



# Lärm-Messung und -Bewertung

Beginn: 1993

Projektdauer: 1996 - heute.

Projektleitung: Dr. rer. nat. Dirk Windelberg

## Ziele

Die klassischen Ansätze zur Lärm-Messung (*Barkhausen*, *Zwicker*) dienen der Absicht, die subjektiv empfundene Lästigkeit und die medizinisch festgestellte Gefährdung bzw. Schädigung durch Lärm zu beschreiben. Hier sollen zusätzliche Parameter beschrieben werden, die eine Lärm-Bewertung erleichtern. Ferner wird die Bedeutung und Zulässigkeit einer Befragung zur Lästigkeit untersucht.

## Anlaß

**Medizinisch** begründete Grenzwerte beziehen sich auf den *A-bewerteten energie-äquivalenten Dauerschallpegel* in der Einheit  $dB(A)$ . Dieser ist meßbar mit einem Schallmeßgerät, das zwei verschiedene Mittelungen vornimmt:

- einerseits die *A-Bewertung* (als Mittelung über die beteiligten Frequenzen) und
- andererseits den *Dauerschallpegel* (als zeitliche Mittelung)

**Politisch** ist es möglich, medizinisch begründete Grenzwerte für den Lärm durch Auswertung von Befragungen zu verändern: So wurden Befragungen aus den Jahren 1978 bis 1982 so interpretiert, als wenn überall Schienenverkehrslärm von 60  $dB(A)$  ebenso lästig ist wie Straßenverkehrslärm von 55  $dB(A)$ .

## Bisher wurden folgende Fragen bearbeitet:

### 0. Nomenklatur

Im Bereich der "Lärm"wirkungsforschung wird nur von Verkehrs"geräuschen" geschrieben, auch wenn "störende Geräusche" im "normalen" Sprachgebrauch als "Lärm" bezeichnet werden.

### 1. Unterscheiden sich Schienen- und Straßenverkehrslärm?

**1.1** Bezüglich des Unterschiedes zwischen **Tages- bzw. Nacht-Mittelungspegel** und **Vorbeifahrpegel** ist Schienenverkehrslärm eher mit Flugverkehrslärm vergleichbar als mit Straßenverkehrslärm. Bei vergleichenden Untersuchungen (und bei gesetzlicher Regelung) wird jedoch meist Schienenverkehrslärm mit Straßenverkehrslärm verglichen. Während bei Schienenverkehrslärm hohe Vorbeifahrpegel auftreten (die wegen längerer Lärmpausen zu niedrigen Mittelungspegeln führen), unterscheiden sich bei Straßenverkehrslärm Vorbeifahrpegel und Mittelungspegel nur wenig. Lästigkeitsuntersuchungen, die sich auf Mittelungspegel beziehen, sind daher wenig sinnvoll. Siehe dazu

D.Windelberg: [Mathematische Verfahren zur Bewertung und zum Vergleich von Befragungen zur Verkehrslärm-Lästigkeit](#), DAGA 2010, Berlin.

**1.2** Bezüglich der **Frequenzverteilung** gibt es keinen wesentlichen Unterschied zwischen Schienen- und Straßenverkehrsgeräuschen. Siehe dazu

D. Windelberg: [Frequenzen von Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen](#), Oktober 2009

**1.3** Der **Mittelungspegel** ändert sich bei Vorbeifahrten unterschiedlicher Güterzüge (und Güterwagen) an einem festen Ort bei einem festen Gleiszustand in Abhängigkeit von dem Zustand der Räder und von den Aufbauten um bis zu 15  $dB(A)$ . Zusätzlich ändert sich der Mittelungspegel an einem festen Ort mit der Zeit in Abhängigkeit von dem Gleiszustand, der sich zwischen zwei Schleifterminen bei Güterzugverkehr um bis zu 10  $dB(A)$  verschlechtern kann.

