Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117 (1999)
Heft: 39

Artikel: Ein aktualisiertes Strassenlärmquellenmodell
Autor: Heutschi, Kurt
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79797

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 31.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Kurt Heutschi, Dübendorf

Ein aktualisiertes Strassenlärmquellenmodell

Der Artikel befasst sich mit der Beschreibung der Strasse als akustische Quelle. Die Erkenntnisse sind während der letzten fünf Jahre im Rahmen von zwei Forschungsprojekten an der Empa gewonnen worden.

Der von Strassen ausgehende Schall stellt eine wesentliche Lärmquelle für eine Vielzahl von Leuten in der Schweiz dar. Mit der 1986 in Kraft getretenen Lärmschutzverordnung (LSV) steht ein Instrument zur Verfügung, um in gegebenen Situationen die Frage der übermässigen Lärmbelästigung zu klären. Die Grundlage für eine solche Beurteilung bildet in den meisten Fällen eine Berechnung der Strassenverkehrslärmimmissionen. Diese setzt sich aus zwei Aufgabenschritten zusammen. In einem ersten Schritt muss die Emission der Strasse ermittelt werden. Der zweite Schritt beinhaltet dann die Berechnung der Schallausbreitung von der Quelle zu den interessierenden Immissionspunkten. Die folgenden Ausführungen beschäftigen sich ausschliesslich mit dem ersten Themenkreis, das heisst mit der Beschreibung der Strasse als akustische Quelle. Die Erkenntnisse sind während der letzten fünf Jahre im Rahmen von zwei Forschungsprojekten an der Empa gewonnen worden.

Die Geräusche von benzin- oder dieselbetriebenen Motorfahrzeugen lassen sich in zwei Klassen unterteilen. Die erste Klasse bilden die Antriebsgeräusche. Diese haben ihren Ursprung hauptsächlich im Motor, im Getriebe und in der Auspuff- und Ansauganlage. Die Antriebsgeräusche hängen vom Motortyp und dessen Betriebszustand ab. Bei gegebenem Motor sind die Antriebsgeräusche in erster Linie von der Drehzahl und etwas schwächer von der Motorbelastung abhängig. Dagegen ist es unbedeutend, wie schnell sich der Motor auf der Strasse fortbewegt. Die Rollgeräusche bilden die zweite Klasse von Fahrzeuggeräuschen. Sie umfassen die Geräusche, die sich aus dem Abrollvorgang des Reifens auf der Fahrbahn ergeben. Das Abrollgeräusch ist vom Fahrzeug (Gewicht, Reifenbreite und -profil), dem Fahrbahnbelag und der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängig. Allfällige aerodynamische Strömungsgeräusche werden zum Rollgeräusch gezählt. Im Normalfall sind sie jedoch vernachlässigbar.

