07, Abschnitt 3.9.5 zu beachten. Eine trockene Unterlage für den Gussasphalt ist zwingend erforderlich, da entstehende Dampfblasen oder Kanülen nicht geschlossen werden können.

Lärmarme Gussasphalte verbinden lange Liegezeiten mit einer Pegelreduktion, die zwar geringer ausfällt als bei halboffenen oder offenporigen Asphalten, sich jedoch nach derzeitigem Wissen mit zunehmender Nutzungsdauer kaum verändert. Bei einigen speziellen Einbauverfahren wurden sogar im Laufe der Zeit weiter sinkende Pegel gemessen [Breitbach 2009]. Das Lärminderungspotenzial beträgt 2 bis 3 dB(A). Lärmarmes Gussasphalt wurde mit ARS Nr. 22/2010 mit einem Korrekturwert $D_{\text{StrO}} = -2$ dB(A) in die Tabelle 4 der RLS-90 aufgenommen [BMVBS 2010]. Der lärmarme Gussasphalt eignet sich gut für den Einsatz auf großen Flächen und bei hohem Schwerverkehrsanteil, z.B. Autobahnen.

Gussasphalt zeigt gegenüber Walzasphalten eine Reihe von Vorteilen: Zu nennen ist zum einen die Dichtigkeit der fertigen Schicht, die verhindert, dass Wasser in die darunterliegenden hohlraumreichen Binderschichten eindringen kann, zum anderen die hohe Griffigkeit und Standfestigkeit.

³ Korrekturwert für unterschiedliche Straßenoberflächen in der RLS-90

8.2 Splittmastixasphalt (SMA)

Splittmastixasphalt zeichnet sich durch eine hohe Verformungsbeständigkeit aus. Der gegenüber Gussasphalt relativ einfache und kostengünstige Einbau führte dazu, dass SMA der am häufigsten verwendete Fahrbahnbelag auf dem deutschen Fernstraßennetz ist. Er ist für Verkehrsflächen aller Art geeignet [ZTV Asphalt], wird aber bevorzugt für hochbeanspruchte Straßen verwendet.

In seiner Grundform mit Absplittung stellt SMA neben nicht geriffeltem Gussasphalt die nach RLS-90 mit $D_{\text{Stro}} = 0 \text{ dB(A)}$ geregelte Bauweise dar. Nicht abgesplittete SMA 8 und SMA 11 sind nach den RLS-90 mit einem D_{Stro} -Wert von -2 dB(A) belegt⁴. Zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit müssen Asphaltdeckschichten aus SMA abgestumpft werden. Hierzu wird Abstreumaterial der Lieferkörnung $1/3 \text{ mm}$ aufgebracht. Dies wirkt sich akustisch nicht negativ aus [Gutbier 2010a].

Für eine lärmarme Gestaltung des Straßenbelages sind im Allgemeinen kleine Größtkorndurchmesser sinnvoll. Für Strecken mit hoher und höchster Beanspruchung ist jedoch ein gröberes Mischgut, gegebenenfalls mit polymermodifiziertem Bitumen (PmB), nötig. Geringere Verkehrsbelastungen erlauben auch ein feinkörnigeres, bindemittelreicheres Mischgut in geringerer Schichtdicke.

Dementsprechend liegt der Schwerpunkt der Anwendung der im Folgenden genannten SMA-Typen in unterschiedlichen Bereichen.

⁴ Die geräuschkindernde Wirkung wird hierbei über die gegenüber abgesplittetem SMA günstigere Textur erreicht.

8.3 Lärmarmes Splittmastixasphalt (SMA LA)

Lärmarmes Splittmastixasphalt ist eine recht neue Bauweise. Im Jahr 2005 wurden erste Erprobungsstrecken dieser semi-poröse Deckschicht angelegt. Lärmarmes SMA 8 LA unterscheidet sich von der Regelbauweise SMA 8 durch eine veränderte Sieblinie. Durch einen geringeren Anteil feiner Gesteinskörnung wird eine Deckschicht erreicht, die im Vergleich zu herkömmlichen SMA 8 einen höheren Hohlraumgehalt (10 - 15%) und eine günstigere Makrotextur aufweist. Zusätzlich wird ein Bindemittel mit höherer Polymer-Modifizierung, ähnlich dem bei OPA, verwendet. SMA LA ist nicht für Verkehr mit engen Kurvenradien oder hohen Scherkräften durch Reifenbewegungen geeignet.

Erfahrungen mit SMA 8 LA liegen in mehreren Bundesländern vor. Messungen ergaben anfängliche Pegelminderungen (SPB) von ca. 4 dB(A) im Vergleich zum Referenzbelag [Schellenberger 2007] [Ehlert 2008] [Ripke 2011]. Innerorts reduziert SMA LA den Lärm um 2 bis 3 dB(A) gegenüber dem Referenzbelag. Ergebnisse zum akustischen Verhalten nach längerer Liegedauer liegen für die A 93 vor. Hier zeigt sich anfänglich ein jährlicher Anstieg der SPB-Pegel von etwa 0,5 dB(A) [Gärtner 2011a] [Ripke 2011].

Die Kosten für den SMA 8 LA liegen laut [Schellenberger 2007] leicht über denen für herkömmlichen SMA, jedoch deutlich unter denen für offenporigen Asphalt (OPA). Wegen der niedrigeren Bau- und Unterhaltungskosten sowie der längeren bautechnischen Lebensdauer empfiehlt das Land Baden-Württemberg den SMA 8 LA als Alternative zum OPA für Lärm- sanierungsmaßnahmen [MVI 2012].

Wie bei allen dünnen Deckschichten ist auf eine hohe Ebenheit und Dichtheit der Binderschicht zu achten. Der Grenzwert für die Unebenheit innerhalb einer 4 m langen Messstrecke beträgt für die Unterlage aus Asphaltbinder ≤ 4 mm. Die Oberflächentemperatur sowie die Lufttemperatur beim Einbau sollten mindestens 10 °C erreichen. Wenn keine Erfahrungen mit dem Einbau von SMA LA vorliegen, sollte ein Probefeld von ca. 200 m Länge angelegt werden. Die Deckschicht darf nicht abgestumpft werden.

Das Entwässerungsverhalten ist unklar; deshalb sollte SMA LA nicht auf Brückenbauwerken eingesetzt werden. Die Binderschicht sollte wasserdicht sein.

8.4 SMA 5 und SMA 5 LA

Generell ist ein kleines Größtkorn günstig für die Geräuschreduzierung insbesondere bei Pkw-Reifen. Jedoch sind kleine Größtkorndurchmesser eher ungünstig für die Tragfähigkeit und Haltbarkeit der Straßendecke bei hohen Beanspruchungen.

Splittmastixasphalt SMA 5 ist im Allgemeinen nicht für hohe Beanspruchungen geeignet. Dementsprechend führt die ZTV Asphalt-StB 07 [ZTV Asphalt] nur SMA 5 N (für normale Beanspruchungen) auf, nicht jedoch SMA 5 S. Das Mischgut ist jedoch in den TL Asphalt-StB 07 enthalten. Es liegen erste Erfahrungen innerorts, im nachgelagerten Straßennetz und sogar auf Autobahnen vor.

Durch Veränderung der Sieblinie kann auch hier die hohlraumreichere Variante SMA 5 LA ausgeführt werden.

8.5 Lärmoptimierte Asphaltdeckschicht LOA 5 D

Im Gegensatz zu dem lärmarmen SMA 8 LA, der mit einem höheren Hohlraumgehalt nur bedingt den klassischen Splittmastixasphalten zuzurechnen ist, wird der LOA 5 D mit 5 bis 7 % Hohlraumgehalt deutlich dichter ausgeführt. Seine lärmindernde Wirkung beruht auf der optimierten Korngrößenverteilung und einem kleinen Größtkorn (5 mm), die zu einer lärmtechnisch optimierten Oberfläche führen. Ziel der Entwicklung war es, mit einem geringen Hohlraumgehalt und einem modifizierten Bindemittel eine sehr hohe Stabilität und Widerstandsfähigkeit der Oberflächentextur zu erreichen [Radenberg 2007]. Da die lärmindernde Wirkung von der Dauerhaftigkeit der Oberflächentextur abhängt, wird die Modifizierung des Bitumens als zwingend notwendig angesehen.

In Düsseldorf wurden ab 2007 erste innerstädtische Versuchsstrecken realisiert. Eine Lärminderung von im Mittel -3 dB(A) kann erreicht werden [StMI 2013]. Die Messwerte streuen für unterschiedliche Strecken allerdings stark, ohne dass die Ursachen dafür bisher bekannt sind. Der Dünnschichtbelag LOA 5 D sollte bei dominierendem Pkw-Verkehr eingesetzt werden, Reifen-Fahrbahn-Geräusche von Lkw werden wenig reduziert.

LOA 5 D sollte in Verbindung mit einer neuen Binderschicht eingebaut werden, da wie bei allen Dünnschichtbelägen eine gute Ebenheit der Unterlage zwingend vorausgesetzt wird (maximal 4 mm in Längs- und Querrichtung auf 4 m). Ist der Einbau einer neuen Binderschicht nicht möglich, so sollte mit Hilfe einer polymermodifizierten Bitumenemulsion für einen ausreichenden Schichtenverbund gesorgt werden. Für einen guten Schichtenverbund sollte die Deckschicht LOA 5 D auf den noch warmen Binder aufgebracht werden. Beim Einbau sind die Witterungsbedingungen für dünne Asphaltdeckschichten gemäß ZTV-Asphalt-StB 07 und ZTV BEA-StB 09 unbedingt beachten:

- Lufttemperatur mindestens 10° C
- Temperatur der Unterlage (Binderschicht) mindestens 8° C.

