

Voraussetzungen für den Einbau lärmarmer Straßendecken

## Die leise Innenstadtstraße



### 1 Einführung

Lärm beeinträchtigt in kaum zu unterschätzender Weise Gesundheit und Wohlbefinden des Menschen. Die Hauptquelle ist die vom Straßenverkehr ausgehende Geräuschemission. Von diesem Straßenverkehrslärm werden zunehmend mehr Bürger betroffen. Lärmpegel von mehr als 65 dB(A) am Tage gelten nach Erkenntnissen der Lärmwirkungsforschung als gesundheitlich bedenklich. Pegeln in dieser Höhe sind inzwischen in Deutschland über 13 Mio. Menschen ausgesetzt.

Die meisten der Betroffenen wohnen in Ballungsräumen. Außerhalb dieser Gebiete liegt die Zahl der Betroffenen aufgrund der geringeren Siedlungsdichte naturgemäß niedriger. Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz sind nur beim Neubau und erheblichen Umbau von Verkehrswegen die Immissionsgrenzwerte der 16. BImSchV [1] einzuhalten. Die „Lärmvorsorge“ wird im Wesentlichen durch sog. aktive Schallschutzmaßnahmen (Wände, Wälle) erreicht, die naturgemäß leichter an Fernstraßen außerhalb der Ortsdurchfahrten errichtet werden können.

Im innerstädtischen Bereich verbleibt das Straßennetz zumeist in seinem Bestand, mit der Folge, dass lärmtechnisch nur eine sogenannte Sanierung in Frage kommt. Diese ist jedoch gesetzlich nicht geregelt. Daher – und natürlich auch wegen der geringen Abstände der Straße zu den Gebäuden – folgt die höhere Betroffenheit.

Aber auch wenn sich eine Kommune entschließt, zum Schutz ihrer Bürger bauliche Schallschutzmaßnahmen zu ergreifen, sind nur in den wenigsten Fällen Lärmschutzwände wirkungsvoll und städtebaulich vertretbar. Die oberen Stockwerke, die Straßenräume, die Plätze, die Grünanlagen bleiben weiterhin verlärm, dienen nicht mehr der Kommunikation und lassen hier ein urbanes Leben veröden. Der Griff zum Schallschutzfenster kann bekanntlich nur als absolute Notlösung betrachtet werden.

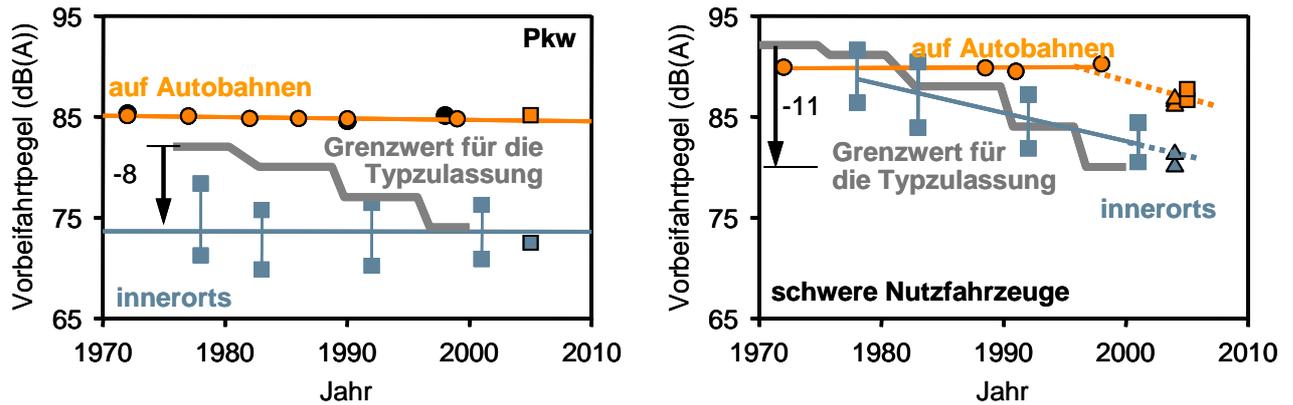


Abb. 1: Zeitliche Entwicklung der Geräuschemissionsgrenzwerte sowie Vorbeifahrtpegel von Pkw und schweren Nutzfahrzeugen (Lkw) innerorts und auf Autobahnen; Diagramm LfU, Datenquelle: LfU, [17][18][21].