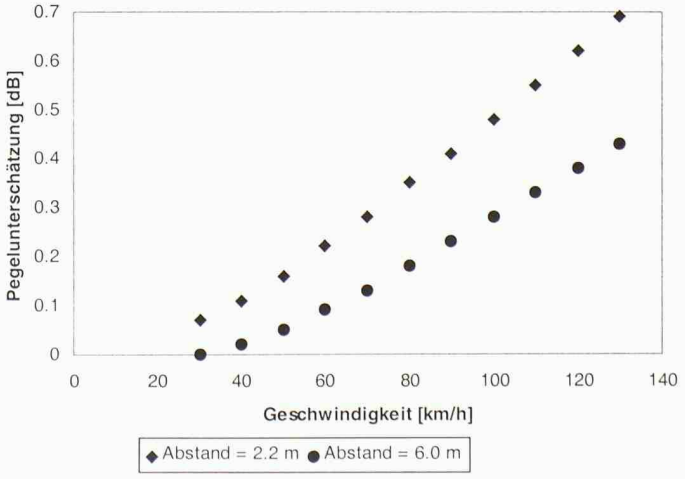
Messungen

Es bietet sich an, die oben erwähnten zwei Geräuschkategorien in einem Quellenmodell für Strassenlärm separat zu modellieren. Damit wird es möglich, unterschiedliche Einflussparameter wie Steigung oder Fahrbahnbelag, die jeweils nur eine Geräuschkomponente beeinflussen, präziser zu modellieren. Der auf Strassen verkehrende Fahrzeugmix ist sehr vielfältig. Aus Sicht der Modellbildung wäre es wünschenswert, eine relativ feine Aufteilung in einzelne Kategorien vorzunehmen. Allerdings nützt ein hochaufgelöstes Modell in der Praxis wenig, wenn die entsprechenden Verkehrszahlen nicht verfügbar sind. Aus diesem Grund wurde wie bisher eine Zweiklassenkategorisierung mit Personenwagen und Lastwagen gewählt. Insbesondere in der Lastwagenkategorie ist aber mit beträchtlichen Streuungen zu rechnen. Generell gilt, dass nur Aussagen über einen Mittelwert (Durchschnitt) einer Fahrzeugkategorie gemacht werden können, da die von einem einzelnen Fahrzeug ausgehende Schallemission von einer Vielzahl von unerfassbaren Einflussfaktoren abhängig ist.

Messprinzip

Die Entwicklung eines Strassenlärmquellenmodells benötigt als Grundlage eine Vielzahl von gut dokumentierten Messungen. Für das hier beschriebene Projekt wurde eine Standardanordnung definiert, damit Messungen in verschiedenen Situation miteinander verglichen werden konnten. Dazu wurde ein Mikrofonabstand von 7,5 m bezüglich der Fahrzeugachse und eine Mikrofonhöhe von 1,2 m festgelegt. Als zusätzliche Forderung galt, dass zwischen der betrachteten Fahrspur und dem Mikrofon ein mindestens 2 m breiter Streifen harter Bodenbelag vorhanden war. Dies wird beispielsweise bequem an einer normalen Überlandstrasse erreicht, wenn die vom Mikrofon aus gesehen entfernte Fahrspur verwendet wird. Bei Autobahnen stellt der Pannenstreifen diesen harten Streifen dar.

Die Messungen wurden jeweils an einzelnen Fahrzeugvorbeifahrten mit gleichzeitiger Geschwindigkeitserfassung vorgenommen. Eine Voruntersuchung hat gezeigt, dass die Fahrzeuge zumindest in der horizontalen Ebene in guter Näherung eine ungerichtete Abstrahlung aufweisen. Damit reduziert sich die Messung am Fahrzeug auf die Bestimmung des maximalen Vorbeifahrtpegels. Diese Grösse ist relativ robust und einfach zu ermitteln, insbesondere bei starkem Verkehr. Der maximale Vorbeifahrtpegel stellt eine Schätzung des Emissionspegels im entsprechenden Abstand dar. Der Emissionspegel ist jener Pegel, den ein mit dem Fahrzeug mitbewegtes Mikrofon registrieren würde. Die Maximalpegelbestimmung wird mit der Zeitkonstanten FAST (= 125 ms) vorgenommen. Durch die Trägheit dieser gleitenden Mittelwertbestimmung werden die Emissionen systematisch unterschätzt und müssen korrigiert werden. Diese Korrektur muss um so grösser ausfallen, je grösser die Geschwindigkeit und je kleiner die Ausdehnung des Fahrzeugs ist (Bild 1).



1
Systematische Pegelunterschätzung bei der Messung mit der Zeitkonstanten FAST eines sich im Abstand von 7,5 m vorbeibewegenden Punktquellenpaars entsprechend den Fahrzeugachsabständen 2,2 bzw. 6,0 m in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

Messungen an Personenwagen

Basierend auf dem oben dargelegten Messaufbau wurden an sieben flachen Strassen mit Asphaltbelag die maximalen Vorbeifahrtpegel in Abhängigkeit der Geschwindigkeit von 480 Fahrzeugen ermittelt. Dabei handelte es sich jeweils um frei fliessenden Verkehr. Die Messpunkte waren getarnt aufgebaut, um die Fahrzeuglenker nicht zu irritieren und damit eine besondere Fahrweise zu provozieren. Das Bild 2 zeigt alle gemessenen und entsprechend Bild 1 korrigierten Vorbeifahrtpegel.