LOA 5 D darf nicht auf Pflaster eingebaut werden. LOA 5 D ist nicht wasserdicht. Wegen der Gefahr von Kornzertrümmerungen darf die Deckschicht nur statisch verdichtet werden. Der Einbau erfordert mehr Sorgfalt als bei einem Standardbelag. Deshalb ist es ratsam, Probeflächen in der Ausschreibung vorzusehen. Erste Erkenntnisse lassen vermuten, dass die Lebensdauer dieses Belages nicht ganz mit länger erprobten Belägen mithalten kann [Lachmund 2011]. Die Baukosten bei Erneuerung mit Binderschicht sind etwas höher als bei SMA [Meyer 2012]. Hinweise zur Umsetzung von LOA 5 D Deckschichten im kommunalen Straßenbau gibt [Radenberg 2012].

8.6 Offenporiger Asphalt (OPA) einschichtig und zweischichtig

Offenporige Asphalte sind derzeit die Fahrbahnbeläge, die Reifen-Fahrbahn-Geräusche am effektivsten mindern und gleichzeitig bautechnisch beherrschbar sind. Die einschichtige offenporige Asphaltdeckschicht ist eine Regelbauweise nach ZTV Asphalt-StB 07 [ZTV Asphalt]. Sie stellt sehr hohe Anforderungen an Randbedingungen, Planung, Bauausführung und Betrieb – sie ist eine High-Tech-Bauweise. Deshalb sind, insbesondere bei doppelschichtiger Ausführung, diverse Besonderheiten zu beachten [LfU 2009] [Halbe 2006].

Offenporige Asphalte werden in vielen Bundesländern auf hochbelasteten Autobahnen und auch Bundesstraßen verbaut. Sie werden vorrangig in Bereichen eingesetzt, in denen herkömmliche Lärmschutzmaßnahmen nicht wirtschaftlich und / oder nicht mehr ausreichend sind.

Die lärmindernde Wirkung ergibt sich aus zwei Effekten: Durch eine günstig gewählte Textur und durch den hohen Hohlraumgehalt der Asphaltdeckschicht. Dieser bewirkt, dass zum einen die Emissionen der aerodynamischen Schallquellen minimiert werden (Vermeidung des Air-Pumping), zum anderen wirkt die Asphaltschicht als akustischer Absorber. Das bedeutet, dass durch den offenporigen Asphalt dem Schallfeld Energie entzogen wird, indem die Schallwellen absorbiert anstatt wie bei dichten Fahrbahnbelägen reflektiert werden. Offenporiger Asphalt kann somit - zumindest theoretisch - auch die Antriebsgeräusche mindern. In der Praxis liegt der Frequenzbereich der Antriebsgeräusche meist unterhalb der Frequenzen, in denen die Absorption stattfindet. In welchem Frequenzbereich eine nennenswerte Absorption stattfindet, hängt von der Schichtdicke ab: Je größer die Schichtdicke ist, desto tiefere Frequenzen werden absorbiert. Dies eröffnet die Möglichkeit, die Absorptionseigenschaften auf die Emissionen aus dem zu erwartenden Verkehr (bspw. Abstimmung auf hohen Lkw-Anteil) abzustimmen – sofern die baulichen Randbedingungen dies zulassen.

Einschichtigen offenporigen Asphalten mit einem Größtkorn von 8 mm und einer akustisch wirksamen Schichtdicke von mindestens 4 cm wird ein D_{Stro} -Korrekturwert von -5 dB(A) bei Geschwindigkeiten von mehr als 60 km/h auf Außerortsstraßen für mindestens acht Jahre zugewiesen. Diese Korrektur gilt auch für zweischichtigen offenporigen Asphalt. Um die lärmindernde Wirkung von -5 dB(A) über diesen Zeitraum gewährleisten zu können, ist ein sogenanntes Vorhaltemaß erforderlich. Ursache ist die Verschmutzungsanfälligkeit dieser Bauweise und die damit verbundene Reduzierung der lärmindernden Wirkung über den Nutzungszeitraum. Im Neuzustand weisen offenporige Beläge eine Pegelminderung von bis zu 10 dB(A) [StMI 2013] auf, d.h. das Niveau der Lärminderung im Neuzustand liegt wesentlich höher als die D_{Stro} -Korrektur -5 dB(A). Für diesen Zeitraum von aktuell acht Jahren besteht für die Lärmbetroffenen ein Bonus der Lärminderung. Bautechnisch liegt die Haltbarkeit je nach Verkehrstärke und Schwerverkehrsanteil zwischen acht und zwölf Jahren.

Um den hohen Hohlraumgehalt zu erreichen, wird fast ausschließlich (ca. 80 %) Gestein einer Korngröße verwendet. Dadurch entsteht ein Korngerüst, dessen Körner sich aufeinander ‚abstützen‘. Die Zwischenräume zwischen den Körnern bleiben leer, so dass die Kräfte über die Kontaktstellen der Körner abgetragen werden müssen. Obwohl seit der ersten Generation von offenporigen Asphalten die Klebekraft und Haltbarkeit der Bindemittel, die den Zusammenhalt des Korngerüsts gewährleisten, stark verbessert wurden, bleiben offenporige Asphalte vergleichsweise anfällig für Kornausbrüche. Auslöser können zu hohe Schub- und Scherkräfte (Anfahr- und Verzögerungsvorgänge, starke Lenkmanöver etc.), Unfälle und Defekte (z. B. Fahrt auf den Felgenhörnern nach Reifenverlust) sein. Kornausbrüche verschieben das Maximum der Texturwellenlänge zu längeren Wellenlängen, was eine Erhöhung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche mit sich bringt. Kornausbrüche führen außerdem dazu, dass die Fahrbahndecke vorzeitig

erneuert werden muss. Reparaturen sind kompliziert, da der Wasserabfluss in der Deckschicht nicht gestört werden darf.

Ein weiteres Problem offener Asphaltbeläge, das mittelfristig zu einer Erhöhung des Reifen-Fahrbahn-Geräusches führt, ist Verschmutzung, das Zusetzen der Hohlräume. Verstopfte Hohlräume sind für die Schallwellen nicht mehr zugänglich und verlieren somit ihre Absorptionswirkung [Attenberger 2005] [Kragh 2007] [BASt 2012]. Da verschiedene Reinigungsmethoden nur geringe Erfolge erzielen und die Zunahme des Reifen-Fahrbahn-Geräusches nur verlangsamen, aber nicht aufhalten konnten, wird seit einiger Zeit daran geforscht, die Oberflächen in den Hohlräumen so zu gestalten, dass sich Schmutz dort nicht anlagern kann [BASt 2012] [Rodehack 2007].

Eine weitere besondere Eigenschaft des OPA ist, dass Regenwasser in der Deckschicht abläuft. Auf der Oberfläche bleibt keine Flüssigkeit stehen. Offene Asphaltbeläge verhindern somit die Sprühfahnenbildung und Aquaplaning. Nachteilig ist allerdings, dass eine Abdichtung gegen die Binderschicht und eine gesonderte Entwässerung erfolgen müssen und besondere Anforderungen an den Winterdienst bestehen (in der Regel 20% bis 50% höherer Tausalzverbrauch) [Ingolstadt 2009] [Rodehack 2007].

[StMI 2013] nennt detailliert Randbedingungen, unter denen der Einbau von OPA nicht sinnvoll ist.

Normalerweise wird die Abdichtung durch das Aufspritzen einer wasserdichten Bitumenschicht auf die Binderschicht und anschließendes Aufbringen der Deckschicht erreicht. Besteht, beispielsweise bei Fahrbahnerneuerungen, eine intakte Gussasphaltschicht, kann die Asphaltdeckschicht aus offenporigem Asphalt auch direkt auf den Gussasphalt aufgebracht werden. Dies hat mehrere Vorteile: Zum einen können die untersten Gesteinskörner der Deckschicht nicht in die Sperrschicht einsinken. Die akustisch wirksame Schichtdicke des OPA wird damit größer, das Maximum des Absorptionsspektrums zu tieferen Frequenzen hin verschoben. Zum anderen können Fahrbahnerneuerungen schneller und kostengünstiger durchgeführt werden, da eine ‚Reserve‘ beim Abfräsen der Deckschicht vorhanden ist und ein erneutes Aufbringen der Bitumen-Schicht entfällt. Probleme können allerdings durch die veränderte Schichtdicke der gesamten Fahrbahn entstehen [Ehlert 2008] [Ehlert 2009a]. Erfahrungen mit dieser Bauweise liegen in Nordrhein-Westfalen (A 40 Essen-Holsterhausen, A 3 Kölner Ring), Brandenburg (A 24 Neuruppin) und Bayern (A 9 Bindlacher Berg) vor.

Der größte Nachteil von OPA besteht in der geringen Dauerhaftigkeit. Die akustische Haltbarkeit beträgt zurzeit acht Jahre [BMVBS 2009], die bautechnische - je nach Verkehrsstärke und Schwerverkehrsanteil - acht bis zwölf Jahre [Schellenberger 2006] [Rodehack 2007] [StMI 2013]. Bei gut geplanten und ausgeführten OPA können die Anfangsminderungen jedoch so hoch sein, dass die geforderte Lärminderung von -5 dB(A) auch über die bautechnische Lebensdauer von zehn Jahren sichergestellt werden kann [Rodehack 2007]. Eine Übersicht über die in Bayern verbauten OPA und ihre akustische Wirkung nach mehreren Jahren Liegezeit gibt [Weißberger 2006].

Zweischichtiger offener Asphalt zeichnet sich dadurch aus, dass neben der oberen Schicht mit einer relativ feinen Körnung von 8 mm eine zweite, gröbere Schicht mit Größtkorn 16 mm existiert, die ebenfalls akustisch wirksam ist. Der Vorteil ist, dass die gröbere untere Schicht größere akustisch wirksame Hohlräume besitzt, die mehr Wasser ableiten können und unempfindlicher gegen Verschmutzung sind.

Durch eine geeignete Wahl der Schichtdicken kann das Absorptionsspektrum gut auf das zu erwartende Frequenzspektrum abgestimmt werden. Zweischichtiger offener Asphalt ist im Gegensatz zu einschichtigem besser für geringere Geschwindigkeiten (unter 60 km/h) geeignet.