**1.4 Typischer** Schienen- oder Straßenverkehr kann sinnvoll nur zeit- und ortsabhängig beschrieben werden (damit ist er aber nicht mehr typisch). Oft wird eine "typische" Nacht beschrieben: Es soll die anstelle jeder Nacht eines ganzen Jahres einsetzbare Nacht sein. Aber zumindest an Wochenden ist die "Nacht" meist anders als an Werktagen. - Als Zeit wird meist ein Tag (von 06:00 bis 22:00 Uhr) oder eine Nacht (von 22:00 bis 06:00 Uhr) gewählt. An einem festen Ort kann dann für jeden dieser Zeiträume ein "Ruhepegel" bestimmt werden: das ist der Pegel, der in 95% der betrachteten Zeit (also Tag oder Nacht) nicht überschritten wird.

**1.5 Die Aufweckwahrscheinlichkeit** für einen schlafenden Anlieger steigt mit der Höhe der Pegeldifferenz zwischen Ruhepegel und Vorbeifahrpegel, und diese Differenz ist bei Schienen- und Flugverkehrslärm im allgemeinen größer als bei Straßenverkehrslärm. Daher ist bei nächtlichem Güterverkehr die Nachtruhe eines Anliegers an einem Schienenverkehrsweg meist stärker gefährdet als die eines Anliegers an einer Straße.

Windelberg, D. und Vogelsang, B.: [Mathematische Aspekte der gesundheitlichen Beeinträchtigung durch transiente Geräuscheignisse auf der Grundlage von zeitlich veränderlichen Cortisol-Konzentrationen](#). DAGA '06 Braunschweig

Windelberg, D.: [Güterzug-Schallemissionen. Messung und gesetzliche Bewertung](#). Immissionsschutz 13 (2008), 193-196.

**1.6** Nachts fahren Güterzüge nicht nur am Sonntag zu anderen Zeiten als am Freitag, sondern es gibt viele "Bedarfszüge", die nicht in jeder Woche fahren, sondern nur nach "Bedarf". Jeder Güterzug, der nachts nicht fährt, führt daher zu einer geringeren Aufweckwahrscheinlichkeit.

## 2. Was ist ein "Schienenbonus"?

Zur Vermeidung von Gesundheitsgefährdung und -schädigung gibt es Grenzwerte für die (gesamte) Lärmbelastung z.B. in Wohngebieten. Werden diese Grenzwerte überschritten, so hat ein Anlieger Anspruch auf Lärmschutz. Unabhängig von dieser möglichen Gesundheitsgefährdung und -schädigung wurden Befragungen von Anliegern durchgeführt. Daraufhin und aus Kostengründen beschloß die Bundesregierung 1990 in der 16. BImSchV, dass die Bahn erst Lärmschutzmaßnahmen ergreifen muß, wenn die für Straßenverkehrslärm geltenden Grenzwerte um 5 dB(A) überschritten sind. Diese Erlaubnis für die Bahn, Lärmschutz in geringerem Masse durchzuführen als an der Straße, wird "Schienenbonus" genannt. (Auch für Anlieger an einer Trasse für den Transrapid würden [an Strecken mit Geschwindigkeiten unter 300 km/h] Lärmschutzmaßnahmen erst ergriffen, wenn sie 5 dB(A) über den Grenzwerten liegen.)

Die Einführung dieser allgemeinen Bonusregelung ist mathematisch nicht nachvollziehbar, da die verwendeten mathematischen Verfahren nicht erkennen lassen, dass ein signifikanter Unterschied zwischen

- der durch Befragung ermittelten Lästigkeit eines Tages- bzw. Nacht-Jahres-Stunden-Mittelungspegels von Straßenverkehrslärm, und
  - der durch Befragung ermittelten Lästigkeit eines Tages- bzw. Nacht-Jahres-Stunden-Mittelungspegels von Schienenverkehrslärm
- nicht erkennbar ist.

Zu diesen Problemen wurden bereits viele Publikationen geschrieben:

Windelberg, D.: [Lästigkeit und Schienenbonus](#). Zeitschrift für Lärmbekämpfung 42 (1994), 42-49.

Windelberg, D.: [Zur Gleichheit von Verkehrslärm](#). DAGA 98, 204-205.

Windelberg, D.: [Schienenbonus bei Bahn und Transrapid?](#) MNU - Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 51 (1998), 11-17.

Es gibt jedoch auch Befragungen, die zeigen, dass zu bestimmten Tageszeiten Schienenverkehrsgeräusche wesentlich lästiger sind als Straßenverkehrsgeräusche: Windelberg, D.: [Schienenmalus zu lärmsensibler Tageszeit](#). Oktober 2009, sowie

Windelberg, D.: [Grenzen der Lärmwirkungsforschung](#), Oktober 2010.