Unabhängig davon, dass die Verkehrsmengen in Zukunft auch im innerstädtischen Bereich wohl weiterhin zunehmen werden, zeichnet sich ein weiteres verblüffendes Problem ab: in den letzten 30 Jahren sind lediglich die Lkws innerorts leiser geworden, sonst sind die Vorbeifahrtpegel der einzelnen Fahrzeuge trotz Absenkung der Grenzwerte für die Typzulassung nahezu gleich geblieben (Abb. 1) [2]. Nur im Inneren der Fahrzeuge ist es wirklich leiser geworden. Die Zusammensetzung des Außengeräusches hat sich verändert. So dominiert das Rollgeräusch bei den heutigen Pkw bereits ab Geschwindigkeiten von 30 bis 40 km/h und Lkw ab 60 km/h (Abb. 2) und nicht mehr das Antriebsgeräusch. Das Rollgeräusch entsteht aus der Wechselwirkung des Reifens mit der Fahrbahn:

- Der Reifen wird beim Abrollen verformt und zu Schwingungen angeregt.
- Die Profilklotze schlagen (trommeln) auf die Fahrbahn und werden verformt.
- Durch Adhäsionskräfte in der Reifenaufstandsfläche entstehen Reibgeräusche.
- Luft wird zwischen dem Profil und der Fahrbahn eingeschlossen, verdichtet und entspannt sich plötzlich („air pumping“). Hierdurch werden Zischgeräusche erzeugt.
- Zudem bildet die gekrümmte Lauffläche des Reifens mit der Fahrbahnoberfläche einen Schalltrichter und verstärkt den Schall noch auf seinem Ausbreitungsweg (Horn-Effekt).

Fahrzeug, Reifen und Straße sind akustisch grundsätzlich als Einheit zu betrachten. Zum Beispiel regt eine ganz ebene Oberfläche den Reifen nur in geringem Maße zu Schwingungen an, verstärkt jedoch das Geräusch durch „air pumping“.

Für die akustischen Eigenschaften der Reifen gibt es seit 2003 verbindliche EU-Grenzwerte [3]. Diese liegen jedoch so weit über den Werten der derzeit auf dem Markt erhältlichen Reifen, dass in naher Zukunft keine Minderung eintreten wird.

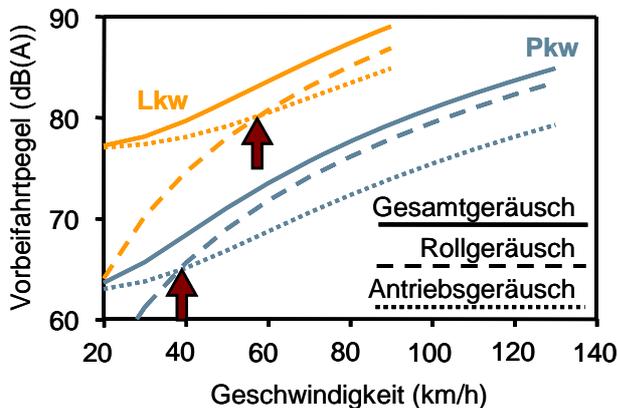


Abb. 2: Antriebs-, Roll- und Gesamtgeräusch von Pkw und Lkw in Abhängigkeit der Geschwindigkeit; Diagramm LfU, Datenquelle [7].