Erfahrungen mit zweischichtigem OPA innerorts liegen in Ingolstadt [Ingolstadt 2009], Radolfzell und in der Schweiz vor [BAFU 2008]. Außerorts sind zweischichtige OPA-Beläge derzeit u.a. in Bayern (A 9 Garching und Eching) und Niedersachsen (A 30 Osnabrück) verbaut.

8.7 Gussasphalt mit offenporiger Oberfläche (PMA)

Eine sehr neue Bauweise stellt Gussasphalt mit einer offenporigen Oberfläche dar, die in [Jannicke 2009] und [Jannicke 2011] beschrieben wird. PMA wurde erstmalig 2008 eingebaut. Die Namensgebung PMA (Porous Mastix Asphalt) lehnt sich an die englische Bezeichnung für offenporige Asphalte (Porous Asphalt) an. Ausgehend von der traditionellen Herstellung von Gussasphalt wurde ein Konzept entwickelt und verfeinert, das ein Mischgut mit höherem Anteil an grober Gesteinskörnung vorsieht. Durch einen feinkörnigen Mörtel stellt sich ein Verfüllen des Korngerüsts im unteren Bereich ein und eine dichte mit Gussasphalt vergleichbare Schicht entsteht, während in der oberflächennahen Zone kein Verfüllen stattfindet und eine OPA-ähnliche Struktur verbleibt. Es entsteht ein „Plateau mit Schluchten“. Eine aufwändige Abdichtung von Binder- und Tragschicht vor Nässe ist nicht notwendig, da die Deckschicht wasserundurchlässig ist. Die Ebenheit der Binderschicht ist nicht so wichtig, da das Mischgut wie beim Gussasphalt selbst nivelliert. Der PMA verdichtet selbst. Wenige Walzenübergänge werden gebraucht, um die Gesteinskörner an der Oberfläche flach auszurichten und um Ungleichmäßigkeiten durch die Bohlen auszugleichen.

Die akustische Wirkung bei diesem Asphalt ergibt sich aus einer günstigen Oberflächentextur. Gegenüber dem Referenzbelag der RLS-90 kann eine Lärmminderung von -4 dB(A) bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h erwartet werden [StMI 2013]. Langzeiterfahrungen liegen auf Grund der kurzen Liegedauer nicht vor.

Nach dem jetzigen Erfahrungsstand sollte ein Probefeld angelegt werden [Ehlert 2013].

8.8 Dünne Asphaltdeckschichten in Kalt- bzw. Heißbauweise

Dünnschichtbeläge werden im Rahmen der Erhaltung von Verkehrsflächen in allen Bauklassen eingesetzt. Es wird zwischen Kalt- und Heißbauweise unterschieden. Aufgrund der geringen Schichtdicke finden feinkörnige – und damit im Allgemeinen lärmarme – Mischgüter Verwendung (z.B. SMA 5 N, SMA 5 S und Asphaltbeton AC 5 D L). Messungen der dünnen Asphaltdeckschichten in Sachsen-Anhalt haben gegenüber dem Referenzbelag eine lärmindernde Wirkung gezeigt [Fuss 2009]. Die Bauweisen sind in den ZTV BEA-StB 09⁵ [ZTV BEA-StB] enthalten. Bei DSK nennt [Bartolomaeus 2009] für zulässige Höchstgeschwindigkeiten bis 50 km/h ein Lärminderungspotenzial von 1 dB(A) gegenüber der Referenzoberfläche.

⁵ Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Asphaltbauweisen (ZTV BEA-StB 09), Ausgabe 2009

8.9 Dünne Asphaltdeckschicht in Heißbauweise auf Versiegelung DSH-V

Die dünne Asphaltdeckschicht in Heißbauweise auf Versiegelung DSH-V ist eine Erhaltungsbauweise und eine Sonderform der DSH. Speziell zusammengesetztes Heißmischgut wird auf eine mit Bitumenemulsion versiegelte Unterlage in einem Arbeitsgang durch einen Straßenfertiger mit einer integrierten Sprüheinrichtung aufgebracht. Überwiegend wird Mischgut mit einem Größtkorn von 5 mm eingesetzt.

Durch die feinkörnige, konkave Textur wird eine Lärmminderung von -4 bis -5 dB(A) erzielt [Bartolomaeus 2011]. Der Geräuschpegel nimmt allerdings mit der Liegezeit zu. DSH-V ist vorwiegend bei Pkw-Geräuschen wirksam. Vorteile dieser Bauweise sind neben der Lärmminderung die gute Griffigkeit ohne Einfahrzeit, die geringe Einbaustärke und die Versiegelung der Unterlage gegenüber Wassereintritt. Die dünne Deckschicht soll wegen des schnellen Auskühlens nur bei günstigen Wetterbedingungen eingebaut werden. Bei Lufttemperatur unter 10 °C und bei Temperatur der Unterlage unter 8 °C darf sie nicht eingebaut werden.

DSH-V kann auf Asphalt, Beton und Pflaster hergestellt werden.

Größere Unebenheiten der Binderschicht können nicht ausgeglichen werden. Für eine lange Lebensdauer ist ein guter Schichtenverbund notwendig. Dafür muss die Unterlage tragfähig, sauber und hinreichend eben sein. Die Bauweise ist durch ein Merkblatt seit 2003 im deutschen Regelwerk dargestellt und in den ZTV BEA-StB 09 enthalten [ZTV BEA-StB].

8.10 Asphaltbeton

Asphaltbeton ist eine übliche Bauweise mit langjährigen positiven Erfahrungen. Asphaltbeton ist die am häufigsten verwendete Mischgutsorte im Asphaltstraßenbau. Asphaltbeton bis Korngröße 11 ohne Absplittung wird ein D_{stro} -Wert von -2 dB(A) zugewiesen. Asphaltbeton besitzt eine dichte Oberfläche. Bei Geschwindigkeiten bis 50 km/h wird der Reifen weniger zu Schwingungen angeregt als bei Splittmastixasphalt und damit bei 50 km/h und 40 km/h 2 dB(A) leiser als SMA, bei 30 km/h sogar 3 dB(A) [Gutbier 2010b]. Bei höheren Geschwindigkeiten erzeugt die dichte Oberfläche mehr Air-Pumping-Geräusche als der SMA. Von daher empfiehlt sich Einsatz bei zulässigen Höchstgeschwindigkeiten bis 70 km/h. Aus akustischen Gründen sollte das Abstumpfen mit Lieferkörnung 1/3 erfolgen. Asphaltbeton ist nicht geeignet für hoch beanspruchte Straßen der Belastungsklassen Bk32 und Bk100.

8.11 Waschbeton

Mit Einführung der ZTV Beton-StB 07 [ZTV Beton] stellt die Waschbetonbauweise eine Regelbauweise dar, so dass Betondecken heute fast ausschließlich mit dieser Oberflächenstruktur gebaut werden. Bei Waschbetondecken wird die dünne obere Mörtelschicht durch Ausbürsten entfernt. Die lärmindernden Eigenschaften der Waschbetone hängen von Größe sowie Ausrichtung und Texturtiefe der Oberflächengesteinskörnung ab. Gemäß ZTV Beton-StB 07 soll die Texturtiefe des Waschbetons zwischen 0,6 mm und 1,1 mm liegen. Waschbetonoberflächen weisen gemäß ARS Nr. 5/2006 [BMVBS 2006] einen D_{STRO} -Wert von -2 dB(A) auf und zählen damit zu den lärmarmen Fahrbahndecken. Eine Optimierung der Bauweise hinsichtlich der Lärmminderung ist noch möglich. Die Kornform scheint einen deutlichen Einfluss auf die Geräuschemissionen zu haben.

Bei der Waschbetonbauweise handelt es sich um eine technisch anspruchsvolle Oberflächenstrukturierung. Bezüglich der Ausführungsqualität sind für das Gelingen einer Waschbetontextur folgende Parameter von großer Bedeutung:

- Anteil, Kornform und Bruchflächigkeit der gebrochenen Gesteinskörnungen,
- Kornzusammensetzung bzw. Sieblinie für eine hohe Profilspitzenzahl an der Oberfläche,
- Witterung und Temperatur beim Betoneinbau bzw. beim Entfernen des Oberflächenmörtels,
- Dicke und Qualität des Oberflächenmörtels,
- Typ des Oberflächenverzögerers,
- Ausbüstzeitpunkt und Nachbehandlung vor und nach dem Ausbürsten.

Fahrbahnbeläge aus Waschbeton versprechen hohe Liegezeiten [Ehlert 2008] [Bollmann 2007].

8.12 Betondecken mit Jutetuch-Längstexturierung

Bis 2006 waren diese Fahrbahnbeläge die einzigen Betonoberflächen, die in Berechnungen nach RLS-90 mit einem D_{StrO} -Wert von -2 dB(A) belegt waren. Allerdings waren sie wegen relativ geringer Griffigkeitsreserven in der Kritik. Sie wurden mit dem ARS 5/2006 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung durch Waschbeton ersetzt [BMVBS 2006].

8.13 Betondecke mit Grinding-Oberfläche

Beim Grindingverfahren handelt es sich nach dem Merkblatt für die Herstellung von Oberflächentexturen auf Verkehrsflächen aus Beton [M OB 2009] um die längsgerichtete Bearbeitung der Betonoberfläche mit Diamantschleifscheiben, die auf einer rotierenden Welle nebeneinander mit variablem Abstand montiert sind (2 bis 3 mm Abstand) und vertikal über die Oberfläche geführt werden. Die Oberfläche erhält eine gerichtete Struktur und ist durch Stege und Rillen gekennzeichnet, wobei die Rillen- und Stegbreiten der gewünschten Textur vom Abstand und der Breite der Diamantscheiben bestimmt werden.