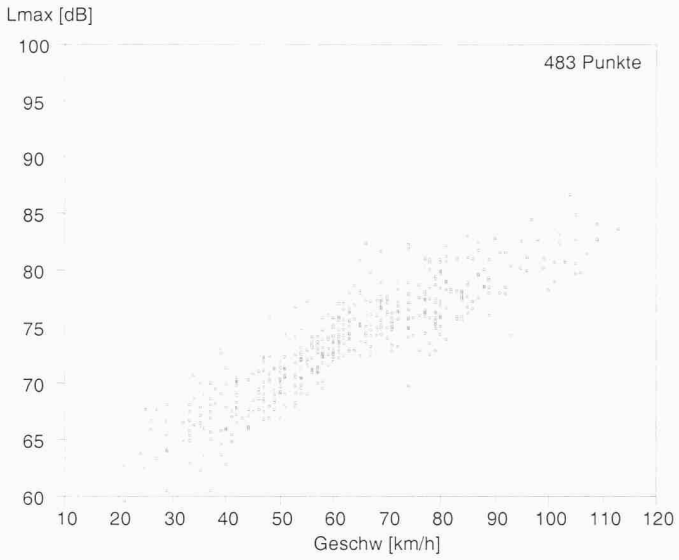
Da Pegel eine logarithmische Grösse darstellen, macht eine arithmetische Mittelung der Messpunkte wenig Sinn. Entsprechend kann nicht direkt eine «gut passende Kurve» in Bild 2 gelegt werden. Statt dessen wurden die gemessenen Pegel in Geschwindigkeitsklassen à 4 km/h zusammengefasst und in jeder Klasse energetisch gemittelt. Die so gefundene Geschwindigkeitsabhängigkeit des maximalen Vorbeifahrtpegels kann durch einen Ansatz dargestellt werden:

$$L_{max,\,7{,}5\,m} = A + 10\log\left(1+\left(\frac{v}{B}\right)^{C}\right) \quad [dB(A)]$$

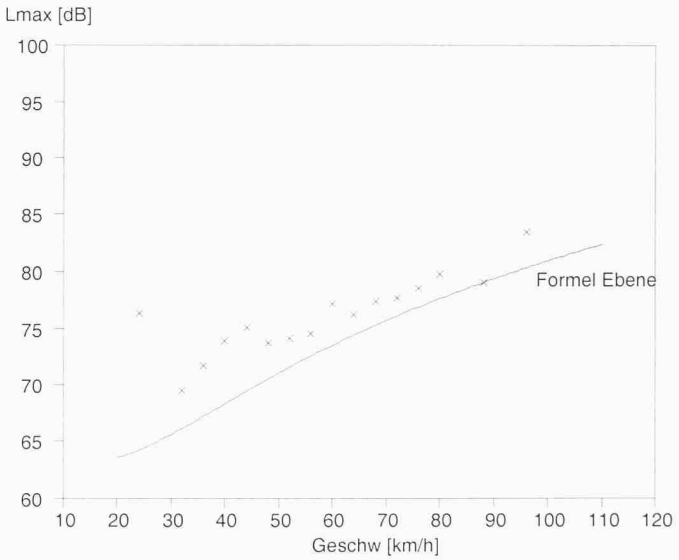
Die im Sinne der kleinsten Fehlerquadrate optimale Parameterkombination ergibt sich zu A = 61,9, B = 27,0 und C = 3,3. Eine genauere Analyse zeigt, dass das Fehlerminimum bezüglich des Parameters C nur schwach ausgebildet ist. Aus diesem Grund erschien es sinnvoller, auf a priori Wissen abzustellen. C beschreibt das Verhalten für hohe Geschwindigkeiten. In diesem Fall kann von einer dominierenden Reifengeräuschkomponente ausgegangen werden. Die vielen hierzu durchgeführten Untersuchungen lassen für C einen Wert von 3,5 erwarten. Mit dieser Annahme ergibt sich für Personenwagen der maximale Vorbeifahrtpegel auf flacher Strecke in 7,5 m Abstand zu

$$L_{max,\,7{,}5\,m} = 62{,}6 + 10\log\left(1+\left(\frac{v}{30}\right)^{3{,}5}\right) \quad [dB(A)]$$