## 3. Was ist ein "Grundwert"?

Unterschiedliche Zuggattungen (wie ICE-Züge oder Güterzüge) sind nicht immer gleich laut. Aber es gibt Verfahren, nach denen verschiedene Zuggattungen, verschiedene Geschwindigkeiten, verschiedene Bremssysteme und verschiedene Zuglängen miteinander verglichen werden können. Ein solches Verfahren ist in der SCHALL 03 der Bahn beschrieben. Die Vergleichsgröße ist dann ein "Normzug", dessen Stundenpegel "Grundwert" heißt.

Nach der Schall 03 beschreibt der Grundwert den Schienenzustand: Wenn während einer Stunde nur ein einziger "Normzug" vorbeifährt, dann soll der Grundwert

bei einem "durchschnittlich guten Schienenzustand"	51 dB(A)
bei einem "besonders überwachten Gleis" ('BüG')	48 dB(A)

nicht überschreiten. Da sich der Schienenzustand jedoch infolge Verriffelung je nach Nutzung der Gleise ständig ändert (und meist verschlechtert), ändert sich auch der Grundwert und damit die Höhe des Vorbeifahrpegels jedes vorbeifahrenden Zuges. Um diese Unterschiede nicht erklären zu müssen, wird Lärm nur berechnet und (möglichst) nicht gemessen (nach der Schall 03, die eventuell demnächst eine hier [kommentierte Neufassung](#) erfährt). Wenn dennoch gemessen wird, so finden sich Hinweise auf den notwendigen Umfang in der Schrift [Messungen zu nächtlichem Schienenverkehr](#) sowie in der Schrift [Aufweckreaktionen und Verkehrslärm](#).

Die Messung des Grundwertes (und damit des Schienenzustandes) erfordert die Messung

- a) des Vorbeifahrpegels eines Zuges,
- b) der Länge des (Güter-)zuges,
- c) der Geschwindigkeit
- d) der Fahrbahnart

Aus diesen Parametern kann - bei Kenntnis des Messortes und der Zuggattung - der Grundwert nach der Schall 03 berechnet werden.

#### 4. Gleispflege

Es wird angenommen, daß an Personenzugstrecken die Lärmbelastung gemindert werden kann, wenn die Schienen *hinreichend oft* "akustisch" geschliffen werden. (Bei Güterzügen, bei denen die Räder durch Klotzbremsen verriffelt sind, wirkt sich akustisches Schleifen auf den Vorbeifahrpegel fast nicht aus.)

Wird ein Gleis nur selten geschliffen, so gibt es Stellen, an denen der Mittelungspegel infolge der Verriffelung um 20 dB(A) höher ist als bei der Berechnung der Lärmbelastung geplant. Wenn die zur Lärmbelastung vorausberechneten Werte mit der Realität (ungefähr) übereinstimmen sollen, so darf der Grundwert bei einem "durchschnittlich guten Schienenzustand" 51 dB(A) nicht überschreiten; bei einem 'BüG' muß der Grundwert unterhalb von 48 dB(A) liegen.

Zur Zeit kann dieser Grundwert nur durch einen "Schallmeßzug" der Bahn bestimmt werden; es gibt genau einen solchen Zug für ganz Deutschland. Dieser Zug mißt während der Vorbeifahrt mit einem Mikrophon zwischen zwei Rädern den eigenen Schallpegel. Aus diesem Schallpegel wird dann der Grundwert des Schienenzustandes berechnet.

Es wurde in einem Forschungsprojekt der AG Qualität eine "ideale Verriffelungskurve" modelliert und für diese angegeben, wie ein Eingriffs-Zeitpunkt bestimmt werden kann ("Eingriffswert"), d.h. zu dem der Schleifzug bestellt werden muß. (Dieser Eingriffswert ist nicht von der Zeit, sondern von der Belastung abhängig: bereits ein einzelner Zug kann ein Gleis sehr stark verriffeln.) Dieses Forschungsprojekt ist inzwischen abgeschlossen; ein [Ergebnisbericht](#) liegt vor.

