

## Akustische Optimierung von Betonoberflächen durch Texturierung des Festbodens mit verbesserten Grinding-Verfahren

FA 8.211

Forschungsstelle: Villaret Ingenieurgesellschaft mbH, Hoppegarten  
Bearbeiter: Villaret, S. / Altreuther, B. / Frohböse, B. / Beckenbauer, T. / Skarabis, J.  
Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn  
Abschluss: Mai 2013

### 1 Aufgabenstellung

Ziel dieses Forschungsvorhabens war die Entwicklung einer lärmtechnisch optimalen Grindingtextur auf Grundlage existierender theoretischer Berechnungsmodelle. Das Grindingverfahren soll gezielt weiterentwickelt werden, sodass geräuschmindernde, reproduzierbare Texturen entstehen, ohne jedoch die Dauerhaftigkeit und Griffbarkeit negativ zu beeinflussen. Zusätzlich war die maschinentechnische Umsetzung der verbesserten Texturierung stets in den Optimierungsprozess einzubeziehen.

Des Weiteren sollten Texturkennwerte mit einem einfach handhabbaren Texturmessgerät ermittelt und eine Aussage im Hinblick auf die zu erwartenden Lärminderungseigenschaften der Oberfläche getroffen werden.

Zur Ermittlung einer optimierten Textur sollten sowohl an gemessenen Texturprofilen und auch an selbst entworfenen Mustertexturen, die mit dem Grindingverfahren auf die Oberfläche aufgebracht werden, Modellrechnungen durchgeführt werden. Dabei sollten Rillentiefe, Stegbreite und Rillentiefe systematisch variiert werden.

Die Modellrechnungen waren für unterschiedliche Texturprofile mit verschiedenen Randbedingungen (Geschwindigkeit, Reifentypen, Laststufen) durchzuführen.

Auf Grundlage der Simulationsrechnungen war vorzusehen, mit einem speziell für Laborversuche entwickelten Grindinggerät Betone mit praxisüblicher Grindingtextur herzustellen, die gewisse Lärminderungseigenschaften erwarten lassen.

An den im Labor hergestellten Probekörpern mit Grindingtextur sollten verschiedenartige Texturmessungen und Messungen zum texturinduzierten Strömungswiderstand durchgeführt werden. Anhand dieser Messungen war die zu erwartende Geräuschemission der Oberfläche mit dem Simulationsprogramm SPERoN<sup>®</sup> zu ermitteln.

Mittels eines vereinfachten, praktikabel auf der Baustelle einsetzbaren Texturmessverfahrens sollte festgestellt werden, ob eine Textur hinsichtlich der lärmindernden Eigenschaften als gelungen gelten kann.

### 2 Untersuchungsmethodik

Anhand von künstlich erzeugten, idealisierten Texturen wurden Parametervariationen von Grindingtexturen vorgenommen. Durch die Variation verschiedener typischer Parameter von

Grindingtexturen wurden die jeweiligen Auswirkungen auf die akustischen Eigenschaften untersucht.

Auf Grundlage der Simulationsrechnungen wurden in Laborversuchen Mörtel- und Betonprobekörper unterschiedlicher Zusammensetzung hergestellt. Dabei handelt es sich um die Probekörper aus:

- Mörtel mit Gesteinskörnung 0/2,
- Beton A mit Gesteinskörnung 0/2 und 5/8,
- Beton B mit gerundeter Gesteinskörnung, Größtkorn 16 mm,
- Beton C mit gebrochener Gesteinskörnung, Größtkorn 16 mm.

Nach Ablauf von sieben Tagen wurden die Probekörper mit verschiedenen Grindingtexturen versehen. Zum Einsatz kam dafür ein speziell entwickeltes Laborgrindinggerät, bestehend aus einem Sägekopf mit einem Blattpaket aus maximal sieben Sägeblättern und Distanzscheiben bis zu einer Breite von 30 mm.

