

Dauerhafte Betondecken – Optimierung der Fahrbahnoberfläche durch Texturierung mittels Grinding-Verfahren

FA 8.220

Forschungsstelle: ARGE FE Dauerhafte Betondecken, Hoppegarten

Bearbeiter: Villaret, S. / Ueckermann, A. / Beckenbauer, T. / Oeser, M. / Skarabis, J. / Frohböse, B. / Gehlen, C. / Wang, D. / Altreuther, B. / Alte-Teigeler, R. / Tulke, R.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: März 2017

1 Aufgabenstellung

Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer lärmtechnisch optimalen Grindingtextur auf Grundlage existierender theoretischer Berechnungsmodelle. Es sind folgende Entwicklungsschritte vorgesehen:

- Entwicklung eines Texturherstellungsverfahrens zur Verbesserung der Gebrauchs- und Substanzeigenschaften der Betonoberfläche,
- Entwicklung von optimalen und wirtschaftlichen Betonzusammensetzungen für das Herstellungsverfahren unter Berücksichtigung der Eigenschaften in Bezug auf die strukturelle Substanz,
- Erprobung des Verfahrens in der Praxis mit Bestimmung
 - der schalltechnischen Eigenschaften,
 - der anforderungsgerechten Griffigkeit,
 - der anforderungsgerechten Ebenheit,
 - der Dauerhaftigkeit der erzeugten Textur,
 - der Dauerhaftigkeit hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften des Oberbetons.

Das Vorhaben zielt ab auf die Herstellung von Grindingtexturen mit guter Reproduzierbarkeit der schall- und griffigkeitstechnischen Eigenschaften, wobei eine Pegelminderung von -4 dB gegenüber dem Referenzbelag nach RLS-90 angestrebt wird.

Folgende Forschungsschwerpunkte sind identifiziert worden:

1.1 Texturentwicklung

In Computersimulationen zur Geräuschprognose wird ermittelt, welche Geometrie Grindingtexturen mit optimalen lärmindernden Eigenschaften haben sollen. Bei Grindingoberflächen besteht durch die längsgerichtete Bearbeitung des Oberbetons eine ausgeprägte Anisotropie der Textur. Für die Simulationen soll eine an diese besondere Eigenschaft von Grindingstrecken angepasste Version des Rechenmodells SPERoN[®] eingesetzt werden.

Unterschiedliche Grindingtexturen sollen durch akustische Messungen der Oberflächeneigenschaften (3-D-Textur und

texturinduzierter Strömungswiderstand) und des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs anhand kontrollierter Vorbeifahrtmessungen auf mehreren Versuchsstrecken getestet und die Ergebnisse zur Kalibrierung des Rechenmodells SPERoN[®] verwendet werden.

Aufbauend auf den Simulationen werden im Labor Betone entwickelt, denen zielsicher die gewünschte Grindingtextur eingeschnitten werden kann. Dabei kann auf Erkenntnisse aus FE 08.0211/2011/OGB zurückgegriffen werden.

1.2 Entwicklung und Einsatz von Mess- und Steuerungstechnik

Es sind die Entwicklung und der Praxistest von Mess- und Steuerungssystemen an der Grindingmaschine zur Beseitigung von Unebenheiten einerseits und zur Reduzierung von Überlappungsbereichen andererseits vorgesehen.

1.3 Erprobungsstrecke

Der Auftraggeber stellt ein zweistreifiges Baulos als Erprobungsstrecke zur Verfügung. Es ist vorgesehen, auf einer Strecke von ca. 1,2 km Länge und in gesamter Breite vier optimierte Betone einzubauen (pro Betonrezeptur ca. 300 m). Auf jedem der 300 m langen Abschnitte werden drei verschiedene Grindingtexturen eingeschnitten.

Hinsichtlich der Ausschreibung wird der Auftragnehmer die speziellen Anforderungen sowie einen detaillierten Ablaufplan für Versuche an der Erprobungsstrecke formulieren und dem Auftraggeber zur Verfügung stellen.

2 Art und Umfang der Untersuchung

Auf drei Autobahnen in Brandenburg und Bayern wurden zunächst im Zuge von griffigkeitsverbessernden Maßnahmen mehrere Versuchsstrecken eingerichtet, auf denen unterschiedliche Grindingtexturen aufgebracht wurden (Tabelle 1).

Zusätzlich zu den Mindestanforderungen zur Wiederherstellung der Griffigkeit wurden in den Baubeschreibungen Anforderungen formuliert, um eine hohe Qualität der erzeugten Grindingtexturen in Bezug auf Ebenheit, Griffigkeit und der zu erwartenden Lärminderung zu gewährleisten. Die Anforderungen wurden im Verlauf des Forschungsvorhabens entsprechend den neuen Erkenntnissen ständig angepasst.

