

www.umweltbundesamt.de

28.10.2009

# Slaapverstoring door herrie

## Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm

Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt\*

Bismarckplatz 1, D-1000 Berlin 33

Belangrijke onderzoek naar ~~de~~ fysiologische en vegetatieve invloeden, alsook sociaal wetenschappelijke of sociaaleconomische uitkomsten over slaapverstoring.

**Zusammenfassung.** Es werden wichtige, umweltbezogene Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung zur Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm zusammengestellt. Sie betreffen sowohl Untersuchungen über die physiologischen und vegetativen Auswirkungen des Lärms, als auch sozialwissenschaftliche Erhebungen über die empfundene Störung der Nachtruhe. Die Zusammenstellung bildet die Grundlage für Empfehlungen zu Zielwerten der Geräuschbelastung, bei deren Unterschreitung Schlafstörungen weitgehend vermieden werden.

### The Impairment of Sleeping by Noise

**Summary.** Important environmental related results of noise effects on the impairment of sleeping are reported. They concern with investigations of physiological and vegetative consequences of noise as well as with sociological studies about the disturbance of the night rest. This compilation is a base for recommendation of upper limit values of objective noise impact, which have to be regarded, if a disturbance of sleeping should be avoided as far as possible.

### Les Perturbations du Sommeil par Bruit

**Résumé.** On a compilé des résultats importants de la recherche sur les perturbations du sommeil par bruit. Les résultats concernent non seulement les études des effets physiologiques et végétatives du bruit, mais aussi les explorations sociologiques sur les perturbations du repos nocturne ressenties. Cette compilation est la base de recommandations en égard des valeurs limite de la charge de bruit, dont l'observation évite largement des perturbations de sommeil.

### 1 Einleitung

Für die menschliche Gesundheit hat ein ungestörter Schlaf nach allgemeiner Auffassung eine besondere Bedeutung. Obwohl sich die Forschung schon seit langer Zeit intensiv mit dem Phänomen des Schlafes befaßt, sind derzeit die Funktion und der Mechanismus des Schlafes noch nicht ausreichend bekannt.

Schlafstörungen gehören zu den häufigsten Klagen in der ärztlichen Praxis. Sie werden in vermehrtem Maße auf Umwelteinwirkungen zurückgeführt (Griefahn et al. 1978). Unabhängig von Häufigkeit oder Intensität werden sie als besonders unerwünschte, ärgerliche und nachteilige Wirkung des Lärms bewertet (Rohrmann et al. 1978; Finke et al. 1980). Auswertungen der bei kommunalen Behörden und der Industrie eingegangenen Lärmbeschwerden haben ergeben, daß etwa 50% der Fälle Schlafstörungen betreffen (Guski 1976, Häberle et al. 1979). Die Klagen beziehen sich auf quantitative und qualitative Aspekte:

- es wird zu wenig geschlafen (Einschlafschwierigkeiten, zu häufiges, zu frühes Aufwachen)
- die (Erholungs-)Qualität des Schlafes erscheint zu gering.

Man weiß heute, daß der Schlaf kein gleichbleibender Zustand ist. Es gibt vielmehr verschiedene Schlafstadien, die im Verlaufe der Nacht zyklisch durchlaufen werden. Nach typischen Merkmalen in den Aufzeichnungen der Hirnstromkurven (EEG) unterscheidet man folgende Schlafstadien:

Die Schlafstufen 1 bis 4, die nach dem Einschlafen nacheinander durchlaufen werden und in denen die Schlaftiefe zunimmt; daneben gibt es noch die Schlafstufe 1 (REM), die durch das Auftreten rascher Augenbewegungen (Rapid Eye Movement) unter geschlossenen Lidern im Schlafstadium 1 gekennzeichnet ist.

### 2 Lärmbedingte Schlafstörungen

Geräuscheinwirkungen während des Schlafes können sich direkt auswirken als *verstoring met en zonder ontwaken*

- Änderung der Schlaftiefe mit und ohne Aufwachen
- Erschwerung und Verzögerung des Einschlafens oder Wiedereinschlafens *meer typer en verhindert inslap*
- Verkürzung der Tiefschlafzeit (Stufen 3 und 4) und der Gesamtschlafzeit *kortere duur*
- vegetative Reaktionen *vegetatieve reacties*
- Minderung der empfundenen Schlafqualität. *slaap kwaliteit*

#### 2.1 Direkte lärmbedingte Schlafstörungen

Die Erkenntnisse über direkte lärmbedingte Schlafstörungen stützen sich fast ausschließlich auf Laborstudien, die wegen des hohen apparativen und zeitlichen Aufwan-

\* Mitglieder: A. W. von Eiff, K. Gösele, H. Hörmann, G. Jansen, R. Martin, B. Rohrmann, W. Schönplüg, M. Spreng

# untersuchung kurzzeitige geräusche 1-40 sec. lärddauer. Net als MST-Train.

des in der Regel nur mit wenigen Personen durchgeführt werden können. Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen die unmittelbaren Reaktionen der Schläfer auf meist kurzzeitige (weniger als eine Sekunde bis ca. 40 Sekunden) Geräusche. Untersuchungen, die den Gesamtverlauf des Schlafens in realen Umweltsituationen erfassen, sind bisher nur vereinzelt durchgeführt worden. Dies muß bei der Interpretation und Anwendung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Das Ausmaß lärmbedingter Schlafstörungen hängt nicht nur von den akustischen Eigenschaften (Pegel, Dauer, Spektrum) der Geräusche ab, sondern wird auch durch eine Reihe weiterer Faktoren bestimmt, wie z. B.

- Schlafstadium
- Alter und Geschlecht
- Informationsgehalt (Quellenart, Gewöhnung)
- physischer und psychischer Zustand.

Die Einflüsse dieser Faktoren sind meist nur qualitativ bekannt. So nimmt die Häufigkeit von Aufwachreaktionen mit zunehmender Schlaftiefe ab, die Häufigkeit von Nullreaktionen<sup>1</sup> zu. Eine Ausnahme bildet die Stufe I (REM), in der sowohl der höchste Anteil an Aufwachreaktionen als auch an Nullreaktionen auftritt. Da die Tiefschlafphasen in der zweiten Nachthälfte nur selten eintreten, ist die Reagibilität auf Geräusche in diesem Zeitraum etwas größer.

Die Reagibilität steigt mit zunehmendem Alter signifikant an. Dagegen liegen bislang noch keine gesicherten Kenntnisse darüber vor, inwieweit das Ausmaß der Schlafstörungen auch vom Geschlecht abhängt.

Besondere Bedeutung kommt dem Informationsgehalt der Geräusche zu. Wie jeder aus der eigenen Erfahrung weiß, können Geräusche mit hohem Informationsgehalt (z. B. ungewohnte Geräusche, Geräusche bestimmter Quellen) und mit hoher subjektiver Bedeutung schon bei sehr niedrigen Pegeln zum Aufwecken führen. Hierbei spielt die Gewöhnung eine große Rolle. Längerfristige Schlafstudien zeigen, daß die Häufigkeit der Aufwachreaktion auf ein bestimmtes Geräusch im Verlauf mehrerer Nächte beträchtlich abnimmt und die Zahl der Nullreaktionen zunimmt.

Auch der physische und psychische Zustand des Schlafenden kann das Ausmaß der Schlafstörungen beeinflussen. Untersuchungen ergaben, daß mit zunehmendem Grad der Ermüdung die Schlafstörungen weniger stark ausgeprägt sind. Dagegen besteht bei vielen physischen und psychischen Erkrankungen eine erhöhte Reagibilität.

Bisher wurden Untersuchungen über die Auswirkungen der Geräusche auf den Schlaf überwiegend mit Fluglärm (Überflüge, Überschallknalle) und mit künstlichen Signalen durchgeführt.

Zur physikalischen Kennzeichnung der Geräusche können sowohl der Maximalpegel  $L_{AFmax}$  (Griefahn et al. 1976) als auch Kurzzeitmittelungspegel (Lukas 1975) dienen. Langzeitmittelungspegel für die ganze Nacht dagegen eignen sich, wenn die Geräusche nur aus wenigen kurzen Einzelereignissen bestehen, nicht hierzu.

<sup>1</sup> In der neueren Literatur werden »Aufwachreaktionen« und »Nullreaktionen« unterschieden. Eine Nullreaktion liegt vor (nach Griefahn et al. 1976), wenn sich die Schlafstiefe innerhalb von 3 Minuten nach dem Schallreiz um weniger als eine Stufe ändert.

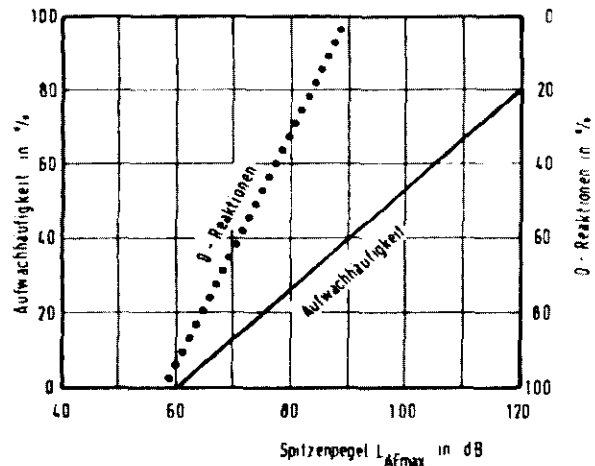


Bild 1. Aufwachhäufigkeit und Häufigkeit von 0-Reaktionen in Abhängigkeit vom Spitzenpegel bei Fluglärm

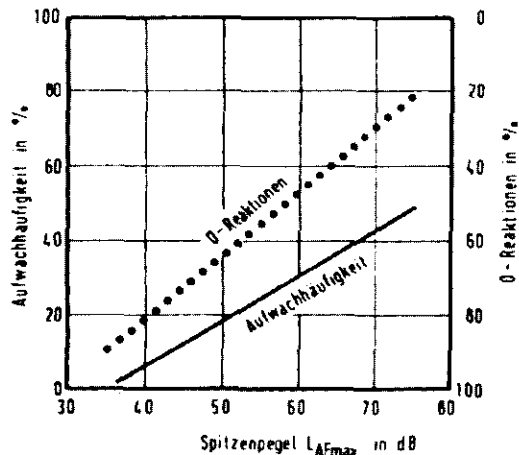


Bild 2. Aufwachhäufigkeit und Häufigkeit von 0-Reaktionen in Abhängigkeit vom Spitzenpegel bei Lkw-Lärm

Für Fluglärm und ähnliche künstliche Signale lassen sich nach Griefahn et al. (1976) und Lukas (1975) folgende Anhaltswerte für Schlafstörungen angeben (Bild 1)

bei  $L_{AFmax}$  60 (72) dB: 90 (50) % Nullreaktion.

Die Pegel sind am Ohr des Schläfers gemessen.

Untersuchungen über die Auswirkungen des Straßenverkehrslärms liegen nur in geringer Zahl vor. Nach Thiessen (1978) ergibt sich (Bild 2)

bei  $L_{AFmax}$  35 (60) dB: 90 (50) % Nullreaktionen.

Für andere Lärmarten liegen bislang keine vergleichbaren Zahlen vor. Bei stark informationshaltigen Geräuschen sind allerdings noch niedrigere Schwellenwerte als für Straßenverkehrslärm zu erwarten (Steinicke 1957).