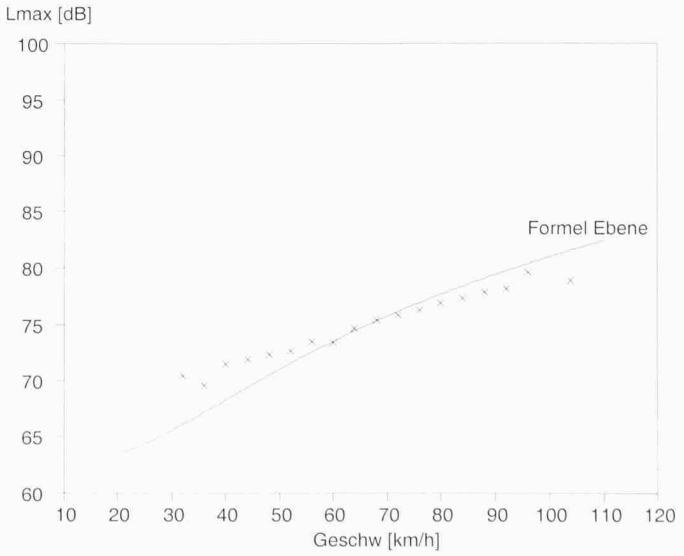
Bei Steigungs- und allenfalls bei Gefällstrecken wird eine Pegelzunahme gegenüber der Fahrt im Flachen erwartet. Dieser Einfluss wurde anhand von 11 Situationen mit Steigungen zwischen -8% und -6% und +6% und +8% untersucht. Die Messungen wurden in zwei Kategorien mit einer durchschnittlichen Steigung von -7% bzw. +7% zusammengefasst. Analog dem obigen Vorgehen wurden energetische Mittelwerte in 4 km/h breiten Geschwindigkeitsklassen gebildet. Bild 3 (Steigung +7%) bzw. Bild 4 (Steigungen -7%) zeigen diese Klassenmittelwerte in



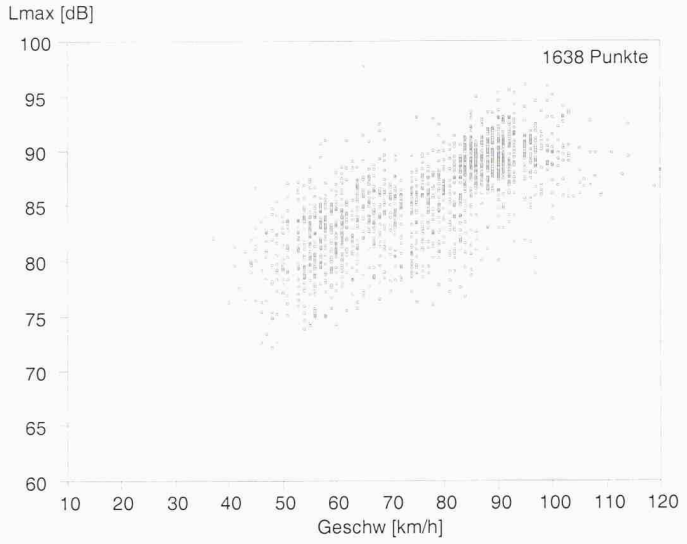
2
Gemessene maximale Vorbeifahrtpegel in dB(A) in Abhängigkeit der Geschwindigkeit für Personenwagen im Flachen



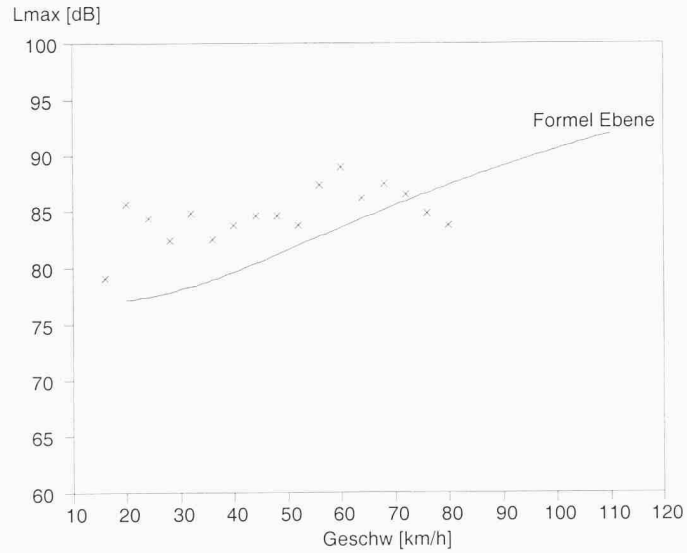
3
Energetische Klassenmittelwerte (Kreuze) in dB(A) aller Personenwagenvorbeifahrten für eine Steigung von + 7 % im Vergleich zur Formel in der Ebene (ausgezogene Kurve)