Tabelle 1: Texturvarianten zur Kalibrierung des Rechenmodells SPERoN®

BAB	von km	bis km	Textur 1		Textur 2		Rillentiefe
			Segment-		Segment-		
			breite	abstand	breite	abstand	
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]			
A 13, RF Dresden	7,800	16,000	2,8	1,8			
	7,800	8,000	2,8	1,8	2,8	10,0	3,0
	10,450	10,650	2,8	1,8	2,8	15,0	3,0
	14,700	14,900	2,8	1,8	2,8	20,0	3,0
A 13, RF Berlin	16,000	7,800	3,2	2,2			
	16,000	15,800	3,2	2,2	3,2	20,0	3,0
	14,700	14,500	3,2	2,2	3,2	20,0	4,0
	13,025	12,825	3,2	2,2	3,2	25,0	3,0
	10,900	10,700	3,2	2,2	3,2	25,0	4,0
A 92, RF München	17,000	16,500	2,8	2,0	2,8	16,4	3,0
A 93, RF Regensburg	127,400	129,550	2,8	1,6			
	129,350	129,550	2,8	1,6	2,8	13,0	3,0
A 93, RF Hof	129,550	127,400	2,8	1,6			
	129,550	129,350	2,8	1,6	2,8	13,0	3,0

Die Untersuchungen an den Versuchsstrecken, jeweils im ersten Fahrstreifen, hatten Folgendes zum Inhalt:

- Die Grobtexturmessung mit Messgerät ELAtextur lieferte den MPD (Mean Profile Depth) und den ETD (Estimated Texture Depth) gemäß DIN EN ISO 13473-1.
- Die berührungslose und zerstörungsfreie Ermittlung der Oberflächenrauigkeit (Makrotextur) mit Laserprofilometer erfolgte nach DIN EN ISO 13473-1.
- Mit 3-D-Texturmessungen wurden die 3-D-Koordinaten der Objektoberfläche bestimmt.
- Bestimmung des texturinduzierten Strömungswiderstands mit einem speziell für In-situ-Messungen in LEISTRA entwickelten Messsystem. Das Messverfahren lehnt sich an das Prüfstandsverfahren für Probekörper der DIN EN 29053 an.
- Die Griffigkeitsmessungen gemäß TP Griff-StB (SKM) wurden analog zu Bauvertragsmessungen als Doppelmessungen durchgeführt.
- Die Ergebnisse von Bohrkernuntersuchungen der BAST wurden dem AN freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Die Prüfung der Spaltzugfestigkeit erfolgte nach den Vorgaben der AL Sp-Beton.
- Die kontrollierten Vorbeifahrten (controlled pass-by, CPB) wurden in Anlehnung an die Statistische Vorbeifahrtmethode beziehungsweise Statistical Pass-By-Method (SPB) nach SPB1 beziehungsweise SPB2 durchgeführt.
- Die Ermittlung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche nach der Nahfeldmessmethode (Close Proximity

Method – CPX) wurde nach ISO/CD 3rd 11819-2 vorgenommen.

Die Entwicklung lärmoptimierter Grindingtexturen erfolgte mithilfe von Computersimulationen mit dem Rechenmodell SPERoN®. Die Anpassung und Rekalibrierung des Rechenmodells für anisotrope Texturen erforderte folgende Teilschritte:

- Analyse der Kontrollierten Vorbeifahrtmessungen und Nahfeldmessungen auf den Versuchsstrecken.
- SPERoN®-Berechnungen mit den gemessenen Oberflächenprofilen. Dazu waren Eingangsgrößen zu definieren und die einzubeziehenden Texturprofile auszuwählen.
- Die Anpassung des SPERoN®-Modells für anisotrope Texturen musste nach Auswertung der Rechenergebnisse so erfolgen, dass der Einfluss der aerodynamischen Komponenten verringert, die Gewichtung der mechanischen Anteile an der Rollgeräuschenstehung dagegen verstärkt wird.
- Bei der Kalibrierung und Überprüfung des modifizierten Rechenmodells kam der Berücksichtigung der Querfugen besondere Bedeutung zu.
- Die mathematische Modellbildung verschiedener geräuschemindernder Oberflächentexturen erfolgte anhand der in FE 08.0211/2011/OGB künstlich erzeugten, idealisierten Texturen.
- Variation der Modelle zur Simulation in der Praxis auftretender Abweichungen von der Modelltextur.

Die Laborversuche zur Entwicklung von Betonen, die für die zielsichere Texturierung mittels Grinding geeignet sind, waren in folgende Versuchsteile gegliedert:

- Herstellung von praxisüblichen Standardbetonen sowie Entwicklung optimierter Betone hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Texturdauerhaftigkeit. Es wurden der Wasserzementwert sowie Größtkorn und Sieblinie der Gesteinskörnung variiert. Zur Charakterisierung der Betone wurden deren Druck- und Spaltzugfestigkeit bestimmt. An den optimierten Betonen wurde zusätzlich der Frost-Tausalz-Widerstand mit dem CDF-Test bestimmt.
- Texturierung der hergestellten Betone mit einer für Laborversuche entwickelten Grindingmaschine mit praxisüblichen sowie lärmtechnisch optimierten Texturen. Die Grindingtexturen wurden hinsichtlich ihrer Texturtiefe und ihrer Griffigkeit (SRT-Pendel) untersucht. Zur Beurteilung der lärmindernden Eigenschaften der Texturen wurden Texturmessungen mit einem Laserprofilometer durchgeführt und der texturinduzierte Strömungswiderstand bestimmt. Anhand dieser Ergebnisse wurde anschließend mit dem Simulationsprogramm SPERoN® die zu erwartende Geräuschemission der Oberflächen berechnet.

