

Zusätzliche Anforderungen an Statistische Vorbeifahrtmessungen

Manuel Männel¹, Wolfram Bartolomaeus², Alexander Attenberger³

¹ Müller-BBM GmbH, 82152 Planegg, E-Mail: Manuel.Maennel@mbbm.com

² Bundesanstalt für Straßenwesen, 51427 Bergisch Gladbach, E-Mail: bartolomaeus@bast.de

³ Bayerisches Landesamt für Umwelt, 86179 Augsburg, E-Mail: Alexander.Attenberger@lfu.bayern.de

Einleitung

Durch Statistische Vorbeifahrtmessungen (i.F. SPB-Messungen) nach [1] können die akustischen Eigenschaften von Fahrbahnbelägen zeitlich und örtlich punktuell festgestellt werden. Die Messungen werden zum Beispiel im Rahmen der Neuentwicklung von Bauweisen oder zur Bestimmung des akustischen Alterungsverhaltens von Fahrbahnbelägen durchgeführt. Darüber hinaus ist der Straßenbaulastträger nach [2] zur Sicherstellung der innerhalb der Planfeststellung zugesicherten Lärminderung durch eine Kontrolle der akustischen Wirksamkeit des Straßendeckschichttyps verpflichtet, die z.B. durch statistische Vorbeifahrtmessungen erfolgen kann. Die Überarbeitung der RLS-90 (mit dem voraussichtlichen Titel RLS-16) wird zudem über die Anleitung zur Bestimmung der Korrekturwerte von Straßendeckschichten (KoSD) unter gewissen Voraussetzungen die Möglichkeit eröffnen, mittels SPB-Messungen Eingangsdaten für die schalltechnische Kategorisierung von Fahrbahnbelägen im Sinne eines Korrekturwertes zu liefern. Eine präzise normative Fassung des SPB-Messverfahrens ist deshalb dringend nötig.

Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass die in der Norm genannten Anforderungen an die Messbedingungen jedoch nicht ausreichen um die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse sicherzustellen. Dies ist offensichtlich insbesondere dann der Fall, wenn es sich um hochbelastete Strecken handelt.

SPB-Messverfahren

Für die Durchführung von SPB-Messungen nach [1] wird ein Mikrofon in einem Abstand von 7,5 m zur Mitte des zu messenden Fahrstreifens und einer Höhe von 1,2 m über der Fahrbanoberfläche installiert. Die Schallausbreitungsbedingungen müssen dabei Freifeldbedingungen entsprechen.

Neben dem (maximalen) Schalldruckpegel wird die Geschwindigkeit vorbeifahrender Fahrzeuge erfasst. Ein gültiger Messwert ergibt sich dann, wenn ein einzelnes Fahrzeug die Messstelle passiert. Der gemessene Schalldruckpegel des Fahrzeuges soll unbeeinflusst von Störschallquellen sein – dies schließt vorausfahrende, nachfolgende, überholende und entgegenkommende Fahrzeuge ein. Deshalb ist in der o. g. Norm beschrieben, dass der Schalldruckpegel des Fahrzeuges 10 dB über dem Umgebungsgeschall liegen muss und dass der Pegel des zu messenden Einzelfahrzeugs um mindestens 6 dB über dem Geräusch der voraus und hinterher fahrenden Fahrzeuge liegen muss. Das Umgebungsgeschall wird dabei meist

durch andere Fahrzeuge auf dem untersuchten Streckenabschnitt dominiert.

Für die Fahrzeugkategorie Pkw müssen dann nach Norm mindestens 100 verwertbare Vorbeifahrten gemessen werden, wobei besonders langsame oder schnelle Fahrzeuge, sowie Vorbeifahrten mit besonders hohen oder niedrigen Schalldruckpegeln jeweils über Perzentilkriterien vorab ausgeschlossen werden.