Die unmittelbaren Reaktionen auf Geräuscheinwirkungen können zu einer Störung des gesamten zyklischen Schlafablaufs führen. Eine Felduntersuchung mit Fluglärm (Globus et al. 1973) zeigte, daß auch nach jahrelanger Exposition Schlafdauer und Schlafqualität vermin-

dert sind. In der Regel sind die Zeiten verkürzt, die in den Tiefschlafstadien und in der Stufe I (REM) verbracht werden. Ähnliche Ergebnisse erhält man auch bei Straßenverkehrslärm (Vallet 1975).

Schlafstörungen können, insbesondere bei seltenen und regelmäßigen Geräuschen, dadurch kompensiert werden, daß in ungestörten Zeiten die Tiefschlafstufen häufiger und schneller erreicht werden bzw. die Tiefschlafzeiten gegenüber ungestörten Nächten zum Morgen hin verschoben sind (Schieber et al. 1968).

Geräuscheinwirkungen während des Schlafes führen auch zu vegetativen Reaktionen. Hierbei treten ähnliche Effekte auf wie am Tage (Änderungen des elektrischen Hautwiderstandes, des Muskeltonus, der Pulsfrequenz, der Fingerpulsamplitude usw.). Allerdings liegen die Schwellenwerte zur Auslösung der Reaktion im Schlaf niedriger. Auch zeigen sich selbst in Versuchsreihen bis zu 30 Tagen kaum Gewöhnungseffekte. Bei längerem Schlafentzug wurden eine gesteigerte Produktion energiereicher Phosphate, Senkung des Eisenspiegels sowie Veränderungen der festen Blutbestandteile beobachtet (Osada et al. 1974).

Die langfristigen Folgen anhaltender Schlafstörungen sind heute noch unbekannt. Es ist nicht auszuschließen, daß bestimmte Symptome und vegetativ bedingte Krankheitserscheinungen durch die Störung der Nachtruhe ausgelöst oder verstärkt werden (Jansen 1970). Daher müssen aus heutiger Sicht bei Empfehlungen für Immissionswerte strenge Kriterien zugrundegelegt werden. Die bisher in Laborstudien gefundenen Werte können als Anhaltspunkte dienen, müssen jedoch noch in Felduntersuchungen und an einer größeren Zahl von Personen abgesichert werden.

## 2.2 Indirekte Beeinträchtigung des Schlafes

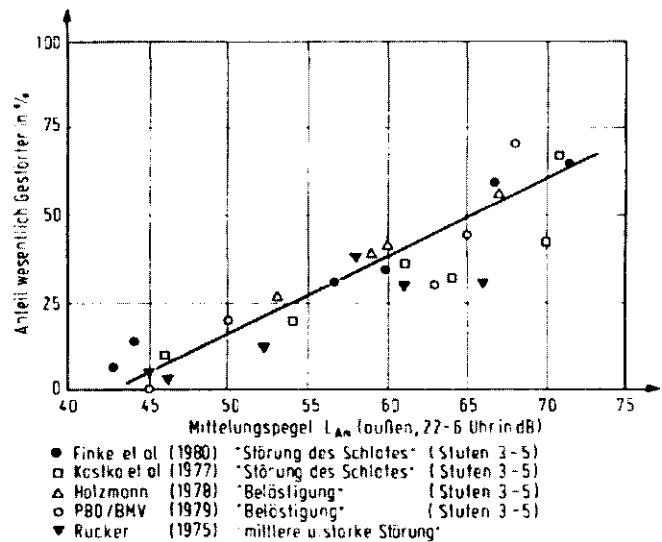
Indirekte lärmbedingte Beeinträchtigungen des Schlafes lassen sich durch Befragungen nach der empfundenen Störung der Nachtruhe ermitteln. Als Hauptgründe für die Störung werden genannt:

- Wiedereinschlafschwierigkeiten am frühen Morgen
- Einschlafschwierigkeiten am Abend
- Aufwachen in der Nacht.

Wie bei den direkten Schlafstörungen hängen die individuellen Angaben über die Gestörtheit nicht nur von den akustischen Eigenschaften der Geräusche, sondern auch von zahlreichen Faktoren im individuellen Bereich (Alter, allgemeine physische-psychische Konstitution, Einstellung zur Lärmquelle etc.) und im kontextuellen Bereich (Beziehung zur Wohnumgebung etc.) ab.

Umfangreiche sozialwissenschaftliche Untersuchungen (Rucker 1975; Lang 1975; Kastka et al. 1977; Wehrli et al. 1978; Heimerl et al. 1979; Finke et al. 1980; Kastka et al. 1981) wurden über die Auswirkungen des Straßenverkehrslärms durchgeführt.

Für Straßenverkehrslärm liegt der Schwellenwert für Störungen nachts bei Mittelungspegeln  $L_{Am}$  (außen) von ca. 45 dB. Im Bereich von 45 dB bis etwa 70 dB ergibt sich ein linearer Zusammenhang zwischen dem Prozentsatz der Gestörten und dem Mittelungspegel. Die Steigung hängt davon ab, welchen Grad der erlebten Störung man als Kriterium zugrundelegt. Faßt man die Stufen »mittel«, »ziemlich« und »sehr« zusammen (wesentliche Störung), so beträgt die Steigung im Mittel etwa 2,5% pro dB (Bild 3).



**Bild 3.** Synopse deutscher Untersuchungen zur Gestörtheit durch nächtlichen Straßenverkehrslärm. In den vier erstgenannten Studien wurde eine 5-stufige Skala verwendet

Beim Schienenverkehrslärm führen deutlich höhere Mittelungspegel zum gleichen Anteil wesentlich Gestörter. Nach den vorliegenden Untersuchungen (Heimerl et al. 1979, BMV/PBO 1979) beträgt der Unterschied im Belastungsbereich zwischen 50 und 70 dB etwa 10 dB. Die Ursache für die günstigere Beurteilung des Schienenverkehrslärms ist noch nicht erforscht. Man vermutet, daß zum einen die Zeitstruktur der Geräusche, zum anderen die Einstellung gegenüber der Lärmquelle mit dazu beitragen.

Für andere Lärmarten liegen bisher nur wenige Ergebnisse vor. Die Untersuchungen von Finke et al. (1980) bzw. von Kastka et al. (1981) deuten darauf hin, daß wenig schwankende Industriegeräusche bzw. Autobahnlärm gegenüber Verkehrslärm in Stadtstraßen bei gleichem Mittelungspegel als lästiger empfunden werden und dies auch für die Nachtzeit erlebt wird.

Die sozialwissenschaftlichen Erhebungen über Schlafstörungen haben bislang fast ausschließlich den Außengeräuschpegel als akustische Bezugsgröße gewählt. Zum Vergleich mit den Ergebnissen der Schlaforschung sind Innengeräuschpegel besser geeignet.

Hinweise auf Innengeräuschpegel geben Rucker (1975) und Langdon et al. (1977). Hiernach fühlen sich bei Straßenverkehrslärm mit Mittelungspegel von  $L_{Am}$  35 dB(A) 10% der Betroffenen wesentlich gestört.

## 3 Schlußfolgerungen

Unter Zugrundelegung strenger Kriterien werden Änderungen des normalen Schlafverhaltens durch Lärm als Schlafstörungen aufgefaßt. Schlafstörungen durch Straßenverkehrslärm werden weitgehend vermieden, wenn die Pegelspitzen (innen) 40 dB(A) (physiologische Forschung) bzw. der verkehrsbedingte Mittelungspegel (innen) 30 dB(A) (sozialwissenschaftliche Forschung) nicht überschreiten. Diese beiden Werte stehen insoweit in

Einklang, als bei Straßenverkehrsgeräuschen ein enger Zusammenhang zwischen den mittleren Spitzenpegeln und dem Mittelungspegel besteht und die Differenz in *Für andere Lärmarten* (Schienenverkehr, Flugverkehr, Industrie/Gewerbe) liegen umfassende Ergebnisse nicht vor, so daß Angaben über Schlafstörungen jeweils auf die getroffenen Aussagen im physiologischen bzw. sozialwissenschaftlichen Bereich beschränkt bleiben müssen. Zur Absicherung der Aussagen müssen in Zukunft weitere Ergebnisse gesammelt werden, die in aussagekräftigen, wenn auch aufwendigen interdisziplinären Feldstudien zu gewinnen sind.

### Schrifttum

1. BMV/PBO (Ed.): Interdisziplinäre Feldstudie über die Besonderheiten des Schienenverkehrslärms gegenüber dem Straßenverkehrslärm. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesminister für Verkehr, München 1979/80
2. Finke, H.-O.; Guski, R.; Rohrmann, B.: Betroffenheit einer Stadt durch Lärm. UBA-Forschungsbericht 80-10501301, Berlin 1980
3. Globus, G.G.; Friedmann, J.; Cohen, H.B.; Pearson, K.S.; Fidell, S.: The effects of aircraft noise on sleep electrophysiology as recorded in the home. EPA-Bericht 550/9-73-008 (1973)
4. Griefahn, B.; Jansen, G.: Schlafstörungen durch Lärm. In: Ising, H. (Hrsg.): Lärm – Wirkung und Bekämpfung. Berlin: Erich Schmidt Verlag 1978
5. Griefahn, B.; Jansen, G.; Klosterkötter, W.: Zur Problematik lärmbedingter Schlafstörungen – eine Auswertung von Schlaf-Literatur. UBA-Bericht 4/76, Berlin 1976
6. Guski, R.: Eine Inhaltsanalyse von Lärmbeschwerden, die bei Umwelttelefonen eingehen. Kampf d. Lärm 23 (1976) 119–126
7. Häberle, M.; Schmid, D.: Lärmbeschwerden transparent gemacht. Frankfurt: Verband der Chemischen Industrie 1979
8. Heimerl, G.; Holzmann, E.: Ermittlung der Belästigung durch Verkehrslärm in Abhängigkeit von Verkehrsmittel und Verkehrsdichte in einem Ballungsgebiet (Straßen- und Eisenbahnverkehr). Kampf d. Lärm 26 (1979) 64–69
9. Jansen, G.: Beeinflussung des natürlichen Nachtschlafes durch Geräusche. Forschungsbericht des Landes NRW Nr. 2131, 1–42, Köln: Westdeutscher Verlag 1970
10. Kastka, J.; Buchta, E.: Zum Inhalt der Belästigungsreaktion auf Straßenverkehrslärm. Kampf d. Lärm 24 (1977) 158–165
11. Kastka, J.; Ritterstaedt, U.: Felduntersuchung zur Störwirkung von Geräuschen unterschiedlicher Schwankungsbreite. UBA-Forschungsbericht 82-10501312, Berlin 1982 (erscheint demnächst)
12. Lang, J.: Über den Zusammenhang zwischen objektiven Meßergebnissen und subjektiv empfundener Störung von Verkehrslärm. Gutachten 3468/WS der Physikalisch-Technischen Versuchsanstalt für Wärme- und Schalltechnik, Wien 1975
13. Langdon, F.J.; Buller, J.B.: Road traffic and disturbance to sleep. J. Sound Vibration 50 (1977) 13–28
14. Lukas, J.S.: Noise and sleep: a literature review and a proposed criterium for assessing effect. J. Acoust. Soc. Am. 58 (1975) 1232–1242
15. Osada, Y.; Ogawa, S.; Ohkubo, C.; Miyazaki, K.: Experimental study on sleep interference by train noise. Bull. Inst. Pub. Health 23, 1974
16. Rohrmann, B.; Frinke, H.-O.; Guski, R.; Schümer, R.; Schümer-Kohrs, A.: Fluglärm und seine Auswirkungen auf den Menschen. Bern: Huber-Verlag 1978
17. Schieber, J.P.; Mery, J.; Muzet, A.: Etude analytique en laboratoire de l'influence du bruit sur le sommeil. Rapport du CNRS, Strasbourg 1968
18. Steinicke, G.: Die Wirkung von Lärm auf den Schlaf des Menschen. Forschungsbericht des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums NRW Nr. 416, 1957
19. Thiessen, G.: Disturbance of sleep by noise. J. Acoust. Soc. Am. 64 (1978) 216–222
20. Vallet, M.; Blanchet, V.; Bruyere, J.C.: La perturbation du sommeil par le bruit de circulation terrestre. Institute de Recherche des Transports, Bron 1975
21. Wehrli, B.; Nemecek, J.; Turrian, V.; Hofmann, R.; Wanner, H.U.: Auswirkungen des Straßenverkehrslärms in der Nacht. Kampf d. Lärm 25 (1978) 138–149