- Untersuchung der Dauerhaftigkeit ausgewählter Betone beziehungsweise Texturen. Dazu wurde der Frost-Tausalz-Widerstand der Texturen in Anlehnung an den CDF-Test nach DIN CEN/TS 12390-9 bestimmt sowie die Einwirkung von saurem Regen durch einen Säureangriff (pH 4,5) simuliert. Des Weiteren wurden Oberflächen mit dem Aachener Ravelling Tester (ARTe) mechanisch beansprucht. Im Anschluss an die mechanische Beanspruchung mit der Prüfanlage ARTe wurden erneut die akustisch beziehungsweise griffigkeitstechnisch relevanten Oberflächeneigenschaften der Texturen erfasst und bewertet.
- Zusätzlich wurde untersucht, welches Alter des Betons beziehungsweise welche Betonfestigkeit zum Zeitpunkt des Grindings vorliegen muss, um die gewünschte Texturgeometrie zielsicher in die Betonoberfläche schneiden zu können. Orientierend wurde auch der Einfluss der Nachbehandlung auf die Eigenschaften der Grindingtextur untersucht.

Mit 3-D-FEM-Voruntersuchungen und Dimensionierungsrechnungen für den praxisrelevanten Einsatz sollte rechnerisch untersucht werden, welchen Einfluss Erhaltungszyklen, die gegebenenfalls zu einer weiteren Reduzierung der Deckendicke führen, auf die strukturelle Substanz der Gesamtbetondecke haben.

Für die Ausführung der Grindingarbeiten in der Praxis mussten Kriterien für die Auswahl und Ausrüstung der für das Grindingverfahren anzuwendenden Maschinen- und Schneidtechnik definiert werden.

Die Entwicklung von Mess- und Steuerungssystemen an der Grindingmaschine zur Beseitigung von Unebenheiten erfolgte in mehreren Arbeitsschritten:

- Erstellung eines Simulationsmodells der Grindingmaschine zur Feststellung der "Ist"-Performance der Grindingmaschine ohne Ebenheitssteuerung beziehungsweise -regelung und zur Simulation eines geregelten Grindingprozesses.
- Konzeption des Messverfahrens zur Anwendung an Grindingmaschinen, Auswahl und Beschaffung geeigneter Komponenten sowie Applikation der Messtechnik an das Grinding-Arbeitsgerät.

Bei der Entwicklung von Mess- und Steuerungssystemen zur Vermeidung von Überlappungsbereichen während des Grindings waren sowohl mechanische als auch optische Systeme denkbar. Beide Systeme wurden hinsichtlich Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten analysiert und bewertet.

Mit dem Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg konnte in Abstimmung mit der BAST eine Übereinkunft erzielt werden, dass innerhalb einer geplanten Erneuerungsmaßnahme auf der A 12 ein Abschnitt von km 34,100 bis km 35,000 als erste Erprobungsstrecke in besonderer Betonbauweise hergestellt werden soll. Die Vergabeunterlagen für die Erprobungsstrecke waren entsprechend anzupassen.

In Bild 1 sind die Abschnitte verschiedener Oberbetone und Texturen und in Bild 2 die Texturgeometrien dargestellt.

Abschnitt 1 km 34,100 - 34,400 Unterbeton GK 22 mm als Oberbeton			Abschnitt 2 km 34,400 - 34,700 Waschbeton Ausfallkörnung			Abschnitt 3 km 34,700 - 35,000 Waschbeton stetige Sieblinie		
100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m
Textur 1	Textur 2	Textur 3	Textur 3	Textur 2	Textur 1	Textur 1	Textur 2	Textur 3

Bild 1: Oberbetone und Texturen der Erprobungsstrecke A 12

Textur	Grinding			Grooving		
	Segmentbreite	Segmentabstand	Rillentiefe	Segmentbreite	Segmentabstand	Rillentiefe
Textur 1	2,4 mm	1,8 mm	Anschleifen der	2,8 mm	22,8 mm	3,0 mm
Textur 2	2,4 mm	1,8 mm	fen der	-	-	-
Textur 3	2,4 mm	1,5 mm	groben GK	2,8 mm	21,0 mm	3,0 mm

Bild 2: Texturgeometrien der Erprobungsstrecke A 12

Die Untersuchungen zur Beschreibung der Grindingtexturen sowie Nachweis der Homogenität auf der Erprobungsstrecke der A 12 umfassten:

- Bestimmung der Frischbetoneigenschaften wie Temperatur, Konsistenz und Luftporengehalt,
- Prüfung der Spaltzugfestigkeit an Bohrkernen nach den Vorgaben der AL Sp-Beton,
- Die Grobtexturmessung mit Messgerät ELAtextur gemäß DIN EN ISO 13473-1,
- 3-D-Texturmessung zur Bestimmung der 3-D-Koordinaten der Objekt Oberfläche,
- Bestimmung des texturinduzierten Strömungswiderstands in Anlehnung an DIN EN 29053,
- kontrollierte Vorbeifahrtmessung (CPB) in Anlehnung an die Statistische Vorbeifahrtmethode (SPB) nach SPB1 beziehungsweise SPB2,
- Ermittlung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche nach der Nahfeldmessmethode (CPX) nach ISO/CD 3rd 11819-2,
- Dynamische Griffigkeitsmessungen mit dem LFC-Messverfahren ViaFriction
- Griffigkeitsmessungen gemäß TP Griff-StB (SKM) aus Kontrollprüfungen,
- Ermittlung des Frost-Tausalz-Widerstands der Texturen mit dem CDF-Test nach DIN CEN/TS 12390-9,
- Verschleiß- beziehungsweise Polierwiderstand mit dem Aachener Ravelling Tester (ARTe)

Mit dem Regierungspräsidium Karlsruhe in Baden-Württemberg wurde in Abstimmung mit der BAST vereinbart, dass innerhalb der geplanten Erneuerungsmaßnahme auf der A 5 ein Abschnitt von km 609,400 bis km 610,280 als zweite Erprobungs-

strecke mit verschiedenen Betonrezepturen und Grindingtexturen hergestellt werden soll.