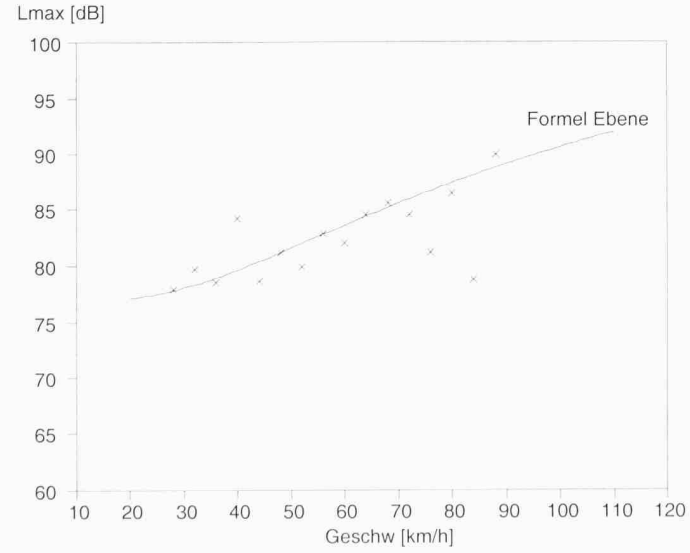
4
Energetische Klassenmittelwerte (Kreuze) in dB(A) aller Personenwagenvorbeifahrten für eine Steigung von - 7 % im Vergleich zur Formel in der Ebene (ausgezogene Kurve)



5
Gemessene maximale Vorbeifahrtpegel in dB(A) in Abhängigkeit der Geschwindigkeit für Lastwagen im Flachen



6
Energetische Klassenmittelwerte (Kreuze) in dB(A) aller Lastwagenvorbeifahrten für eine Steigung von +7% im Vergleich zur Formel in der Ebene (ausgezogene Kurve)



7
Energetische Klassenmittelwerte (Kreuze) in dB(A) aller Lastwagenvorbeifahrten für eine Steigung von -7% im Vergleich zur Formel in der Ebene (ausgezogene Kurve)

Abhängigkeit der Geschwindigkeit im Vergleich zur oben abgeleiteten Formel für die Personenwagen im Flachen.

Messungen an Lastwagen

In gleicher Weise wie bei den Personenwagen wurden an 11 Messorten im Flachen insgesamt 1630 Lastwagenvorbeifahrten gemessen. Gegenüber den Personenwagenmessungen zeigen die Lastwagen eine wesentlich breitere Streuung (Bild 5), was auf die sehr unterschiedlichen Typen von Lastwagen zurückzuführen ist.

Mit den gleichen Überlegungen wie bei den Personenwagen wurde ein funktioneller Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und maximalem Vorbeifahrtpegel gefunden:

$$L_{max,\,7{,}5\,m} = 76{,}8 + 10\log\left(1+\left(\frac{v}{41}\right)^{3{,}5}\right) \quad [dB(A)]$$

Wie im Falle der Personenwagen wurden Messungen an Lastwagen an Steigungs- und Gefällstrecken durchgeführt. Bild 6 und Bild 7 zeigen die Ergebnisse im Vergleich zur Formel im Flachen.

Formulierung des Quellenmodells

Wie in der Einleitung erwähnt, soll das neue Quellenmodell die beiden Hauptkomponenten Antriebs- und Rollgeräusch separat ausweisen. Die oben beschriebenen Messungen haben jedoch nur das Totalgeräusch geliefert. Aus vielen Untersuchungen ist der generelle Pegel-Geschwindigkeitszusammenhang für das Rollgeräusch bekannt. Er lässt sich darstellen durch einen Ansatz

$$L_{Roll} = A + 35\log(v) \quad [dB(A)]$$

mit dem freien Parameter A und der Geschwindigkeit v. Damit reduziert sich die ganze Frage der Auftrennung auf die Bestimmung des Parameters A. Auf Grund von eigenen kontrollierten Rollgeräuschmessungen an Personenwagen, Kenntnis der Pegelzunahme an Steigungsstrecken (wirkt nur auf das Antriebsgeräusch) und der Annahme, dass das Antriebsgeräusch mit der Geschwindigkeit zunimmt, liess sich dieser Parameter A hinreichend genau bestimmen.