Schnellere Erfolge sind nur mit lärmarmen Straßendecken möglich. Hier liegt der Ansatz zur Minderung der Lärmbelastung der Bürger. Geräuschemissionen, die nicht entstehen, brauchen auch nicht aufwendig abgemindert werden.

## 2 Lärmarme Straßendecken

Die Straßenbautechnik weist neben Fortschritten in dem Belang Sicherheit auch Verbesserungen bezüglich der Geräuschemissionen auf. So wurde schon frühzeitig Kopfsteinpflaster von ebenen Asphalt- oder Betondecken verdrängt. Für das Rollgeräusch entscheidend ist die **Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche**, da sie den Anteil der Kontaktfläche des Reifens auf der Fahrbahn bestimmt. Sie wird durch die Textur beschrieben, die die vertikalen Abweichungen eines Fahrbahnprofils von einer tatsächlich ebenen Oberfläche angibt. Diese Abweichungen können durch ein Spektrum unterschiedlicher Wellenlängen und Amplituden dargestellt werden. Bei offenporigen Asphaltdeckschichten (OPA) wirken zusätzlich ihre absorbierenden Eigenschaften. Der Einfluss der Fahrbahn auf das Rollgeräusch beträgt mehr als 10 dB [8]. In Deutschland arbeitet die Bundesanstalt für Straßenwesen im Rahmen des Forschungsverbundes „Leiser Verkehr“ intensiv an der Erprobung neuartiger Konzeptionen [6].

### 2.1 Dichte Deckschichten

Gewalzte dichte Deckschichten, wie neuerdings der „Splittmastixasphalt lärmarm“ (SMA LA) [11], die dünne Schicht im Heißeinbau auf Versiegelung (DSH-V) [12] oder aktuell der sogenannte „Düsseldorfer Asphalt“ (LOA 5 D) [9] sind leiser als mit Splitt abgestreute Deckschichten oder solche aus Gussasphalt oder Waschbeton. Leise Oberflächen sollten vornehmlich aus „Plateaus und Schluchten“ bestehen und nicht aus „Bergen und Tälern“, damit der Reifen in seiner Aufstandsfläche nicht zusätzlich verformt und damit zu Schwingungen angeregt wird (Abb. 3). Leise, dichte Deckschichten sollten große Amplituden bei Wellenlängen zwischen 1 und 10 mm haben, um das „air pumping“-Geräusch zu reduzieren und kleine Amplituden bei Wellenlängen von 16 bis 50 mm, um die Reifenschwingungen zu minimieren [16]. Das **Minderungspotential** durch **lärmetechnisch optimierte Deckschichten** kann für den Innerortsbereich bis zu **5 dB(A)** für Pkw betragen [10]. Im Unterschied zu den OPA mindern diese aber das Rollgeräusch von Lkw nicht. Wie lang die Pegel mindernde Wirkung anhält wurde noch nicht nachgewiesen. Seit einigen Jahren und verstärkt nun im Rahmen des Konjunkturpakets II werden von Kommunen diese dichten, lärmetechnisch optimierten Deckschichten eingebaut und akustisch untersucht.