Bild 3 beinhaltet die Oberbetone und Texturen und Bild 4 die Texturgeometrien der Erprobungsstrecke auf der A 5.

Abschnitt V km 609,400 - 609,500 Rundkorn GK 32 mm Ober- und Unterbeton	Abschnitt VI km 609,500 - 609,760 Rundkorn GK 32 mm Ober- und Unterbeton			Abschnitt VII km 609,760 - 610,020 Oberbeton GK 22 mm zu 35% gebrochen			Abschnitt VIII km 610,020 - 610,280 Rundkorn GK 16 mm als Oberbeton		
100 m	85 m	85 m	90 m	85 m	85 m	90 m	85 m	85 m	90 m
Textur 1	Textur 1	Textur 2	Textur 3	Textur 3	Textur 2	Textur 1	Textur 1	Textur 2	Textur 3

Bild 3: Oberbetone und Texturen der Erprobungsstrecke A 5

Textur	Grinding			Grooving		
	Segmentbreite	Segmentabstand	Rillentiefe	Segmentbreite	Segmentabstand	Rillentiefe
Textur 1	2,0 mm	1,0 mm	Anschleifen der	-	-	-
Textur 2	2,0 mm	1,0 mm	fen der	2,4 mm	21,0 mm	3,0 mm
Textur 3	2,4 mm	1,4 mm	groben GK	-	-	-

Bild 4: Texturgeometrie der Erprobungsstrecke A 5

Die Untersuchungen zur Beschreibung der Grindingtexturen sowie der Nachweis der Homogenität auf der Erprobungsstrecke der A 5 umfassten:

- Bestimmung der Frischbetoneigenschaften wie Temperatur, Konsistenz und Luftporengehalt,
- Prüfung der Spaltzugfestigkeit an Bohrkernen nach den Vorgaben der AL Sp-Beton,
- die Grobtexturmessung mit Messgerät ELAtextur gemäß DIN EN ISO 13473-1,
- Griffigkeitsmessungen gemäß TP Griff-StB (SKM),
- Ermittlung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche nach der Nahfeldmessmethode (CPX) nach ISO/CD 3rd 11819-2.

Weitere Untersuchungen erfolgten nicht mehr innerhalb dieses Projekts.

3 Untersuchungsergebnisse

In den folgenden Tabellen sind die Untersuchungsergebnisse auf den Erprobungsstrecken der A 12 (Tabelle 2) und A 5 (Tabelle 3) zusammengestellt.

Da ursprünglich nur eine Erprobungsstrecke geplant und kalkuliert war, konnten die nach Herstellung der Grindingtexturen auf der A 5 erforderlichen Messungen und Auswertungen nur teilweise innerhalb der Bearbeitung dieses Themas erfolgen.

Tabelle 2: Untersuchungsergebnisse auf der Erprobungsstrecke A 12

Abschnitt	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
MPD-Mittelwert [mm]	0,74	0,51	0,80	0,90	0,40	0,81	0,85	0,38	0,83
Griffigkeit SKM [-]	0,6	0,6	0,61	0,56	0,55	0,58	0,57	0,57	0,59
Griffigkeit ViaFriction [-]	0,61	0,49	0,58	0,58	0,52	0,61	0,65	0,54	0,64
Strömungswiderstand [Pa s/m]	513	9245	510	455	23944	526	426	23849	556
CPX-Mittelwert [dB(A)]	98,1	98,6	98,8	98,1	98,1	98,5	98,0	97,8	97,6
L _{AF,max} - 120 km/h [dB(A)]	83,8	83,5	83,9	82,9	82,2	82,6	82,5	83,1	82,4

Die rote Umrandung und Schrift in Tabelle 2 zeigt die Messergebnisse des Abschnitts 2.2 der Erprobungsstrecke auf der A 12, auf dem die vergleichsweise höchsten Lärminderungswerte erreicht wurden. Es handelt sich dabei um eine reine Grindingtextur.

Der vergleichsweise niedrigste Vorbeifahrtpegel von 82,2 dB(A) im Abschnitt 2.2 bedeutet einen Lärminderungswert von lediglich ca. -3 dB(A). Ursache hierfür könnte sein, dass das nach ca. zehn Tagen nach Betonage durchgeführte Grinding im Zusammenhang mit der Festigkeitsentwicklung des Betons zu

früh erfolgte. Dies führte zu teilweisem Herausreißen der oberen Gesteinskörnungen durch das Grinding. Diesem Aspekt wurde bei der Durchführung der Grindingmaßnahme auf der zweiten Erprobungsstrecke auf der A 5 Rechnung getragen.

