Reduktion des Reifen/Fahrbahngeräusches durch Grinding-Texturen

Reinhard Wehr[1], Bernhard Baumgartner[1], Roland Spielhofer[1]

[1] *Austrian Institute of Technology GmbH, 1210 Wien, Österreich, Email: reinhard.wehr@ait.ac.at*

Einleitung

Im Zuge der Weiterentwicklung von Betonfahrbahndecken ist der Fokus im DACH-Raum in den letzten Jahren vermehrt in Richtung von Grinding-Bauweisen gelegt worden. Dabei werden in die Oberfläche der Deckschicht feine Längsrillen gefräst, um eine homogene Textur im Reifen/Fahrbahnkontakt herzustellen. Mögliche Variationen sind dabei die Segmentbreite und der Segmentabstand, wobei beide typischerweise im Bereich von 1-3 mm bei einer Tiefe von ca. 1-2 mm liegen. Durch die definierte Textur mit hoher Homogenität in Fahrtrichtung sollen nun Reifenvibrationen vermindert und somit die Schallabstrahlung des Reifens verringert werden.

Im vorliegenden Artikel werden, basierend auf einem umfangreichen Datensatz an CPX-Messungen [1], erste Analysen des Altersverlaufes, eine statistische Analyse des Segment-Abstandes und der -Breite sowie Terzbandanalysen auf ausgewählten Messstrecken gezeigt.

Altersverlauf

Um das akustische Alterungsverhalten von Grinding-Texturen zu untersuchen, wurde der zur Verfügung stehende Datensatz an CPX-Messungen (P-Reifen, 80 km/h) herangezogen. Hierbei stehen insgesamt 206 Einzelmessungen zur Verfügung, wobei diese teilweise in Abhängigkeit zueinander stehen (z.B. durch mehrere – baulich getrennte – Einzelabschnitte bzw. Fahrstreifen).

Das Alter der Einzelmessungen wurden für die Analyse auf ganze Jahre aggregiert und basierend darauf ein Boxplot des jeweiligen Altersbereichs erstellt (siehe Abbildung 1). Die Graphik zeigt nun einerseits den aggregierten Boxplot der altersabhängigen CPX-Messergebnisse (oben) als auch ein Histogramm der Altersverteilung der Messdaten (unten). Man erkennt dabei deutlich die Häufung von Messstellen geringen Alters, was auf die erst in den letzten Jahren beginnende Einführung der Bauart zurückzuführen ist. Grundlegend erkennt man auch eine große Spannweite der CPX-Messergebnisse bei Grinding-Stellen zu jungen Jahren. Die Emissionspegel überspannen einen Bereich von ca. 95 bis 99 dB im neu gegrindeten Zustand, was für eine definierte Textur als großer Spann angesehen werden muss. Zu Messstellen höheren Alters hin nimmt diese Spannweite merklich ab, wobei auch die zugrunde liegende Datenbasis merklich geringer ist. Ob sich für Grinding-Strecken ab ca. 4 Jahren ein homogener akustischer Zustand unabhängig vom Ursprungszustand einstellt kann damit noch nicht prognostiziert werden. Grundlegend ist aber festzustellen, dass die beobachtete Alterung – wie auch bei anderen Deckschichttypen – nichtlinear erfolgt. Auf Basis des aktuell vorhandenen Datensatzes kann daraus vorläufig abgeleitet werden, dass für Grinding-Strecken nach Herstellung ein CPX-Pegel von unter 97 dB (Median-Wert) bzw. ab einem Alter von vier Jahren ein CPX-Pegel von ca. 99 dB angenommen werden kann.

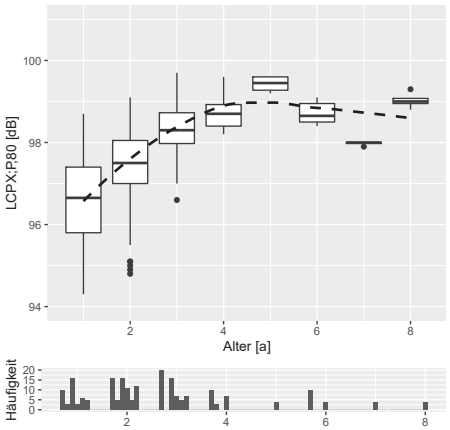

Abbildung 1: Boxplot des Alterungsverlaufs der $L_{CPX;P;80}$-Pegel; das Alter der einzelnen Messstellen ist zu ganzen Jahren zusammengefasst.

Geometrien

Die im Datensatz vorliegenden Grinding-Messstellen unterscheiden sich nicht nur in ihrem Alter sondern auch in ihrer durch die Segmentbreite und Segmentabstand definierte Geometrie. Die Segmentbreite variiert dabei von 2 bis 2,8 mm, der Segmentabstand von 1 bis 2,2 mm. Die Zusammensetzung der Einzelmessungen in Bezug auf die Geometrie ist in Tabelle 1 angegeben. Hierbei sind einige stark besetzte Geometrien zu sehen, die teilweise auf wiederholte Messungen an einzelnen Messstellen zurückzuführen sind, allerdings kommen ebenfalls viele Breiten- und Abstands-Kombinationen im Datensatz nicht vor.