## Beïnvloeding van communicatie door herrie

**Die Beeinträchtigung der Kommunikation durch Lärm**

Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt\*, Berlin

## Communicatie van doorslaggevende betekenis

**Zusammenfassung.** Die sprachliche Kommunikation ist ein entscheidendes Mittel zur Entfaltung der Persönlichkeit und zur Auseinandersetzung mit der sozialen Umwelt. Daher ist die Sicherung einer ungestörten Kommunikation eines der wichtigsten Schutzziele der Lärmbekämpfung. In diesem Aufsatz werden wichtige, umweltbezogene Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung über die Wirkung des Lärms auf die Kommunikation zusammengestellt und entsprechende Kriterien für die Beurteilung des Lärms abgeleitet.

**Schlüsselwörter:** Ungestörte Kommunikation – Lärmwirkungsforschung – Kommunikation bei Lärm – Beurteilung des Lärm

**The disturbance of communication by noise**

**Summary.** Verbal communication is decisive for the development of the personality and for activities in the social environment. Therefore, the guarantee of undisturbed communication in one of the most important aims of noise abatement.

In this paper important environment related results about noise effects on communication are summarized and corresponding criteria for the assessment of noise are derived.

**Key words:** Undisturbed communication – research in noise effects – communication in noise conditions – assessment of noise

**La perturbation de la communication par le bruit**

**Résumé.** La communication est un moyen définitif pour le développement de la personnalité et pour la discussion avec l'environnement sociale. Pour cette raison la préservation de la communication sans être dérangé est un devoir très important de la lutte contre le bruit. Dans cette publication on a compilé des résultats importants de la recherche sur la perturbation de la communication par le bruit et on a dérivé des critères correspondants pour le jugement du bruit.

\* Der Interdisziplinäre Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen wurde 1978 vom Bundesinnenminister im Vollzug des Aktionsprogrammes »Lärmbekämpfung« gebildet. Mitglieder: A. W. von Eiff, H. Ising, G. Jansen, R. Martin, B. Rohrmann, W. Schönplflug, M. Spreng (Redaktion D. Gottlob)

**Mots clés:** Communication sans être dérangé – investigation des effets de bruit – communication au conditions de bruit – jugement du bruit

**1 Einleitung**

Die sprachliche Kommunikation ist ein entscheidendes Mittel zur Entfaltung der Persönlichkeit und zur Auseinandersetzung mit der sozialen Umwelt. Sie gründet sich auf der Fähigkeit des Menschen, Begriffe zu formen und Worte als Träger von Gedanken zu wählen. Unter diesem Gesichtspunkt ist aus humanwissenschaftlicher Sicht die Sicherung einer ungestörten Kommunikation eines der wichtigsten Schutzziele der Lärmbekämpfung.

Lärm kann die Kommunikation erheblich beeinträchtigen, da diese eng mit den Absichten und Erwartungen des Sprechenden und Hörenden zusammenhängt. Je höher die Erwartungen z. B. auf der ästhetischen und emotionalen Ebene sind, desto strengere individuelle Anforderungen können an eine ungestörte Kommunikation bestehen.

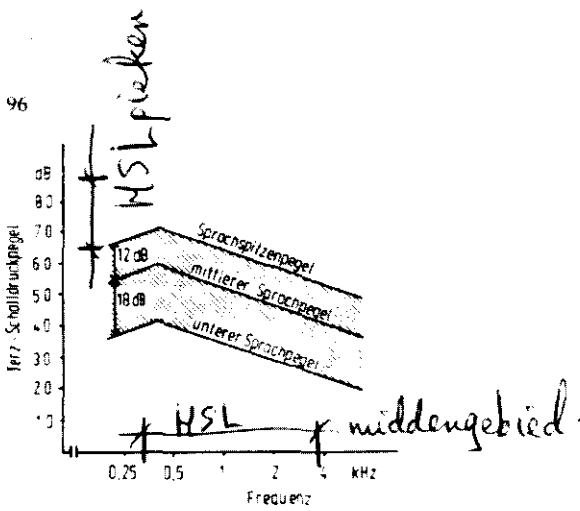
Beeinträchtigungen der Kommunikation können bei den Betroffenen zu Verärgerung, Gefährdung und Einengung der Persönlichkeitsentfaltung führen. Minderungen des Wohlbefindens sind deshalb zu erwarten.

Auch Anstrengungen zur Verringerung von Kommunikationsstörungen, wie erhöhte Aufmerksamkeit, lautes Sprechen usw. tragen zur erlebten Belästigung bei und können Streßreaktionen hervorrufen.

In dieser Zusammenstellung sollen die Auswirkungen des Lärms auf Gespräche (auch Telefonieren) und sprachgebundene Freizeitaktivitäten wie Fernsehen, Radio und Musik hören betrachtet werden (auditive Kommunikation).

**2 Forschungsergebnisse über Kommunikationsstörungen****2.1 Charakteristika der Sprache**

Die menschliche Sprache ist außerordentlich variabel bezüglich Pegelschwankungen und spektraler Zusammensetzung. Innerhalb von 1/100 bis 1/10 Sekunden können Pegelschwankungen bis zu 20 dB(A) auftreten. Man fin-



**Bild 1.** Mittlerer Sprachpegel, Sprachspitzenpegel und unterer Sprachpegel bei Terzbandanalyse; der unbewertete Kurzzeitmittelungspegel ist mit 65 dB angenommen, der entsprechende A-bewertete Pegel beträgt 62 dB

Komt de HSL overheen met 75 dB.  
 det bei Beachtung der für das Sprechen charakteristischen Stimmanhebungen und Stimmensenkungen einen Dynamikbereich der Sprache von etwa 30 dB(A) um den mittleren Sprachpegel (Bild 1). Dieser beträgt – gemessen in 1 m Abstand –

|   |                             |       |                    |   |
|---|-----------------------------|-------|--------------------|---|
| I | bei ruhiger Sprechweise     | 50    | bis 55 dB(A),      | I |
|   | bei mittlerer Sprechweise   | 55    | bis 65 dB(A),      |   |
|   | bei lauter Sprechweise      | 65    | bis 70/75 dB(A),   |   |
|   | bei sehr lauter Sprechweise | 70/75 | bis über 80 dB(A). |   |

Die Sprache umfaßt einen Frequenzbereich von 100 Hz bis ungefähr 6000 Hz. Die wichtigsten zur Spracherkennung notwendigen Frequenzen fallen in den Bereich von 300 Hz bis 3000 Hz. Verglichen mit Vokalen werden Konsonanten im allgemeinen mit etwas geringerer akustischer Energie gesprochen; sie liegen zudem in einem höheren Frequenzbereich und sind für die Spracherkennung besonders wichtig. Die Charakteristika der Sprache stellen hohe Anforderungen an die Zeitanalyseeigenschaften des Gehörs.

Zwar muß man nicht immer alle Buchstaben, Silben und Wörter hören, um den Sinn einer Mitteilung zu verstehen, da übermittelte Inhalte meist aus dem Zusammenhang oder fehlende Teile aus dem Gehörten erschlossen werden können (Redundanz). Diese Redundanz ist allerdings auch notwendig, wenn besondere Anstrengungen beim Sprechen und Hören sowie Mißverständnisse vermieden werden sollen.

**2.2 Sprachverständlichkeit**

Kommunikationsstörungen treten auf, wenn der erwünschte Schall (Sprache) durch unerwünschten Schall (Lärm) mehr oder weniger verdeckt ist. Das Ausmaß der Störung hängt vor allem von den Pegeln und Spektren der Schalle ab, aber auch

- Sprechverhalten
- Informationsgehalt des Textes
- Wissen und Intelligenz des Hörers
- Sichtkontakt (Beobachtung der Mundbewegung) spielen u. a. eine Rolle.

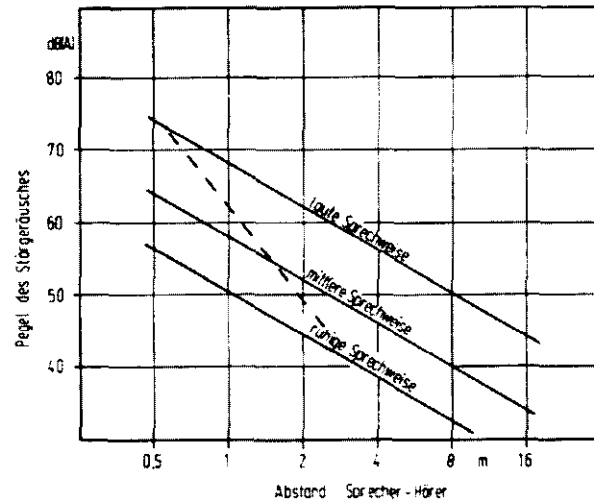
Die akustischen Bedingungen, die zu Verdeckungseffekten führen, sind weitgehend bekannt. So ist z. B. die verdeckende Wirkung von Geräuschen zu höheren Frequenzen hin stärker als zu niedrigeren Frequenzen. Ha-

ben Kommunikationsschall und Störschall etwa das gleiche Spektrum, so wird in grober Näherung der Kommunikationsschall dann unhörbar, wenn sein momentaner Pegel  $L_{AF}$  mindestens 6 dB niedriger ist als der Pegel des Störschalls. Infolge der Sprachdynamik kann bei einem gegebenen Pegel des Störschalls ein Teil der Wörter bzw. Silben noch verständlich sein, während der andere Teil bereits verdeckt ist. Dabei spielt die Verdeckung der Konsonanten für die Minderung der Verständlichkeit eine größere Rolle als die Verdeckung der Vokale. Überdies treten bei kurzzeitigen Störschallen Nachverdeckungseffekte auf, welche die zeitliche Analyse des Sprachflusses stören. Zur Messung der Sprachverständlichkeit wird der Prozentsatz richtig erkannter Silben, Wörter oder Sätze herangezogen.