Bisher wurde das Grinding-Verfahren fast ausschließlich für griffigkeitsverbessernde Maßnahmen sowie für die Beseitigung von Unebenheiten angewendet. Beim Schleifen werden Unebenheiten aus dem Decken-Fertigungsprozess entfernt, so dass eine Fahrbahnoberfläche mit sehr guter Längs- und Querebenheit hergestellt wird. Die maßgenau hergestellte Rillenstruktur weist eine lärmtechnisch günstige Rautiefe von ca. 0,9 bis 1,1 mm auf. Im Rahmen von Forschungsarbeiten wurde festgestellt, dass eine längsgerichtete Grindingtextur eine Pegelreduzierung von 2 bis 3 dB(A) aufweist. Die Dauerhaftigkeit ist bisher gut.

9 Akustische Haltbarkeit von lärmindernden Fahrbahnbelägen

Offenporige Asphalte weisen im Neuzustand eine Pegelminderung von bis zu 10 dB(A) auf. Nach acht Jahren beträgt die Lärminderung nur noch 5 dB(A). Deshalb wird offenporigen Asphalten PA 8 mit einer akustisch wirksamen Schichtdicke von mindestens 4 cm ein D_{Stro} -Korrekturwert von -5 dB(A) für Außerortsstraßen bei Geschwindigkeiten von mehr als 60 km/h für mindestens acht Jahre zugewiesen. Für diesen Zeitraum von aktuell acht Jahren besteht für die Lärmbetroffenen ein Bonus der Lärminderung.

Auch bei anderen lärmindernden Asphaltdeckschichten (DSH-V, SMA, SMA LA, PMA, LOA 5 D) wurden teilweise nachlassende Pegelminderungen festgestellt (z.B. in Berlin Verschlechterung um bis zu 5 dB(A) in 3 Jahren [Berlin 2013]), die neben dem Alter, den auftretenden Oberflächenschäden auch von der Anzahl der Überrollungen (Belastung) abhängen.

Im Gegensatz dazu bleibt der lärmindernde Effekt beim lärmarmen Gussasphalt über die Jahre gleich. Bei einigen speziellen Einbauverfahren wurden sogar im Laufe der Zeit weiter sinkende Pegel gemessen [Breitbach 2009].

Zu neuen lärmindernden Fahrbahnbelägen (z.B. DSH-V, SMA LA, PMA, LOA 5 D) existieren bisher nur wenige Untersuchungen zum akustischen Langzeitverhalten. Es können also noch keine sicheren Aussagen dazu getroffen werden. Das Umweltbundesamt empfiehlt deshalb, neue lärmindernde Fahrbahnbeläge ohne D_{Stro} -Wert (z.B. DSH-V, SMA LA, PMA, LOA 5 D) zurzeit mit Forschungsbegleitung einzubauen, damit in Zukunft mehr Daten und Erkenntnisse zur akustischen Haltbarkeit von lärmindernden Fahrbahnbelägen vorliegen.

10 Hinweise zum Einbau von lärmindernden Fahrbahnbelägen auf Innerortsstraßen

Bei der Auswahl und dem Einbau von lärmindernden Fahrbahnbelägen auf Innerortsstraßen ist eine Reihe von Randbedingungen zu beachten. Sie müssen oftmals ein hohes Verkehrsaufkommen bewältigen und sind somit entsprechenden Belastungen ausgesetzt. Hinzu kommt, dass im Regelfall durch Anfahr-, Brems- und Abbiegevorgänge größere Scherkräfte auf die Deckschicht übertragen werden. Für diese Fälle muss die Fahrbahn bautechnisch ausgelegt sein. Zudem sind in vielen Situationen die Einbauhöhen nicht frei wählbar, so dass nicht jede Bauweise realisiert werden kann. Einbauten, wie Entwässerung und Kanalisation, schränken den Gestaltungsraum zusätzlich ein. Dennoch kann durch geschickte Wahl von Fahrbahnbelägen eine Reduktion des Straßenverkehrslärms erreicht werden.

Bei der Planung von lärmindernde Fahrbahnbeläge innerorts sollten folgenden Hinweise beachtet werden:

- Der Umbau von Pflaster- zu Asphaltdecken ist aus Sicht des Lärmschutzes besonders effizient und effektiv.
- Die Fahrbahnmarkierungen sollten lärmarm ausgeführt werden.
- Der lärmarme Fahrbahnbelag sollte immer über den gesamten Straßenquerschnitt eingebaut werden.
- Der neu zu bauende Streckenabschnitt sollte möglichst 500 m und mehr lang sein.
- Zur Sicherstellung der Ebenheit sollte die Binderschicht mit erneuert werden.
- Nachträgliche Aufgrabungen, insbesondere quer zur Fahrbahn, sollten vermieden werden, da an Nahtstellen die Geräuschminderung der intakten Deckschicht aufgehoben wird. So sollte bereits bei der Planung eines neuen lärmindernden Fahrbahnbelages in Zusammenarbeit des Straßenbaulastträgers mit der Kommune und den Infrastrukturbetrieben für Wasser, Abwasser, Gas, Strom, Telefon etc. ein diesbezügliches Konzept (z.B. ein System von Leerrohren) erarbeitet werden [Haas 2011].

Die RLS-90 nennen für Straßen mit Geschwindigkeiten bis 50 km/h nur vier verschiedene Typen von Straßenoberflächen (siehe Tabelle 2 auf Seite 37):

- nicht geriffelte Gussasphalte (Referenzbelag), Asphaltbetone oder Splitt-Mastix-Asphalte (SMA),
- Betone oder geriffelte Gussasphalte,
- Pflaster mit ebener Oberfläche,
- sonstige Pflaster.

Die RLS-90 unterscheiden dabei nicht zwischen unterschiedlichen Ausführungsformen (z.B. SMA 0/5 gegenüber SMA 0/11) der jeweiligen Fahrbahnbeläge. Eventuelle Unterschiede in den Geräuschemissionen können somit nicht ohne weiteres in die Immissionsberechnung einbezogen werden.

In den letzten Jahren wurden folgende Fahrbahnbeläge häufig aus Gründen des Lärmschutzes innerorts eingebaut:

- lärmoptimierte Asphaltdeckschicht LOA 5 D,
- dünne Asphaltdeckschicht in Heißbauweise auf Versiegelung DSH-V 5 und DSH-V 8,

Lärmmindernde Fahrbahnbeläge

- lärmarmere Splittmastixasphalt SMA 5 LA und SMA 8 LA,
- Splittmastixasphalt SMA 5.

Noch wurde keinem dieser Fahrbahnbeläge ein negativer D_{stro} -Wert zugewiesen. Die bau- und lärmtechnische Dauerhaftigkeit ist nicht abschließend bekannt. Dennoch lohnt sich die Verwendung speziell lärmarm ausgeführter Beläge zu Erprobungszwecken.

11 Hinweise zum Einbau von lärmindernden Fahrbahnbelägen auf Außerortsstraßen

Hier treten oft hohe Beanspruchungen durch Verkehr (siehe bemessungsrelevante Beanspruchung B in den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen [RStO 2012]) und extreme Witterungsbedingungen auf. Demnach muss auf die Tragfähigkeit und das Verhalten, die Wartung und Pflege der Fahrbahn bei extremen Witterungsbedingungen geachtet werden (Winterdienst, Beständigkeit gegen Temperaturschwankungen etc.). Die meist fehlende seitliche Bebauung eröffnet mehr Möglichkeiten bei der Wahl der Entwässerung der Fahrbahn.

Die Allgemeinen Rundschreiben des BMVBW bzw. BMVBS nennen für Straßen mit Geschwindigkeiten ≥ 60 km/h fünf verschiedene Typen von lärmindernden Straßenoberflächen und weisen ihnen D_{Stro} -Werte zu (siehe Tabelle 2 auf Seite 37):

- Betone mit Waschbetonoberfläche (ZTV Beton-StB 07),
- Asphaltbetone $\leq 0/11$ und SMA 0/8 und 0/11 *ohne* Absplittung,
- Lärmarmer Gussasphalt (ZTV Asphalt-StB 07, Abschnitt 3.9.5, Verfahren B),
- Offenporige Asphalte (OPA) mit $\geq 15\%$ Hohlraumgehalt 0/11,
- Offenporige Asphalte (OPA) mit $\geq 15\%$ Hohlraumgehalt 0/8.

Für Außerortsstraßen bzw. Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit über 60 km/h kommen zusätzlich folgende lärmindernde Fahrbahnbeläge in Betracht, denen allerdings noch keine D_{Stro} -Werte zugewiesen wurden:

- Lärmarmer Splittmastixasphalt SMA LA,
- Porous Mastic Asphalt PMA,
- Dünne Deckschicht in Heißeinbauweise auf Versiegelung DSH-V,
- Betone mit Grindingoberfläche.

Tabelle 2: Korrekturwerte Straßenoberfläche (D_{str0}) in dB(A) nach RLS-90 und ARS⁶

Typ		Geschwindigkeit in km/h				RLS-90	ARS des BMVBS / BMVBW Nr.
		30	40	≥50	>60		
	nicht geriffelte Gussasphalte; Asphaltbeton oder SMA	0	0	0	0	x	
	Betone oder geriffelte Gussasphalte	1	1,5	2		x	
	Pflaster mit ebener Oberfläche	2	2,5	3		x	
	sonstiges Pflaster	3	4,5	6		x	
	Betone mit Stahlbesenstrich und Längsglätter				1		14/1991
	Betone ohne Stahlbesenstrich mit Längsglätter und Längstextur mit Jutetuch				-2		Aufgehoben mit 5/2006
	Asphaltbetone ≤ 0/11 und SMA 0/8 und 0/11 ohne Absplittung				-2		14/1991
	OPA mit ≥ 15% Hohlraumgehalt 0/11				-4		14/1991
	OPA mit ≥ 15% Hohlraumgehalt 0/8				-5		14/1991
	Betone nach ZTV Beton-StB 07 mit Waschbetonoberfläche				-2		5/2006
	Lärmarmer Gussasphalt nach ZTV Asphalt-StB 07, Abschnitt 3.9.5, Verfahren B				-2		22/2010

⁶ Allgemeines Rundschreiben des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (ab 1998), bzw. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (bis 1998)

12 Hinweise zur Auswahl von geeigneten Fahrbahnbelägen im konkreten Fall

Welche lärmindernden Fahrbahnbeläge im konkreten Einzelfall in Frage kommen, sollte an Hand folgender Kriterien geprüft werden:

- Wie groß soll die Pegelminderung – insbesondere nachts - sein?
- Wie hoch ist der Verkehrsmengenanteil schwerer Nutzfahrzeuge?
- Mit welchen Geschwindigkeiten wird die Straße befahren?
- Gibt es Kreuzungen, Kurven, Einmündungen?
- Welche Fahrzeuge benutzen die Straße? Sind besondere mechanische Beanspruchungen oder Verschmutzungen zu erwarten?
- Welche finanziellen Möglichkeiten bestehen?