Aus den der theoretischen Berechnungen mit SPERoN® unter Einbeziehung der Ergebnisse der Lärmmessungen auf der ersten Erprobungsstrecke A 12 wurden für die zweite Erprobungsstrecke auf der A 5 grundsätzlich feinere Texturen ausgewählt. Eine Ergebnisübersicht der vorgenommenen Messungen enthält Tabelle 3.

Tabelle 3: Untersuchungsergebnisse auf der Erprobungsstrecke A 5

Testfeld	V.1	VI.1	VI.2	VI.3	VII.3	VII.2	VII.1	VIII.1	VIII.2	VIII.3
MPD-Mittelwert [mm]	0,27	0,28	0,80	0,39	0,41	0,75	0,27	0,28	0,72	0,42
Griffigkeit SKM [-]	0,59	0,59	0,61	0,62	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59	0,59
CPX-Mittelwert [dB(A)] 12/2015	95,9	95,7	95,8	96,0	96,3	95,9	95,6	95,6	95,8	96,2
CPX-Mittelwert [dB(A)] 05/2016					95,5	95,0	95,1	94,9	94,8	95,1

Auch hier wurde der Abschnitt mit den vergleichsweise höchsten Lärminderungswerten rot beschriftet und umrandet. Dabei handelt es sich auch hier um eine reine Grindingtextur.

Die Erkenntnisse in Bezug auf die Festigkeitsentwicklung des Betons aus der Erprobungsstrecke der A 12 wurden auf der A 5 berücksichtigt und die Grindingmaßnahme ca. fünf Wochen nach der Herstellung der Betondecke durchgeführt. Die höhere Festigkeit des Betons zu diesem Zeitpunkt verhinderte das Herausreißen der groben Gesteinskörnung während des Grindings in erheblichem Maße.

Eine kontrollierte oder statistische Vorbeifahrtmessung konnte aufgrund der Wintersaison noch nicht realisiert werden. Es ist aufgrund der CPX-Messergebnisse jedoch wahrscheinlich, dass bei der statistischen Vorbeifahrtmessung eine Lärminderung von etwa -5 dB(A) erreichbar ist. Eine Untersuchung nach Endausbildung der Fugen konnte im Rahmen dieses FE-Projekts nicht mehr durchgeführt werden.

Ergebnisse zur Ebenheit und Griffigkeit konnten nicht mehr innerhalb dieser Forschungsarbeit erzeugt und ausgewertet werden.

4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Das in diesem Forschungsvorhaben entwickelte Verfahren ist durch ein neu entwickeltes Längsabtastsystem in der Lage, Unebenheiten bis zu einer Wellenlänge von 10 m signifikant zu verringern. Dadurch werden zwei Vorteile erreicht:

Es ergeben sich positive Auswirkungen auf den Fahrkomfort durch eine deutliche Reduzierung der Beschleunigungswerte für das Ladegut, das Fahrzeug und den Fahrer.

Gleichermaßen entsteht eine positive Wirkung hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Betondecke durch die signifikante Reduzierung des Stoßfaktors bei der Schwerverkehrsbelastung, die wiederum zu einer Reduzierung der Einwirkungen aus Verkehrsbelastung führt.

In diesem Forschungsprojekt wurde das Grindingverfahren optimiert. Im Vordergrund stand dabei die akustische Optimierung, wobei die positiven Wirkungen der Ebenheits- und Griffigkeitsverbesserungen nicht außer Acht gelassen wurden.

Auf Basis der theoretischen und labortechnischen Untersuchungen wurden zunächst Praxisversuche an Bestandsbetonen auf der A 13 durchgeführt, bei denen verschiedene Grindingtexturen mit und ohne Grooving getestet wurden. Im Ergebnis konnten neben Verbesserungen der Ebenheiten und Griffigkeiten auch signifikante Lärminderungen erreicht werden.

Das akustische Ergebnis mit dem vergleichsweise höchsten Lärminderungswert wurde in einem Abschnitt mit kombinierter

Grinding-Grooving-Textur erzielt, der bei der kontrollierten Vorbeifahrt mit 80,9 dB(A) einen Lärminderungswert von etwa 4 dB(A), orientiert am Referenzbelag für SPB-Messungen (nicht geriffelter Gussasphalt mit einem Emissionspegel von 85,2 dB(A)), aufweisen konnte.

Hauptziel war die Anwendung des Grindingverfahrens für neu zu bauende Betonlose, um eine weitere Standardtextur für lärmarme Betonoberflächen im Regelwerk definieren zu können.

Die erste Erprobungsstrecke innerhalb dieses Forschungsthemas, die als Neubaustrecke ausgeführt wurde, war die A 12 im Land Brandenburg im Jahr 2014. Auch hier konnten durch das Grinding insgesamt sehr gute Längsebenheiten (Planographenmessung im Rahmen einer Kontrollprüfung) und Griffigkeiten erzielt werden. Die akustischen Wirkungen ergaben bei allen Varianten Lärminderungen, wobei die Minderungswerte jedoch unter den Erwartungen blieben. Das Ergebnis mit dem vergleichsweise größten Lärminderungswert von ca. -3 dB(A) wurde im Abschnitt 2.2 (Tabelle 2) erreicht, wo ein Vorbeifahrtpegel von 82,2 dB(A) gemessen wurde. Als Hauptursachen für die geringer als erwartet ausgefallene Lärminderung wurde das teilweise Herausreißen der oberen Gesteinskörnungen durch das Grinding und die relativ grobe Querfugenausbildung detektiert.