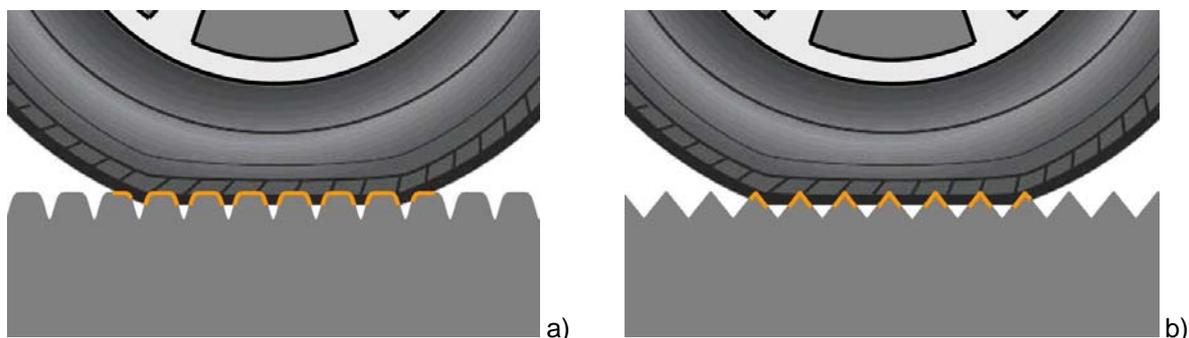


Abb. 3: a) Leise Deckschichten aus „Plateaus und Schluchten“ und b) laute Deckschichten aus „Bergen und Tälern“ sowie „orange“ der zusätzliche Anteil der Verformung des Reifens in der Aufstandsfläche; grafische Darstellung LfU

## 2.2 Offenporige Asphaltdeckschichten (OPA)

Die Entwicklung der OPA begann vor ca. 60 Jahren in den USA, zunächst auf Start- und Landebahnen, um die Gefahr des Aquaplanings von Flugzeugen zu minimieren, danach auf Straßen in regenreichen Regionen, um die Bildung von Sprühfahnen zu mindern und damit die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Diese Deckschichten werden deshalb auch als Dränasphalt bezeichnet. Erst später wurde deren Rollgeräusch mindernde Wirkung für den Verkehrslärmschutz entdeckt (sogenannte horizontale Lärmschutzmaßnahme). In Deutschland bestehen seit 1986 Erfahrungen mit OPA [13]. Seit 2009 sind auf Außerortsstraßen mit zulässigen Höchstgeschwindigkeiten größer 60 km/h einschichtige offenporige Asphaltdeckschichten Regelbauweise [19][20]. Dabei wird von einer akustischen Lebensdauer von 8 Jahren ausgegangen [22].

Diese Konstruktion weist erstaunliche Vorteile auf:

- Hohe Pegelminderungen von anfangs bis zu 10 dB(A) für Pkw-Reifen und ca. 7 dB(A) für Lkw-Reifen bezogen auf normalen Asphaltbeton,
- Vergleichsweise angenehmes Geräusch durch Wegfall der hohen Frequenzen, daher positive Bewertung und hohe Akzeptanz bei der Bevölkerung,
- Pegelminderung an der Quelle, d.h. Verzicht oder Reduktion von baulichen Schallschutzmaßnahmen oder Schallschutzfenstern,
- Pegelminderung auch in größeren Entfernungen,
- Pegelminderung auch bei nasser Fahrbahn, keine Pegelerhöhung und Frequenzverschiebung („zwischen“),
- Kein Aquaplaning,
- Kaum Sprühfahnenbildung,
- Kein Anspritzen der Fußgänger und Radfahrer bei Regen,
- Kaum Blendwirkung bei Nässe und Dunkelheit,
- Hoher Fahrkomfort, angenehmes Fahrzeuginnengeräusch,
- Kein Vandalismus (Graffiti), wie häufig bei Lärmschutzwänden,
- Keine Reparaturen und Wartungsarbeiten an Lärmschutzanlagen,
- Keine aufwendige Pflege einer Begrünung einer Lärmschutzanlage,
- Hohe Standfestigkeit bei korrektem Einbau,
- Bessere Griffbarkeit über einen längeren Zeitraum,
- Geringe Spurrinnenbildung.

Die Bauverwaltung zeigt sich eher zurückhaltend in der Anwendung dieses Belagstypus. Folgende Nachteile werden gesehen:

- Erhöhte Kosten,
- Besondere Anforderungen an den Winterdienst,
- Hohe Anforderungen an die Bauindustrie im gesamten Fertigungsprozess,
- Reparaturen nur großflächig möglich,
- Baldiges Nachlassen der akustischen Minderungswirkung bei fehlerhaftem Einbau,
- Reinigungsverfahren noch nicht ausgereift.
- Im Unterschied zu den lärmtechnisch optimierten dichten Deckschichten können offenporige Asphaltdeckschichten innerorts nur selten eingesetzt werden.