Auf dieser Basis wurde ein Versuch unternommen, den Einfluss von Sgementbreite und -Abstand auf die Rollgeräuschemissionen zu modellieren. Aufgrund des schwach besetzten Datensatzes wurde hierbei nur auf ein lineares Modell zurückgegriffen, um die Richtung des Einflusses auf das Rollgeräusch abzuschätzen.

Tabelle 1: CPX-Messungen zu Segmentbreite ↓ und Segmentabstand →

	1	1.4	1.6	1.8	2	2.2
2	46	0	0	0	0	0
2.4	0	20	0	24	0	6
2.8	0	0	32	0	4	74

Die Ergebnisse des Modells – basierend auf dem Alter, der Segmentbreite und des Segmentabstandes – sind in Tabelle 2 angegeben. Sowohl der Schnittpunkt (Intercept) als auch der Einfluss des Alters – unter der Annahme des linearen Modells – stimmen gut mit den gemessenen Werten in Abbildung 1 überein. Aussagen in Bezug auf die Segmentbreite und den Segmentabstand sind in der Modellierung mit einer merklich höheren Unsicherheit behaftet. Während der mit höherem Segmentabstand steigende CPX-Pegel besser abgesichert erscheint, zeigt der hohe p-Wert des Modelleinflusses der Segmentbreite die nur sehr geringe Aussagekraft des Modells. Grundsätzlich muss hier darauf hingewiesen werden, dass aufgrund des schwach besetzten Datensatzes alle Aussagen der Modellierung mit hohen Unsicherheiten behaftet sind. Um eine tatsächlich statistisch abgesicherte Aussage zum Einfluss der Grinding-Geometrie treffen zu können, muss der Datensatz in Tabelle 1 deutlich erweitert werden.

Tabelle 2: lin. Modellierung – Alter, Abstand und Breite

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	96.858	0.612	158.196	< 2e-16
Alter	0.443	0.045	9.867	< 2e-16
Segmentabstand Grinding	1.152	0.295	3.907	1.27e-04
Segmentbreite Grinding	-6.89e-01	0.406	-1.70	9.09e-02
RSE	0.903			
R.squared	0.353			

Frequenzzusammensetzung

Um weiter in die Ursachensuche der Wirkmechanismen der Rollgeräuschreduktion zu gehen, wurden für einzelne Messstellen terzbandaufgelöste Zeitreihenanalysen durchgeführt. Hier wird nun exemplarisch das Alterungsverhalten einer Messstrecke gezeigt, die zwischen 2017 und 2020 insgesamt vier Mal vermessen wurde. Anstelle der Einzelmessergebnisse wird in Abbildung 2 der linear modellierte Alterungsverlauf in Terzbändern dargestellt. Zusätzlich ist in der Graphik das Spektrum einer Referenzmessstelle (Waschbetondecke der Gegenrichtungsfahrbahn der Messstelle) in schwarz angegeben, wobei die strichlierten Linien die maximal bzw. minimal auftretenden CPX-Pegel im Referenzabschnitt angeben. Man erkennt anhand des farblich dargestellten modellierten Altersverlaufs ab 800 Hz eine stetige Zunahme des CPX-Pegels mit steigendem Alter. Dieser erreicht im (den Gesamtpegel dominierenden) Frequenzbereich von 800 bis ca. 1600 Hz Werte, die in etwa den minimal auftretenden Pegeln der Referenzstrecke entsprechen, zu höheren Frequenzen hin werden nach anfänglich sehr niedrigen Rollgeräuschemissionen durchaus vergleichbare bis hohe Pegel im Vergleich mit der Referenzstrecke erreicht. Tieffrequent im Bereich, in dem Reifen- bzw. Mantelschwingungen zu den hauptsächlichen Schallentstehungsmechanismen zählen, ist im Gegensatz dazu kein Alterungsverhalten zu sehen. In diesem Bereich bleibt auch die im Vergleich zur Referenzstrecke gute Rollgeräuschminderung über den betrachteten Zeitraum erhalten.

In selber Weise wurden einzelne weitere Grinding-Strecken, für die Zeitreihen vorliegen, analysiert. Im Vergleich zeigen sie ein ähnliches Verhalten, vor allem der im Betrachtungszeitraum erreichte Endzustand der Frequenzzusammensetzung ist gleichartig. Eine Erweiterung der Datenbasis, vor allem aber auch ein weiteres Monitoring der Messstrecken, für die detaillierte Zeitreihendaten vorliegen, ist für eine Absicherung der beschriebenen Zusammenhänge allerdings wichtig.