Zur Beurteilung weiterer Oberbetone und zur weiteren Optimierung der Grindingtextur wurde eine zweite Erprobungsstrecke erforderlich. Bezüglich möglicher Oberbetone sollte insbesondere getestet werden, inwieweit der Einsatz nicht gebrochener Gesteinskörnungen möglich ist. Hinsichtlich der weiteren Optimierung der Grindingtextur lag das Augenmerk auf sehr feinen Texturen, die einerseits keine ungebrochenen Stege nach Herstellung hinterlassen und andererseits viele Aufstandspunkte gleicher Höhenlage für die Reifen aufweisen. Diese zweite Erprobungsstrecke wurde in Baden-Württemberg auf der A 5 bei Bruchsal angelegt und im Jahr 2015 realisiert.

Die ausgeführten Grindingtexturen sind noch feiner als die der ersten Erprobungsstrecke und stellen Grenzwerte hinsichtlich des derzeit Ausführbaren im Hinblick auf die Herstellung der Schneidwerkzeuge dar.

Ergebnisse zur Ebenheit konnten nicht mehr innerhalb dieser Forschungsarbeit erzeugt und ausgewertet werden. Griffigkeitsmessungen wurden im April 2016 vorgenommen und lieferten in allen Testfeldern sehr gute Ergebnisse. Hinsichtlich der akustischen Wirkung fand eine erste CPX-Messung sofort nach der Herstellung statt. Die Ergebnisse aller Abschnitte liegen

relativ dicht beieinander, die Streuung der Messergebnisse ist beeindruckend gering. Aus akustischer Sicht wurden im Testfeld VIII.1 (Tabelle 3) die vergleichsweise größten Lärmminde- rungswerte erzielt. Eine kontrollierte oder statistische Vorbei- fahrtmessung konnte aufgrund der Wintersaison und der da- rauffolgenden Verkehrsführung (Bau der Gegenfahrbahn) noch nicht realisiert werden. Es ist aufgrund der CPX-Messergeb- nisse jedoch eine Lärminderung von etwa -5 dB(A) zu erwar- ten. Eine mögliche Verschlechterung des Werts gegebenenfalls durch die Endausbildung der Fugen, Aufweitungsschnitt und Fugenverguss wurde durch die Ergebnisse einer zweiten CPX- Messung fünf Monate nach der Herstellung der Textur nicht bestätigt.

Die bisherigen Ergebnisse der Erprobungsstrecken zeigen, dass eine signifikante Lärminderung durch das Grinding mög- lich ist. Die Parameter der Grindingtexturen müssen jedoch genau vorgeschrieben werden. Bei erforderlichen feinen Grin- dingtexturen ist es aus heutiger Sicht wichtig, den Anforde- rungswert für den Polierwiderstand der groben Gesteinskör- nungen gemäß TL Beton-StB 07 und TL Gestein-StB 04/07 einzuhalten, um ausreichende Griffigkeiten dauerhaft erzielen zu können. Die Ergebnisse der Griffigkeitsentwicklung aus einer Versuchsstrecke deuten darauf hin, dass der Widerstand gegen Polieren der feinen Gesteinskörnungen (Sande) gleichermaßen eine wichtige Rolle spielt, wenn die Packungsdichte nicht aus- reichend optimiert wurde. Weitere Untersuchungen zu dieser Problematik sind notwendig.

Wahrscheinlich ist, dass feine Grindingtexturen ihre Makrotex- tur (Texturbereich mit Wellenlängen zwischen 0,5 und 50 mm) während der Nutzungszeit kaum verändern werden, da die Stege bereits bei Herstellung zu 100 % gebrochen wurden. Somit werden sich die Oberflächeneigenschaften vermutlich nur geringfügig ändern. Es obliegt weiteren Untersuchungen, diese These zu bestätigen und die Dauerhaftigkeit zu beweisen.

Aus den durchgeführten Untersuchungen und erzielten Ergeb- nissen lassen sich folgende Empfehlungen und Erkenntnisse ableiten:

Eine Optimierung der Fugenausbildung kann zu weiterer Lärm- minderung des Reifen-/Fahrbahngeräuschs führen. Dazu sind Untersuchungen zu speziellen Anforderungen an die Fugenge- staltung notwendig. Denkbar für eine Lärminderung wären die Minimierung der Phasen und das Füllen der Fugen (Verguss oder Profil) bis an die Oberkante der Fahrbahn.

Der Einfluss der durch das Grinding erzeugten gerichteten Textur der Fahrbahnoberfläche auf die Fahrdynamik muss untersucht werden.

Überlappungsbereiche beim Grinden sind aus fahrdynamischer Sicht so gering wie möglich zu halten. Der Einsatz des inner- halb des Forschungsvorhabens entwickelten Mess- und Steue- rungssystems zur Vermeidung von Überlappungsbereichen bietet gute Voraussetzungen dafür.

Eine hohe Packungsdichte der Gesteinskörnung erhöht den Gesteinsanteil in den Stegen der Grindingtextur und könnte sich somit positiv auf die Dauerhaftigkeit der Grindingtextur auswirken.

