

Akustische Alterung von Straßendeckschichten

André Hinträger¹, Alexander Attenberger¹, Jan Gebhardt², Lars Schade² und Wolfram Bartolomaeus³

¹ Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), 86179 Augsburg, E-Mail: Andre.Hintrager@lfu.bayern.de

² Umweltbundesamt (UBA), 06844 Dessau, E-Mail: Lars.Schade@uba.de

³ Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt), 51427 Bergisch Gladbach, E-Mail: Bartolomaeus@bast.de

Einleitung

Seit fast 20 Jahren wird am LfU mit unterschiedlicher Intensität daran gearbeitet, wie die akustische Qualität von Straßen mit akustischen Torus-Messungen (ATM) untersucht werden kann und wie der akustische Zustand eines Straßennetzes erhoben werden könnte [1]–[7]. Zusammen mit dem UBA und der BASt erfolgte der entscheidende Durchbruch für die Interpretation der Messergebnisse mit den Arbeiten im Rahmen des Forschungsvorhabens »Überwachung der akustischen Qualität des Straßennetzes mittels Reifen-Torus-Messungen« (AQuStra II) [5]: Beim Fahren überdeckt die durch die Textur der Deckschicht angeregte (induzierte) Schwingungsanregung mehr oder weniger ausgeprägt die ständig präsenten Strukturschwingungen des Reifens (Reifenmoden).

Durch einfaches Abzählen dieser verbleibenden Reifenmoden wird die akustische Qualität der Straßenoberfläche indirekt ermittelt. Entscheidend ist also nicht der absolute Geräuschpegel im Innern des Reifens, sondern dessen Geräuschcharakteristik. Daraus ergibt sich als wesentlicher Vorteil, dass nicht vor jeder Messung das Mikrophon im Reifen kalibriert werden muss. Mit dieser Erkenntnis wurde der Entwurf einer Technischen Prüfvorschrift für ATM (E TP ATM) geschrieben: Die mittlere Wellenlänge der prägenden Textur $\lambda_{DS;r,i,t}$ der Deckschicht (DS) im Straßensegment i für den ATM-Lauf r und das Prüfrad t bildet die zentrale Auswertgröße und wäre somit der akustische Fingerabdruck einer Straße. In Anlehnung an das CPX-Verfahren [8] beträgt die Länge eines untersuchten Straßensegmentes 20 m.

Wie jede Messung, so ist auch eine ATM nicht frei von Störungen. Es kann vorkommen, dass pro Segment für einen 1/8-Sekunden-Messwert nicht alle Reifenmoden im Geräuschspektrum korrekt gezählt werden können. Ein Indiz hierfür ist, wenn der relative Fehler auf die maximale Anzahl an detektierten Moden eines Messwertes im Straßensegment größer ist als 10 %. Deutlich wird dies, wenn für alle Straßensegmente in einem Straßenabschnitt des gleichen Deckschichttyps die mittlere Wellenlänge der prägenden Textur der Deckschicht der kombinierten Unsicherheit der ATM gegenübergestellt wird. Diese Feststellung wurde in den Entwurf der Prüfvorschrift integriert und bei der weiteren Auswertung berücksichtigt.

Vor diesem Hintergrund wurden auch die Übertragungsfunktionen neu bewertet. Diese Funktionen wurden erstmals in AQuStra II erarbeitet. Mit ihnen kann von einer ATM ein äquivalenter Fahrzeuggeräuschpegel für Pkw $L_{AT,Pkw}$, d. h. ein prognostizierter maximaler Vorbeifahrtpegel eines Pkw in 1,2 m Höhe und 7,5 m Entfernung zur Mitte des äußeren Fahrstreifens [9], berechnet werden. Als neue Referenzgeschwin-

digkeit wurde 100 km/h gewählt, da diese konsolidierten Funktionen auch auf das untergeordnete Straßennetz mit niedrigeren Geschwindigkeiten ausgedehnt wurden.

Akustische Qualität der häufigsten Deckschichttypen

In den Forschungsvorhaben AQuStra II [5] und »Ermittlung der akustischen Eigenschaft von Straßen zur Qualitätssicherung der Lärmkartierung« (AQuStra III) [7] konnte am LfU in einem Flottenversuch mit Dienst-Kfz eindrucksvoll demonstriert werden, wie robust und zuverlässig die eingesetzten Messgeräte sind bzw. arbeiten. Der Systemprototyp wurde im Forschungsvorhaben »Technische Aspekte der Überwachung der akustischen Qualität der Fahrwege im Straßenverkehr« am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickelt [3]. Seit 2021 laufen diese Systeme störungsfrei. Einschließlich der Vorarbeiten reicht der Datenbestand inzwischen 6 Jahre zurück und umfasst über 100 000 km von bayerischen Bundesfernstraßen, s. Abbildung 1. Einige Straßenabschnitte wurden mehrmals befahren.



