Dr. Dirk Windelberg
AG Qualität
Leibniz Universität Hannover
Mathematik

Schienenmalus zu lärmsensibler Tageszeit

Dirk Windelberg, Hannover

Zusammenfassung Es wird als „normal“ angesehen, wenn Pegel, die bezüglich ihrer Einwirkzeit (etwa) gleich lang und in ihrer Frequenzzusammensetzung etwa gleich verteilt sind, mit steigendem Schalldruckpegel auch zunehmend lästig werden.

Seit vielen Jahren wird die Lästigkeit von beliebigen Schienenfahrzeugen mit der Lästigkeit von beliebigen anderen Straßenfahrzeugen verglichen. In der 16. BImSchV wird festgeschrieben, dass „zur Berücksichtigung der geringeren Störwirkung des Schienenverkehrslärms gegenüber dem Straßenverkehrslärm“ eine Korrektur „um minus 5 dB“ („Schienenbonus“) anzuwenden ist.

Hier wird eine allgemeine mathematische Beschreibung einer „Lästigkeitskurve“ angegeben und auf die Ergebnisse des Forschungsverbundes „Leiser Verkehr“ aus dem Jahr 2004 angewandt. Es ergibt sich, dass zu einer „lärmsensiblen“ Tageszeit (zwischen 18 und 22 Uhr) Straßenverkehrslärm nur so lästig ist wie um 16 dB erniedrigter Schienenverkehrslärm und daher für diese Zeit ein „Schienenmalus“ von 16 dB sinnvoll wäre.

Malus for annoyance of rail-traffic-noise during noise-sensitive daytime

Summary If we consider two sound pressure levels p_1 and p_2 with $p_1 < p_2$ which operate similar in time and in sound, then it is “usual” that we expect $A(p_1) < A(p_2)$, if $A(p_1)$ is the annoyance of p_1 (resp. $A(p_2)$ the annoyance of p_2) and if $A = 5$ means “extremely” and $A = 1$ means „not at all“ annoying. In the literature, there is no problem to decide that passenger car and goods car have similar sound, but it is a problem to decide if the sound of rail-traffic is “similar” to the sound of road-traffic - or if it is not. In Germany, a “Schienenbonus” of 5 dB is used, because “the annoyance of rail-traffic-noise is less than the annoyance of road-traffic-noise”.

In this essay a general mathematical description of an “annoyance-curve” is introduced. Using the results of the report “Leiser Verkehr” (2004) it is shown that during a “sound-sensitive” daytime (from 06 to 10 pm) we find out that the moderate annoyance of road-traffic-noise is 16 dB more than the moderate annoyance of rail-traffic-noise; that means a ”Schienenmalus” of 16 dB would be helpful.

Ideale Lästigkeitskurve

Zur Beschreibung der Lästigkeit von Verkehrslärm wird oft eine 5-stufige Lästigkeitsskala (A=5: äußerst, A=4: stark, A=3: mittelmäßig, A=2: etwas, A=1: überhaupt nicht) verwendet, während Schalldruckpegel meist in dB oder dB(A) angegeben werden.

Ein Zusammenhang zwischen Schalldruckpegel und Lästigkeit lässt sich durch eine einfache Kurve beschreiben (siehe auch Windelberg in [3]):