Zur Texturcharakterisierung wurden an den texturierten Oberflächen der ETD-Wert mit dem Messgerät ELAtextur bestimmt. Für die Beurteilung des Vorbeirollpegels mit dem Simulationsprogramm SPERoN<sup>®</sup> wurde der texturinduzierte Strömungswiderstand bestimmt sowie die Textur mit einem Laserprofilometer eingemessen.

Anschließend wurden den Mörtel- und Betonplatten Bohrkerne (d = 150 mm) entnommen. An den Bohrkernscheiben wurde mit dem SRT-Pendelgerät die Griffbarkeit der texturierten Mörtel- und Betonprobekörper gemessen.

Des Weiteren wurde in Anlehnung an den CDF-Test der Frost-Tausalz-Widerstand eines texturierten Betons untersucht.

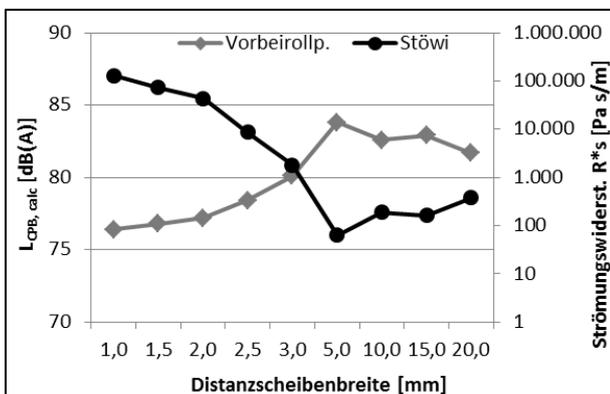
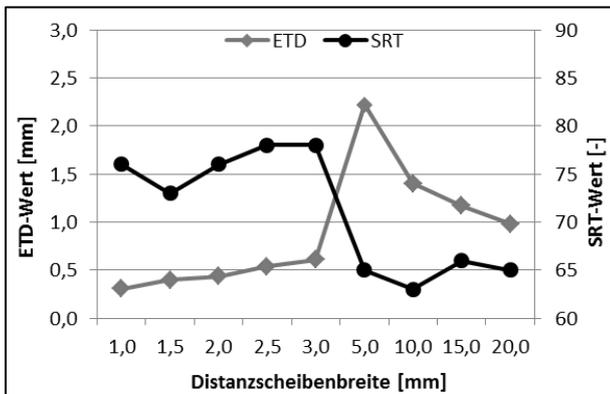
### 3 Untersuchungsergebnisse

Die Prognose der zu erwartenden Vorbeirollpegel für die unterschiedlichen künstlichen Grindingtexturen mithilfe von SPERoN<sup>®</sup>-Berechnungen ergab folgende Erkenntnisse bezüglich der Variationen der Texturparameter:

- Zunehmendes Verhältnis von Stegbreite zu Rillentiefe führt zur Abnahme des Vorbeirollpegels.
- Zunehmende Stegbreite führt zur Abnahme des Vorbeirollpegels.
- Mit zunehmender Rillentiefe wird ein zunehmender Vorbeirollpegel wegen zunehmendem "air pumping" festgestellt.
- Der Höhenunterschied durch das Wegbrechen der Stege konnte im Rahmen der Erzeugung künstlicher Texturen nicht in nachvollziehbarer, reproduzierbarer Weise simuliert werden. Ein Einfluss auf den zu erwartenden Vorbeirollpegel wird vermutet.