Abbildung 1: In der Karte ist die Pegeldifferenz ΔL des mit den konsolidierten Übertragungsfunktionen bestimmten äquivalenten Fahrzeuggeräuschpegels für Pkw $L_{AT,Pkw}$ bei 100 km/h zum entsprechenden maximalen Vorbeifahrtpegel gemäß den RLS-19 [10] pro untersuchtem Straßensegment eingetragen. Rot markiert Differenzen, die größer sind als 0 dB und grün, die kleiner sind als -3 dB. Gelb kennzeichnet Unterschiede zwischen 0 und -3 dB.

Darüber hinaus konnte in AQuStra III [7] gezeigt werden, wie der Flottenversuch hoch skaliert und auf andere Bundesländer ausgeweitet werden kann. Jeweils ein akustisches Torus-

Messgerät (ATMG) wurde an die BAST in Bergisch-Gladbach und der Müller-BBM Industry Solutions GmbH am Standort in Dresden übergeben und erfolgreich in den Versuch mit eingebunden.

Aus der Vielzahl der Daten (insgesamt ca. 1 240 000 Straßen-segmente), für die nach dem Bayerischen Straßeninformationssystem BAYSIS auch der verbaute Straßendeckschichttyp (DST) und das Alter bekannt sind, wurden die in Abbildung 2 dargestellten Häufigkeitsverteilungen der Pegeldifferenzen ΔL der vier am meisten gemessenen Deckschichttypen angefertigt. Bezug wird hierbei wieder auf den entsprechenden maximalen Vorbeifahrtpegel eines Pkws bei 100 km/h von 83,8 dB(A) gemäß den RLS-19 [10] genommen. Bei den Deckschichten handelt es sich um eine dünne Asphaltdeckschicht in Heißbauweise auf Versiegelung (DSH-V), zwei Splittmastixasphalte (SMA) und einen Waschbeton (WB). In diese Auswertung wurden nur solche Schichten mit einbezogen, die nach BAYSIS zum Messzeitpunkt ein Alter von mindestens 6 und höchstens 15 Jahren aufwiesen.

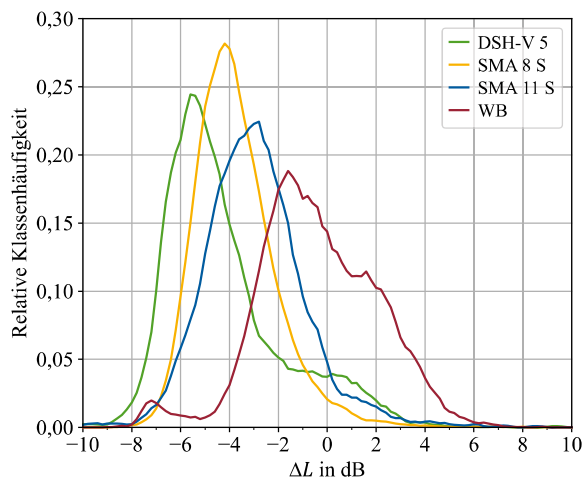


Abbildung 2: Relative Klassenhäufigkeit für die Pegeldifferenzen ΔL der untersuchten Straßensegmente aus der Abbildung 1.

Zum 01.01.2021 wurde »Die Autobahn GmbH des Bundes« gegründet. Der damit verbundene Zuständigkeitswechsel für die Pflege und Haltung der Straßendaten der Autobahnen führte zu einem Aktualisierungsrückstand, der auch die Korrektur von historischen Fehleinträgen einschließt. Zu erkennen sind diese Fehleinträge beispielsweise an den Häufigkeitsverteilungen des WB am vorgelagerten Nebenmaximum zwischen -8 dB und -4 dB. Dieser Deckschichttyp wird ausschließlich auf Bundesautobahnen eingebaut. Wahrscheinlich fanden dort Sanierungen mit einer Asphaltdeckschicht statt und diese Deckschichtänderungen wurden in BAYSIS nicht aktualisiert. Gleichwohl wurde dieser Datensatz weiter verwendet, um die akustische Alterung von Straßendeckschichten zu bestimmen. Seit Januar 2024 werden diese Daten dauerlicherweise nicht mehr bereitgestellt.