Zur Zeit ist nur für ein BüG vorgeschrieben, dass dieses alle 6 Monate durch den Schallmeß-

zug befahren wird und dabei der Grundwert bestimmt wird. Das Eisenbahnbundesamt (EBA) erhält die Meß-Ergebnisse des Schallmeßzuges. Ein Anlieger an einem BüG kann daher beim EBA nachfragen, ob an seinem Grundstück der Grundwert noch unterhalb der Grenze von 48 dB(A) liegt (Leider erhält er im allgemeinen keine Antwort!).

Für ein normales Gleis wird der Schienenzustand nicht bestimmt, da die Bahn zu einer Fahrt des Schallmeßzuges auf einem normalen Gleis nicht verpflichtet ist - und damit dafür auch nicht bezahlt wird. Ein Anlieger an einem normalen Gleis weiss also nicht, ob - und gegebenenfalls wann - der Grundwert an seinem Grundstück unterhalb der Grenze von 51 dB(A) liegt oder lag. Es kann daher sein, dass dieser Grundwert von 51 dB(A) z.B. um 20 dB(A) überschritten ist - und damit auch jeder Vorbeifahrpegel etwa um 20 dB(A) höher ist als der bei der Berechnung der Lärmbelastung angenommene Vorbeifahrpegel. Es gibt Bestrebungen, wenigstens für Wohngebiete einen "Eingriffswert" festzulegen, damit insbesondere bei nächtlichem Güterverkehr die Vorbeifahrpegel unterhalb vorgegebener Grenzen liegen - aber die Bahn unterstützt diese Bestrebungen nicht.

Für einen Anwohner an einer Schienenstrecke ist es wichtig, die Einhaltung des maximalen Grundwertes zu kontrollieren. Dazu wäre es wünschenswert, wenn zu jeder Zeit für jeden Grundstücksabschnitt die jeweilige Verriffelung der Gleise abfragbar wäre - wie z.B. die Ozonwerte der Luft. Sinnvoll wäre eine kontinuierliche (neutrale) Meßstelle, an der die jeweilige Lärmbelastung infolge einer Zugvorbeifahrt dokumentiert wird.

Windelberg, D.: *Lärmbelästigung durch ungepflegte Gleise* Immissionsschutz 4 (2000), 134 - 140.

Windelberg, D.: *Theorie der Gleispflege*. Immissionsschutz 7 (2002), 4-8.

Kahlen, K. und Windelberg, D.: *Schienenzustand und Vorbeifahrpegel*. Immissionsschutz 8 (2003).

## 5. Mittelung von Lärm

**5.1** Zur Beurteilung einer Gefährdung oder Schädigung durch Lärm werden vom Gesetzgeber *Mittelungspegel* als Grenzwerte angegeben. Dabei wird der Lärm über sehr lange Zeiträume (tagsüber: 16 Stunden, nachts: 8 Stunden) gemittelt. Wenn dieser Mittelwert stark von den Pegeln der Einzelwerte abweicht, ist diese Beschreibung unvollständig. Dazu:

[Bild 5.1: Beispiele für nächtliche Lärmbelastung bei gleichem Mittelungspegel.](#)

[Bild 5.2: starke Abweichungen der einzelnen Schallpegel vom Mittelwert](#) (am Beispiel der Haupt-Güterumgehung Hannover).

Windelberg, D.: [Mittelwertbildung bei Lärmmessungen](#). AG Qualität, Institut für Mathematik, Universität Hannover. 21. 10. 2002.

**5.2** Insbesondere bei Flug- und Schienenverkehrslärm gibt es Ansätze, auch für die Einzelwerte jedenfalls während der Nacht Grenzen einzuführen:

Windelberg, D.: [Ein Maximalpegelhäufigkeitskriterium für nächtlichen Güterzugverkehr](#). Januar 2011

## 6. Statistische Auswertung

**6.1** Studien, die immer wieder zeigen sollen, dass Lärm krank macht, werden seit vielen Jahren in Auftrag gegeben und immer wieder bearbeitet - es gibt selten Studien, die das Gegenteil zeigen. Daher wird hier einfache Statistik verwendet, um zu zeigen, wie nahe Bestätigung und Widerspruch liegen.