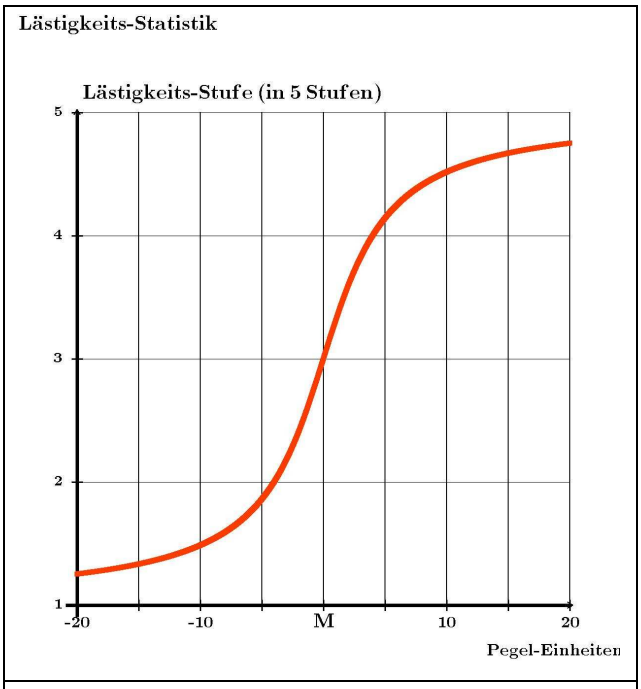

Bild 1: Ideale Lästigkeitskurve

Prinzipiell wird hier die Lästigkeit $A_{m,f}(p)$ eines Pegels p durch die

„mittelmäßige Lästigkeit *m*“ und die „Lästigkeitssteigung *f*“

beschrieben, für die folgender Zusammenhang gilt:

$$A_{m,f}(p) := 3 + \frac{4}{\pi} \cdot \arctan((p-m)\cdot f)$$

In Bild 1 wurde $m = M$ und $f = 0.25$ gewählt.

Wenn Befragungen zur Lästigkeit einer Verkehrslärm-Art bei verschiedenen Immissionspegeln durchgeführt werden, kann eine Lästigkeitskurve $A_{m,f}(p)$ bestimmt werden, die dadurch definiert ist, dass die Summe der Abstandsquadrate zu den erfragten Messpunkten $(p, A_{m,f}(p))$ minimal ist. Die mittelmäßige Lästigkeit *m* charakterisiert dann die Lästigkeit dieser Verkehrslärm-Art.

Tageszeitabhängige Verkehrslärmbelastung

Hier wird für Straßenverkehrslärm die

Lästigkeit $A_{eq,A,Straße,zeit}$ bei einem A-bewerteten Stundenpegel $L_{eq,A,Straße,zeit}$

von Straßenverkehrslärm während einer Zeit *zeit*

bzw. für Schienenverkehrslärm die\\

Lästigkeit $A_{eq,A,Schiene,zeit}$ bei einem A-bewerteten Stundenpegel $L_{eq,A,Schiene,zeit}$

von Schienenverkehrslärm während einer Zeit *zeit*

auf der Grundlage der Untersuchung des Forschungsverbundes „Leiser Verkehr“ ([2]) für die Zeit von 18 bis 22 Uhr ($zeit = 18-22$) untersucht, indem die Ergebnisse der Befragungen zunächst sowohl für Straßen- als auch für Schienenverkehrslärm durch ideale Lästigkeitskurven approximiert werden. In einem weiteren Abschnitt werden die beiden Kurven dann miteinander verglichen.

Straßenverkehrslärm in der Zeit von 18 bis 22 Uhr

Zu der Lästigkeit von Straßenverkehrslärm wurden im Rahmen des o.g. Forschungsverbundes an vier Orten an 3 aufeinanderfolgenden Tagen Befragungen sowie Lärmmessungen durchgeführt.

Während der Zeit von 18 bis 22 Uhr ergab sich in [2] folgende Tabelle:

Pegel in dB(A)	35	40	45	50	55	60	65	70
Belästigung von 18 bis 22 Uhr	1.70	1.70	1.70	1.55	1.75	1.80	2.20	2.30

Tabelle 1: Mittelwerte der Lärmbelästigung durch Straßenverkehrslärm
(Lästigkeit in Stufen 1 bis 5 nach Abbildung 5.12 aus [2])

Zu Tabelle 1 betrachten wir Bild 2:

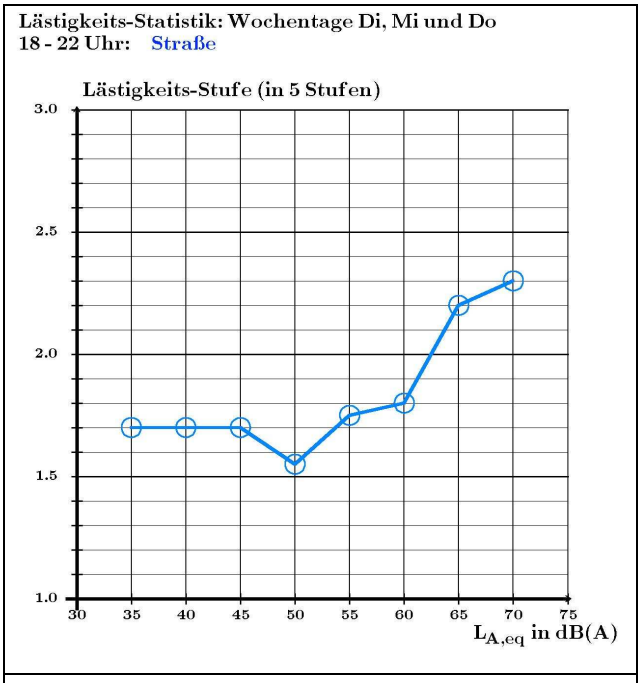

Bild 2: Lästigkeit (5-stufig) von Straßenverkehrslärm

Es fällt auf:

- der Mittelungspegel $L_{eq,A,Straße,18-22} = 45\ dB(A)$ führt zu der Lästigkeit $A_{eq,A,Straße,18-22} = 1.70$
- der Mittelungspegel $L_{eq,A,Straße,18-22} = 50\ dB(A)$ führt zu der Lästigkeit $A_{eq,A,Straße,18-22} = 1.55$

d.h.: obwohl der Lärmmittelungspegel ansteigt, wird die Lästigkeit geringer.

Nach der „idealen“ Lästigkurve (Bild 1) könnte dieses Ergebnis durch unberücksichtigte Faktoren bei der Auswertung der Befragung entstanden sein.

Für eine Lästigkeitskurve

$$A_{m,f,Straße,18-22h}(p) := 3 + \frac{4}{\pi} \cdot \arctan\left(\left(p - m_{Straße,18-22h}\right) \cdot f_{Straße,18-22h}\right)$$

werden hier Parameter $m_{Straße,18-22h}$ und $f_{Straße,18-22h}$ so bestimmt, dass die Summe der Abstandsquadrate zu den 8 gemittelten Straßenverkehrs-Belästigungswerten aus Tabelle 1 minimal wird.

Für den Straßenverkehrslärm ergibt sich dann:

$$\text{Mittelmäßige Lästigkeit } m_{Straße,18-22h} = 85 \text{ dB(A)} \text{ und}$$

$$\text{Lästigkeitssteigung } f_{Straße,18-22h} = 0.044$$

d.h. ein Mittelungspegel von 85 dB(A) charakterisiert die Lästigkeit des Straßenverkehrslärms während der Zeit von 18 bis 22 Uhr.