Akustische Alterung von ausgewählten Deckschichttypen

Nach erfolgreichem Einbau einer Deckschicht nimmt deren lärm-mindernde Wirkung mit der Zeit ab. Die Textur verändert sich, die mittlere Profiltiefe (MPD) nimmt zu und die Oberflächengestalt verschiebt sich von der konkaven Form aus

»Plateaus mit Schluchten« hin zur konvexen aus »Gebirgen mit Tälern« [11]. Grund hierfür ist, dass die Viskosität des Bindemittels einer witterungsbedingten Langzeitalterung unterliegt und zunimmt. Darüber hinaus beansprucht ein Lkw eine Straße etwa 100 000-mal mehr als ein Pkw (Vierte-Potenz-Gesetz). Damit verbunden bricht der Feinkornanteil zwischen dem Stützkorn aus der Oberfläche aus. Die Oberfläche magert aus [12], die Deckschicht verschleißt.

Vor diesem Hintergrund wurden alle Geräuschpegel der untersuchten Straßensegmente eines Deckschichttyps und einer bestimmten Liegedauer (Alter) weiter zusammengefasst und korrespondierende Häufigkeitsverteilungen erstellt. In Abbildung 3 ist das Ergebnis in einem Violinen-Plot beispielhaft für eine DSH-V 5 dargestellt. Mit eingezeichnet sind die Mediane, die 0,05- und 0,95-Quantilen der Verteilungen durch entsprechende kurze Querstriche sowie der maximale Vorbeifahrtpegel eines Pkw bei 100 km/h nach den RLS-19 [10].

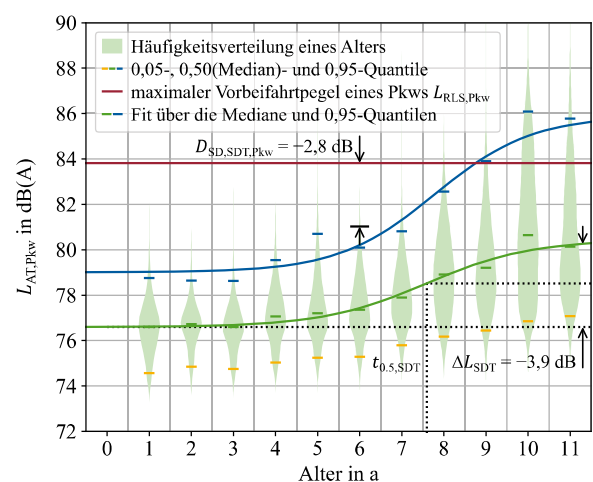


Abbildung 3: Äquivalenter Fahrzeuggeräuschpegel für Pkw $L_{AT,Pkw}$ bei 100 km/h in den linken Rollspuren der DSH-V 5 in Abhängigkeit vom Alter, d. h. von der Liegedauer der Deckschicht in Jahren (a). Alle Einzelpegel eines Alters wurden in einer Häufigkeitsverteilung zusammengefasst.

In dieser statistischen Auftragsung ist gut zu erkennen, wie sich die Pegel in den ersten ca. drei Jahren nach Einbau praktisch nicht verändern. Die Violinen wirken hier etwas zusammengedrückt. Dies zeigt, dass dieser Deckschichttyp vergleichsweise homogen hergestellt werden kann. Im Laufe der nächsten ca. 7 Jahre steigen die Median-Pegel um ca. 4 dB und der 0,95-Quantil-Pegel um ca. 7 dB kontinuierlich an, um dann auf höherem Niveau bei ca. 80 dB(A) bzw. ca. 86 dB(A) zu sättigen. Die Violinen werden in die Länge gezogen. Dies verdeutlicht, dass zum einen eine DSH-V selbst nach ca. 10 Jahren Liegedauer noch gute pegelmindernde Eigenschaften besitzen kann, zum anderen aber auch der Verschleiß von Segmenten der Deckschicht häufig schon sehr weit fortgeschritten ist und dass deshalb deren Minderungspotential weitestgehend aufgebraucht ist.