Es ergeben sich die Quellenformeln nach Bild 8. Die Summen von Antriebs- und Rollgeräusch entsprechen jeweils auf 0,1 dB genau den oben gezeigten Formeln für das Totalgeräusch.

Der zentrale Vorteil dieser getrennten Formulierung der Quellenformel liegt darin, dass Korrekturen für Steigungsstrecken ΔSteigung und Belagsvariationen ΔBelag jeweils explizit nur in der Anpas-

8
Maximale Vorbeifahrtpegel – aufgetrennt in die beiden Komponenten Roll- und Antriebsgeräusch – in dB(A) in Abhängigkeit der Geschwindigkeit v in km/h in 7,5 m Abstand bei einer Mikrofonhöhe von 1,2 m für die Fahrt im Flachen

	Rollgeräusch	Antriebsgeräusch
Personenwagen	$9{,}5 + 35 \log(v)$	$62{,}7 + 10 \log\left(1+\left(\frac{v}{44}\right)^{3{,}5}\right)$
Lastwagen	$18{,}5 + 35 \log(v)$	$76{,}9 + 10 \log\left(1+\left(\frac{v}{56}\right)^{3{,}5}\right)$

9
A-bewertete und auf 0 normierte Oktavbandemissionspegel in dB

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
PW-Rollgeräusch	-18	-12	-7,5	-2,5	-7,5	-18
PW-Antriebsgeräusch	-12	-12	-9	-5	-5	-10
LW-Rollgeräusch	-18	-12	-5,5	-4	-7	-13
LW-Antriebsgeräusch	-18	-12	-5,5	-4	-7	-13

sung der verantwortlichen Geräuschkomponente bestehen. Der maximale Vorbeifahrtpegel ergibt sich schliesslich als energetische Addition der korrigierten Roll- und Antriebsgeräuschkomponente zu:

$$L_{max,7,5} = 10 \log\left(10^{0{,}1\,(L_R+\Delta Belag)} + 10^{0{,}1\,(L_A+\Delta Steigung)}\right)$$

[dB(A)] wobei: $L_R = L_{Roll}$ und $L_A = L_{Antrieb}$

Die Analyse der oben präsentierten Ergebnisse an Steigungsstrecken lässt auf eine Pegelerhöhung der Antriebsgeräuschkomponente schliessen mit

$\Delta Steigung = 0{,}8\,g$ [dB(A)] für $g > 0$

mit g: Steigung der Strasse in %

Für Gefällstrecken konnten im mittleren Geschwindigkeitsbereich keine signifikanten Pegelunterschiede zur Situation im Flachen beobachtet werden.

Da keine eigenen Untersuchungen zum Belagseinfluss durchgeführt wurden, wird hier auf die Angabe einer Belagskorrektur ΔBelag verzichtet.

Die Quellenformeln basieren auf der Geschwindigkeit als wichtigstem Einflussparameter. Dabei wird immer vorausgesetzt, dass es sich um die tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit handelt. Eine situationsbedingte generelle Geschwindigkeitsänderung, zum Beispiel an Steigungsstrecken, muss explizit berücksichtigt werden.

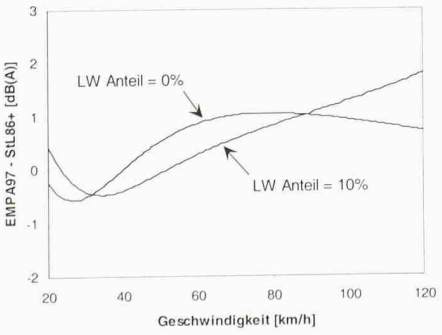
Da die Schallausbreitungsbedingungen je nach Situation stark frequenzabhängig sind, besteht ein Interesse an der Kenntnis der Frequenzzusammensetzung von Strassenverkehrslärm. Auf Grund des vorliegenden Datenmaterials konnten die in Bild 9 gezeigten Oktavbandspektren herausdestilliert werden. Die Oktavbandpegel sind A-bewertet und in der Summe auf 0 dB normiert. Diese Frequenzaufteilung gilt näherungsweise unabhängig von der Geschwindigkeit.