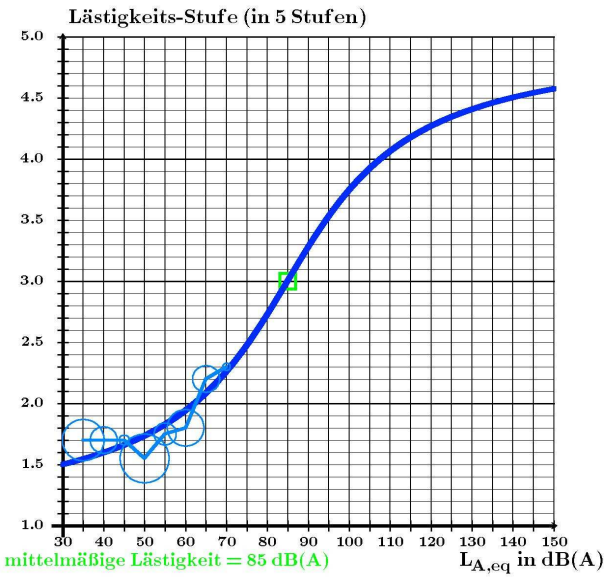

Bild 3

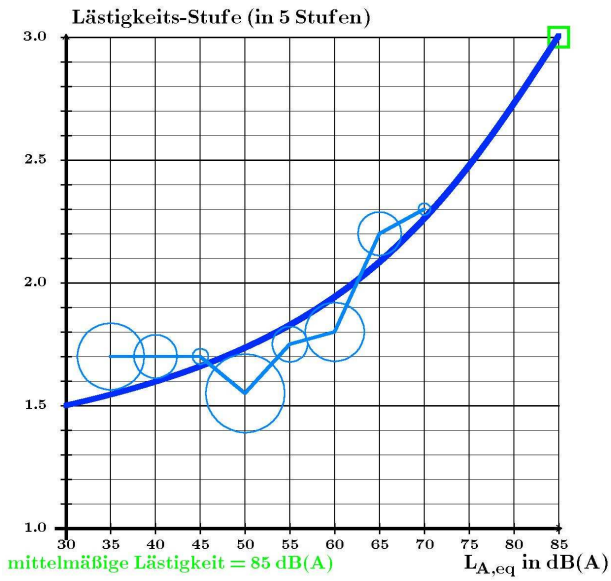

Bild 4 (Ausschnitt)

Straßenverkehrs-Belästigungskurve für die Lästigkeitswerte aus Bild 2

Schienenverkehrslärm in der Zeit von 18 bis 22 Uhr

Zu der Lästigkeit von Schienenverkehrslärm wurden im Rahmen des o.g. Forscherverbundes an zwei Orten Befragungen sowie Lärmmessungen durchgeführt.

Während der Zeit von 18 bis 22 Uhr ergab sich in [2] folgende Tabelle:

Pegel in dB(A)	35	40	45	50	55	60	65	70
Belästigung von 18 bis 22 Uhr	1.40	1.30	1.70	1.55	1.95	1.90	2.55	-

Tabelle 2: Mittelwerte der Lärmbelästigung durch Schienenverkehrslärm
(Lästigkeit in Stufen 1 bis 5 nach Abbildung 5.12 aus [2])

Zu Tabelle 2 betrachten wir Bild 5:

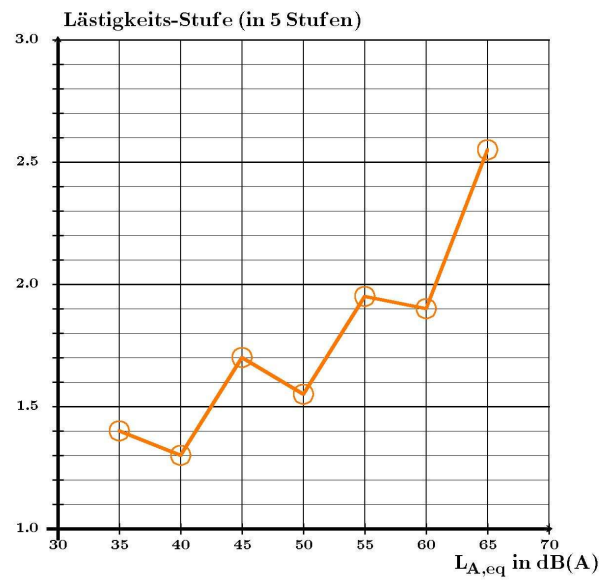

Bild 5: Lästigkeit (5-stufig) von Schienenverkehrslärm

Es fällt auf:

- der Mittelungspegel $L_{eq,A,Schiene,18-22} = 45\ dB(A)$ führt zu der Lästigkeit $A_{eq,A,Schiene,18-22} = 1.70$
- der Mittelungspegel $L_{eq,A,Schiene,18-22} = 50\ dB(A)$ führt zu der Lästigkeit $A_{eq,A,Schiene,18-22} = 1.55$

d.h.: obwohl der Lärmmittelungspegel ansteigt, wird die Lästigkeit geringer.