Ein langfristiges Monitoring zur Entwicklung des Lärm- und Griffigkeitsverhaltens und zur Dauerhaftigkeit der erzeugten Grindingtexturen ist notwendig.

Beim Grinding von Betonfahrbahnen im Rahmen von Neubau- maßnahmen sollten für die dort zu behandelnden großen Flä- chen breite und leistungsfähige Grindingmaschinen zum Ein- satz kommen, um die Wirtschaftlichkeit und die Präzision des Verfahrens zu erhöhen.

Für die Herstellung einer grindingtexturierten Betonfahrbahn ist der Einsatz von Kiesbeton prinzipiell geeignet. Der nach ZTV Beton-StB 07 erforderliche Einsatz von gebrochener Gesteins- körnung könnte somit entfallen.

Gegenüber der Herstellung einer Waschbetonoberfläche kann der Prozess des Grindings als halbindustrieller Fertigungspro- zess bezeichnet werden, mit dem ein wesentlich höheres Maß an Präzision und Gleichmäßigkeit der erzeugten Textur erreicht werden kann.

4.1 Anforderungen an das Grinding im Zuge des Neubaus der Betondecke

Die Herstellung der Grindingoberfläche muss bereits in den Ausschreibungsunterlagen berücksichtigt werden. Beim Neu- bau der Betondecke ist eine hohe Grundebenheit erforderlich, wenn die Herstellung der Textur mittels Grinding wirtschaftlich sein soll. In anderen Fällen müsste zunächst ein Ebenheitsgrin- ding vorgeschaltet werden, bevor die eigentliche Textur mit lärmmindernder Wirkung hergestellt werden kann. Der Oberbet- on soll eine homogene dünne Mörtelschicht aufweisen, um die grobe Gesteinskörnung ohne Mühe anschneiden zu können. Des Weiteren ist es von Vorteil, wenn die Betondecke mit einer Dickenreserve gebaut wird, damit die Möglichkeit besteht, das Grinding im Nutzungszeitraum der Betondecke eventuell wie- derholen zu können.

Die Praxisversuche haben gezeigt, dass der Oberbeton eine Mindestfestigkeit erreicht haben muss, bevor der Grindingvor- gang begonnen werden kann. Es wird empfohlen, die Mindest- festigkeit als Spaltzugfestigkeit gemäß TP B-StB zu definieren. Je nach Festigkeit des Betons ist die Wahl der geeigneten Schneidblätter durch den Auftragnehmer vorzunehmen. Rotati- onsgeschwindigkeit und Vorschub sind ebenfalls durch den Auftragnehmer zu wählen und zwar so, dass eine gleichmäßige Textur entsteht und ein "Aufschwimmen" der Grindingwelle beim Schneidvorgang vermieden wird.

Grundsätzlich sind schmalere Grindingwellen weniger geeignet, da sich die Zahl der Überlappungsbereiche erhöht und somit eine inhomogenere Oberflächentextur entsteht. Des Weiteren erhöht sich die Herstellungszeit signifikant, sodass gegebenen- falls Verkehrsführungskosten steigen und die Verfügbarkeit der Verkehrsanlage sinkt.

Die Texturparameter sind durch die Vorgabe der Segmentbreite und des Segmentabstands festzulegen. Die Schneidtiefe ist so anzupassen, dass die durch die Betondeckenfertigung entstan- dene Textur vollständig beseitigt und die grobe Gesteinskör- nung angeschnitten wird. Folglich führt eine größere Mörtel- schichtdicke zu einer höheren Abtragstiefe. Aus dimensionie-

rungsrelevanten Gründen sollte die Gesamtabtragstiefe nicht mehr als 1 cm betragen.

Wenn die Anforderungen an die Ebenheit mit 4 mm, bezogen auf eine Messbasis von 4 m, bei der hergestellten Betondecke eingehalten werden, ist das Grinding in einem Arbeitsgang möglich. Falls die Unebenheiten größer sind, muss ein Ebenheitsgrinding vor dem akustischen Grinding vorgeschaltet werden.

Im Kontext mit den zuvor aufgeführten möglichen Gesamtabtragstiefen wird empfohlen, eine Dickenreserve von mindestens 1 cm beim Neubau zu realisieren.

Um die junge Betonmatrix des Oberbetons nicht zu schädigen, sind Mindestanforderungen an die Festigkeit des Betons einzuhalten. Dabei ist jeweils der jüngste Betonabschnitt zu prüfen. Die Grindingarbeiten können aus den Erfahrungen der Erprobungsstrecken unter folgenden Bedingungen beginnen:

- Der Einzelwert der Spaltzugfestigkeit $f_{ct,i,core}$ soll mindestens 3,0 MPa betragen.
- Der Mittelwert der Spaltzugfestigkeit $f_{ct,m,core}$ aus drei Bohrkernscheiben des Oberbetons soll mindestens 3,3 MPa betragen.
- Der zu grindende Beton muss für jeden Einzelwert eine Druckfestigkeit $f_{c,i,cube}$ von 35 MPa, geprüft am Bohrkern DN 150, aufweisen.
- Der Mittelwert der Druckfestigkeit $f_{c,m,cube}$ soll mindestens 37 MPa, geprüft an drei Bohrkernen DN 150, betragen.