Eine besondere Frage ist die der Quellenhöhe von Strassenverkehrslärm. Die Lärmschutzverordnung [1] setzt diese Höhe generell auf 0,8 m fest. Im Falle der Personenwagen lässt sich hier wohl ein Fragezeichen anbringen, insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten, wo zweifellos das Rollgeräusch zur dominierenden Quelle wird und damit die Quellenhöhe im Bereich der Reifen liegt. Der Frage der Quellenhöhe bei Lastwagen wurde im Auftrag des Buwal nachgegangen. Die Untersuchungen mit einem Mikrofonarray haben ergeben, dass sich die gemessene Höhenverteilung gut durch zwei Quellen auf 0 m und 0,8 m nachbilden lässt [2]. Weiter hat sich gezeigt, dass die hochgelegenen Auspuffe und Kühlaggregate im fliessenden Verkehr akustisch von untergeordneter Bedeutung sind.

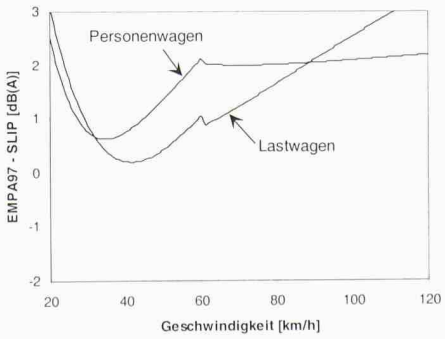
Vergleich mit anderen Ansätzen

Das oben beschriebene Quellenmodell basiert auf dem maximalen Vorbeifahrtpegel in 7,5 m Abstand. Bisherige Quellenmodelle verwenden meist den Mittelungspegel Leq für eine ganze Vorbeifahrt eines Fahrzeuges in einer Stunde. Die Umrechnungsformel zwischen dem Leq und dem

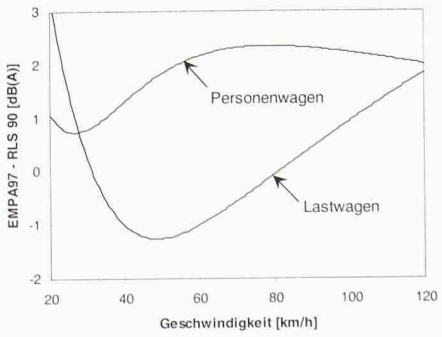
10
Vergleich der Quellenwerte als Differenz des Empa 97 Ansatzes zum StL-86+ für zwei Lastwagen Anteile in Funktion der Geschwindigkeit



11
Vergleich der Quellenwerte als Differenz des Empa 97 Ansatzes zum SLIP für Personen- und Lastwagen in Funktion der Geschwindigkeit



12
Vergleich der Quellenwerte als Differenz des Empa 97 Ansatzes zur RLS 90 für Personen- und Lastwagen in Funktion der Geschwindigkeit



maximalen Vorbeifahrtpegel kann durch Integration der Immission einer Vorbeifahrt einer Punktquelle gefunden werden:

$$Leq_{1\ Fahrzeug/h} = L_{max1,0\,m} + 10\log\left\{\frac{3,6}{3600\,v}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{1}{d^2+x^2}\,dx\right\} = L_{max7,5\,m} - 7,5 - 10\log(v) - 10\log(d)$$

$Leq_{1Fahrzeug/h}$	Mittelungspegel für eine Fahrzeugvorbeifahrt pro Stunde im Abstand d
$L_{max1,0\,m}$	max. Vorbeifahrtpegel in 1,0 m
$L_{max7,5\,m}$	max. Vorbeifahrtpegel in 7,5 m (neuer Quellenwert)
v	Fahrzeuggeschwindigkeit [km/h]
d	Abstand Empfänger zur Fahrbahnachse [m]

Als Vergleichsmodelle werden das StL-86, das SLIP und die RLS 90 herangezogen. Das StL-86 wurde in den 80er-Jahren an der Empa entwickelt und im Jahre 1986 vom Buwal publiziert. SLIP ist eine Entwicklung, die sich in den Rechenvorgängen stark am StL-86 orientiert. SLIP und StL-86 waren bis anhin die in der Schweiz am meisten eingesetzten Strassenlärmmodelle. Die RLS 90 [3] ist die in Deutschland gültige Rechenvorschrift für Strassenverkehrslärm. Der Vergleich der verschiedenen Quellenmodelle wird durch die unterschiedlich interpretierte Geschwindigkeitsangabe erschwert. Während der hier vorgestellte neue Ansatz - in der Folge Empa 97 genannt - auf der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit basiert, verwenden die anderen Modelle die signalisierte Geschwindigkeit. Die Vergleiche werden nur für ebene Fahrbahn und Standardbelag durchgeführt.