In der Tabelle 3, am Ende des Berichtes, sind hierfür verschiedene Auswahlgesichtspunkte übersichtlich dargestellt.

Hinweis: High-End-Konzepte bewirken bei optimalen Einbaubedingungen überaus gute Lärminderungseffekte; sie reagieren aber häufig sehr empfindlich auf kleinste Abweichungen. In der Praxis können diese allerdings nicht immer vermieden werden.

Nur gute Konzepte, gute Planung und gute Umsetzung (Einbau) führen zum gewünschten Erfolg. Manchmal kann es deshalb hilfreich sein, robustere Asphaltkonzepte zu verwenden.

Für neue Fahrbahnbeläge sollte der Einbau eines Probefeldes eingeplant werden.

13 Literatur

- [Asphalt 2010] Dünn und leise zugleich. In: Asphalt, 7/2010, S. 21 - 22
- [Asphalt 2011] Sanierung der Münchener Orleansstraße. In: Asphalt, 1/2011, S. 19 – 20
- [Asphalt 2012a] Leise Fahrbahndecken in Kommunen. In: Asphalt, 5/2012, S. 18 -21
- [Asphalt 2012b] Die Sanierung der A 30 mit einem SMA LA. In: Asphalt, 7/2012, S. 20 - 23
- [Asphalt 2013a] Deutscher Asphaltverband: Baustoffe und Baustoffgemische. Online, Abruf am 21.06.2013: http://www.asphalt.de/site/startseite/technik/6_baustoffe_und_baustoffgemische/
- [Asphalt 2013b] Deutscher Asphaltverband: Erhaltung. Online, Abruf am 21.06.2013: http://www.asphalt.de/site/startseite/technik/10_erhaltung/
- [Attenberger 2005] Attenberger, A.; Kühne, R.: Pilotprojekt 2OPA als innerstädtische Lärmschutzmaßnahme. In: DAGA 2005, München
- [Attenberger 2012] Attenberger, A.: Die leise Innenstadtstraße. Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2012
- [Babisch 2004] Babisch, W.: Chronischer Lärm als Risikofaktor für den Myokardinfarkt. Umweltbundesamt, WaBoLu-Hefte 02/04
- [BAFU 2009] Angst, C.; Beltzung, F.; Bosshardt, D.; Grolimund, H. Pestalozzi, H.: Lärmarme Fahrbahnbeläge innerorts, Jahresbericht 2008. Bundesamt für Straßen (ASTRA) und Bundesamt für Umwelt (BAFU) der Schweiz, 2009
- [BAFU 2010] Angst, C.; Beltzung, F.; Bosshardt, D.; Grolimund, H., Bühlmann, E.: Lärmarme Fahrbahnbeläge innerorts, Jahresbericht 2009. Bundesamt für Straßen (ASTRA) und Bundesamt für Umwelt (BAFU) der Schweiz, 2010
- [BAFU 2011] Angst, C.; Beltzung, F.; Bosshardt, D.; Ziegler, T.; Bühlmann, E.: Lärmarme Fahrbahnbeläge innerorts, Jahresbericht 2010. Bundesamt für Straßen (ASTRA) und Bundesamt für Umwelt (BAFU) der Schweiz, 2011

- [BAFU 2013] Bühlmann, E.; Ziegler, T.; Bürgisser, P.; Angst, C.; Beckenbauer, T.: Forschungsprojekt Lärmarme Beläge innerorts. Teilprojekt 3: Langzeitmonitoring, Jahresbericht 2012. Bundesamt für Straßen (ASTRA) und Bundesamt für Umwelt (BAFU) der Schweiz, 2013
- [Bartolomaeus 2002] Bartolomaeus, W.; Glaeser, K; Hemmert-Halswick, A.; Ripke, O.; Weck, U.: Lärminderung – Optimierung des Systems Fahrbahn-Fahrzeug-Reifen im Projekt „Leiser Verkehr“. In: Straße und Autobahn 12/2002, S.
- [Bartolomaeus 2009] Bartolomaeus, W.: Lärmindernde Straßenoberflächen innerorts – eine Bestandsaufnahme. In: Lärmbekämpfung, 6/2009, S. 250 - 253
- [Bartolomaeus 2011] Bartolomaeus, W.: Lärminderung Innerorts. In: Asphaltstraßentagung 2011, Köln
- [BASt 2012]] Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Verbundprojekt “Leiser Straßenverkehr 2”. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Straßenbau, Heft S 74, 2012
- [Beckenbauer 2001] Beckenbauer, T.: Akustische Eigenschaften von Fahrbahnoberflächen. In: Straße und Autobahn, 10/2001, S. 553 - 561
- [Beckenbauer 2002] Beckenbauer, T.; Spiegler, P.; Blokland, G.; Kuipers, A., Reinink, F.; Huschek, S.; Stütze, T., Heerkens, J.: Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 847
- [Beckenbauer 2003] Beckenbauer, T.: Reifen-Fahrbahn-Geräusche – Minderungspotenziale der Straßenoberfläche. In: DAGA 2003 , Aachen
- [Beckenbauer 2007] Beckenbauer, T.; Scheuren, J.: Lärminderung und Lärmschutz an Straßen. Stand der Technik und Perspektiven. In: VSVI Bayern, Jahreszeitschrift 2007, S. 4 - 12
- [Beckenbauer 2008] Beckenbauer, T.: Physik der Reifen-Fahrbahn-Geräusche - Geräuschenstehung, Wirkungsmechanismen und akustische Wirkung unter dem Einfluss von Bautechnik und Straßenbetrieb. In: 4. Informationstage „Geräuschmindernde Fahrbahnbeläge in der Praxis – Lärmaktionsplanung 11./12.6.2008“, Müller-BBM, Planegg, 2008

- [Beckenbauer 2011] Beckenbauer, T.: Lärmarme Fahrbahnbeläge. Mehrwert bei der Straßensanierung. ALD, 2011. Online: http://www.ald-laerm.de/downloads/veranstaltungen-des-ald/5-LA_Fahrbahnbelaege_Beckenbauer.pdf
- [Beckenbauer 2013] Beckenbauer, T.: Lärmarme Straßenbeläge im Innerortsbereich. ALD, 2013. Online: http://www.ald-laerm.de/downloads/veranstaltungen-des-ald/05_Beckenbauer_LauteStrassen-leisePolitik.pdf
- [Bendtsen 2005] Bendtsen, H.; Andersen, B.; Ellebjerg, L.: Notes from Forum Acusticum in Budapest 2005. Danish Road Directorate, 2005
- [Berlin 2013] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin (Auftraggeber): Gneisenaustraße, Berlin-Kreuzberg, Statistische Vorbeifahrtmessungen (SPB-Verfahren), Bericht Nr. M87731/11. Müller-BBM, Planegg, 2013 (unveröffentlicht)
- [BMVBS 2006] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Allgemeines Rundschreiben Nr. 5/2006 vom 17. Februar 2006
- [BMVBS 2009] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Allgemeines Rundschreiben Nr. 3/2009 vom 31. März 2009
- [BMVBS 2010] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Allgemeines Rundschreiben Nr. 22/2010 vom 4. September 2010
- [Bollman 2007] Bollmann, K.; Lyhs, P.; Bilgeri, P.: Waschbeton – neue Bauweise für Betonfahrbahndecken. In: Beton Information, 2/2007, S. 32 -35
- [Breitbach 2009] Breitbach, P.; Jannicke, B.; Rode, P.; Sikinger, T.; Zilken, M.: Lärmtechnisch optimierte Gussasphaltdeckschichten – Stand der Technik. In: Asphalt, 5/2009, S. 24 – 28
- [Donner 2009] Donner, U., Dudenhöfer, B.: Leiser Verkehr durch lärmarme Fahrbahnbeläge für kommunale Straßen. In: VSVI Journal Berlin, 2009, S. 55 - 59
- [Dröge 2011] Dröge, C.: Dünne Asphaltdeckschichten in Heißbauweise auf Versiegelung – Neu in den ZTV BEA-StB. In: Straße und Autobahn, 1/2011, S. 13 - 16
- [Ehlert 2008] Ehlert, S.: Geräuschmindernde Fahrbahnbeläge in Nordrhein-Westfalen. Sonderdruck anlässlich des Deutschen Straßen- und Verkehrskongresses, Strassen.NRW, Gelsenkirchen, 2008
- [Ehlert 2009a] Ehlert, S.: Innovativer Offenporiger Asphalt in Nordrhein-Westfalen. In : Straße und Autobahn, 3/2009, S. 133 - 139