Die Texturcharakterisierung der im Labor hergestellten Mörtel- und Betonprobekörper führte zu folgenden Ergebnissen:

Bei geringen Distanzscheibenbreiten entstehen homogene Oberflächen mit geringer Texturtiefe. Der Mörtel bzw. Beton wurde zwischen den Segmenten kontinuierlich abgetragen, sodass nur sehr schmale und gleichmäßige Stege mit geringer Höhe entstehen; die ETD-Werte sind gering. Bei zunehmender Distanzscheibenbreite wird der Mörtel bzw. Beton zwischen den Segmenten weniger abgetragen. Bei einer Distanzscheibenbreite von 3,0 mm (Mörtel) und 5,0 mm (Beton) verbleiben Stege mit einem sehr inhomogenen Bruchbild; die ETD-Werte erreichen ihre Maximalwerte. Die Höhe dieser Stege entspricht dabei nur vereinzelt der Schleiftiefe von 3,0 mm. Ab einer Distanzscheibenbreite von 5,0 mm (Mörtel) und 10,0 mm (Beton) wird das Material zwischen den Segmenten nicht mehr abgetragen. Es entstehen Stege, deren Höhe der Schleiftiefe entspricht. Ein Brechen der Stege findet nicht mehr statt. Bild 1 zeigt beispielhaft Messergebnisse an Mörtelprobekörpern.



**Bild 1: Messergebnisse an Mörtelprobekörpern, Distanzscheibenbreite 3,2 mm**

Das bei geringen Distanzscheibenbreiten von  $\leq 3,0$  mm (Mörtel) und  $\leq 5,0$  mm (Beton) zunehmende Brechen der Stege führt dazu, dass eine sehr feinraue Oberfläche mit höheren SRT-Werten entsteht.

Bis zu einer Distanzscheibenbreite von 5,0 mm nimmt der Strömungswiderstand ab, da zunehmend eine ausgeprägte Textur entsteht, durch die die Luft besser entweichen kann. Bei darüber hinausgehenden Distanzscheibenbreiten nehmen die Strömungswiderstände zu, da weniger Rillen zum Entweichen der Luft vorhanden sind.

Die berechneten Vorbeirollpegel nehmen bei zunehmender Distanzscheibenbreite bis 5,0 mm zu, da zunehmend Stege mit ungleichmäßigem Bruchbild an der Oberfläche verbleiben. Als Folge wird der Reifen vermehrt zu Schwingungen angeregt (Vibrationsanteil) und der aerodynamische Anteil steigt aufgrund des verringerten Strömungswiderstands, was zu insgesamt höheren Pegeln führt.

Die Messungen der Betone A, B und C, die mit einer Segmentbreite von 2,8 mm und einer Distanzscheibenbreite von 2,0 mm texturiert wurden, führten zu folgenden Ergebnissen:

- Die Betone weisen ein sehr ähnliches Oberflächenbild auf, die ETD- und SRT-Werte der Betone sind vergleichbar, sodass kein Einfluss der Betonzusammensetzung hinsichtlich der Verwendung gerundeter Gesteinskörnung feststellbar ist.
- Den höchsten Strömungswiderstand weist Beton C auf. Infolgedessen liegt hier der geringste Vorbeirollpegel vor.

Im Unterschied zu einem Distanzscheibenabstand von 2,0 mm zeigt sich bei den Betonen A, B und C, die mit einer Segmentbreite von 3,2 mm und einer Distanzscheibenbreite von 5,0 mm texturiert wurden, ein signifikanter Einfluss der Betonzusammensetzung auf die Messergebnisse.

- Aufgrund der geringeren Druckfestigkeit der Betone A und C brechen hier vermehrt Stege.
- Das unregelmäßige Brechen führt zu sehr rauen Oberflächen und damit zu höheren ETD- und SRT-Werten, abnehmenden Strömungswiderständen und deutlich höheren Vorbeirollpegeln.

In Anlehnung an den CDF-Test wurde der Frost-Tausalz-Widerstand eines texturierten Betons untersucht.