**2.3 Verhaltensänderungen infolge von Kommunikationsstörungen**

Den negativen Auswirkungen des Lärms auf die Sprachkommunikation kann man durch verschiedene Verhaltensweisen begegnen: besseres Zuhören, lauterer Sprechen, Unterbrechung der Unterhaltung, Maßnahmen wie Fenster schließen u. ä.

Besseres Zuhören verlangt allerdings erhöhte Aufmerksamkeit. Hierdurch werden in der Regel die Möglichkeiten zur gleichzeitigen Bewältigung anderer Aufgaben eingengt. Wird die volle Aufmerksamkeit des Menschen von einer Arbeit gefordert, die sprachliche Kommunikation einschließt, dann ist auch eine Beeinträchtigung dieser Arbeit zu erwarten, wenn die Sprach-



**Bild 2.** Zusammenhang zwischen dem A-bewerteten Störgeräuschpegel (Kurzzeitmittelungspegel) und dem maximalen Abstand zwischen Sprecher und Hörer, bei dem eine ausreichende Sprachverständlichkeit (ca. 95% Satzverständlichkeit bzw. 70% Einsilber-Wortverständlichkeit) erzielt wird, gestrichelt: Anhebung der Stimme aufgrund der Störgeräusche angenommener Sprachpegel in 1 m Abstand:

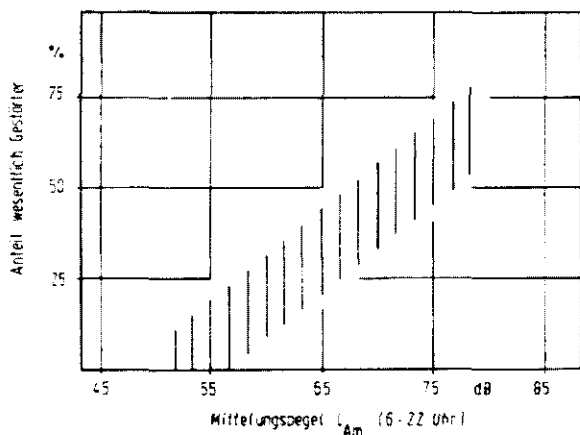
- ruhige Sprechweise 52,5 dB(A), Bereich: 50 ... 55 dB(A)
- mittlere Sprechweise 60 dB(A), Bereich: 55 ... 65 dB(A)
- laute Sprechweise 70 dB(A), Bereich: 65 ... 70/75 dB(A)

Spraakbereik = van 100 - 6000 Hz maximaal.

Belangrijkste spraakbereik = van 300 - 3000 Hz.

HST-bereik (grootste geluidsgebied) = van 300 - 4000 Hz.





**Bild 3.** Zusammenhang zwischen dem Anteil der in der Kommunikation wesentlich Gestörten und dem Mittelungspegel  $L_{Am}$ , der tagsüber außerhalb der Wohnung herrscht

kommunikation durch Lärm erschwert wird. Es können in solchen Situationen, insbesondere bei Informationsverlust, Streßreaktionen (erhöhte Müdigkeit und Spannung, Blutdruck- und Katecholaminreaktionen) auftreten.

Erhöhte Störgeräusche führen unmittelbar dazu, daß lauter gesprochen wird (Bild 2). Bei Pegeln bis zu 45 dB(A) während der Kommunikation (Kurzzeitmittelungspegel) wird die Sprechweise nicht beeinflusst. Oberhalb dieses Wertes erhöht der Sprecher den Sprachpegel im Mittel um 5 dB(A), wenn der Störgeräuschpegel um 10 dB(A) ansteigt. Bei Störgeräuschpegeln von 65 dB(A) geht der Sprecher bereits zu einer lauten Sprechweise mit teilweise verzerrter Sprache über. Diese lärmbedingte Veränderung der Sprechweise trägt sowohl beim Sprecher als auch beim Hörer stark zur Lärmbelastung bei und kann dazu führen, daß die Unterhaltung auf das unbedingt Notwendige beschränkt bleibt.

Auch die Unterbrechung der Unterhaltung bei stark schwankenden Störgeräuschen (Fluglärm, Eisenbahnlärm) und bei Maßnahmen wie Fenster schließen wird als belästigend empfunden, da bei Gesprächspartnern die Gedankenkette abreißen kann und die Kommunikation als Ganzes gestört ist.

Die genannten Verhaltensänderungen können je nach Befindlichkeit Anlaß zu größerer Aggressivität und geringerer Hilfsbereitschaft sein und Folgen für das menschliche Zusammenleben im familiären und beruflichen Bereich haben.

#### 2.4 Befunde über Kommunikationsstörungen aus Bevölkerungsbefragungen

In sozialwissenschaftlichen Untersuchungen zählen Kommunikationsstörungen zu den besonders deutlich und stark ausgeprägten Lärmwirkungen. In Bild 3 sind einige wesentliche Ergebnisse aus der Bundesrepublik Deutschland für Straßenverkehrs-, Eisenbahn- und Fluglärm zusammengefaßt.

Über dem außerhalb der Wohnung gemessenen Tagesmittelungspegel (6 bis 22 Uhr) ist der Prozentsatz der Befragten aufgetragen, die sich bei der auditiven Kommunikation mittelmäßig oder stärker gestört fühlen (wesent-

lich gestört). Der angegebene schraffierte Bereich beschreibt die zentrale Tendenz der Befunde.

Der Schwellenwert für angegebene Kommunikationsstörungen (10% wesentlich Gestörte) liegt bei 50 bis 55 dB(A). Ab einem Tagesmittelungspegel von 70 dB(A) ist mit mehr als 50% wesentlich Gestörten zu rechnen.

Kommunikationsstörungen tragen wesentlich mit dazu bei, daß bei höheren Pegeln die Fenster überwiegend geschlossen werden und die Benutzung der Außenwohnbereiche (Terrasse, Balkon, Garten) eingeschränkt wird.

### 3 Besondere Personengruppen

#### 3.1 Kinder

Ein großer Teil der Fähigkeiten der Sprachflußanalyse scheint bereits angeboren zu sein; hingegen sind der motorische Sprachapparat als auch die Worterkennung erst bei elf- bis zwölfjährigen Kindern annähernd so gut ausgebildet wie beim Erwachsenen.

Kinder können ähnlich klingende Wörter, auch aufgrund ihres noch nicht voll ausgeprägten akustischen Gedächtnisses bereits bei solchen Störgeräuschpegeln nicht mehr unterscheiden, die beim Erwachsenen keine Minderung der Sprachverständlichkeit bewirken. Daher fallen die bei Erwachsenen gewonnenen Kriterien für die Minderung der Sprachverständlichkeit für Kinder zu günstig aus, und zwar um so mehr, je jünger die Kinder sind. Weiterhin besteht der Verdacht, daß Lärm die Sprachentwicklung von Kindern negativ beeinflussen kann.

#### 3.2 Personen mit leichten und mittelgradigen Hörstörungen

Bei Hörstörungen liegt oft eine Innenohrschwerhörigkeit vor, die durch einen Hörverlust im oberen Frequenzbereich gekennzeichnet ist. Dieser kann sich je nach Schwere auch auf den mittleren Frequenzbereich erstrecken. Da viele Umweltgeräusche (Verkehrslärm) ihre Hauptanteile im unteren Frequenzbereich haben, ist die Wahrnehmung dieser Schwerhörigen in ihrem noch intakten Hörbereich besonders stark beeinträchtigt.

Die Schwellenwerte werden zudem vorübergehend durch Lärm bzw. bleibend durch die Schwerhörigkeit zu höheren Werten hin verschoben und Intensitätsunterschiede überbetont wahrgenommen. Dies bewirkt vor allem eine Erregungs- und Empfindlichkeitsüberhöhung für rasche Intensitätsänderungen, die in der Sprache typischerweise bei Konsonant-Vokalübergängen auftreten. Hierdurch können Silben völlig verfälscht wahrgenommen werden (da statt ba). Derartige Effekte können bei der Benutzung von Hörgeräten noch verstärkt werden, so daß es nicht verwunderlich ist, daß unter Lärmeinfluß viele Hörgerätebenutzer nur eingeschränkte Kommunikationsmöglichkeiten haben und resignieren. Auch für diesen Personenkreis sind daher höhere Anforderungen zur Gewährleistung einer ungestörten Kommunikation zu stellen als bei normal hörenden Erwachsenen.

### 4 Sprachbezogene akustische Kennwerte

Für die Bewertung von Sprachkommunikationsstörungen erscheint es zunächst zweckmäßig, sich auf eigens hierfür entwickelte Meßverfahren zu stützen, z. B. den

sog. Artikulationsindex oder den Sprachinterfrequenzpegel. Diese Verfahren ermöglichen eine recht zuverlässige Vorhersage der Sprachverständlichkeit. Allerdings sind sie relativ aufwendig, weil sie auf der Messung von Schallpegeln in verschiedenen Frequenzbändern beruhen. Zudem sind sie für zeitlich stark schwankende Geräusche noch nicht ausreichend angepaßt.

Für viele Umweltgeräusche, insbesondere Verkehrs- und ähnliche breitbandige Geräusche, kann auch der A-bewertete Schallpegel zuverlässige Ergebnisse für die Prognose der Sprachverständlichkeit liefern. Diese Meßgröße hat auch den Vorteil, daß sie für die Vorhersage anderer Wirkungen geeignet ist, besonders dann, wenn nur wenig schwankende Geräusche vorliegen.

Für breitbandige Umweltgeräusche (Verkehrslärm) läßt sich näherungsweise angeben, daß für Normalhörende die Sprachverständlichkeit praktisch nicht beeinträchtigt wird, wenn die Differenz zwischen den A-Schallpegeln (Kurzzeitmittelungspegel) des Kommunikationsschalls und des Störgeräusches mindestens 10 dB(A) beträgt. Diese Bedingung ist z. B. für eine mittlere Sprechweise erfüllt, wenn der Störgeräuschpegel während der Kommunikation unter 45 dB(A) liegt. Eine ausreichende Sprachverständlichkeit (ca. 95% Satzverständlichkeit bzw. ca. 70% Wortverständlichkeit für einsilbige Wörter) wird erzielt, wenn der A-bewertete Pegel des Kommunikationsschalls um 2 dB(A) größer ist als der Pegel des Störschalls.

Bei Gesprächen im Freien nimmt der Pegel des Sprachsignals etwa mit 6 dB(A) pro Abstandsverdopplung ab. Bild 2 gibt die Abstände wieder, in denen bei einem vorgegebenen Störgeräuschpegel noch eine ausreichende Sprachverständlichkeit erzielt wird.

## 5 Schlußfolgerung

Störungen der Kommunikation durch Umweltgeräusche im persönlichen Wohn- und Lebensbereich stellen eine erhebliche Beeinträchtigung dar. Die akustischen Umweltbedingungen sollten daher so gestaltet werden, daß Kommunikationsstörungen vermieden werden.

Im Wohnbereich sollte eine gute Sprachverständlichkeit nicht nur bei mittlerer Sprechweise, sondern auch bei entspannter Unterhaltung mit ruhiger Sprechweise über Entfernungen von mehr als 1 m gegeben sein.