Vergleich mit StL-86+

Mit der Buwal-Mitteilung Nr. 6 (1995) Strassenlärm: Korrekturen zum Strassenlärmberechnungsmodell wurde das StL-86 Modell mit einer generellen +1 dB Korrektur den neuen Erkenntnissen provisorisch angepasst. Der Vergleich erfolgt mit dieser korrigierten Fassung von StL-86 (in der Folge StL-86+ genannt). Das Bild 10 zeigt die Differenz des Empa 97 zum StL-86+ in Abhängigkeit der Geschwindigkeit. Da StL-86+ keine getrennten Werte für Personenwagen und Lastwagen sondern nur einen Summenpegel ausweist ist der Vergleich für zwei feste LW-Anteile dargestellt. Die in der Figur ausgewiesene grosse Differenz für einen Lastwagen-Anteil von 10 % bei hohen Geschwindigkeiten ist auf die oben angedeutete Problematik der Geschwindigkeitsvorgabe zurückzuführen. Bei einer signalisierten Geschwindigkeit von beispielsweise 100 km/h dürfte die Geschwindigkeit der Lastwagen kleiner sein. Diesem Umstand trägt das StL-86+ bis zu einem gewissen Grad Rechnung. Für die Rechnung mit dem Empa 97 Ansatz wurde dieser Effekt aber mangels exakter Kenntnis ignoriert. Insgesamt zeigt der neue Ansatz zwischen 0 und 1 dB(A) höhere Quellenwerte.

Vergleich mit SLIP

SLIP weist einen Quellenwert getrennt für PW und LW aus. Bild 11 zeigt den Vergleich zum neuen Ansatz. Empa 97 geht gegenüber SLIP im relevanten Geschwindigkeitsbereich von 0 bis 2 dB(A) höheren Quellenwerten aus.

Vergleich mit der RLS 90

Die RLS 90 gilt in Deutschland seit 1990 als verbindliche Richtlinie für den Lärmschutz an Strassen. Als Quellenmodell werden separat für Personenwagen und Lastwagen Emissionswerte angegeben. Bild 12 zeigt, dass die RLS 90 Lastwagen im Vergleich zu Empa 97 im Geschwindigkeitsbereich unter rund 70 km/h etwa 1 dB(A) lauter sind, die Personenwagen dagegen werden im Empa 97 etwa 2 dB(A) lauter angesetzt.

Fazit

Der vorgestellte neue Quellenansatz für Strassenverkehrslärm Empa 97 basiert auf aktuellen Vorbeifahrtmessungen in 7,5 m Abstand. Die verwendete Beschreibungsgrösse des maximalen FAST-bewerteten Vorbeifahrtpegels hat sich als sehr robust und einfach anwendbar erwiesen. Der Vergleich mit anderen Modellen zeigt, dass die neuen Quellenwerte tendenziell etwas höher liegen. Dies ist ein Indiz, dass die Fahrzeuge in den letzten zehn Jahren nicht leiser geworden sind, sondern vermutlich vor allem im Bereich des Reifengeräusches (breitere Reifen, schwerere Fahrzeuge) eher an Lärm zugelegt haben. Die Empa 97 Messungen basieren auf einer definierten Bodensituation mit im wesentlichen harter Oberfläche. Dies kann gegenüber anderen Quellenansätzen ebenfalls zu etwas erhöhten Werten führen. Die neue Quellenbeschreibung mit getrennter Formulierung der Antriebs- und Rollgeräuschkomponenten erlaubt eine elegante Modellierung der Einflussparameter Steigung und Fahrbahnbelag, indem jeweils nur die verantwortliche Geräuschkomponente angepasst wird.

Adresse des Verfassers:
Kurt Heutschi, dipl. El.-Ing. ETH, Dr. sc. techn., Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf

Anmerkungen

[1] Lärmschutzverordnung (LSV) vom 15. Dezember 1986

[2] *Graf H.*: Höhenverteilung von Lastwagenlärm, Fortschritte der Akustik, DAGA 98, Zürich 266-267 (1998)

[3] Richtlinie für den Lärmschutz an Strassen, RLS-90. Der Bundesminister für Verkehr, Abteilung Strassenbau, Deutschland, 1990