Im Laufe der Frost-Tau-Wechsel sind insbesondere die Stege abgewittert. Die Rillen zeigen kaum Abwitterungserscheinungen. Da die Stege eine große Angriffsfläche bieten und sich an ihrer Oberfläche der im Vergleich zum Kernbeton empfindliche Oberflächenmörtel befand, hat sich dieses Schädigungsbild eingestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass trotz ausreichender Frost-Tausalz-Beständigkeit des Betons eine signifikante Schädigung der Stege vorliegt. Es ist davon auszugehen, dass diese Texturveränderung zu einer deutlichen Verschlechterung der Lärmminde- rungseigenschaften führen könnte.

Die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen lokaler Texturprüfung mit dem Messgerät ELAtextr (ETD-Wert) und den Messungen des Strömungswiderstands bzw. dem berechneten Vorbeirollpegel lieferten gute Korrelationen mit Bestimmtheitsmaßen von über 0,97.

#### 4 Folgerungen für die Praxis

Die Untersuchungen ergaben, dass sich die hergestellten Grindtexturen in drei Kategorien unterteilen lassen:

1. Bei sehr geringen Distanzscheibenbreiten von 1,0 mm bis 2,0 mm wurde der Beton unabhängig von der gewählten Segmentbreite gleichmäßig abgeschliffen. Der

Beton zwischen den Segmenten ist vom Schleifvorgang unmittelbar betroffen, sodass als Folge Stege mit geringer Höhe und einer sehr homogenen Geometrie entstehen. Aufgrund der hohen Strömungswiderstände und der Homogenität dieser Texturen wiesen sie die besten Lärminderungseigenschaften auf. Hinsichtlich der Praxisanwendung ist jedoch fraglich, ob Oberflächen mit dieser Texturierung ausreichende Griffigkeiten aufweisen, da die Texturtiefen (ETD-Werte) weniger als 0,6 mm betragen.

- Bei Distanzscheibenbreiten zwischen 3,0 mm und 5,0 mm wurde weniger Beton zwischen den Segmenten abgetragen. Als Folge verblieben an der Oberfläche Stege, die teilweise brachen und so zu einem inhomogenen Texturbild führten. Aufgrund der Stegbildung nahm die Texturtiefe dieser Oberflächen zu, die Lärminderungseigenschaften nehmen jedoch infolge des höheren Vibrationsanteils ab.
- Bei Distanzscheibenbreite von mehr als 5,0 mm wurde der Beton zwischen den Segmenten nicht mehr abgeschliffen. Es entstanden Stege, deren Höhe der Schleiftiefe entsprach. Ein Brechen der Stege fand nicht mehr statt.

Eine geringe Stegbreite führte zu sehr geringen Strömungswiderständen und damit verbunden zu hohen Geräuschemissionen. Bei zunehmender Stegbreite nahm der Strömungswiderstand ab, was in einer besseren Lärminderung resultierte. Aufgrund der ausgeprägten Stege der Oberflächen betrug die Texturtiefe (ETD-Werte)  $\geq 1$  mm. Da die Oberfläche der Stege der Oberfläche des geglätteten Betons entspricht, war die Feinrauheit dieser Oberflächen sehr gering, was zu verminderten Griffigkeiten bei der Anwendung in der Praxis führen kann.

Die gewählten Texturgeometrien zeigten einen signifikanten Einfluss auf die berechneten Vorbeirollpegel. Diese lagen für die hier berechneten Fälle zwischen 76,4 und 83,8 dB(A). Bei sehr geringen Distanzscheibenbreiten kommt es zu einem nahezu vollflächigen Betonabtrag. Bei diesen Texturen wurde kein Einfluss der Betonzusammensetzung auf die Textureigenschaften festgestellt. Bei zunehmenden Distanzscheibenbreiten beeinflusst die Betonzusammensetzung die Steggeometrie. Bei einer um rund 12 N/mm<sup>2</sup> höheren Betondruckfestigkeit wurde hier bei einer Distanzscheibenbreite von 5,0 mm eine homogenere Steggeometrie als bei geringerer Betondruckfestigkeit festgestellt. Ein vermehrtes Brechen der Stege führte zu deutlich höheren Vorbeirollpegeln, da der Vibrationsanteil zunimmt. Für die hier untersuchten Probestellen stieg der Vorbeirollpegel eines Betons, dessen Stege nicht gebrochen waren, im Vergleich zu einem Beton, dessen Stege zu einem großen Anteil gebrochen waren, um rund 5 dB(A) an.