Grundlage des Verfahrens und relevant für die Wiederholbarkeit ist, dass eine Stichprobe von 100 Messwerten ein ausreichend guter Repräsentant der Grundgesamtheit ist. Die Grundgesamtheit ergibt sich aus Pkw unterschiedlichen Baujahres, Hubraums, Betriebsgewichts usw. Nur wenn die o.g. statistische Prämisse eingehalten werden kann, kann die Messung wiederholbar gestaltet werden.

Messgröße ist der maximale, A-bewertete Schalldruckpegel während der Vorbeifahrt, der zusammen mit der Fahrgeschwindigkeit gespeichert wird. Ausgewertet wird der mittlere maximale Vorbeifahrtpegel bei bestimmten Referenzgeschwindigkeiten, der über eine Regression der Messdaten über $\log(v)$ ermittelt wird.

Pkw-Kollektiv

In der folgenden Abbildung sind die maximalen Vorbeifahrtpegel von Pkw, gemessen in der Anordnung gemäß [1] über der Geschwindigkeit aufgetragen. Die zugrunde liegenden Messungen wurden auf nicht geräuschkindernden Fahrbahnbelägen durchgeführt. Das Messergebnis ist prinzipiell vergleichbar mit dem Ergebnis einer statistischen Vorbeifahrtmessung nach [1] mit dem Unterschied dass insgesamt über 15.000 Einzelvorbeifahrten dargestellt sind.

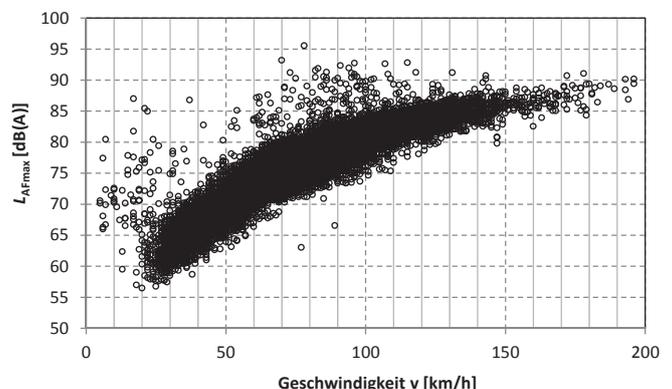


Abbildung 1: L_{AFmax} von Pkw-Vorbeifahrten in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit. [3]

Der Abbildung kann die typische Proportionalität des L_{AFmax} zum Logarithmus der Geschwindigkeit entnommen werden. Zusätzlich fällt auf, dass die gemessenen L_{AFmax} je Fahrgeschwindigkeit um mehrere dB streuen. Zur Verdeutlichung ist in folgender Abbildung 2 die Häufigkeitsverteilung der Schalldruckpegel für die drei Geschwindigkeiten 80 km/h, 100 km/h und 120 km/h dargestellt.

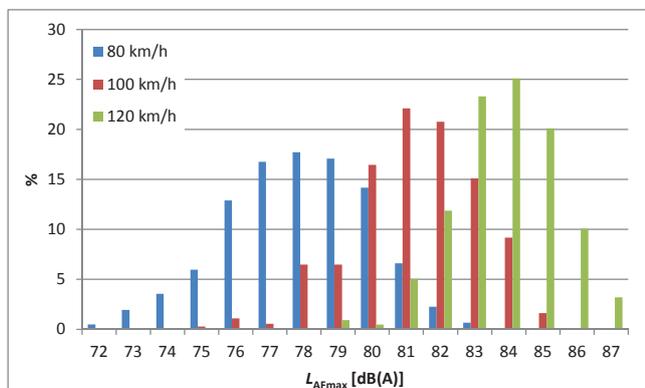


Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung der Schalldruckpegel für verschiedene Geschwindigkeitsklassen

Der Hintergrund der dargestellten Streuung kann in den technischen Eigenschaften der gemessenen Fahrzeuge gefunden werden.