Die zeitliche Abhängigkeit des Median- oder des 0,95-Quantil-Pegel und damit der Verlauf der akustischen Alterung der Deckschicht kann quantitativ mit Hilfe der logistischen Funktion beschrieben werden, s. Gleichung (1).

$$L_{SDT}(t) = L_{0,SDT} + \frac{\Delta L_{SDT}}{1 + e^{-(t-t_{0,5,SDT})/\tau_{SDT}}} \quad \text{in dB(A)} \quad (1)$$

Hierbei ist $L_{SDT}(t)$ die Geräuschemission des Straßendeckschichttyps in Abhängigkeit von der Zeit, $L_{0,SDT}$ die mittlere pegelmindernde Wirkung der Deckschicht nach Einbau, ΔL_{SDT} die Pegelzunahme der Deckschicht bis zur Sättigung auf dem höheren Pegelniveau am Ende der Nutzungszeit und $t_{0,5,SDT}$ die vergangene Zeit, nach der die Hälfte der Minderungswirkung der Deckschicht aufgebraucht ist sowie τ_{SDT} die Zeitkonstante der akustischen Alterung, die sich aus der Standardabweichung der Normalverteilung der Alterungsrate σ berechnet. Eine Anpassung der kleinsten Fehlerquadrate ergibt für die DSH-V 5 und den SMA 8 S die in Tabelle 1 stehenden Koeffizienten.

Tabelle 1: Koeffizienten der logistischen Funktion nach der Anpassung der Median- und 0,95-Quantil-Pegel in den linken Rollspuren der DSH-V 5 und des SMA 8 S aus dem Flottenversuch anhand der kleinsten Fehlerquadrate.

Koeffizient	DSH-V 5		SMA 8 S	
	Median	0,95-Quantile	Median	0,95-Quantile
$L_{0,SDT}$ in dB(A)	76,6	79,0	79,0	81,9
ΔL_{SDT} in dB(A)	3,9	6,9	1,8	3,7
$t_{0,5,SDT}$ in a	7,6	7,8	10,2	9,3
τ_{SDT} in a	1,2	1,2	3,0	3,8

Gemäß Tabelle 4a der RLS-19 [10] beträgt die Straßendeckschichtkorrektur $D_{SD,SDT,Pkw}$ an einer DSH-V 5 für Pkw mit einer Geschwindigkeit größer 60 km/h $-2,8$ dB. Dieser Wert wurde nach der TP KoSD-19 [13] an mindestens fünf Streckenabschnitten, die mindestens 6 Jahre alt waren, ermittelt und ist in Abbildung 3 mit eingezeichnet. Er stimmt sehr gut mit dem 0,95-Quantil-Pegel überein.

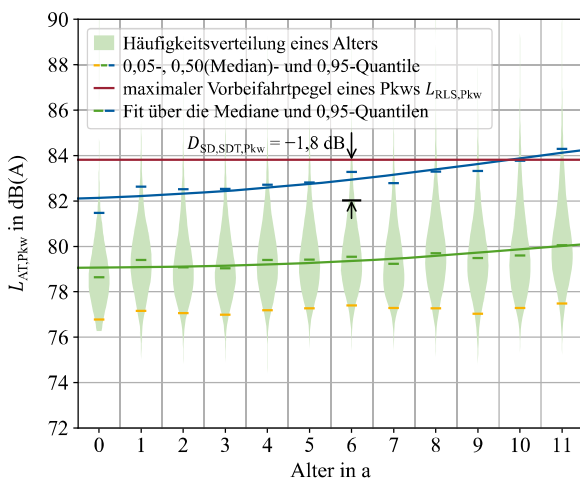


Abbildung 4: Äquivalenter Fahrzeuggeräuschpegel für Pkw $L_{AT,Pkw}$ bei 100 km/h in den linken Rollspuren des SMA 8 S in Abhängigkeit vom Alter, d. h. von der Liegedauer der Deckschicht in Jahren (a). Alle Einzelpegel eines Alters wurden in einer Häufigkeitsverteilung zusammengefasst.

Dieselbe Auswertung wurde für den SMA 8 S gemacht, s. Abbildung 4; wegen der ca. dreimal größeren Zeitkonstante τ_{SDT} in der logistischen Funktion, s. Tabelle 1, ist die akustische Alterung jedoch weniger ausgeprägt. Wie für die DSH-V 5 beträgt nach Herstellung der Deckschicht die akustische Spannweite unter Einbeziehung der Median- und der 0,95-Quantile-Pegel ca. ± 2 dB. Hier und gegen Ende der

Nutzungszeit zeigen sich aber keine Plateaus. Die Emission des Hauptfahrstreifens nimmt kontinuierlich um etwa 0,12 dB pro Jahr und damit in Summe bis zu einer Liegedauer von 15 Jahren um ca. 1,8 dB zu, s. Abbildung 4, in der auch die Straßendeckschichtkorrektur $D_{SD,SDT,Pkw}$ von $-1,8$ dB eingetragen ist.