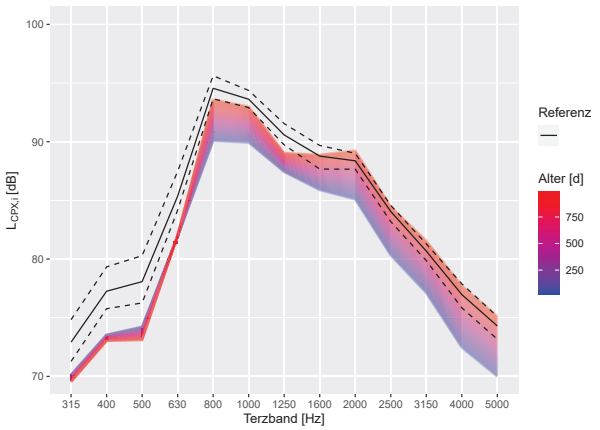

Abbildung 2: Linear modellierter terzbandaufgelöster Alterungsverlauf einer Grinding-Neubaustrecke; das Modell der Alterung basiert auf vier Einzelmessungen.

Während im Zusammenhang mit den physikalischen Wirkmechanismen die tieffrequente Verringerung der Rollgeräuschpegel eingängig ist, stellt sich weiterhin die Frage, welche Mechanismen mittel- und hochfrequent zu den anfangs niedrigen Rollgeräuschemissionen bzw. deren Rückgang führen. In wie weit stömungsakustische Mechanismen, die als hochfrequent wirksam angenommen werden, durch die Grinding-Texturen beeinflusst werden, kann aus einer reinen Betrachtung der Pegelminderungen nicht abgeschätzt werden. Hier könnten beispielsweise Simulationsansätze im Reifen/Fahrbahn-Kontaktbereich weiter Aufschluss geben.

Texturmessungen

Um die Oberflächeneigenschaften der Grinding-Texturen, die einen Einfluss auf die Rollgeräuschemissionen haben, zu identifizieren, wurden neben den CPX-Messungen auch Erhebungen der dreidimensionalen Oberflächentextur durchgeführt. Hierzu wurde ein kontinuierliches 3D-Stereo-Verfahren eingesetzt, das es ermöglicht, die Textur über längere Streckenabschnitte zu erheben [2]. Aufgrund der stark anisotropen Struktur der Fahrbahnoberfläche werden hier aktuell Texturparameter entwickelt, die Oberflächenspezifika des Grindings beschreiben sollen. Ein Beispiel dazu ist die Bestimmung von Inhomogenitäten in den Grinding-Stegen (Stegbrüche), die zu Störungen im Reifen-Fahrbahnkontakt führen (Abbildung 3). Ziel dieser Herangehensweise ist es, mittels anschließender statistischer Methoden Parameter und damit Geometrie-Eigenschaften zu identifizieren, die sich negativ auf die Rollgeräuschpegelreduktionen auswirken. Erste Ergebnisse dieser Herangehensweise sind beispielsweise

in [3] für isotrope SMA-Deckschichten und in [4] für Grinding-Texturen vorgestellt.

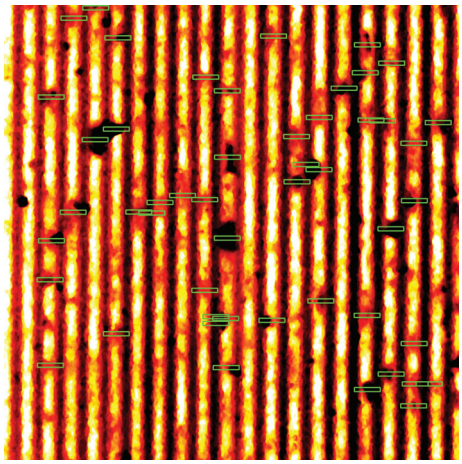

Abbildung 3: Beispiel der Höheninformationen einer 3D-Grindingtextur mit Annotation der Stegbrüche in grün.

Danksagung

Das vorliegende Paper basiert auf Arbeiten, die im Zuge des Forschungsprojektes „TexPlus“, gefördert in der D-A-CH Kooperation Verkehrsinfrastukturforschung, durchgeführt wurden. Die Autoren möchten der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) sowie der Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) für die Unterstützung im Projekt sowie die Bereitstellung von Messdaten danken.

Literatur

[1] International Organization for Standardization: ISO11819-2: Acoustics - Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: Close-proximity method. Geneva (2017)

[2] K. Valentin, R. Huber-Mörk and S. Stolc: Binary descriptor-based dense line-scan stereo matching. Journal of Electronic Imaging 26 (2017), 013004-1–013004-12

[3] R. Wehr, A. Fuchs und E. Bühlmann: Langzeitverhalten lärmmindernder SMA-Decken. DAGA (2019), Rostock.

[4] R. Wehr, A. Fuchs and R. Spielhofer: Evaluation of the acoustic potential of grinding textures. Internoise (2019), Madrid.