Problemstellung

Wie eingangs beschrieben, ergeben sich bei unterschiedlichen Verkehrsmengen (z.B. beim Vergleich Tags zu Nachts auf hochbelasteten Strecken) unterschiedliche Messergebnisse für statistische Vorbeifahrtmessungen. Der dichte Verkehr während des Tages hat demnach einen Einfluss auf das Messergebnis. Vergleichende Messungen der Bundesanstalt für Straßenwesen, dem Bayerischen Landesamt für Umwelt und Müller-BBM kommen jeweils zu dem Ergebnis, dass normgerechte SPB-Messungen bei einer hohen Verkehrsbelastung zu Ergebnissen führen die um 0,8 dB bis ca. 1,5 dB höher liegen als bei niedriger Verkehrsbelastung. Dies kann auf 2 Effekte zurückgeführt werden:

1. Der Verkehr auf dem Verkehrsweg hebt das Grundgeräusch an und ein vergleichsweise hohes Grundgeräusch beeinflusst das Messergebnis. Dieser Effekt kann auftreten, da das Kriterium für eine gültige Vorbeifahrt lediglich eine Pegelüberhöhung gegenüber dem Geräusch voraus und hinterher fahrender Fahrzeuge um 6 dB vorschreibt. Wird das Geräusch aller auf der Straße fahrenden Fahrzeuge nicht als „Fremdgeräusch“ interpretiert, kann dieses pegelarithmetisch das Messergebnis um bis zu 1,0 dB anheben.
2. Die messbaren Fahrzeuge repräsentieren eine Teilmenge von Pkw mit höheren Schallemissionen (vgl. Abb. 2) und die genommene Stichprobe der 100 Fahrzeuge ist kein ausreichend guter Repräsentant der

tatsächlichen Grundgesamtheit. Dies bedeutet, dass Fahrzeuge mit geringen Schallemissionen nicht gemessen werden können, da sich diese nicht ausreichend vom Fremdgeräusch abheben, sodass nur die Fahrzeuge mit höheren Schallemissionen gemessen werden können. Dieser Effekt kann das Messergebnis um mehr als 1,0 dB beeinflussen.

Die beiden o.g. Effekte sind gegenläufig. D.h. dass eine Anhebung der normativ vorgeschriebenen Pegelüberhöhung auf z.B. 10 dB gemäß [4] zwar dazu führen würde, dass die dadurch hervorgerufene Beeinflussung auf das Messergebnis deutlich geringer werden würde, jedoch würde dann auch die Stichprobe ein noch schlechterer Repräsentant sein, da bei gleichbleibender Fremdgeräuschbelastung nur noch Fahrzeuge mit sehr hohen Geräuschemissionen eine ausreichende Pegelüberhöhung erreichen würden.

Lösungsmöglichkeit 1: Definition maximal erlaubter Verkehrsmengen

Um o.g. Probleme sicher zu vermeiden können maximale Verkehrsmengen definiert werden, bis zu denen SPB-Messungen an einer Straße durchgeführt werden dürfen. Um diese Verkehrsmengen zu ermitteln wurde der jüngst in [3] erneut verifizierte Emissionsterm der RLS-90 verwendet. Als Ergebnis können Dauerschallpegel L_{Aeq} in 7,5 m Entfernung als Funktion der Verkehrsmenge angegeben werden. Diese Dauerschallpegel (in Abbildung 3 mit den durchgezogenen Linien gekennzeichnet) beziehen sich auf eine homogene Verkehrsverteilung, d.h. dass alle Fahrzeuge im gleichen Abstand zueinander fahren. Diese Modellvorstellung ist für die Bewertung im Sinne der Zulässigkeit einer Verkehrsmenge für eine SPB-Messung pessimal. Praktisch fahren Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr meist in Kolonnen, gefolgt von längeren Lücken, d.h. die Verkehrsverteilung ist inhomogen. In den Lücken zwischen aufeinanderfolgenden Fahrzeugkolonnen sinkt das Geräusch deutlich ab. Dies führt dazu, dass im Vergleich zur homogen verteilten Verkehrsmenge praktisch höhere Verkehrsmengen zulässig sind um wiederholbare Messergebnisse zu erzielen bei denen die Stichprobe ein guter Repräsentant der Grundgesamtheit ist. Die Fahrzeugverteilung in aufeinanderfolgenden Kolonnen wurde aus mehrwöchigen Verkehrszählungen an einer stark befahrenen Bundesautobahn ausgewertet und führt zu den in Abbildung 3 gestrichelt dargestellten Zusammenhängen.