Die Pegelminderung basiert im Wesentlichen auf drei Faktoren:

- Die Oberfläche, überwiegend aus „Plateaus und Schluchten“, regt den Reifen nicht so sehr zu Schwingungen an.
- Zischgeräusche durch das „air-pumping“ werden reduziert.
- Schall wird auf dem Ausbreitungsweg absorbiert. Dabei bestimmen Hohlraumgehalt, Strömungswiderstand für die Luft und Einbaudicke die absorbierenden Eigenschaften der OPA, die im Einzelfall in Abhängigkeit von Verkehrsstärke, Verkehrszusammensetzung (Pkw- und Lkw-Anteil) sowie Fahrgeschwindigkeit optimiert werden müssen (Abb. 4).

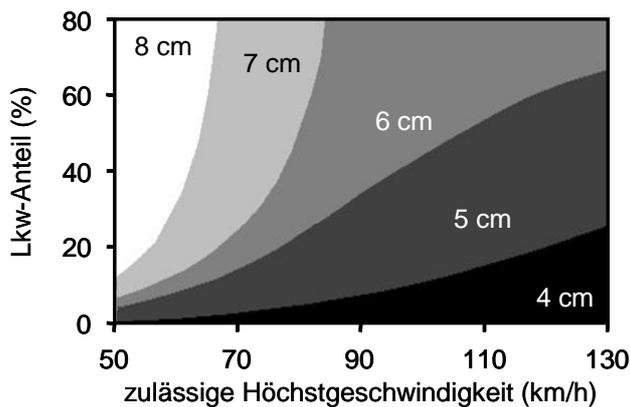


Abb. 4:  
Empfohlene Einbaudicke von offenporigen Asphaltdeckschichten in Abhängigkeit vom Lkw-Anteil und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit; Diagramm nach [14]

Seit 1989 werden die offenporigen Asphaltdeckschichten in den Niederlanden sogar zweischichtig (2 OPA) gebaut [5]. Untersuchungen zeigen, dass diese das Rollgeräusch gegenüber Gussasphalt auch bei niedrigen Geschwindigkeiten (innerstädtisches Verkehrsniveau) um mehr als 5 dB(A) mindern.

Auf Initiative des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) wurde im August 2003 zum ersten Mal in Deutschland eine bau- und schalltechnisch optimierte 2 OPA auf der Bundesstraße B 17 in Augsburg eingebaut (Abb. 5). Zwei weitere Strecken wurden 2005 realisiert: auf der Westlichen Ringstraße in Ingolstadt und der Bundesautobahn (BAB) A 9 zwischen der Anschlussstelle Eching und dem Autobahnkreuz München-Nord. Diese Deckschichten mindern das Rollgeräusch von Pkw um mindestens 7 dB und das von Lkw um 6 dB (Abb. 6). Hierdurch hat sich der Verkehrslärm deutlich verringert. Im Jahr 2007 wurde das LfU für diese Maßnahmen sogar vom Bundespräsidenten als Schirmherr der Initiative „Deutschland - Land der Ideen“ ausgezeichnet.



a)



b)

Abb. 5: Aufbau einer zweischichtigen offenporigen Asphaltdeckschicht und B 17 in Augsburg mit Übergang zum offenporigen Belag; Foto LfU

### 3 Empfehlungen

Der 2 OPA und neuerdings die dichten lärmtechnisch optimierten Deckschichten sind ein Meilenstein im Bemühen der Kommunen gegen den Straßenverkehrslärm. Mit ihnen können nach heutigen Erkenntnissen Pegelminderungen von 5 bis 8 dB(A) erzielt werden. Zum Vergleich: derartige Minderungen ließen sich über verkehrsrechtliche Maßnahmen nur mit einer Verkehrseinschränkung von über 70 % oder mit Lkw-Fahrverboten erreichen.