- [Ehlert 2009b] Ehlert, S.: Lärmarme Fahrbahnbeläge für den kommunalen Straßenbau. Strassen.NRW, 2009. Online: http://www.strassen.nrw.de/_down/laermarme_fahrbahnbelaege.pdf
- [Ehlert 2013] Ehlert, S.: PMA - Offenporiger Gussasphalt. Aktuelle Erfahrungen und Entwicklungen bei Straßen-NRW. Asphalt, 7/2013, 24 – 31
- [Ejsmont 2009] Ejsmont, J.; Ronowski, G.: Laboratory Tests of Poroelastic Road Surfaces. In: Proceedings of the Sixteenth International Congress on Sound and Vibration, Krakow, 2009
- [FEHRL 2006] The Forum of European National Highway Research Laboratories (Hrsg.): SILVIA (silenda via) Sustainable road surfaces for traffic noise control – Guidance Manual for Low-Noise Road surfaces. 2006, Online: <http://www.trl.co.uk/silvia>
- [FGSV 2010] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V.(Hrsg.): Die Bauweise Splittmastixasphalt lärmarm – SMA LA. In: Straße und Autobahn, 4/2010, S. 281 - 283
- [FGSV 2011] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (Hrsg.): Empfehlungen für den Bau von Asphalttschichten aus Gussasphalt (E GA). Ausgabe 2011
- [FGSV 2012a] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (Hrsg.): Merkblatt Asphaltdeckschichten aus offenporigem Asphalt. Ausgabe 2012 (noch nicht veröffentlicht)
- [FGSV 2012b] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (Hrsg.): Textureinfluss auf die akustischen Eigenschaften von Fahrbahndecken. (Unveröffentlichtes Arbeitspapier)
- [Fuchs 2011] Fuchs, W.: Köln setzt auf Innovation. In: Asphalt, 1/2011, S. 14 - 18
- [Fuss 2009] Fuss, A. : Messung des Einflusses von Fahrbahnoberflächen auf die Verkehrsgeräusche nach DIN EN 11819/1. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Sonderheft 4, Halle, 2009
- [Gärtner 2010] Gärtner, K.; Graf, K.; Schünemann, M.: Lärmtechnisch optimierte Deckschichten aus Splittmastixasphalt. In: Asphalt, 1/2010, S. 25 - 30
- [Gärtner 2011a] Gärtner, K.; Jähmig, J.; Otto, A. : Neueste Erkenntnisse zum lärm mindernden Splittmastixasphalt (SMA LA). In: Straße und Autobahn, 9/2011, S. 618 – 626
- [Gärtner 2011b] Gärtner, K.; Hartmann, B.; Graf, K.; Radenberg, M. ; Ripke, O.: Möglichkeiten und Grenzen lärm armer Asphaltdeckschichten in

bebauten Gebieten. In: Straße und Autobahn, 4/2011, S. 246 - 251

- [Garthe 2010] Garthe, F.: Karlsruhe und Pforzheim senken Verkehrslärm. In: Asphalt, 1/2010, S. 22 – 24
- [Gutbier 2010a] Gutbier, M.; Schierz, H.: Lärmtechnische Wirksamkeit von Abstumpfungsmaßnahmen an neu gebauten Asphaltdecken. Schriftenreihe Forschung, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1034, 2010
- [Gutbier 2010b] Gutbier, M.; Schierz, H.: Verfahren zur Klassifizierung der Geräuschemissionen von Innerortsstraßen. Bremen, 2010
- [Haas 2011] Haas, R.; Göbel, C.: Lärmschutz durch Flüsterasphalt. In: Der Bayerische Bürgermeister, 7+8/2011, S. 248 – 250
- [Halbe 2006] Halbe, K.: Offenporiger Asphalt auf der A7 – Von der Planung bis zum Einbau. In: Asphalt 5/2006, S. 26 - 33
- [Hinrichs 2011] Tendenzen und Entwicklungen im Hinblick auf die Instandhaltung von kommunalen Straßen sowie auf Lärmminderung. Online:
<http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tmbv/verkehr/strassenbauworkshop/vortragherrhinrichs.pdf>
- [Ingolstadt 2009] Stadt Ingolstadt: Westliche Ringstraße - Pilotprojekt zweischichtiger offenporiger Asphalt. 2009, Online:
http://www.lfu.bayern.de/laerm/forschung_und_projekte/opa/projektbeschreibung/doc/2opa.pdf
- [ISO 11819-1] Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgereusche – Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren. 2002
- [ISO 11819-2] Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method. Entwurf 2012
- [ISO 13473-1] DIN EN ISO 13473-1: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe
- [Jannicke 2009] Jannicke, Bernd: PMA – Gussasphalt mit offenporiger Oberfläche. In: Asphalt 5/2009, S. 29 - 32
- [Jannicke 2010] Jannicke, B. : Eine Erfolgsgeschichte: PMA-Gussasphalt mit offenporiger Oberfläche und ohne Abstreusplitt. In: Straße und Autobahn, 8/2010, S. 583 – 584
- [Jannicke 2011] Jannicke, B.: PMA – wirtschaftliche Möglichkeit der Lärmminderung. In: Asphalt, 2/2011, S. 10 - 14

- [Kasper-Merkl 2011] Kasper-Merkl, A.; Kastner, M., Poxleitner, F.:
Erfahrungen aus München. In: Asphalt, 4/2011, S. 10 – 18
- [Klee 2009] Klee, J.; Lehné, R.: Erfahrungen von der A 13. In: Asphalt,
7/2009, S. 20 - 22
- [Kötz 2004] Kötz, W.: Zur Frage der effektiven Schalldämmung von
geöffneten Fenstern. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung,
1/2004, S. 21 – 26
- [Kragh 2007] Kragh, Jørgen: Ageing of Porous Pavements - Acoustical effects.
Danish Road Institute, Technical note 56, 2007
- [Krempel 2011] Krempel, B.; Weiland, N.: Lärmindernde Beläge im
Asphaltbau. In: VSVI-Hessen, Journal 2011, S. 23 - 30
- [Krempel 2012] Krempel, B.; Weiland, N.: Geräuscharme Fahrbahndecken aus
Asphalt. In: Verkehr und Umwelt, 4/2012, S. 6 - 8
- [Kropp 2000] Kropp, W.; Bécot, F.; Barrelet, S.: On the Sound Radiation from
Tyres. In: Acustica – acta acustica, 86(2000), S. 769 -779
- [Lachmund 2011] Lachmund, U.: Lärmindernde Fahrbahnbeläge in Ingolstadt.
In: Der Bayerische Bürgermeister, 7+8/2011, S. 251 – 252
- [LfU 2009] Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): Leitfaden für das
Aufbringen zweischichtiger offenporiger Asphaltdeckschichten.
2009, Online: [http://www.lfu.bayern.de/laerm/opa/
projektbeschreibung/doc/leitfaden_2opa.pdf](http://www.lfu.bayern.de/laerm/opa/projektbeschreibung/doc/leitfaden_2opa.pdf)
- [Männel 2011] Männel, M.: Überblick geräuschkindernder Fahrbahnbeläge.
2011, Online: www.vsvi-blndbg.de/pdf/mnl.pdf
- [Meiarashi 2004] Meiarashi, S.: Porous elastic road surface as an ultimate
highways noise measure. In: Transportation Research Record No.
1880, Energy and Environmental Concerns, Washington D.C.,
2004, Online: [http://www.pwri.go.jp/eng/activity/pdf/reports/
meiarashi031017.pdf](http://www.pwri.go.jp/eng/activity/pdf/reports/meiarashi031017.pdf)
- [Meyer 2012]: Meyer, J.: Auch in Rostock: Lärmoptimierte Asphaltdeckschicht.
In: Asphalt, 1/2012, S. 28 - 30
- [MIR 2009] Ministerium für Infrastruktur und Raumordnung Brandenburg:
Leiser Straßenverkehr. 2009, Online, Abruf am 21.06.2013:
<http://www.mir.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.154213.de>
- [M OB 2009] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V.
(Hrsg.): Merkblatt für die Herstellung von Oberflächentexturen
auf Verkehrsflächen aus Beton (M OB). Köln, 2009

- [Morgan 2008] Morgan, P.A. : Innovatieprogramma Geluid voor wegverkeer, Scientific Strategy Document End Report, Centre for Transport and Navigation of Rijkswaterstaat, Report Number DVS-2008-016, 2008
- [Müller 2003] Müller, G.; Möser, M.: Taschenbuch der Technischen Akustik. Berlin, 2003
- [Müller 2010] Müller, I.: Textureinfluss auf die akustischen Eigenschaften von Straßenoberflächen. In: Straße und Autobahn, 12/2010, S. 892 – 897
- [MVI 2012] Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg: Verwendung von lärmarmen Asphaltbelägen im Außerortsbereich. Schreiben vom 16.08.2012, AZ 23-3945.22/78
- [Ortscheid 2004] Ortscheid, J.; Wende, H.: Können Lärminderungsmaßnahmen mit geringer akustischer Wirkung wahrgenommen werden? Ein klärendes Wort zur Wahrnehmung von Pegeländerungen. Umweltbundesamt, 2004
- [Poxleitner 2011] Poxleitner, F.; Kasper-Merkl, A.; Kastner, M.: Lärminderung – Eine Herausforderung für die Städte. Straße und Autobahn, 7/2011, S. 449 – 454
- [Przybilla 2011] Przybilla, T.: Erfahrungen mit lärmarmen Fahrbahnoberflächen in Nordrhein-Westfalen. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 2011
- [Radenberg 2007] Radenberg, M.; Sander, R.: Lärmtechnisch optimiert. Asphaltdeckschichten für den kommunalen Straßenbau. In: Asphalt, 8/2007, S. 33 – 41
- [Radenberg 2009a] Radenberg, M.: Innovative Bauweisen in Kommunen. In: Straße und Autobahn, 6/2009, S. 353 – 357
- [Radenberg 2009b] Radenberg, M.; Sander, R.: Lärmtechnisch optimierte Asphaltdeckschicht für den kommunalen Straßenbau. In: Bauportal, 5/2009, S. 287 – 289
- [Radenberg 2010a] Radenberg, M.; Gogolin, D.: Lärmindernde Asphaltdeckschichten für kommunale Straßen. In: Bauportal, 5/2010, S. 263 -266