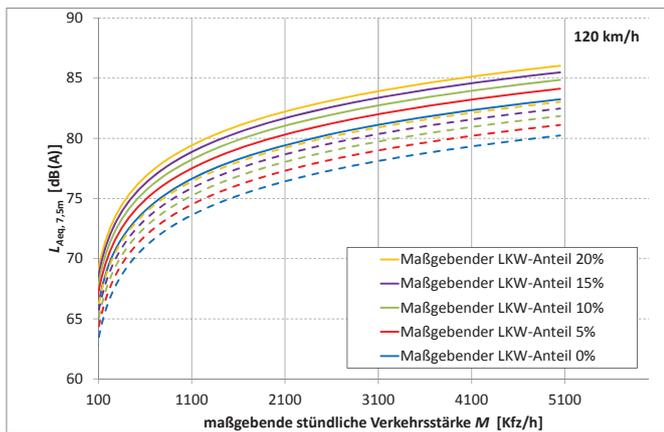


Abbildung 3: L_{Aeq} in 7,5 m Abstand zur Mitte des Fahrstreifens. Durchgezogen: homogene Verkehrsverteilung, gestrichelt: praxismgerechte inhomogene Verkehrsverteilung

Für hohe Geschwindigkeiten, bei denen das Vorbeifahrtgeräusch maßgeblich vom Reifen-Fahrbahn-Kontakt beeinflusst wird gilt dieser Zusammenhang unabhängig von der Art des Fahrbahnbelages. Dies ist der Fall, da sich z. B. bei geräuschmindernden Fahrbahnbelägen des Fremdgeräusch durch andere Verkehrsteilnehmer in der gleichen Weise reduziert wie das Nutzsignal eines zu messenden Fahrzeugs. Die Abbildung zeigt jedoch auch, dass statistische Vorbeifahrtmessungen auf hochbelasteten Strecken nur zu Zeiten durchgeführt werden können zu denen die Verkehrsmenge möglichst gering ist (z.B. in den Nachtstunden).

Alternativ könnte aber auch, wenn der Pegel des Hintergrundgeräusches mit aufgezeichnet wird, eine entsprechende Korrektur durchgeführt werden. Damit würde allerdings nicht das Problem der „zu leisen“ Fahrzeuge behoben werden.

Lösungsmöglichkeit 2: Schallquellenlokalisierung mittels Array

Eine weitere Möglichkeit o.g. Problemstellung zu begegnen besteht darin in einem dichten Verkehrsfluss einzelne Schallquellen (d.h. Fahrzeuge) mit einem Mikrofonarray zu lokalisieren. Das Gesamtgeräusch kann dann rechnerisch in einzelne Fahrzeuge aufgelöst werden wie bereits in [5] beschrieben. In Abbildung 4 ist die Auswertung von 2 eng aufeinander folgenden Fahrzeugen und die Quellentrennung dargestellt.

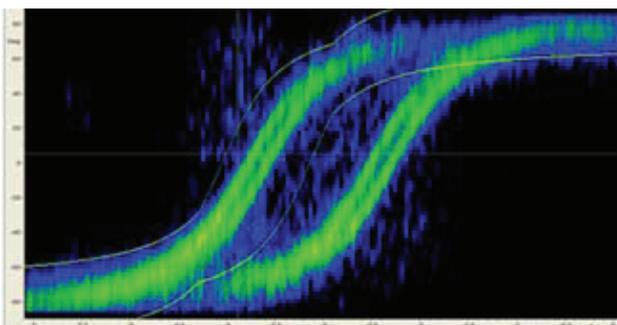


Abbildung 4: Zeitliche Signatur von 2 Vorbeifahrten über der Zeit. x-Achse: Zeit, y-Achse: Winkel der einzelnen Vorbeifahrten im Verhältnis zur Mikrofonachse.