Dies wird erreicht, wenn die Innengeräuschpegel während der Kommunikation (Kurzzeitmittelungspegel) 40 dB(A) nicht übersteigen. Für die besonders schutzbedürftigen Personengruppen und bei berechtigten höheren Erwartungen kann sich diese Grenze zu niedrigeren Werten verschieben.

Im Freien gelten an sich die gleichen Kriterien für eine ungestörte Kommunikation wie im Innenbereich. Allerdings kann in Rechnung gestellt werden, daß bezüglich der Kommunikation geringere Erwartungen herrschen als im Innenbereich.

Im Freien sollte bei mittlerer Sprechweise eine ausreichende Sprachverständlichkeit über einige Meter möglich sein. Dies wird erreicht, wenn die Geräuschpegel während der Kommunikation 50 dB(A) nicht überschreiten.

Bei Geräuschen, die sich aus lauten Einzelereignissen mit ausreichenden Pausen zusammensetzen, ist die Verlagerung der Kommunikation in die Geräuschpausen bis zu einem gewissen Grad zuzumuten.

Bei Dauergeräuschen mit Pegeln von 65 dB(A) und mehr treten Beeinträchtigungen der Kommunikation auf, die nicht mehr akzeptabel sind.

## Literatur

### Übersichtsliteratur

1. Bastenier, H.; Klosterkötter, W.; Large, J. B.: Damage and annoyance caused by noise. Commission of the European Communities EUR 5398 e 1975
2. Beranek, L. L.: Acoustics. New York: Mc-Graw-Hill 1954
3. Görlich, R.: Beurteilung der Geräuschmission (Vorschriften - Normen - Richtlinien). In: Heckl, M.; Müller, H. (Hrsg.): Taschenbuch der technischen Akustik. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1975
4. Jeffress, L. A.: Masking. In: Tobias, J. V. (Ed.): Foundations of Modern Auditory Theory. New York: Academic Press 1970
5. Kryter, K. D.: The effects of noise on man. New York: Academic Press 1970
6. Lazarus, H.: Literature review 1978-1983 in German language on noise and communication. In: Rossi, G. (Hrsg.): Proceedings of the Fourth International Congress on Noise as a Public Health Problem, Turin 1983
7. Mills, J. H.: Noise and children. A Review of literature. J. Acoust. Soc. Am. 58 (1975) 767-779
8. Pearson, K. S.; Bennett, R. L.; Fidell, S.: Speech levels in various noise environments. EPA 600/1-77-025, 1977
9. Schick, A.: Schallwirkung aus psychologischer Sicht. Stuttgart: Klett-Cotta 1979
10. Tobias, S. V.; Jansen, G.; Ward, W. D. (Hrsg.): Proceedings of the Third International Congress on Noise as a Public Health Problem, Freiburg 1978, ASHA Reports 10. Rockville: Amer. Speech and Hearing Assoc. 1980
11. Ward, W. D.: Auditory Fatigue and Masking. In: Jerger, J. (Ed.): Modern Development in Audiology. New York: Academic Press 1963
12. Webster, J. C.: The effects of noise on hearing speech. In: Ward, W. D.: Proc. Intern. Congress on Noise as a Public Health Problem. Washington: Environmental Protection Agency 1974
13. World Health Organisation: Environmental health criteria for noise. WHO Env. health criteria programme EME/EMC/WP/74.4 (1973)
14. Zwicker, E.; Feldtkeller, R.: Das Ohr als Nachrichtenempfänger. Stuttgart: Hirzel 1970

### Spezialliteratur

1. Cohen, S.; Glass, D. C.; J. E.: Apartment noise, auditory discrimination and reading ability in children. J. Exp. Soc. Psychol. 9 (1973) 407-422
2. Deutsche Forschungsgemeinschaft (Hrsg.): Fluglärmwirkungen, eine interdisziplinäre Untersuchung über die Auswirkungen des Fluglärms auf den Menschen, Boppard: Boldt 1974
3. Finke, H.-O.; Guski, R.; Rohrmann, B.: Betroffenheit einer Stadt durch Lärm. UBA-Forschungsbericht 80-105 01 301, Berlin 1980
4. French, N. R.; Steinberg, J. C.: Factors governing the intelligibility of speech sounds. J. Acoust. Soc. Am. 19 (1947) 90-119
5. Holm, V. A.; Kunze, L. H.: Effect of chronic otitis media on language and speech development. Pediatrics 43 (1969) 833-839
6. Hörmann, H.; Ortscheid, J.: Einfluß von Lärm auf Lernvorgänge verschiedener zeitlicher Erstreckung. UBA-Forschungsbericht 80-105 01 104/01, Berlin 1981
7. Ising, H.: Streßreaktionen und Gesundheitsrisiko bei Verkehrslärmbelastung. WABoLu-Berichte 2/1983, Berlin: Reimer 1983



8. ISO Technical Report 3352 / Acoustics - Assessment of noise with respect to its effect on the intelligibility of speech. 1974
  9. Kent, R. D.: Anatomical and neuromuscular maturation of the speech mechanism: evidence from acoustic studies. *J. Speech Hearing Res.* 19 (1976) 421-447
  10. Klumpp, R. G.; Webster, J. C.: Physical measurement of equally Speech-interfering Navy noises. *J. Acoust. Soc. Am.* 35 (1963) 1328-1338
  11. Kryter, K. D.: Methods for the calculation and use of the articulation index. *J. Acoust. Soc. Am.* 34 (1962) 1689-1697
  12. Lazarus-Mainka, G.; Lazarus, H.; Hörmann, H.; Schubeius, M.: Verständlichkeit von einsilbigen Wörtern und Sätzen in einer Face-to-Face Kommunikation unter Lärm. In: Schick, A. (Hrsg): *Akustik zwischen Physik und Psychologie*. Stuttgart: Klett-Cotta 1981
  13. Lazarus-Mainka, G.; Raschdorf, D.; Hörmann, H.: Subjektive Belastungseinstufung in Abhängigkeit vom Lärmpegel und von der Kapazitätsbelastung der Probanden. UBA-Forschungsbericht 80-105 01 104/02, Berlin 1981
  14. Miller, G. A.; Heise, G. A.; Lichten, W.: The intelligibility of speech as a function of the context of the test materials. *J. Psychol.* 41 (1951) 329-335
  15. Miller, J. D.: Effects of noise on people. *J. Acoust. Soc. Am.* 56 (1974) 729-764
  16. Planungsbüro Obermeyer (Projektleitung): Interdisziplinäre Feldstudie II über die Besonderheiten des Schienenverkehrs lärms gegenüber dem Straßenverkehrslärm. BMV-Forschungsbericht Nr. 70081/80. München 1983
  17. Spreng, M.: *Auswirkungen des Lärms auf das Hören*, Teil 1 u. 2. *Audiologische Akustik* 21 (1982) 66-74 u. 94-113
  18. Sullivan, B.; Charles, L. G.: A Laboratory Study of Nuisance due to traffic noise in a speech environment. Wolfson Unit, ISVR. Report to Transport and Road Research Laboratory
- Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen  
beim Umweltbundesamt  
Bismarckplatz 1  
D-1000 Berlin 33

→ Verkürzte version 10blz./0,9 MB. → Samenwalling/Conclusions.

**TEXTE 58/2003**

Totale version 81blz./22,5 MB.

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 200 51 201  
UBA-FB 000390

2003 Umweltbundesamt Nr. 58/2003.

Kennnummer 2390.

Stand: 28.10.2009, 1 Publikation.

**Bestimmung der Einfügungsdämpfung einer  
Schallschutzwand anhand von Messungen in  
derselben Messebene**

*absorbierende wanden*

von

**Bernd Barsikow  
Michael Hellmig**

Ingenieurbüro akustik-data, Berlin

2003 - bijgewerkt 7m 28-10-2009.

**Forschungsvorhaben 200 51 201: Untersuchung der abschirmenden Wirkung von Hindernissen an der Schnellfahrstrecke Hannover-Würzburg zur Weiterentwicklung der Prognoseverfahren**

**Ziele:**

Bei der Berechnung der Abschirmwirkung von Hindernissen wird in der Verkehrs-lärmschutzverordnung - 16. BlmSchV bei allen Zügen als Quellenhöhe die Schienenoberkante angenommen. Bei Zügen mit höheren Geschwindigkeiten HST-treinen ( $v > 200$  km/h) kommen zur Rad/Schiene-Geräuschquelle aber noch aerodynamische Geräuschquellen hinzu. <sup>ca. 200 km/h</sup> Ab einer bestimmten Geschwindigkeit werden diese Quellen zu den dominierenden. Bei welcher Geschwindigkeit dies zu erwarten ist, hängt einerseits von der Höhe der Emission des Rollgeräusches und andererseits von der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Emission der aerodynamischen Quellen ab. Da diese Quellen über die gesamte Zughöhe verteilt sind, ist zu erwarten, dass nach der gültigen Rechenvorschrift bei ICE-Zügen mit hohen Geschwindigkeiten die abschirmende Wirkung von Hindernissen überschätzt wird. Bei den Betroffenen wird der angestrebte Schutz nicht erreicht.

wiel stellen  
hetre spot  
tot 2,5 m h

HST-treinen  
200-300 km/h  
aerodynamica  
trein + pantograaf  
enz.

boven 200 km/h  
dominerende  
aerodynamica  
panograaf  
geluidsbron.

de huidige reken-  
voorschriften  
stellen de  
werking van  
wand en hoog-  
te wand niet gehaald.

HST metingen.

Im Rahmen des Ufoplan-Vorhabens 296 55 215 wurden bereits Messungen an bestehenden Hochgeschwindigkeitsstrecken vorgenommen. Im Vergleich zu den Ergebnissen nach den Prognoseverfahren wurden bei den schnellen Reisezügen (ICE 1 und ICE 2) geringere Einfügungsdämpfungsmaße messtechnisch ermittelt.

by snelle  
ICE's lagere  
rekenwaarden  
invoeren.

Bei den damaligen Messungen ergab sich die Schwierigkeit, dass direkte Vergleiche „ohne - mit“ Wand an ein und demselben Messort nicht realisiert werden konnten. In dem Vorhaben wurde deshalb der Weg gewählt, an unterschiedlichen Streckenabschnitten „ohne“ bzw. „mit“ Wand zu messen. Bei diesem Vorgehen sind allerdings verfälschende Einflüsse zu beachten, die sich evtl. durch die unterschiedliche Beschaffenheit der Gleise und durch unterschiedliche topografische Gegebenheiten ergeben können. Im o. a. Vorhaben wurde durch zusätzliche Messungen versucht, diese Einflüsse weitestgehend zu eliminieren.

extra metingen verricht, om verschillen/fouten weg te elimineren

Im jetzigen Vorhaben bestand die Möglichkeit, Messungen ohne die o. a. Einflüsse durchzuführen.

controle  
en aanpassing  
van de  
teken voor-  
schriften  
HST wanden

Ziel des Vorhabens ist einerseits die Überprüfung der Validität der bisherigen Ergebnisse und andererseits eine Überprüfung der Gültigkeit der Berechnungsvorschrift für die abschirmenden Wirkung von Hindernissen bei Zügen mit hohen Geschwindigkeiten.