Es wird empfohlen, eine Mindestwellenbreite ab 1,30 m vorzugeben, um die Anzahl der Überlappungsbereiche zu minimieren. Weiterhin sollte die Summe der Breite der Überlappungsbereiche über den Querschnitt festgelegt werden. Die Überlappungsbereiche sollten insbesondere im Hauptfahrstreifen nicht in den Rollspuren angeordnet werden.

Der Scheibenbesatz der Grindingwelle sollte so vorgenommen werden, dass die Toleranzen in den Abmessungen gleicher Schneidscheiben untereinander minimal sind.

Das Grinding soll nach dem Kerbschnitt und vor dem Aufweitungsschnitt der Scheinfugen erfolgen.

Die Grindingmaschine muss mit einer Vorrichtung zur Direktabsaugung des beim Schneidvorgang anfallenden Materials ausgerüstet sein, sodass keine Schneidschlämme auf die Fahrbahn gelangen können. Neue Technologien lassen eine Aufbereitung der Schneidschlämme zu.

4.2 Anforderungen an das Grinding im Rahmen von Erhaltungsmaßnahmen am Bestandsbeton

Bei Bestandsstrecken, bei denen im Rahmen von Erhaltungsmaßnahmen die Ebenheit, die Griffigkeit und/oder das Lärmverhalten verbessert werden sollen, müssen gegenüber einer Neubaustrecke in der Ausschreibung einige Anpassungen vorgenommen werden, die der vorhandenen Ebenheit und der durch die Nacherhärtung des Betons erreichten Festigkeit Rechnung tragen.

Zunächst ist die Eignung der Strecke und speziell die des Oberbetons zu prüfen:

- Festigkeit des Oberbetons,
- Mörtelschichtdicke des Oberbetons,
- Polierresistenz der groben und feinen Gesteinskörnung,
- Unebenheiten vor dem Grinding.

Weiterhin wird empfohlen, eine Fugenanierung dem Grinding nachzuschalten.

Folgende Aspekte sind zusätzlich zu beachten:

- Die Ebenheit der Fahrbahn nach dem Grinding muss den Anforderungen der TP Eben entsprechen, Unebenheiten von ≤ 4 mm, bezogen auf eine Messbasis von 4 m, sollen zugelassen werden.
- Gegebenenfalls muss ein Ebenheitsgrinding vor dem eigentlichen Grinding vorgeschaltet werden, um große Unebenheiten zu beseitigen.
- Die Abtragstiefe darf im Kontext mit der Gesamtdeckendicke 10 mm nicht überschreiten, um die Dicke der Betondecke nicht so weit zu verringern, dass daraus Folgeschäden entstehen. Bei voraussichtlicher Überschreitung dieses Werts ist im Vorfeld eine Nachrechnung der Betondecke erforderlich, um die Restnutzungsdauer rechnerisch abzusichern.
- Durch die altersbedingte erhöhte Festigkeit des Betons ist bei der Ausführung des Grindens auf die Wahl geeigneter Schneidwerkzeuge zu achten.
- In Abhängigkeit von der Festigkeit des Betons muss Segmentanpressdruck und Vortriebsgeschwindigkeit so gewählt werden, dass ein "Aufschwimmen" vermieden wird.
- In den Übergangsbereichen zum Bestand ist die Schneidtiefe derart anzupassen, dass keine Stufen und Verwerfungen entstehen.
- Die vorhandene Gradienten und Querneigung sind beizubehalten.

Alle anderen Anforderungen entsprechen denen des Grindings einer Neubaustrecke.

5 Literatur

[FE 08.0211/2011/OGB], Villaret, Alber, Beckenbauer, Frohböse, Skarabis: Akustische Optimierung von Betonoberflächen mit verbesserten Grinding-Verfahren

[LEISTRA] 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

- [AL Sp-Beton] Arbeitsanleitung zur Bestimmung der charakteristischen Spaltzugfestigkeit an Zylinderscheiben als Eingangsgröße in die Bemessung von Betondecken für Straßenverkehrsflächen, Ausgabe 2006
- [ISO/CD 3rd 11819-2] Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method. Entwurf, Arbeitsvorlage vom 20.04.2009
- [DIN CEN/TS 12390-9] Prüfung von Festbeton – Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung, Ausgabedatum: 2006-08
- [DIN EN ISO 13473-1] Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe, Ausgabedatum 2004-07
- [DIN EN 29053] Akustik; Materialien für akustische Anwendungen; Bestimmung des Strömungswiderstandes (ISO 9053:1991); Deutsche Fassung, Ausgabedatum 1993-05
- [SPB1] Verfahren zur Messung der Geräuschemission von Straßenoberflächen (GESTrO), herausgegeben durch den Bundesminister für Verkehr, Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 16/1992, Bonn, 1992
- [SPB2] DIN EN ISO 11819-1: Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic. Part 1. Statistical Pass-By method. September 1997
- [TP B-StB] Technische Prüfvorschriften für Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen, Ausgabe 2015, FGSV, Köln
- [TP Eben] Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung, Teil: Berührungslose Messungen, Ausgabe 2009, FGSV, Köln
- [TP Griff-StB (SKM)] Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Seitenkraftmessverfahren (SKM), Ausgabe 2007, FGSV, Köln