- [Radenberg 2012] Radenberg, M.; Rube, N.: Hinweise zur Umsetzung Lärmoptimierter Asphaltdeckschichten für den kommunalen Straßenbau (Stand 13.12.2012). Ruhr-Universität-Bochum, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Lehrstuhl für Verkehrswegebau, Online, Abruf am 21.06.2013: <http://www.lvw.ruhr-uni-bochum.de>
- [Reichelt 2010] Reichelt, P.: Lärminderung – das Thema der Zukunft. In: Asphalt, 4/2010, S. 10 - 15
- [Richter 2004] Richter, D.; Heindel, M.: Straßen- und Tiefbau. Wiesbaden, 2004
- [Riffel 2011] Riffel, S.: Grinding - eine neue, lärmarme und griffige Textur. In: Verkehrsflächen aus Beton. In: Straßen- und Tiefbau, 12/2011, S. 11 – 15
- [Riffel 2012a] Riffel, S.: Erprobung neuer, innovativer Betonbauweisen und Oberflächentexturen beim Einbau der Erschließungsstraße in Geseke. In: Straße und Autobahn, 9/2012, S. 598 - 605
- [Riffel 2012b] Riffel, S.: Grinding - Mehr Griffigkeit, weniger Lärm, Online: http://www.this-magazin.de/artikel/tis_Grinding_-_Mehr_Griffigkeit_weniger_Laerm_1396018.html
- [Ripke 2009] Ripke, O. (2009): Lärmtechnisch optimierter Gussasphalt. In: Straße und Autobahn, 10/2009, S. 660 - 663
- [Ripke 2011] Ripke, O.: Lärmindernder Splittmastixasphalt. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft S 68, Bergisch Gladbach, 2011
- [Ripke 2013] Ripke, O.: Gussasphalt ohne Abstreuerung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft S 79, Bergisch Gladbach, 2013
- [RLS-90] Der Bundesminister für Verkehr (Hrsg.): Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90). Bonn, 1990
- [Rode 2005] Rode, P.: Leiser Gussasphalt – Wege zu Belägen mit lärm-reduzierenden Eigenschaften. In: Asphalt 5/2005, S. 30 - 33
- [Rodehack 2006] Rodehack, G., Beckenbauer, T.: Lärmarme Fahrbahnoberflächen. Möglichkeiten und Grenzen von offenporigen Asphaltdeckschichten. Deutscher Straßen- und Verkehrskongress, Karlsruhe, 2006
- [Rodehack 2007] Rodehack, G.; Beckenbauer, T.: Möglichkeiten und Grenzen von offenporigen Asphaltdeckschichten. In: Straße und Autobahn, 4/2007, S. 185 - 189

- [Rodehack 2013] Rodehack, G.: Lärmindernde Asphaltdeckschichten – Der Weg ins Regelwerk. In: Straße und Autobahn, 12/2013, S. 908 - 910
- [Rostock 2004] Hansestadt Rostock: Planungsempfehlung zum Einsatz von Pflasterbelägen. 2004, Online: <http://rathaus.rostock.de/sixcms/media.php/144/PlanungsempfehlungenPflaster.pdf>
- [RStO 2012] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (Hrsg.): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (RStO 12). Köln, 2012
- [Sandberg 2002] Sandberg, U. Ejsmont, J.: Tyre / Road Noise Reference Handbook. Kisa, 2002
- [Sandberg 2005] Sandberg, U.; Kalman, B.: The Poroelastic Road Surface – Results of an Experiment in Stockholm. 2005. Online: http://www.trl.co.uk/silvia/Silvia/pdf/Associated_Reports/SILVIA-VTI-006-00-WP4-030605.pdf
- [Schäfer 2011] Schäfer, V.; Vogt, F.: Asphaltbauweisen: OPA, ZWOPA, Kompaktasphalt und Lärmarmes Gussasphalt – 15 Jahre Innovationen in Niedersachsen. In: Straße und Autobahn, 5/2011, S. 313 - 318
- [Schellenberger 2006] Schellenberger, Matthias: Lärmindernde Beläge – Eine Chance für die Asphaltbauweise. In: Asphalt, 4/2006, S. 18 - 25
- [Schellenberger 2007] Schellenberger, M.; Scheuer, S.: Lärmtechnisch optimierte Splittmastixasphalte. In: Straße und Autobahn, 8/2007, S. 425 - 432
- [Schellenberger 2009] Schellenberger, M.: Neues Regelwerk für Asphalt. Neuerungen, Anforderungen und Ausblicke. In: Vdbum Information 2/2009, S. 27 – 30
- [Schellenberger 2010] Schellenberger, M.: Lärmoptimierte Bauweisen. Erhältlich bei: <http://www.vsvi-hessen.de/>
- [Schmerbeck 2009] Schmerbeck, R.: Asphaltmischgut für Dünne Asphaltdeckschichten im Heißeinbau auf Versiegelung. In: Straße und Autobahn, 11/2009, S. 723 – 727
- [Schmerbeck 2013] Schmerbeck, R.; Höller, S.: Bewehrte Betondecke, Blacktopping und Grinding – Die Versuchstrecke BABA A 94. In: Straße und Autobahn, 5/2013, S. 321 - 329
- [Schünemann 2011] Schünemann, M.: Aktuelles aus dem Asphaltstraßenbau – Spiegelbilder des Alltags. Online: <http://www.vsvi-mv.de/file>

admin/Medienpool/Seminarunterlagen/Asphaltstrassenbau_2011/M.Schuenemann-Aktuelles_aus_dem_Aspaltstrassenbau.pdf

- [Steiner 2011] Steiner, F.: Warum Straßen innerorts immer ruhiger werden. In: Asphalt, 1/2011, S. 11 - 13
- [Steven 1992] Steven, H.: Geräuschemissionen auf Betonsteinpflaster. Herzogenrath, 1992
- [StMI 2013] Bayerisches Staatsministerium des Innern: Lärmindernde Fahrbahnbeläge. Online, Abruf am 21.06.2013: http://www.leiserstrassenverkehr.bayern.de/laermarme_belaege/
- [Stöckert 2011a] Stöckert, U.; Bückers, C.: Leiser Straßenverkehr – Rückblick und das neue Forschungskonzept. In: Straße und Autobahn, 12/2011, S. 844 – 852
- [Stöckert 2011b] Stöckert, U.; Wieland, M.; Kley, A.: Waschbeton – Lärmtechnische Verbesserung? In: Straße und Autobahn, 1/2011, S. 137 – 145
- [Stöckert 2012] Stöckert, U.: Geräuscharme Fahrbahndecken aus Beton. In: Verkehr und Umwelt, 3/2012, S. 5
- [TL Asphalt] Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (TL Asphalt-StB 07). Köln, 2007
- [TL Beton] Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (TL Beton-StB 07). Köln, 2007
- [UBA 2000] Jahresbericht 1999. Berlin, 2000
- [UBA 2013] Rückert-John, J. Bormann, I. John, R. Umweltbewusstsein in Deutschland 2012. Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau, 2013
- [Wahliss 2010a] Wahliss, P.; Betz, K.; Hechtel, A.: B 14 Lärmindernder Asphalt (LOA 5 D) in der Stadt Stein. In: Bau Intern, 11+12/ 2010, S. 17 - 19
- [Wahliss 2010b] Wahliss, P.; Betz, K.; Hechtel, A.: Dünn und leise zugleich. In: Asphalt, 7/2010, S. 21 - 22
- [Weißberger 2006] Weißberger, W.: Weiterentwicklung offenporiger Asphalte – Schalltechnische und bautechnische Untersuchung an realisierten Strecken in Bayern. Bericht Nr. M61 791/5, Planegg,

2006. Online: http://www.lfu.bayern.de/laerm/opa/projekt_beschreibung/doc/schlussbericht_opa.pdf

- [Wende 2006] Wende, H.; Ortscheid, J., Hintzsche, M.: Lärmwirkungen von Straßenverkehrsgeräuschen - Auswirkungen eines lärmarmen Fahrbahnbelages. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2006. Online: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3047.pdf>
- [WHO 2011] World Health Organization, Regionalbüro für Europa: Burden of disease from environmental noise, Quantification of healthy life years lost in Europe. Kopenhagen, Dänemark, 2011
- [Wieland 2012] Wieland, M.: Waschbeton – Resümee und Perspektiven. In: Straße und Autobahn, 9/2012, S. 569 - 580
- [Winkler 2008] Winkler, M.: Neuer lärmarmere Asphalt für den kommunalen Straßenbau. In : bi Bau Magazin, 6/2008, S. 40 - 42
- [ZTV Asphalt] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 07). Köln, 2008
- [ZTV BEA-StB] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Asphaltbauweisen (ZTV BEA-StB 09). Köln, 2009
- [ZTV Beton] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (ZTV Beton-StB 07). Köln, 2007