Mit dem Vorhaben soll erreicht werden, dass beim Neubau oder der wesentlichen Änderung von Strecken mit Hochgeschwindigkeitsverkehr der Schutz der Bürger im erforderlichen Umfang entsprechend 16. BImSchV sichergestellt wird. Das Vorhaben stellt damit einen wichtigen Beitrag zum Vollzug § 43 BImSchG dar.

bescherming  
vd. burgers  
staat  
voorop.

#### Ergebnisse:

HST baan

An der Schnellfahrstrecke Hannover-Würzburg wurde die Einfügungsdämpfung einer Schallschutzwand in derselben Messebene bestimmt. Die Messungen ohne und mit Wand erfolgten im Abstand von 6 Wochen. Bei diesem zeitlichen Abstand ist eine erhebliche Veränderung des Schienenzustandes eher unwahrscheinlich. Nach der Besichtigung der Schienenfahrflächen konnte eine deutliche Verschlechterung ausgeschlossen werden, größere Veränderungen, wie z. B. Fahrflächenfehler durch defekte Räder etc., wurden nicht festgestellt. Zonder meer vergelijkbaar

op dezelfde  
locatie en  
omstandig-  
heden zonder  
en met wanden  
gemeten.

HST lijnen

Das Arbeitsprogramm umfasste Messungen mit Einzelmikrofonen. Es wurden während der beiden Messzyklen Vorbeifahrten von ICE 1/2 und Güterzügen sowie in geringerem Umfang von ICE 3 und IC-Zügen in Abständen von 7,5 m, 25 m und 50 m zur Gleismitte des Richtungsgleises Göttingen erfasst. In Tabelle 1 sind die örtlichen spezifischen Grundwerte (Diese können mit dem Grundwert von 51 dB(A) der 16. BImSchV bzw. Schall 03 verglichen werden) des 25 m-Messpunktes zusammengestellt. Zum Vergleich sind die Werte bei geschliffenen Schienen aus dem Ufo-plan-Vorhaben 296 55 215 aufgeführt.

Anm.

| Zugart             |                            | ICE 1/2  | ICE 1/2  | ICE 3 <sup>1)</sup> | Güterzug | IC-Zug |
|--------------------|----------------------------|----------|----------|---------------------|----------|--------|
|                    |                            | 200 km/h | 250 km/h | 200 km/h            |          |        |
| Ortsspezifischer   | Messung 2000               | 45,4     | 45,9     | 42,3                | 49,2     | 45,2   |
| Grundwert in dB(A) | Messung 1997 <sup>2)</sup> | 46,8     | 46,2     | -                   | 48,8     | -      |

gemiddelde specifieke basiswaarde

Tabella 1: Übersicht über die bei der Messung ohne Wand ermittelten Mittelwerte der ortsspezifischen Grundwerte in dB(A), 25 m-Messort

1) Kein Fahrzeugzuschlag berücksichtigt

2) Messort auf der der Messebene gegenüberliegenden Seite des Gleises (-25 m), Vorhaben 296 55 215

Es ist ersichtlich, dass das Gleis im Jahr 2000 in einem guten bis sehr guten Zustand war, die ortsspezifischen Grundwerte liegen z. T. deutlich unter dem Grundwert in den Berechnungsvorschriften.

zoet glad spoor.

Anm.: Der sehr geringe Wert für den ICE 3 ist auf die fehlende Berücksichtigung des Fahrzeugzuschlages zurückzuführen. Gegenüber den Vorgängern hat der ICE 3 eine völlig andere Antriebstechnik und damit auch eine andere Ausstattung mit Radabsorbern. Nur die Räder der nicht angetriebenen 4 Wagen eines Halbzuges sind mit Radabsorbern bestückt. Die Räder der 4 angetriebenen Wagen haben Radscheibenbremsen. Insgesamt wäre eher ein  $D_{Fz} = -3$  dB(A) für diesen Zug gerechtfertigt, allerdings unter der Voraussetzung, dass bei den eingesetzten Radabsorbern die gleiche Minderung wie die bei dem ICE 1/2 nachgewiesen wurde. Bei einer Bewertung der o. a. Werte ist weiterhin zu berücksichtigen, dass bei den Messungen der ICE 3 nur mit Geschwindigkeiten bis max. 200 km/h, der zur Zeit der Messungen zulässigen Höchstgeschwindigkeit für diesen Zug, der ICE 1/2 aber bis max. 250 km/h (1 Zug mit  $v = 270$  km/h) verkehrte, so dass hochliegende Quellen nicht in gleichem Maße erfasst wurden.

waarden hoge bronnen pantograaf niet in gelijke mate.

Da ein Korrekturwert  $D_{Fz} = -4$  dB(A) aufgrund der Veränderungen gegenüber den Vorgängern nicht gerechtfertigt wäre, wurde er deshalb vom Auftragnehmer nicht berücksichtigt. Er spielt bei der Ermittlung der Einfügungsdämpfung für die einzelne Zugart auch keine Rolle.

pantograaf niet beoordeeld

Die abschirmende Wirkung der Schallschutzwand wurde anhand von Einzahlwerten (Vorbeifahrpegeln, örtlichen spezifischen Grundwerten), Verläufen der A-bewerteten Schalldruckpegel der Vorbeifahrt der Züge, Schmalband- und Terzspektren beurteilt. Abschließend erfolgte ein Vergleich der gemessenen Einfügungsdämpfung mit Ergebnissen eines Vorschlags für eine neue Berechnungsvorschrift, die im Ufoplan-Vorhaben 296 55 215 entwickelt wurde.

In der nachfolgenden Tabelle 2 ist die Wandwirkung (basierend auf den örtlichen spezifischen Grundwerten) bei den einzelnen Zugarten aufgeführt. Zum Vergleich sind die Rechenwerte nach der 16. BImSchV sowie die Ergebnisse aus dem Vorhaben 296 55 215 eingefügt.

| Zugart               | $\Delta L_{\text{rechnet}}$<br>in dB(A) | $\Delta L_{\text{gemessen}}$<br>in dB(A) |                       |                     |      |                            |
|----------------------|---|--|-----------------------|---------------------|------|----------------------------|
|                      |   | ICE 1/2<br>(200 km/h)                    | ICE 1/2<br>(250 km/h) | ICE 3<br>(200 km/h) | IC   | Güterzug<br>(110-120 km/h) |
| Messabstand<br>7,5 m | 12,9                                    | 10,9<br>(11,8)                           | 9,1<br>(11,4)         | 12,8                | 14,9 | 16,6<br>(17)               |
| Messabstand<br>25 m  | 10,5                                    | 7,7<br>(7,4)                             | 6,3<br>(7,5)          | 10,3                | 10,9 | 12,5<br>(12)               |
| Messabstand<br>50 m  | 9,2                                     | 7,2<br>(7,3)                             | 6,0<br>(7,6)          | 10,0                | 10,7 | 12,2<br>(11,8)             |

verschied  
± 3,5 dB

Tabelle 2: Schallschutzwand bei Northeim, nach 16. BImSchV berechnete Einfügungsdämpfungen und Mittelwerte der gemessenen Einfügungsdämpfungen

(Werte in Klammern: Ergebnisse der Messungen an geschliffenen Schienen im Jahr 1997, Vorhaben 296 55 215)

Höhere trainsnelheid, mindere wanddemping!

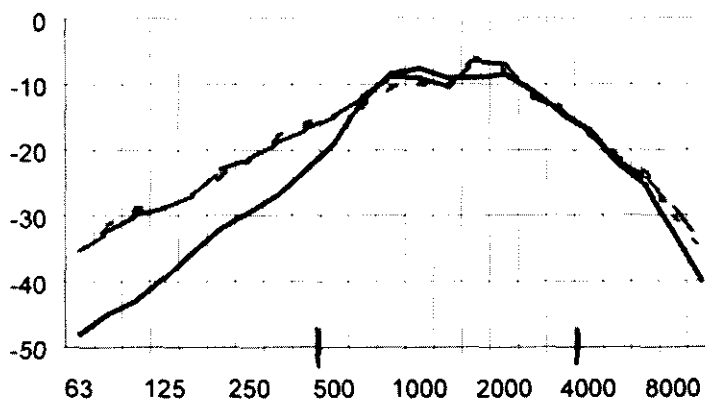
- Die abschirmende Wirkung der Wand wird bei ICE 1/2-Vorbeifahrten mit zunehmender Geschwindigkeit der Züge geringer. Bei den ICE 1/2 wurde bereits bei Geschwindigkeiten von  $v = 200$  km/h eine gegenüber dem Rechenwert geringere Wirkung (ca. 2-3 dB(A)) der Wand ermittelt, bei einer Geschwindigkeit von 250 km/h z. T. bis ca. 4 dB. Werte bei  $v = 280$  km/h konnten aufgrund der sehr geringen Anzahl von Fahrten mit dieser Geschwindigkeit nicht ermittelt werden. Die zunehmende Dominanz der hochliegenden aerodynamischen Schallquellen wird bei höheren Geschwindigkeiten zu einer weiteren Verringerung der Wandwirkung bei diesen Geschwindigkeiten führen.
  - 200 km/h  $\sim$  3 dB
  - 250 km/h  $\sim$  4 dB
  - 300 km/h?
- Bei dem ICE 3 wurden bei Geschwindigkeiten  $v = 200$  km/h annähernd die Rechenwerte nach den Prognoseverfahren erreicht. Die Unterschiede der Einfügungsdämpfungen zwischen den Vorbeifahrten von ICE 1/2 und ICE 3 bei der gleichen Geschwindigkeit ( $v = 200$  km/h) deuten darauf hin, dass
  - hohe hogere (hoogste) de geluidbron de sterkere schermwerking (pantograaf ± 95 dB)

durch konstruktive Änderungen (Lüfter befinden sich nicht mehr im oberen Fahrzeugbereich) beim ICE 3 geringere Emissionen erreicht wurden. Hochliegende Schallquellen (<sup>pancotaaf</sup>Stromabnehmer, Aufbauten im Bereich der Wagenübergänge) sind wahrscheinlich erst bei höheren Geschwindigkeiten pegelrelevant. Ihr Einfluss muss bei den geplanten Geschwindigkeiten ( $v = 300 \text{ km/h}$ ) n.t.b. durch weitere Messungen ermittelt werden.

- Bei Güterzügen wurde am Messort Northeim eine gegenüber dem Rechenwert um 2 bis ca. 4 dB(A) höhere Wandwirkung ermittelt.

Die Untersuchungen bestätigen die deutlich geringere abschirmende Wirkung von Schallschutzwänden bei schnellen Zügen. *Slechte wandwerking, ook goederen TGV's*

Bild 1 zeigt beispielhaft Spektren von ICE 1- und ICE 3- Vorbeifahrten mit  $v = 200 \text{ km/h}$  und von Güterzügen mit  $v = 120 \text{ km/h}$  während der Messung ohne Schallschutzwand. Anhand der Spektren sind die ermittelten unterschiedlichen Wandwirkungen für die einzelnen Zugarten nicht erklärbar. Die Spektren der beiden ICE-Typen insbesondere unterscheiden sich nur unwesentlich. Geringe gesamtpegelrelevante Differenzen sind nur im Frequenzbereich von 630 Hz bis 1 kHz festzustellen. Die Unterschiede in den Einfügungsdämpfungsmaßen sind auf den Einfluss von Quellen zu suchen, die sich im oberen Fahrzeugbereich befinden und z. T. erst bei höheren Geschwindigkeiten pegelrelevant werden.