#### 3.1 Auswahl der Straße

Nicht jede Straße erscheint nach heutiger Kenntnis jedoch dafür geeignet.

- Die Straße sollte eine hohe Verkehrsbelastung bei fließendem Verkehr aufweisen. Vorrangstraßen, ortsnahe Umgehungsstraßen und Ortsdurchfahrten mit längeren Abschnitten ohne Unterbrechungen erscheinen besonders geeignet.
- Da die Beläge anfällig auf Schub- und Scherkräfte sind, sollten diese nicht im Bereich von Ampeln und Abbiegestreifen mit Schwerverkehr verwendet werden. Speziell die offenporigen Asphaltdeckschichten sollten nicht an Steigungen über 5 % eingebaut werden.
- Wegen der schlechten Reparaturfähigkeit sollte sichergestellt werden, dass nach dem Einbau 10 Jahre lang keine Aufgrabungen von Versorgungsträgern erfolgen.
- Wegen des Hohlraumgehalts sollten insbesondere bei den offenporigen Asphaltdeckschichten und beim SMA LA Verschmutzungen etwa durch nahe Baustellen vermieden werden.

#### 3.2 Einbau der Deckschicht

Bei allen Deckschichten gilt, dass die Auswahl des Mischgutes und der Einbau ein ausgereiftes Können aller am Bau Beteiligten verlangen. Es ist ein hohes Maß an Qualitätssicherung erforderlich. Fehlerhafte Einbauten haben z.B. die offenporigen Asphaltdeckschichten immer wieder in Misskredit gebracht. Bei den vom bayerischen Umweltministerium geförderten Pilotvorhaben wurden vom LfU daher umfangreiche fachliche Auflagen an die Ausführenden gestellt [15]. Festgelegt werden musste die Hierarchie der Verantwortlichkeiten, die Anforderungen für die Planungsphase, die Bauphase und den Betrieb.

Diese „Verwaltungstechnik“ hat sich beim Einbau in Augsburg und Ingolstadt bewährt und zum Erfolg geführt. Beteiligt waren die Tiefbauämter der jeweiligen Stadt, eine Prüfstelle nach den „Richtlinien für die Anerkennung von Prüfstellen für Baustoffe und Baustoffgemische im Straßenbau“ (RAP Stra) als Entwickler des Mischgutes und als bautechnisches Prüflabor; hinzu kommt bei den offenporigen Asphaltdeckschichten ein schalltechnisches Beratungsbüro für die Festlegung und Überprüfung der akustischen Parameter und damit der Dimensionierung der Schichtdicken, sowie ein Fachmann mit langjähriger Erfahrung bei der Rezeptierung des Mischgutes, für Einbautechnik, Einbaulogistik und Bauüberwachung mit weitreichenden Kompetenzen.

Besondere Anforderungen wurden bei der Baumaßnahme an die Auswahl der Mineralstoffe, der Korngrößen und -gestalt sowie des Bindemittels gestellt. Gerade beim Bindemittel sollten nach unserer Auffassung nachweislich positive praktische Erfahrungen von mindestens fünf Jahren vorliegen.

Die Auswahl der Straßenbaufirma erfolgte unter dem Aspekt, dass sie bereits umfangreiche Erfahrungen mit dem Einbau von z.B. einschichtigen offenporigen Asphaltdeckschichten mit mindestens fünfjähriger Liegezeit und positiver Beurteilung vorweisen konnte. Zusätzlich wurde die Eignung des Mischwerkes und der Einbau- und Verdichtungsgeräte besonders überprüft.