Tabelle 3: Lärmindernde Fahrbahnbeläge in der Übersicht

Belagstyp	Lärmrmer Gussasphalt	Gussasphalt mit offener Oberfläche	Splittmastixasphalt	Splittmastixasphalt	Lärmrmer Splittmastixasphalt	Lärmrmer Splittmastixasphalt	Lärmoptimierte Asphaltdeckschicht	Offenporiger Asphalt	Zweischichtiger offenporiger Asphalt	Dünne Asphaltdeckschichten in Kaltbauweise	Dünne Asphaltdeckschichten in Heißbauweise auf Versiegelung	Asphaltbeton ohne Abspflttung	Waschbeton	Beton mit Grinding
Kurzbezeichnung	MA mit Abstreuung 2/3 oder 2/4	PMA	SMA 8 bzw. SMA 11	SMA 5	SMA 8 LA	SMA 5 LA	LOA 5 D	PA 8 bzw. PA 11	PA 8 bzw. PA 11 auf	PA 16	DSK 5 bzw. DSK 8	DSH-V 5 bzw. DSH-V 8	AC 8	WB 8
Belastungsklasse	alle	alle	alle	bis Bk32; Bk100 nur mit Einschränkungen	alle	bis Bk32; Bk100 nur mit Einschränkungen	bis Bk3,2	Bk1,8 bis Bk100	Bk1,8 bis Bk100	alle	alle, vorwiegend Bk1,0 bis Bk10	Bk1,0 bis Bk10	alle	alle
Geschwindigkeits-bereiche	alle	alle	alle	akustisch gut geeignet für 50 bis 70 km/h	alle	alle	gut geeignet für 50 bis 100km/h	> 60 km/h	≥ 50 km/h, aber nur bedingt für Straßen innerorts geeignet	alle	alle	akustisch besonders gut geeignet bis 70 km/h	alle	alle
D₅₀₀-Wert nach RLS-90 (Pkw, 120 km/h)	-2 dB(A) für > 60 km/h	nein	-2 dB(A) für > 60 km/h (nicht abgesplitteter SMA 8 bzw. SMA 11)	0 dB(A) für > 60 km/h	nein	nein	nein	-5 dB(A) für PA 8 und > 60 km/h; -4 dB(A) für PA 11 und > 60 km/h	-5 dB(A) für PA 8 und > 60 km/h; -4 dB(A) für PA 11	nein	nein	-2 dB(A) für > 60 km/h	-2 dB(A) für > 60 km/h	nein
Pegelminderung bei Pkw, Einzelmessungen (SPB-Verfahren)	-2 bis -3 dB(A)	-4 dB(A) für 80 km/h	-1 dB(A) für 40 bis 50 km/h	-1 bis -2 dB(A) für 40 bis 50 km/h	-4 dB(A) für > 60 km/h; 2 bis -3 dB(A) für bis 50 km/h	--2 bis -4 dB(A) für 50 bis 100 km/h	-3 dB(A) bis -4 dB(A) bei 50 km/h; -7 bis -8 dB(A) bei 80 km/h.	bis zu -10 dB(A) im Neuzustand für > 60 km/h	bis zu -10 dB(A) im Neuzustand für > 60 km/h	-1 dB(A) für 40 bis 50 km/h	-4 dB(A) bis -5 dB(A) bei 50 km/h	-3 dB(A) für 40 bis 50 km/h; -4 dB(A) für 30 km/h		-2 bis -3 dB(A)
Pegelminderung bei Lkw Eignung außerorts	etwas ja	etwas ja	etwas ja	etwas ja	etwas ja	etwas ja	etwas ja	sehr gut ja	sehr gut ja	etwas ja	etwas ja	etwas ja	etwas ja	etwas ja
Eignung innerorts	ja	k. A.	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nur bei anbaufreien Straßen, autobahnähnlich	ja	ja	ja	nein	k. A.
Erfahrung innerorts Mindestlänge des Einbauloses	nein 500 m	nein 500 m	ja 500 m	ja 500 m	München, Ingolstadt 500 m	ja 500 m	ja 500 m	k. A. möglichst 1000 m	B17 Augsburg, Ingolstadt möglichst 1000 m	ja 500 m	ja 500 m	ja 500 m	nein k. A.	nein k. A.
bautechnische Dauerhaftigkeit ¹	sehr hoch	k. A.	hoch	vermutlich hoch	Prognose: über 12 Jahre	Prognose: über 12 Jahre	wahrscheinlich kürzer als Standardbeläge	8 bis 12 Jahre	5 bis 12 Jahre	k. A. (Erhaltungsbauweise)	k. A. (Erhaltungsbauweise)	k. A.	Prognose: hoch	k. A.
akustische Dauerhaftigkeit ¹	hoch	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	6 bzw. 8 Jahre	6 bzw. 8 Jahre	k. A. (Erhaltungsbauweise)	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
akustisches Langzeitverhalten	teilweise nimmt der Lärmpegel ab	Lärmpegel nimmt zu (gemessen in Berlin)	Lärmpegel nimmt zu (gemessen in Sachsen-Anhalt, Berlin)	Lärmpegel gleich (3 Jahre nach Einbau, gemessen in Berlin)	Lärmpegel nimmt zu (gemessen in Bayern)	Lärmpegel nimmt zu (gemessen in Bayern)	k. A.	Zunahme des Lärmpegels bekannt, über Vorhaltemaß geregelt	Zunahme des Lärmpegels bekannt, über Vorhaltemaß geregelt	k. A.	Lärmpegel nimmt zu (gemessen in Berlin, Sachsen-Anhalt)	k. A.	k. A.	k. A.
Anforderungen an die Planung	durchschnittlich	durchschnittlich	durchschnittlich	durchschnittlich	durchschnittlich	durchschnittlich	durchschnittlich	hoch	sehr hoch	k. A.	durchschnittlich	durchschnittlich	durchschnittlich	k. A.
Anforderungen an die Ausführung Regelwerk	sehr hoch	hoch	durchschnittlich	durchschnittlich	hoch	hoch	hoch	hoch	sehr hoch	k. A.	hoch	durchschnittlich	hoch	k. A.
Praktische Erfahrungen in	TL Asphalt-StB 07, ZTV Asphalt-StB 07	nein	TL Asphalt-StB 07, ZTV Asphalt-StB 07	TL Asphalt-StB 07, ZTV Asphalt-StB 07	nein	nein	nein	TL Asphalt-StB 07, ZTV Asphalt-StB 07	TL Asphalt-StB 07	ZTV BEA-StB 09	ZTV BEA-StB 09	TL Asphalt-StB 07, ZTV Asphalt-StB 07	TL-Beton-StB 07, ZTV Beton-StB07	nein
	Regelbauweise	mehrere Strecken in Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Brandenburg, Hessen, Bayern, Thüringen, Bremen, Berlin	Regelbauweise	Regelbauweise	Bayern (A 93 bei Schwandorf, A 3 bei Tennenlohe, A 73 bei Erlangen); Baden-Württemberg (B 10 Esslingen - Utingen, B 10/B 27 Ortsdurchfahrt Stuttgart-Zuffenhausen, B 31 Oberuhldingen - Meers); Nordrhein-Westfalen (B 56 Düren, A 30 Bad Oeynhausen)			Düsseldorf, Köln, Karlsruhe, Pforzheim, Rostock	Regelbauweise	A 30 Osnabrück, A 9 München-Nord, Augsburg, Ingolstadt	Regelbauweise	Regelbauweise	Regelbauweise	A 94 Forstinning, A 115, Geseke
Literatur	[BAFU 2009] [BAFU 2010] [BAFU 2011] [Breitbach 2009] [Ehlert 2008] [Krempel 2011] [Klee 2009] [Krempel 2011] [Männel 2011] [Ripke 2009] [Rode 2005] [Schäfer 2011]	[Asphalt 2012a] [Ehlert 2009b] [Jannicke 2009] [Jannicke 2010] [Jannicke 2011] [Krempel 2011] [Männel 2011] [Ripke 2013] [Rodehack 2013]	[Asphalt 2012a]	[Asphalt 2012a] [Asphalt 2013a] [Bartolomaeus 2009] [Ehlert 2008] [Ehlert 2009b] [Fuss 2009]	[Asphalt 2011] [Asphalt 2012a] [Asphalt 2012b] [Attenberger 2012] [Bartolomaeus 2009] [Ehlert 2008] [Ehlert 2009b] [Fuss 2009] [Gärtner 2009] [Gärtner 2010] [Gärtner 2011a] [Haas 2011] [Kasper-Merkl 2011] [Krempel 2011] [Lachmund 2011] [Männel 2011] [Poxleitner 2011] [Rodehack 2013] [Schellenberger 2006] [Schellenberger 2007] [Schünemann 2011] [ZTV Asphalt]	[Asphalt 2013a] [Bartolomaeus 2009] [Ehlert 2008] [Ehlert 2009b] [Fuss 2009] [Rodehack 2013] [Schünemann 2011]	[Asphalt 2012a] [Attenberger 2012] [Bartolomaeus 2009] [Ehlert 2008] [Ehlert 2009b] [Fuchs 2011] [Garthe 2010] [Gärtner 2011b] [Krempel 2011] [Männel 2011] [Przybilla 2011] [Radenberg 2007] [Radenberg 2009a] [Radenberg 2009b] [Radenberg 2010] [Radenberg 2012] [Rodehack 2013] [Schünemann 2011] [Wahliss 2010] [Winkler 2008]	[BAFU 2009] [BAFU 2010] [BAFU 2011] [Attenberger 2012] [Bartolomaeus 2009] [Ehlert 2008] [Ehlert 2009b] [Fuchs 2011] [Garthe 2010] [Gärtner 2011b] [Krempel 2011] [Männel 2011] [Przybilla 2011] [Radenberg 2007] [Radenberg 2009a] [Radenberg 2009b] [Radenberg 2010] [Radenberg 2012] [Rodehack 2013] [Schünemann 2011] [Wahliss 2010] [Winkler 2008]	[BAFU 2009] [BAFU 2010] [BAFU 2011] [Attenberger 2012] [Bartolomaeus 2009] [Ehlert 2009a] [FGSV 2012a] [Gärtner 2011b] [Haas 2011] [Kragh 2007] [Krempel 2011] [Lorenzen 2007] [Männel 2011] [MIR 2009] [Ressel 2006] [Rodehack 2006] [Rodehack 2007] [Schäfer 2011] [Schellenberger 2006] [Schünemann 2011] [Weißenberger 2006]	[Asphalt 2010] [Asphalt 2012a] [Attenberger 2012] [Bartolomaeus 2009] [Donner 2009] [Dröge 2011] [Ehlert 2009b] [Fuss 2009] [Kasper-Merkl2011] [Krempel 2011] [Männel 2011] [Poxleitner 2011] [Schmerbeck 2009] [Schmerbeck 2013] [Schünemann 2011]	[Bartolomaeus 2009] [Ehlert 2009b] [Gärtner 2011b] [Schellenberger 2010]	[Bollman 2007] [M 08] [Riffel 2011] [Stöckert 2011a] [Stöckert 2011b] [Wieland 2012]	[Riffel 2011] [Riffel 2012a] [Riffel 2012b] [Schmerbeck 2013] [Stöckert 2012]	

¹ hier wird ein Wert in Jahren für eine durchschnittliche Belastung angegeben; ausschlaggebend ist jedoch nicht das Alter, sondern die Anzahl der Überrollungen