*Wanden hebben hoogstwaarschijnlijk eigen zeer specifieke eigenschappen en werking die bepaald zijn voor de verschillen per treintype!*

*Ieder product heeft een eigen karakteristiek!*

Bild 1: Gemittelte relative A-bewertete Terzspektren von ICE 1-, ICE 3- und Güterzugvorbeifahrten bei freier Schallausbreitung, Messentfernung 25 m

— Güterzug  
 .... ICE 1  
 --- ICE 3

Anhand der Verläufe der A-bewerteten Schalldruckpegel bei der Vorbeifahrt der Züge ohne und mit Schallschutz werden ebenfalls die Unterschiede in der abschirmenden Wirkung bei den verschiedenen Zugarten deutlich (Anlagen 1 bis 3). Während bei Güterzügen die abschirmende Wirkung über die gesamte Zuglänge (Anlage 1, Bild 30 und 31 des Abschlußberichtes, Fahrzeugkoordinate 0 bis 488 bzw. 534 m) nahezu in gleicher Höhe vorhanden ist, werden bei Vorbeifahrten des ICE 1/2 geringere Minderungen im Bereich der Triebköpfe sichtbar (Anlage 2, Bilder 24 und 25 des Abschlußberichtes, Maximum etwa Fahrzeugkoordinate 10 und 340 m). Anlage 3 enthält die Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels während der Vorbeifahrt des ICE 3 (Bild 28 des Abschlußberichtes) Es sind auch hier geringere Wandwirkungen am Zuganfang und -ende zu erkennen. Dies deutet auf den Einfluss der Stromabnehmer hin, die sich auf dem 2. und vorletzten Wagen (Einsystem-Zug) befinden. Allerdings sind die Pegelerhöhungen in diesem Bereich im Vergleich zu den Pegeln der übrigen Fahrzeuge des Zuges deutlich geringer als beim ICE 1/2.

invloed  
aandrijving  
zichtbaar

invloed locatie  
panograaf is  
meetbaar.

ICE hogere waarde

Auch aus den Vergleichen der Verläufe der A-bewerteten Schalldruckpegel bei Vorbeifahrten der verschiedenen Zugarten ohne und bei Vorhandensein einer Schallschutzwand werden die Unterschiede in der abschirmenden Wirkung der Wand deutlich. Durch die Wirksamkeit hochliegender Schallquellen verringert sich die Wirkung der Wand bei ICE-Zügen im Vergleich zu Güterzügen.

werking met  
of zonder wand  
of hoge wand  
is gemeten.

Im Vorhaben 296 55 215 wurde ein Vorschlag für Änderungen im geltenden Berechnungsverfahren erarbeitet. Die Emission wurde zusätzlich zur Quelle im Rad/Schiene-Bereich (mechanisch) durch zwei aerodynamische Quellen mit unterschiedlicher Höhe über Schienenoberkante (SO), einem entsprechenden Geschwindigkeitsexponenten  $\alpha$  und einem Grundwert gekennzeichnet und die Gleichung zur Berechnung des Abschirmmaßes geändert bzw. erweitert, Trennung in mechanische und aerodynamische Anteile, s. Tabelle 3 und Gleichungen (1) und (2).

onderscheid  
aandrijvingen  
en  
aerodynamica

boven en onder  
ca. 2,5 m breedtehoogte.

2 geluids emissie bronnen.



wielen  
 rangen enz.  
 trein/pantograaf

| Geräuschkomponente   | Grundwert [dB(A)] | D <sub>FZ,me</sub> [dB(A)] | Geschwindigkeitsexponent α <sub>A</sub> | Höhe des Emissionsortes über SO [m] |
|----------------------|-------------------|----------------------------|---|-------------------------------------|
| Mechanisch           | 51                | - 5 <sup>2)</sup>          | 2                                       | 0,0                                 |
| aerodynamisch (tief) | 25                | -                          | 5                                       | 0,0                                 |
| aerodynamisch (hoch) | 30 <sup>1)</sup>  | -                          | 5                                       | 4,5                                 |

<sup>1)</sup> Korrekturterm für die Länge entfällt bei dieser Geräuschkomponente  
<sup>2)</sup> Abweichung gegenüber bisheriger Vorschrift (- 4 dB(A))

Tabelle 3: Angaben zu den Geräuschkomponenten für den ICE 1/2 einer korrigierten Version des Berechnungsverfahrens nach 16.BImSchV bzw. Schall 03 (Vorhaben 296 55 215)

$$D_{e,k,me} = (10 \log (3 + 120 * Z_{k,me} * K_{w,k,me}) + D_{BM,k,me}) \quad \text{dB(A)} \quad (1)$$

$$D_{e,k,ae} = (10 \log (3 + 60 * Z_{k,ae} * K_{w,k,ae}) + D_{BM,k,ae}) \quad \text{dB(A)} \quad (2)$$

In Tabelle 4 sind für den ICE 1/2 die gemessenen Werte für die Einfügungsdämpfung denen mit der modifizierten Version des Berechnungsverfahrens ermittelten gegenübergestellt. Nur für den Immissionsort 7,5 m ist eine gute Übereinstimmung gegeben. An den beiden anderen Immissionsorten wird die Wandwirkung mit dem modifizierten Verfahren auch noch überschätzt. Die Abweichungen sind möglicherweise auf den sehr guten Schienenzustand bei den Messungen zurückzuführen, der im Vorschlag nicht berücksichtigt ist.

aangepaste  
 goede rekenmethode  
 rekenmethode  
 nog steeds  
 onjuist

| Zugart        | Einfügungsdämpfung in dB(A) |           |                    |           |                    |           |
|---------------|-----------------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|
|               | ICE 1/2 (200 km/h)          |           | ICE 1/2 (225 km/h) |           | ICE 1/2 (250 km/h) |           |
| Immissionsort | gemessen                    | berechnet | gemessen           | berechnet | gemessen           | berechnet |
| Abstand 7,5 m | 10,9                        | 10,7      | 9,9                | 9,8       | 9,1                | 9,0       |
| Abstand 25 m  | 7,7                         | 9,3       | 6,9                | 8,5       | 6,3                | 7,8       |
| Abstand 50 m  | 7,2                         | 8,1       | 6,6                | 7,3       | 6,0                | 6,8       |

Tabelle 4: Schallschutzwand bei Northeim, Mittelwerte der gemessenen sowie nach dem modifizierten Rechenverfahren (s. Tabelle 3) berechnete Einfügungsdämpfungen

- oude rekenmethode
- theorie
- praktijkmetingen 7
- angepaste rekenmethode
- praktijkmetingen → anders dan theorie/onvoldoende  
 ↳ aanpassen 2<sup>e</sup> keer.

rekening houden met 2 geluidskronen geeft betere afstemming.

Mit der Berücksichtigung zweier zusätzlicher Schallquellen beim ICE 1/2 im Berechnungsverfahren wurde bei hohen Geschwindigkeiten eine bessere Übereinstimmung zwischen rechnerisch und messtechnisch ermittelten Einfügungsdämpfungen erreicht. Es konnte gezeigt werden, dass Verbesserungen durch relativ einfache Modifizierungen der geltenden Berechnungsverfahren möglich sind. Die noch vorhandenen Überschätzungen sind möglicherweise auf eine unzureichende Berücksichtigung des Schienenzustandes zurückzuführen. Weitere Modellrechnungen sind erforderlich.

huidige  
overschalling

Eine endgültige Anpassung der Berechnungsverfahren der 16. BImSchV bzw. Schall 03, auch für andere Züge, z. B. den ICE 3, erfordert sicher noch weitere Modellrechnungen. Die Ergebnisse dieses und des Vorhabens 296 55 215 sind dazu eine sehr gute Grundlage.

**Zusammenfassung** Conclusie: Pomping warden veel te rookkleurig.

Mit diesem Vorhaben konnte durch umfangreiche Messungen nachgewiesen werden, dass die abschirmende Wirkung von Schallschutzwänden bei Reisezügen ICE mit hohen Geschwindigkeiten z.T. wesentlich geringer als bei Güterzügen ist. Im Vergleich zu Rechenergebnissen nach den Prognoseverfahren der Verkehrslärmschutz-Verordnung (16. BImSchV) bzw. der Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen (Schall 03) wurden bei schnellen Reisezügen (ICE 1/2) bis 5 dB(A) geringere Einfügungsdämpfungsmaße messtechnisch ermittelt. Die Betroffenen werden an Strecken mit Hochgeschwindigkeitsverkehr nicht ausreichend geschützt. Bei den anderen Zugarten stimmen Messung und Rechnung gut überein.

tot 5 dB  
gemiddeld.

onvoldoende  
bescherming.

Über die Aufgabenstellung hinaus enthält der Bericht Informationen, die bei einer Novellierung der Prognoseverfahren genutzt werden können, z.B. Geschwindigkeitsabhängigkeit der Zugarten (Beispiel s. Anlage 4),  $D_{BM}$ -Korrektur, Emissionspegel der verschiedenen Zugarten bei einem sehr guten Gleiszustand.

Bladde reflecterende schermen zeer veel slechter, "verergeren" de situatie. Geen afscherming, smoren de herrie niet.

Mit dem Vorhaben konnte weiterhin gezeigt werden, dass bei Abschirmungsuntersuchungen, bei denen Messungen in derselben Messebene (Vorher-Nachher-Messungen) nicht durchgeführt werden können, unbedingt zusätzliche Daten (Pegel von Referenzmikrofonen an den Messorten „ohne“ und „mit“, Rauigkeitsspektren, etc.) erhoben werden müssen, um verlässliche Aussagen zu erhalten.

veel meer data  
meten en bepalen,  
vóórdat men de juiste  
berekeningen/uitkomsten  
kan vertrouwen!

→ Verkorte versie 14 blz. / 0,13 MB. → Samenstelling Conclusies.

**TEXTE 59/2003**

Totale versie 379 blz. / 62,4 MB.

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 296 55 215  
UBA-FB 000283/1-4

Kennummer 2391.

2003 Umweltbundesamt Nr. 59/2003.

Stand: 28.10.2009, 1 Publikation.

**Abschirmung von Schallschutzwänden bei Abschirmung door  
Hochgeschwindigkeitszügen geluidswanden bij HST-treinen**

**Bericht 1 - 4**

(ICE tot 280 kmh)  
praktijkonderzoek.

[www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien)

Kennummer & Suchwoord = 2391.

Bericht 1, Arbeitspaket 1, Messserie 1:  
Einzelmikrofon-Messungen bei ungeschliffenen Schienen

Bericht 2, Arbeitspaket 1, Messserie 2:  
Einzelmikrofon-Messungen bei geschliffenen Schienen

Bericht 3, Arbeitspaket 2:  
Array-Messungen

Bericht 4, Arbeitspaket 3:  
Modellrechnungen und Vorschläge zur Modifikation der Schall 03

von

Martin Klemenz  
Michael W. Hansen (nur Bericht 1 + 2)  
Bernd Barsikow

Ingenieurbüro akustik-data, Berlin

Conclusie:

Praktijk ± 6 dB(A) slechter  
dan theorie/berekening vooraf.

opgave fabrikant?