Nach der „idealen“ Lästigkurve (Bild 1) könnte dieses Ergebnis durch unberücksichtigte Faktoren bei der Auswertung der Befragung entstanden sein.

Für eine Lästigkeitskurve

$$A_{m,f,Schiene,18-22h}(p) := 3 + \frac{4}{\pi} \cdot \arctan\left(\left(p - m_{Schiene,18-22h}\right) \cdot f_{Schiene,18-22h}\right)$$

werden hier Parameter $m_{Schiene,18-22h}$ und $f_{Schiene,18-22h}$ so bestimmt, dass die Summe der Abstandsquadrate zu den 7 gemittelten Straßenverkehrs-Belästigungswerten aus Tabelle 2 minimal wird.

Für den Schienenverkehrslärm ergibt sich dann:

Mittelmäßige Lästigkeit $m_{Schiene,18-22h} = 69$ dB(A) und

Lästigkeitssteigung $f_{Schiene,18-22h} = 0.095$

d.h. ein Mittelungspegel von 69 dB(A) charakterisiert die Lästigkeit des Schienenverkehrslärms während der Zeit von 18 bis 22 Uhr.

während der Zeit von 18 bis 22 Uhr.

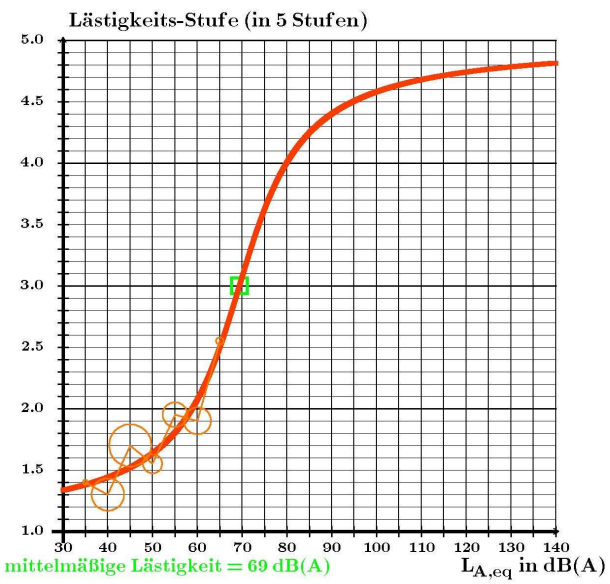

Bild 6

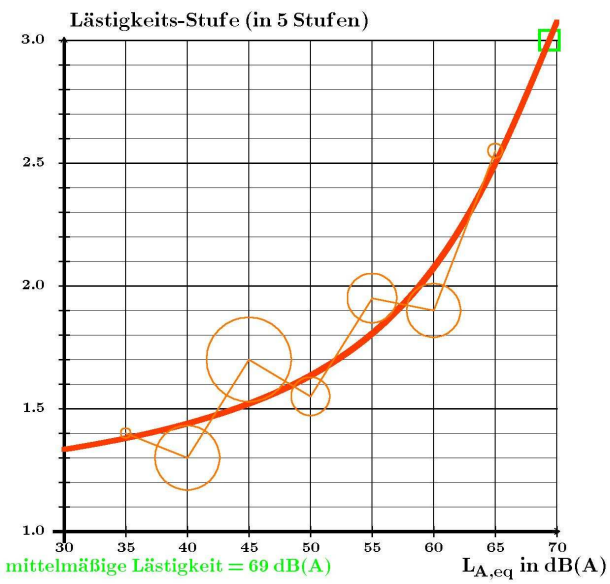

Bild 7 (Ausschnitt)

Schienenverkehrs-Belästigungskurve für die Lästigkeitswerte aus Bild 5

Straßen- und Schienenverkehrslärm (18-22 Uhr)

Hier wird versucht die Frage zu beantworten, wodurch sich in der Zeit von 18 bis 22 Uhr der

„mittelmäßig lästige Straßenverkehrslärm-Stundenpegel“

von dem

„mittelmäßig lästigen Schienenverkehrslärm-Stundenpegel“

unterscheidet. Nach dem zuvor angewandten Verfahren wird zu den jeweiligen Befragungen (oder deren Mittelwerten) die zugeordnete Lästigkeitskurve bestimmt. Die „mittelmäßige Lästigkeit *m*“ beschreibt dann den Pegel, bei dem die Lästigkeit „mittelmäßig“ ist.