Beim Erstellen der RLS-19 [10] und TP KoSD-19 [13] war dieser Sachverhalt zum Alterungsverhalten von Deckschichten noch nicht bekannt. Die ATM verdeutlichen, dass aus Sicht des Lärmschutzes die in der TP KoSD-19 festgelegte Altersgrenze von 6 Jahren einen guten Kompromiss darstellt. Deckschichten im Neuzustand und jünger als diese Grenze mindern mit einem entsprechenden Vorhaltemaß zu Gunsten der vom Straßenverkehrslärm betroffenen Anwohner; Schichten, die länger liegen, zunehmend zu deren Ungunsten.

Interpretation der Messungen – ein Versuch

Beim genaueren Betrachten von Abbildung 2 fällt auf, dass die Häufigkeitsverteilung für die DSH-V 5 und den WB aus mehreren Verteilungen zusammengesetzt ist, d. h., dass dieser Verteilung eine Mischverteilung zugrunde liegt. Im Folgenden werden mögliche Ursachen diskutiert.

Beim gegenwärtigen Flottenversuch lag der Fokus auf der akustischen Untersuchung der Bundesfernstraßen, und hier besonders auf den Autobahnen. Denn vor allem dort kann der entscheidenden Bedingung für eine gültige ATM, die gleichmäßige Fahrt, einigermaßen nachgekommen werden. Die genaue Position, d. h. der Fahrstreifen, auf dem das Kfz fährt, kann mit den eingesetzten GPS-Empfängern aber nicht lokalisiert werden. In der dargestellten Verteilung könnte sich also der unterschiedliche Verschleiß der einzelnen Fahrstreifen abzeichnen [14]. Diese Vermutung konnte jedoch anhand der nochmaligen Auswertung der simultanen ATM- und CPX-Messungen auf Fernstraßen in Bayern im Jahr 2017 [4], die nur auf dem rechten Fahrstreifen stattfanden, ausgeschlossen werden; diese Streifen verschleifen in ähnlicher Weise [7].

In Abbildung 2, der Häufigkeitsverteilung für die DSH-V 5, wurde der Bereich von 0 dB bis 2 dB, d. h. die Straßenabschnitte, die nennenswert zur Überhöhung der Pegeldifferenz beitragen, genauer analysiert und identifiziert, s. Abbildung 5. Hierbei fallen nun besonders die beiden Abschnitte (1 290 und 1 310) auf der Bundesstraße B 15 auf. Dort wurde im Jahr 2013 eine DSH-V 5 auf einer Länge von ca. 7 km eingebaut. Die ATM fand im August 2023 statt. Die Deckschicht war zum Messzeitpunkt bereits 10 Jahre alt und wurde laut BAY-SIS im Juli 2025 erneuert. Der Grund der Erneuerung ist uns nicht bekannt. Die Ursache für die Pegelzunahme kann demnach nicht mehr gefunden werden.

Dieses Beispiel verdeutlicht aber das große Potential, das in einer ATM für die Bauverwaltung steckt. Im Sinne eines nachhaltigen Straßenbaus könnten mit einer ATM akustisch auffällige Straßenabschnitte erkannt und/oder beobachtet werden. Eventuell könnten diese sogar bautechnisch untersucht werden mit dem Ziel, deren Liegedauer zu verlängern.

Auf die oben beschriebenen akustischen Alterungsfunktionen, s. Gleichung (1), haben diese Ausführungen keinen Einfluss.

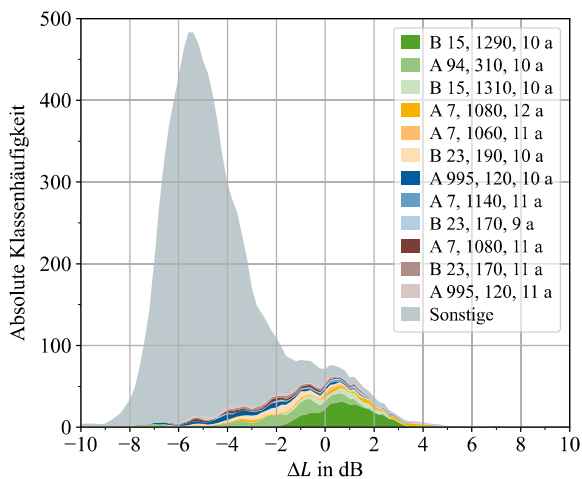


Abbildung 5: Absolute Klassenhäufigkeit der Pegeldifferenzen ΔL der untersuchten DSH-V 5 Straßensegmente. Insbesondere sind die Straßenabschnitte sowie deren Liegedauer in Jahren aufgelistet und farblich markiert, die nennenswert zur Überhöhung der Pegelunterschiede zwischen 0 dB und 2 dB in Abbildung 2 beitragen.