Darüber hinaus war ein Bauablaufplan einschließlich einer Transportwegelogistik zu erstellen. Hier war zu berücksichtigen, dass durch die Sperrung der zu bauenden Straße auf den Ausweichstrecken zu

bestimmten Zeiten starke Behinderungen des Verkehrsflusses zu erwarten sind. Das Mischgut, muss jedoch „just in time“ angeliefert werden können.

Die Forderung den Einbau zunächst an einer Teststrecke mit dem zum Einsatz kommenden Personen und Maschinen zu üben, hat sich bewährt. Der Einbau auf der Teststrecke wurde etwa einen Monat vor dem Einbau der Pilotstrecke durchgeführt. Hier waren noch Fehler „erlaubt“. Erst nach deren Analyse und der daraus erkannten Maßnahmen zur Behebung durfte mit dem Einbau der Hauptstrecke begonnen werden.

Die Verkehrsfreigabe erfolgte erst nach ausreichender Abkühlung von über 24 Stunden und einer schalltechnische Abnahme.

Der Straßenzustand der zweischichtigen offenporigen Asphaltdeckschichten wurde über mehrere Jahre wissenschaftlich begleitet. Dabei zeigt sich, dass die linken Fahrstreifen immer noch die Pegel mindernde Wirkung besitzen wie nach dem Einbau. Jedoch wurden die jeweils rechten, durch Lkw hoch belasteten Fahrstreifen pro Jahr um rund 1 dB lauter. Insgesamt ist es aber immer noch deutlich leiser als vor dem Umbau. Für Details verweisen wir auf unseren „Bericht über das Monitoring der Pilotstrecke – Zweischichtiger Offenporiger Asphalt auf der B 17 in Augsburg“ [23].

#### 4 Schlussfolgerungen

Der Verkehr und der damit verbundene Lärm hat sich zu einem kommunalen Problem ersten Ranges entwickelt. Es sind nicht „nur“ die lärmbedingten Gesundheitsschäden, die hohe Kosten im Gesundheitswesen verursachen, es sind die Wertverluste von Wohnungen, Häusern und Grundstücken, die einer Kommune schaden. Dazu kommen die eingeschränkte Wohnnutzung, die verlorene Aufenthaltsqualität an Straßen und Plätzen, das veränderte Sozialverhalten und die „Flucht ins Grüne“. Eine laute Stadt hat einen schlechten Ruf.

Unzählige Arbeiten befassen sich mit der Lärminderung in Innenstädten über verkehrsrechtliche Maßnahmen. Wirkliche Erfolge gibt es nur örtlich eng begrenzt. Netzänderungen verlagern das Problem meist nur von einer Straße auf die andere.

Das Lärmproblem muss an der dominanten Teilschallquelle angepackt werden - beim Reifen-Fahrbahngeräusch. Die zweischichtigen offenporigen Asphaltdeckschichten sowie neuerdings die dichten lärmtechnisch optimierten Deckschichten stellen mit Pegelminderungen von 5 bis 8 dB(A) in vielen Fällen eine Lösung dar. Die Minderung wirkt sich im gesamten Straßenraum aus, auch höhere Stockwerke werden geschützt.

Diese Deckschichten sind als - horizontale - Schallschutzmaßnahme zu betrachten, d.h. sie müssen mit anderen möglichen Schallschutzmaßnahmen verglichen und abgewogen werden (Kosten, städtebauliche Verträglichkeit). Der Eingriff in das Stadtbild ist gleich Null. Es zeigt sich, dass die Kosten von Schallschutzwänden häufig in gleicher Größenordnung liegen, Einhausungen oder Tunnels sind zweifellos erheblich teurer.