Das Verfahren wird aktuell von der Bundesanstalt für Straßenwesen validiert. Die Validierung ist jedoch aufwändig, da das Messergebnis über den Algorithmus zur Quellentrennung ermittelt wird. Während der Messung ist der Frequenzbereich der Auswertung eingeschränkt, da die Auswertung sehr rechenintensiv ist. Diese Einschränkung kann aber in der Nachbearbeitung, da alle Originalsignale aufgenommen werden, behoben werden.

Lösungsmöglichkeit 3: Teilautomatisches Messsystem

Als dritte Variante wird aktuell ein teilautomatisches Messsystem entwickelt. Grundlage dieses Messsystems ist ebenfalls ein Mikrofonarray mit dessen Hilfe eine Schallquellenlokalisierung durchgeführt wird. Zusätzlich zum Winkel zur Mikrofonachse als Funktion der Fahrgeschwindigkeit wird auch der Abstand der Schallquelle zum Mikrofon ermittelt. Das Messsystem kann in verkehrsarmen Zeiten (z.B. über Nacht) betrieben werden und Messdaten erfassen. Die Schallquellenlokalisierung wird im Vergleich zur oben beschriebenen Lösungsmöglichkeit 2 nicht verwendet um das Gesamtgeräusch in einzelne Schallquellen aufzulösen sondern um einzelne Vorbeifahrten selbstständig zu detektieren, die die Anforderungen nach [1] erfüllen. Über einen Mustererkennungsalgorithmus werden die Fahrzeuge kategorisiert und Fahrzeuge mit untypischen Geräuschsignaturen entfernt. Ein weiterer Vorteil der teilautomatischen SPB-Messung ist, dass die Auswahl von Fahrzeugen nicht wie bisher auf Grundlage einer subjektiven Bewertung des Messpersonals stattfindet, sondern über einen objektiv arbeitenden Algorithmus.

Zusammenfassung und Ausblick

Die in [1] genannten Kriterien des SPB-Messverfahrens sind für die Anwendung auf hochbelasteten Strecken nicht ausreichend um wiederholbare Messergebnisse zu ermitteln. Die Messergebnisse sind abhängig von der Verkehrsbelastung der Strecke. Eine hohe Verkehrsbelastung führt zu einem hohen Fremdgeräuschpegel, der wiederum dazu führt, dass Fahrzeuge mit geringen Geräuschemissionen nicht gemessen werden können, was insgesamt zu einer schlechteren Bewertung der akustischen Qualität des Fahrbahnbelags führt. Der Einfluss konnte messtechnisch in mehreren Vergleichsmessungen experimentell gezeigt werden.

Abhilfe kann die Bestimmung maximal zulässiger Verkehrsmengen für SPB-Messungen schaffen. Alternativ können die Messungen mit einem Mikrofonarray und einem Algorithmus zur Schallquellenlokalisierung auch in dichtem Verkehr durchgeführt werden oder die Messungen teilautomatisch zu verkehrsarmen Zeiten durchgeführt werden. Die Messsysteme hierfür sind im Moment in der Entwicklung bzw. Erprobung.

Literatur

- [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] ARS-Nr. 05/2002, S 13/14.86.22-11/57 Va 01 I Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen - RLS-90; Fahrbahnoberflächen-Korrekturwerte, DStrO für offenen Asphalt (OPA) (VkB1. 2002 S. 313)
- [3] Ermittlung der Geräuschemissionen von Kfz mittels statistischer Vorbeifahrtmessung zur Fortschreibung einer langjährigen Zeitreihe, Abschlussbericht zum Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes UFOPLAN: 3710 54 145, 2014.
- [4] Leitfaden für Straßenlärm – Vollzugshilfe für die Sanierung; Anhang 1c: Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen vom 28.06.2006. Schweizerisches Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation.
- [5] Püschel, D.; Auerbach, M.; Bartolomaeus, W.: Einsatz eines Mikrofon-Arrays für Statistische Vorbeifahrt-Messungen (SPB), Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1054, März 2011.