Ausblick

In den Forschungsvorhaben AQuStra II und III konnte eindrucksvoll demonstriert werden, wie mit ATM kostengünstig und effizient der akustische Zustand eines ganzen Straßennetzes erhoben werden kann.

Ein Bezug zur tatsächlichen Geräuschemission einer Deckschicht wurde mit SPB-Messungen an ausgewählten Orten hergestellt. Diese Messungen dienen als Grundlage für Übertragungsfunktionen, die im Ergebnis einen äquivalenten Fahrzeuggeräuschpegel eines Pkw bei 100 km/h berechnen.

Die ATM könnten zur Qualitätssicherung der Eingangsdaten für die Lärmkartierung genutzt werden. Darüber hinaus könnten die Datenbanken der Straßenbauverwaltung sukzessive um akustische Parameter erweitert und diese kontinuierlich fortgeschrieben werden.

Wenn die Bauverwaltung die Kenntnis über den akustischen Zustand ihres Straßennetzes besitzt, könnte sie zielgerichtet Lärmsanierungen durchführen und bedarfsorientiert Deckschichten erneuern. Vielleicht können weiterführende Untersuchungen auch die Frage beantworten, warum Deckschichten mit der Zeit lauter werden.

Danksagung

Danke sagen wir den Kollegen von Müller-BBM für den Testbetrieb eines ATMS am Standort Dresden. Ebenso danken wir den Kollegen vom UBA und der BAST für ihr großes Interesse am Projektfortschritt und ihre sehr wertvollen und konstruktiven Anregungen und Diskussionen sowie dem UBA und dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) für die Finanzierung der Forschungsvorhaben.

Literatur

- [1] Bschorr, O. und Kühne, R.: Bestimmung der akustischen Qualität von Straßen. *Lärmbekämpfung* 2 (2007), 144–148 bzw. 182–186
- [2] Krauss, O. und Gauterin, F.: Akustische Torusmessmethode – Entwicklung und Anwendung eines Reifeninnengeräusch-Messsystems. *DAGA* (2014), 309–310
- [3] Masino, J. et al.: Technische Aspekte der Überwachung der akustischen Qualität der Fahrwege im Straßenverkehr. *UBA TEXTE* 101 (2018)
- [4] Walter, A. und Attenberger, A.: Simultane Torus- und Nahfeldmessungen auf Fernstraßen in Bayern. *DAGA* (2018), 1144–1146
- [5] Hinträger, A. und Attenberger, A.: Überwachung der akustischen Qualität des Straßennetzes mittels Reifen-Torus-Messungen, *AQuStra II*. *UBA TEXTE* 37 (2023)
- [6] Schade, L. et al.: An innovative approach to monitoring the acoustic status of an entire road network. *forum acusticum* (2023)
- [7] Hinträger, A.: Ermittlung der akustischen Eigenschaft von Straßen zur Qualitätssicherung der Lärmkartierung (*AQuStra III*). *LfU* (2025)
- [8] DIN EN ISO 11819-2:2017-10: Akustik – Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche – Teil 2: Nahfeldmessverfahren. *DIN Media*, Berlin, 2017
- [9] DIN EN ISO 11819-1:2024-10: Akustik – Messung des Einflusses von Deckschichten auf Verkehrsgeräusche – Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren. *DIN Media*, Berlin, 2024
- [10] RLS-19: Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln, 2019
- [11] Beckenbauer, T. et al.: Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch. *BMVBW Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Heft* 847 (2002)
- [12] Männel, M. et al.: Horizontalschleifen von Straßendeckschichten als ressourcenschonende Maßnahme zur Geräuschminderung. *Lärmbekämpfung* 17 (2022), 108–113
- [13] TP KoSD-19: Technischen Prüfvorschriften zur Korrekturwertbestimmung der Geräuschemission von Straßendeckschichten. *FGSV*, Köln, 2019
- [14] Balmer, M.: Schweizweite Erfassung der akustischen Belagsgüte auf den Nationalstrassen. *DAGA* (2010), 963–965