Aus dem Forschungsvorhaben leitet sich folgender weiterer Forschungsbedarf ab:

Aufbauend auf den hier durchgeführten Simulationsrechnungen sind Texturgeometrien mit optimalen lärmindernden Eigenschaften festzulegen. Im Labor sind Betone zu entwickeln, denen zielsicher die gewünschte Grindingtextur eingeschliffen werden kann. Gleichzeitig ist die Texturdauerhaftigkeit hinsicht-

lich mechanischer Einwirkung (Verschleiß) und Frost-Tausalz-Angriff zu optimieren, um eine dauerhaft hohe Lärminderung sicherzustellen. Zur Realisierung optimierter Grindingtexturen in der Praxis sind Geräte zur Textur- und Ebenheitsmessung und ein Maschinensteuerungssystem zu entwickeln. Zusätzlich sind Mess- und Steuerungssysteme zur Vermeidung von Überlappungsbereichen während des Grindens zu entwickeln. Weitere Untersuchungen sollten die Gebrauchstauglichkeit des Messgeräts ELAtextur hinsichtlich der Abschätzung lärmtechnischer Parameter der erzeugten Grindingtextur prüfen. Abschließend sollten die Erkenntnisse in einer Erprobungsstrecke zur Anwendung kommen. Dabei sollten unterschiedliche Betonzusammensetzungen sowie verschiedene Texturgeometrien verwendet werden.

## 5 Literatur

- [1] DIN EN ISO 11819-1: Akustik – Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche – Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren (ISO 11819-1:1997); Deutsche Fassung EN ISO 11819-1:2001
- [2] GEstro-92 "Verfahren zur Messung der Geräuschemission von Straßenoberflächen", Ausgabe 1992
- [3] ISO/CD 3rd 11 819-2: Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method. Entwurf, Arbeitsvorlage vom 20.04.2009
- [4] Müller, I.: "Erfassung von Straßenoberflächentexturen und Untersuchung der Klassifizierungsfähigkeit von Straßenbelägen mittels (akustisch) relevanter Texturgrößen", AP-Projekt 04 336/S1 der BAST, März 2010
- [5] Riffel, S.: Bericht zur Teststrecke in Geseke am 29.10.2009 im Rahmen der Sitzung des Oberflächenausschusses 8.4 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) in Leimen
- [6] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen; Arbeitsgruppe Fahrzeug und Fahrbahn: Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Messverfahren SRT, Griff-StB (SRT), Ausgabe 2004
- [7] Bundesanstalt für Wasserbau (BAW): Frostprüfung von Beton (BAW-Merkblatt Frostprüfung); Ausgabe Dezember 2004
- [8] Villaret, S., Beckenbauer, F., Schmidt, M., Pichottka, S., Frohböse, B., Alber, S., Alte-Teigeler, R.: Forschungsprojekt FE 08.210 /2010/ORB – Untersuchung der lärmtechnischen Eigenschaften von Betonfahrbahndecken mit Grinding-Oberflächen – Entwurf des Schlussberichts 2011
- [9] Beckenbauer, T., Spiegler, P., van Blokland, G., Kuijpers, A., Reinink, F., Huschek, S., Stütze, T., Heerens, J.: Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Gelbe Reihe, Heft 847, 2002
- [10] Verbundprojekt "Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche" der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) und des Bundesministeriums für

Bildung und Forschung (BMBF), BASt-Bericht S 37, 2005

- [11] DIN EN 29053 – Akustik; Materialien für akustische Anwendungen; Bestimmung des Strömungswiderstandes (ISO 9053:1991); Deutsche Fassung, Ausgabedatum 1993-05