Windelberg, D.: [Einfluss "vergessener" Parameter auf die Bewertung von Verkehrslärm. Mathematische Betrachtungen zu medizinischer Statistik](#). Februar 2011

**6.2** Es soll z.B. festgelegt werden, wie hoch der "Lärm von Kesselwagen" ist.

Dazu wird angenommen:

Werden die Vorbeifahrpegel von vielen "Kesselwagen" (bei 100 km/h Geschwindigkeit bei einem vorgegebenen Schienenzustand) gemessen, so sind diese Vorbeifahrpegel normalverteilt, d.h. es gibt einen "mittleren Vorbeifahrpegel  $P_K$  von Kesselwagen", und es gibt eine "Standardabweichung"  $\sigma$ , wobei (bei arithmetischer Rechnung) gilt:  
- 68 % aller Vorbeifahrpegel von Kesselwagen liegen in einem Intervall  $[P_K - \sigma, P_K +$

sigma]

- 95% aller Vorbeifahrpegel von Kesselwagen liegen in einem Intervall  $[P_K - 1.96 \cdot \sigma, P_K + 1.96 \cdot \sigma]$

- 99% aller Vorbeifahrpegel von Kesselwagen liegen in einem Intervall  $[P_K - 2.58 \cdot \sigma, P_K + 2.58 \cdot \sigma]$

Dementsprechend werden viele Vorbeifahrpegel von Kesselwagen gemessen.

Natürlich kann es sein, dass z.B. leere Kesselwagen einen anderen Mittelwert haben als gefüllte Kesselwagen - dann würde die "Verteilung der Vorbeifahrpegel von Kesselwagen" nicht "normal" sein - und damit kann weder ein Mittelwert noch eine Standardabweichung definiert werden.

Wenn jedoch geprüft ist, dass die oben genannten Voraussetzungen erfüllt sind, dann kann  $P_K$  und  $\sigma$  berechnet werden, und es kann festgelegt werden, welcher der vielen Vorbeifahrpegel als "normal" gelten soll:

a) wenn Kosten für Lärmschutz gespart werden soll, so wird  $P_K$  als "mittlerer Vorbeifahrpegel aller Kesselwagen" festgelegt.

b) wenn die lauten Züge zu Aufweckreaktionen bei nächtlichem Güterverkehr führen, charakterisiert der mittlere Vorbeifahrpegel  $P_K$  aller Kesselwagen diese Lärmsituation nicht: es ist notwendig, die konkrete Situation genau zu erfassen.

Windelberg, D. und Leydecker, F.: [Regression zur Bewertung von Schallpegeln](#). AG Qualität, Institut für Mathematik, Universität Hannover. Dezember 2000.

**6.3** Nicht nur der Lärm von vorbeifahrenden Kesselwagen variiert sehr stark, sondern grundsätzlich unterscheiden sich die Vorbeifahrpegel aller Güterwagen durch ihren Vorbeifahrpegel und durch die Frequenzverteilung. Siehe dazu den [Vortrag auf der Tagung der DAGA 2009 in Rotterdam](#) oder die Publikation [Güterzug Schall-Emission](#)

## 7. Summation von Lärm

**7.1** Die Grenzwerte zur Vermeidung von Gesundheitsgefährdung und -schädigung beziehen sich auf die gesamte Lärmbelastung, z.B. in einer Wohnung in einem Wohngebiet. Meßtechnisch (und mathematisch) ist es möglich, mehrere Einzelgeräusche zu einem Gesamtgeräusch zusammenzufassen. Aber eine nachträgliche Aufteilung eines Gesamtgeräusches in verschiedene Einzelgeräusche ist weder meßtechnisch noch mathematisch möglich. Infolge der unter 2. und 3. angegebenen Bonusregeln für die Bahn sieht die Europäische Union daher Probleme bei der Lärm-Beurteilung für einen Ort, auf den verschiedene Lärmquellen wirken. Daher wird hier vorgeschlagen, die Bonusregelung aufzuheben. Dazu:

Windelberg, D.: *Evaluation of Traffic Noise: Physical Noise Measurements versus Response of an 'Average' Population*. Euro-Noise 98 München. 601-606.