Die Technologie ist einsatzfähig und wirksam, wie die langjährigen Erfahrungen in den Niederlanden und jetzt auch die bayerischen Strecken zeigen.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) vom 20.6.1990 (BGBl I S.1036)
- [2] Steven, H.: Ermittlung der Geräuschemissionsänderung von Kfz im Straßenverkehr, Forschungsvorhaben 10505140 und 20054135, im Auftrag des Umweltbundesamtes, 1995 bzw. 2005
- [3] EU-Directive 2001/43/EC of 27 June 2001 amending Council Directive 92/23/EEC relating to tyres for motor vehicles and their trailers and to their fitting sowie Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit
- [4] Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr.14/1991. Der Bundesminister für Verkehr, StB 11/26/14.86,22-01/27 Va 91, 25.04.1991
- [5] Tweelaags zoab (zeer open asfaltbeton) - Handleiding voor wegbeheerders. CROW, Galvanistraat 1, NL 6716 AE Ede. Publikation Nr. 161
- [6] Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 5/2002, Bundesministerium, S 13/14.8622-11/57 Va 01, 26.03.2002, VkB1. Heft 8-2002, S. 313
- [7] K. Heutschi: Vorschlag für ein neues Strassenlärm-Quellenmodell; Empa (Forschungsinstitution für Materialwissenschaften und Technologie) der ETH Zürich, 1997
- [8] T. Beckenbauer: Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch, Bericht zum FE-Vorhaben 03.293/1995/MRB des BMVBW, ISBN 3-934458-79-3, Bonn; 2002
- [9] M. Radenberg und R. Sander: Lärmtechnisch optimiertes Asphaltdeckschichtkonzept für den kommunalen Straßenbau, Lehrstuhl für Verkehrswegebau an der Ruhr-Universität Bochum sowie Straßen- und Ingenieurbauamt der Stadt Düsseldorf
- [10] W. Bartolomaeus: Lärmindernde Straßenoberflächen innerorts - eine Bestandsaufnahme, Lärmbekämpfung, Bd. 4 (2009) Nr. 6 - November, S. 250 - 253
- [11] Aus der FGSV, Die Bauweise Splittmastixasphalt lärmarm - SMA LA, Straße und Autobahn, 4 (2010) S. 281
- [12] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen - Asphaltbauweisen, ZTV BEA-StB 09, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2009
- [13] V. Hirsch und O. Ripke: Lernen von der Straße - Offenporige Asphalte; Straße und Autobahn 1 (2008) S. 12-19
- [14] Merkblatt Asphaltdeckschichten aus Offenporigem Asphalt M OPA, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Entwurfstand Juli 2010
- [15] Leitfaden für das Aufbringen zweischichtiger offenporiger Asphaltdeckschichten, Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009
- [16] U. Reichart: Lärmindernde Fahrbahnbeläge, Ein Überblick über den Stand der Technik, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2009 und Ch. Angst et al.: Lärmarme Beläge innerorts, Schlussbericht 2007, Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Strassen, Bern. 2008
- [17] R. Stenschke: "Möglichkeiten und Grenzen technischer Maßnahmen zur Minderung von Straßenverkehrslärm", Umweltbundesamt, Berlin, LfUG-Workshop „Straßenverkehrslärm" am 18.05.2004 in Dresden

- [18] S. Ullrich: „Die Entwicklung der Geräuschemissionen von Straßen von 1975 bis 2002, Straße + Autobahn 10 (2003) S. 571
- [19] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, ZTV Asphalt-StB 07, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2007
- [20] Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen, TL Asphalt-StB 07, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2007
- [21] <http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/laerm/strassen-und-schienen-verkehr.htm>
- [22] Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr.3/2009. Der Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, S 13/7144.2/02-09/1005908, 31.03.2009
- [23] Bericht über das Monitoring der Pilotstrecke – Zweischichtiger Offenporiger Asphalt auf der B 17 in Augsburg; Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2011
- 

### Impressum:

Herausgeber:  
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0  
Telefax: 0821 9071-5556  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

Postanschrift:  
Bayerisches Landesamt für Umwelt  
86177 Augsburg

Bearbeitung:  
Ref. 27 / Dr. Alexander Attenberger

Bildnachweis:  
LfU

Stand:  
01 2012