Hier werden zunächst die Mittelwerte der Befragungen zu den Mittelwerten der Stundenpegel dargestellt:

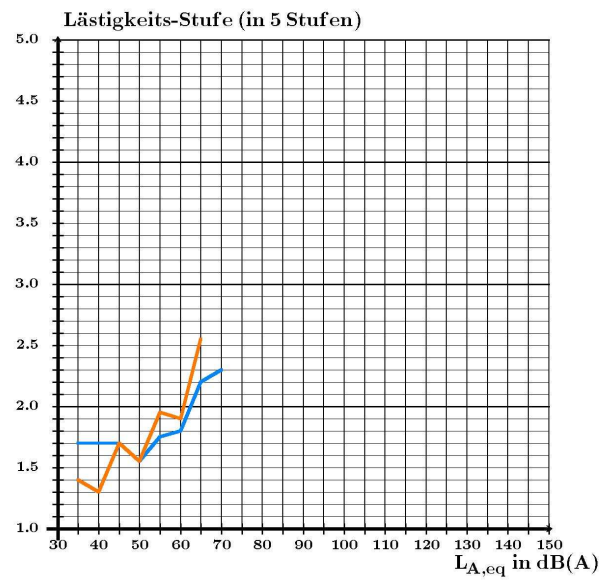

Bild 8

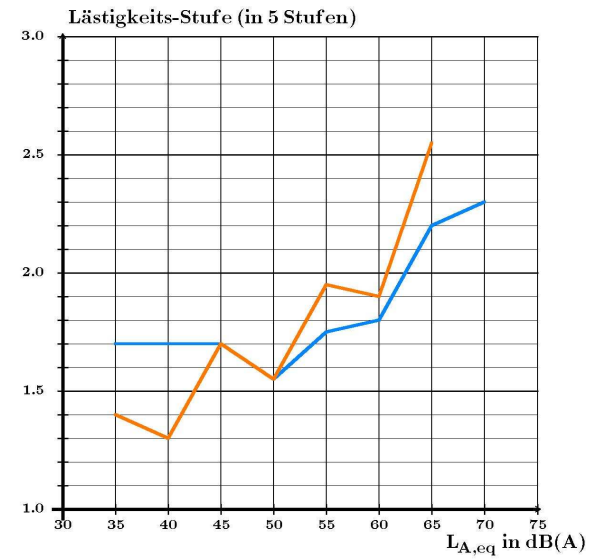

Bild 9 (Ausschnitt)

Lästigkeit in Abhängigkeit von der Lärmbelastung durch Schienen- und Straßenverkehrslärm

Die daraus jeweils berechneten Lästigkeitskurven lassen sich in den folgenden Bildern vergleichen:

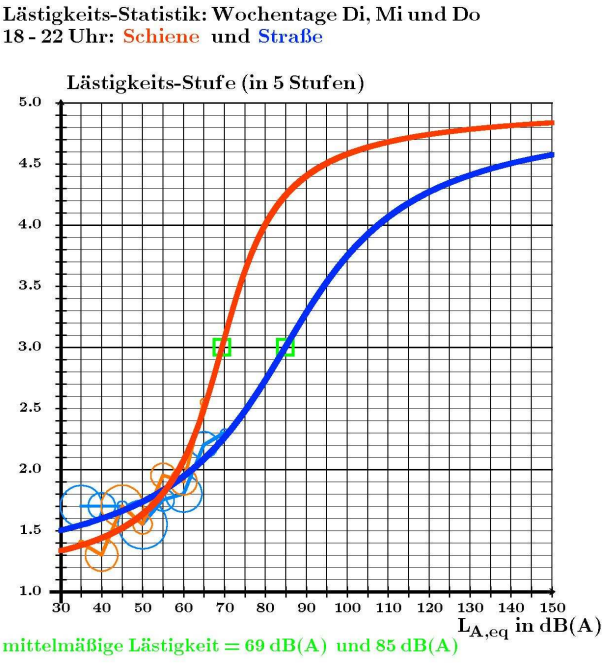

Bild 10

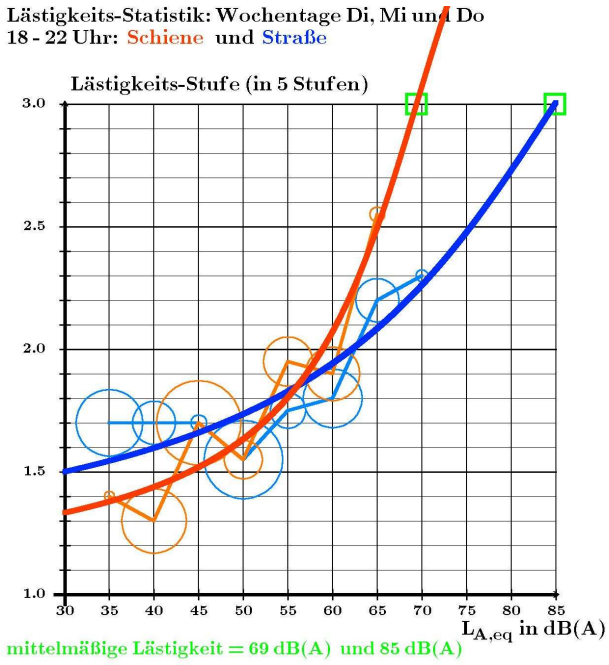

Bild 11 (Ausschnitt)

Schienenverkehrslärm wird bei 69 dB(A) als „mittelmäßig lästig“ empfunden
Straßenverkehrslärm wird bei 85 dB(A) als „mittelmäßig lästig“ empfunden

Im Hinblick auf den in der 16. BImSchV ([1]) angegebenen „Schienenbonus“ wäre es sinnvoll, für die in dem Bericht „Leiser Verkehr“ ([2]) als „lärmsensible Tageszeit“ bezeichnete Zeit (von 18 bis 22 Uhr) einen „Schienenmalus“ einzuführen:

Schienenmalus S=16dB(A)

Zusammenfassung

Der im Jahre 1990 in der 16. BImSchV ([1]) angegebene „Schienenbonus“ ist zumindest in der (Tages-)Zeit von 18 bis 22 Uhr falsch, da zu dieser Zeit Schienenverkehrslärm als „gleich lästig“ mit Straßenverkehrslärm empfunden wird, wenn

- der Stunden-Mittelungspegel des Schienenverkehrslärms

um 16 dB(A) niedriger ist als

- der Stunden-Mittelungspegel des Schienenverkehrslärms

d.h. für diese Zeit gilt ein Schienenmalus von 16 dB.

Der Tageszeitraum von 18 bis 22 Uhr ist nach [2] als „lärmsensible“ Tageszeit zu betrachten und bedarf damit besonderer Berücksichtigung bei der Bewertung der Lärmbelastung während des Tages.

Literatur:

[1] 16. BImSchV: Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung) vom 12. Juni 1990.

[2] Forschungsverbund „Leiser Verkehr“: Bundesministerium für Forschung und Technologie: Forschungsverbund 'Leiser Verkehr', Bereich 2000 'Lärmwirkungen', Einzelvorhaben 2131: Lärmbelästigung durch Straßen- und Schienenverkehr in Abhängigkeit von der Tageszeit. (Förderkennzeichen 19U2062D) vom Dezember 2004.

[3] Windelberg, Dirk: Lästigkeit und Schienenbonus. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 42 (1995), 42-49.

Dr. rer.nat. Dirk Windelberg

Institut für Algebra, Zahlentheorie und Diskrete Mathematik an der Leibniz Universität Hannover.

windelberg@math.uni-hannover.de