**7.2** In der "Vorläufigen Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen (VBUSch)" wurde bereits im Hinblick auf eine europaweite Vereinheitlichung ein (in der Schall 03 (1990) enthaltener) Schienenbonus nicht verwendet (siehe [www.eba.bund.de](http://www.eba.bund.de)).

In der VBUSch wurde eine Zahl LDEN, der "Tag-Abend-Nacht-Lärmindex", verwendet. Diese Zahl soll die Belästigung durch Schienenverkehrsgeräusche beschreiben; LDEN ist der Mittelwert über die Schienenverkehrsgeräusche während jedes 24-stündigen Tages innerhalb eines Jahres, wobei die Abend- und Nachtstunden jeweils besonders gewichtet werden. Das Ziel, Orte mit "gleicher" Lärmbelastung durch die gleiche Zahl LDEN zu beschreiben, läßt sich jedoch nicht erreichen. Dazu:

[Windelberg, D.: 24h-Mittelungspegel LDEN und nächtlicher Schienen-Güterverkehr](#). AG Qualität, IAZD, Leibniz Universität Hannover. April 2011.

**7.3** Beim Flugverkehr gibt es Flughäfen, an denen ein Nachtflugverbot herrscht. In Frankfurt gibt es folgenden Planfeststellungsbeschluss: Im Jahres-Mittel dürfen zwischen 23 und 05 Uhr

dürfen 17 Flugzeuge verkehren, in der Zeit zwischen 22 und 23 Uhr sowie zwischen 05 und 06 Uhr jedoch 133 Flugzeuge. Beim Straßenverkehr reduziert sich die Anzahl der tagsüber pro Stunde verkehrenden Fahrzeuge nachts an vielen Stellen auf 1/5. Beim Schienen-Güterverkehr bleibt die mittlere Belastung pro Stunde bei Tag und Nacht meist gleich. - Es gibt aber auch Städte wie Hannover, bei denen wird eine allgemeine Erlaubnis für Nachtflüge erteilt, weil der angebliche wirtschaftliche Vorteil ein höheres Gut ist als die Lärmbelastung der Bürger.

**7.4** Tagsüber leben nur wenige Menschen in ihren Wohnungen - nachts hingegen sehr viele. Es gibt am Abend eine "lärmsensible" Zeit von 18 bis 22 Uhr, an der Verkehrsgeräusche als unangenehmer empfunden werden als zwischen 06 und 18 Uhr.

**7.5** eine Mittelung über "den" Flugverkehrslärm aller Flughäfen in Deutschland beschreibt die wirkliche Lärmsituation falsch, denn es gibt Flughäfen mit Nachtflugverbot und Flughäfen ohne Nachtflugverbot. - Entsprechendes gilt für Straßen- und für Schienenverkehrslärm.

**7.6** Der 2. Entwurf für die VDI-Richtlinie 3722-2 zur Summation von Verkehrsgeräuschen von Straßenfahr-, Schienenfahr- und Flugzeugen enthält viele Argumente, die den hier beschriebenen einfachen mathematischen Anforderungen nicht genügen (siehe [Aufweckreaktionen und Verkehrslärm](#) und unten). Daher wird hier ein [vereinfachtes VDI-3722-2-Verfahren](#) angegeben, das es zulässt, für zwei Untersuchungsgebiete die Tages-Lästigkeit und die Nacht-Aufweckwahrscheinlichkeit bezüglich dieser drei Geräuschquellen miteinander zu vergleichen. Damit ist es möglich, dasjenige Gebiet zu bestimmen, das als "HotSpot" bevorzugt lärmsaniert werden sollte.

In dem 2. Entwurf für die VDI-Richtlinie 3722-2 werden

- zur Beschreibung der Lästigkeit am Tag Parabeln (erst bei Straßenverkehrslärm mit einem Jahresmittelungspegel von 98 dB werden 100% der Anwohner "sehr belästigt") und
- zur Beschreibung der Aufweckwahrscheinlichkeit bei Nacht Geraden (erst bei 175 dB werden alle Schlafenden geweckt, bei 200 dB sogar 118% aller Schlafenden!) verwendet, anstelle mathematischer Funktionen, die einerseits die Lästigkeit am Tag und andererseits die Aufweckwahrscheinlichkeit während der Nacht besser beschreiben.

Letzte Änderung: 2. Juni 2011