2009 Umweltbundesamt Dessau-Rosslau.

Onderzoek 2005 bijgewerkt t/m 28-10-2009.

Forschungsvorhaben 296 55 215: Weiterentwicklung der Prognoseverfahren der Prognoseverfahren – Abschirmung bei Hochgeschwindigkeitszügen

Geluidwering bij Hoge Snelheids Treinen.  
(Lijnen/spoor)

Ziele:

Die im Juni 1990 in Kraft getretene Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV enthält einerseits Grenzwerte und andererseits regelt sie das Verfahren zur Ermittlung der Immissionen.

Das Beurteilungsverfahren für den Schienenverkehr stützt sich auf Ergebnisse umfangreicher Emissions- und Ausbreitungsmessungen in den 80er Jahren. Bei der Berechnung der Abschirmwirkung von Hindernissen, die als Lärmschutzmaßnahme

auf dem Ausbreitungsweg dienen, wird bei allen Zügen als Quellenhöhe die Schienenoberkante angenommen. Basis dieser Festlegung ist die Erkenntnis, dass bei den Geschwindigkeiten bei den damaligen Messungen, Reisezüge verkehrten

mit Geschwindigkeiten bis max. 200 km/h, größtenteils bis 160 km/h, Güterzüge bis ca. 100 km/h, die Emission im wesentlichen durch das Rollgeräusch (Abstrahlung

der Räder und der Schienen) bestimmt wird. Bei Zügen mit höheren Geschwindigkeiten ( $v > 200$  km/h) kommen zur Rad/Schiene-Geräuschquelle noch aerodynamische Geräuschquellen hinzu. Ab einer bestimmten Geschwindigkeit

werden diese Quellen zu den dominierenden. Bei welcher Geschwindigkeit dies zu erwarten ist, hängt einerseits von der Höhe der Emission des Rollgeräusches (und damit vom Zustand der Radlaufflächen und Schienenoberflächen) und andererseits

von der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Emission der aerodynamischen Quellen ab. Da diese Quellen über die gesamte Zughöhe verteilt sind, ist zu erwarten, dass die Rechenvorschrift für die Abschirmung in der 16. BImSchV insbesondere bei ICE-Zügen mit hohen Geschwindigkeiten zu hohe Pegelminderungen liefert, die in der Praxis nicht erreicht werden. Bei den Betroffenen wird der angestrebte Schutz nicht erreicht.

In praktijk niet gehaald, beoogde ~~af~~ afscherming onvoldoende. Mit dem Vorhaben soll erreicht werden, dass beim Neubau oder der wesentlichen Änderung von Strecken mit Hochgeschwindigkeitsverkehr der Schutz der Bürger im erforderlichen Umfang entsprechend 16. BImSchV sichergestellt wird. Das Vorhaben stellt damit einen wichtigen Beitrag zum Vollzug § 43 BImSchG dar.

Ziel des Vorhabens ist ein Vorschlag für eine Berechnungsvorschrift für die Abschirmwirkung von Hindernissen bei Hochgeschwindigkeitszügen als Grundlage

Nieuwe berekeningsmethodieken (en onderzoeken) voor dimensionering van geluidsschermen.

Ingevoerde regelgeving 1990.

Gebaseerd op omvangrijke metingen 80er jaren.

à la Fyra sept. vol. rolgeluid NSL-treinen > 200 kmh

280 kmh

uitkomsten

berekening geluidsschermen voor alle treinen de bovenkant sein als hoogte!

boven 200 kmh aerodynamisch geluid treinen en pantograaf.

↓ bij 300 kmh overheersend.

einer Novellierung der Prognoseverfahren (16. BImSchV, Schall 03) auf der Basis von Modellrechnungen und Vergleichen mit Ergebnissen von *in situ*-Messungen.

Dazu sind konventionelle Messungen (1 Mikrofon pro Messort) zur abschirmenden Wirkung von Schallschutzwänden unterschiedlicher Höhe bei Vorbeifahrten der verschiedenen Zugarten (ICE-, IC/IR-, RE/RB- und Güterzüge) durchzuführen.

Bei schnellen Reisezügen (ICE-, IC-Zügen) sind mittels Array-Technik in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit die Geräuschquellen zu lokalisieren und ihre Emission frequenzabhängig zu erfassen.

### Ergebnisse:

Für die Messungen mit Einzelmikrofonen wurden zwei verschiedene Strecken der DB AG ausgewählt, um einen möglichst großen Geschwindigkeitsbereich der schnellen Reisezüge (bis 280 km/h) zu erfassen und die Ergebnisse mit anderen Zugarten vergleichen zu können. Die Messungen erfolgten gleichzeitig in einer Messebene mit freier Schallausbreitung und einer Messebene mit einer Schallschutzwand. Die Messorte wurden so ausgewählt, dass in den beiden Messebenen (ohne und mit Wand) gleiche betriebliche Bedingungen (Geschwindigkeit, Lüfterleistung) und möglichst geringe topografische Unterschiede gegeben waren. Die Mikrofonpositionen befanden sich in 7,5 m, 25 m und 50 m Abstand von Gleismitte. Da die Geräuschsituation an den Messorten erheblich durch den Schienenzustand beeinflusst wird, wurde jeweils zusätzlich ein Mikrofon auf der der Messebene gegenüberliegenden Seite des Gleises positioniert (-25 m). Ergänzend erfolgten Rauigkeitsuntersuchungen der Schienen. Die Notwendigkeit dieses Mehraufwandes zeigt die nachfolgende Zusammenstellung der örtlichen spezifischen Grundwerte (Diese können mit dem Grundwert von 51dB(A) der 16. BImSchV bzw. Schall 03 verglichen werden) sowie die Rauigkeits-Terzpegel in den Anlagen 1-16 (Werte unterhalb der roten Linie repräsentieren nach Weißenberger, Kurze „Experience gathered from measurements and classification of individual vehicles“, 2nd International Workshop „Abatement of Railway Noise Emissions – Freight Transport, TU Berlin, März 1998, einen optimalen Schienenzustand).

Die Messorte mit und ohne Wand unterscheiden sich hinsichtlich des Schienenzustandes. Am Messort A war er besser als ihn die 16. BImSchV (durchschnittlich

metingen  
prak tyk  
anderzoek  
tot 280 kmh  
gelijktijdig  
open veld en  
geluidswand.

ruwheid  
railspoor  
bepaald als  
inloc d geluid

gut) beschreibt. An den Messorten C und D wurde ein sehr schlechter Schienenzustand angetroffen. Die ermittelten Werte liegen weit über den Rechenwerten der Prognoseverfahren.

| Zugart          | Messorte                  |                    |                   |                   |
|-----------------|---------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
|                 | A (-25 m) mit Wand        | B (-25m) ohne Wand | C (-30m) mit Wand | D(-30m) ohne Wand |
| *               | → Ungeschliffene Schienen |                    |                   |                   |
| ICE 1 (200km/h) | 46,9                      | 53,4               | 62,8              | 59,7              |
| ICE 1 (250km/h) | 46,9                      | 52,8               | -                 | -                 |
| ICE 1 (280km/h) | 47,5                      | 52,4               | -                 | -                 |
| ICE 2 (200km/h) | -                         | -                  | 62,6              | 59,2              |
| IC              | -                         | -                  | 60,3              | 56,3              |
| RE              | -                         | -                  | 56,8              | 53                |
| GZ              | 47,7                      | 50                 | 55,2              | 51,1              |
| *               | → Geschliffene Schienen   |                    |                   |                   |
| ICE 1 (200km/h) | 46,8                      | 52,7               | 48,5              | 47,6              |
| ICE 1 (250km/h) | 46,2                      | 48,5               | -                 | -                 |
| ICE 1 (280km/h) | 46,7                      | 49,2               | -                 | -                 |
| ICE 2 (200km/h) | 50,9                      | 51,9               | 48,7              | 47,4              |
| IC              | -                         | -                  | 48,1              | 46,6              |
| RE              | -                         | -                  | 49,2              | 48,3              |
| GZ              | 48,8                      | 50,4               | 48,0              | 47,1              |

Tabelle 1: Übersicht über die an den Messorten ermittelten Mittelwerte der ortsspezifischen Grundwerte in dB(A) bei ungeschliffenen und geschliffenen Schienen

↳ ortsspezifiek basiswaarde

Durch das Schleifen der Schienen konnten an diesen beiden Messorten erhebliche Pegelreduzierungen erreicht werden. Die Rauigkeits-Terzpegel in den Anlagen 15 und 16 zeigen, dass am Messort ohne Wand fast ein sehr guter Zustand erreicht wurde (Werte unterhalb der roten Linie repräsentieren einen optimalen Schienenzustand). An den Messorten A und B konnten keine wesentlichen Änderungen aufgrund des Schleifens festgestellt werden. Nach den Anlagen 5-8 könnte dies darauf zurückzuführen sein, dass ein „Muster“ geschliffen wurde, mit Wellenlängen, die bei den gefahrenen Geschwindigkeiten relevant sind und zu keiner nennenswerten Reduzierung der Schallabstrahlung geführt haben.

Bij een goed spoor (Berkele's = nieuw en geslepen) geen invloed van opnieuw stypen!

Es wird auch deutlich, dass der Schienenzustand sich bei den verschiedenen Zugarten unterschiedlich auswirkt. Bei Zügen mit Graugussklotzbremsen (RE, GZ) sind die Differenzen der ortsspezifischen Grundwerte bei ungeschliffenen und geschliffenen Schienen am geringsten.

Nach Berücksichtigung der entsprechenden verschiedenen Korrekturen ergeben sich für die beiden Strecken die in den nachfolgenden Tabellen aufgeführten Wandwirkungen. Zum Vergleich sind die Rechenwerte nach der 16. BImSchV eingefügt.

| Zugart                             | <i>Berechnete</i><br><i>schallschutz-</i><br><i>dämpfung</i><br>$\Delta L_{\text{errechnet}}$<br>in dB(A)<br><i>wand.</i> | <i>Gemessene</i><br><i>geschwindigkeit-</i><br>$\Delta L_{\text{gemessen}}$<br>in dB(A) |                     |                     |                        |
|------------------------------------|---|---|---------------------|---------------------|------------------------|
|                                    |   | ICE 1<br>(200 km/h)   | ICE 1<br>(250 km/h) | ICE 1<br>(280 km/h) | Güterzug<br>(110 km/h) |
| Messabstand<br>7,5 m <sup>*)</sup> | 12,9  | 7,3   | 6,1                 | 5,5                 | 19,3                   |
| Messabstand<br>25 m                | 10,5  | 7,6   | 6,7                 | 5,9                 | 12,6                   |
| Messabstand<br>50 m                | 9,2   | 8,4   | 7,1                 | 6,3                 | 12,5                   |

*ca. 4 dB verschit in praktik*

Tabelle 2: Schallschutzwand bei Northeim, nach 16. BImSchV berechnete Einfügungsdämpfungen und Mittelwerte der gemessenen Einfügungsdämpfungen (Schienen ungeschliffen) *MuWe rails.*

\*) Anm.: Der Abstand 7,5 m dieser Messreihe wird in die Auswertung nicht mit einbezogen, da nach Durchsicht der Daten ein Meß- oder Auswertefehler bei der 7,5 m- Messung ohne Wand sehr wahrscheinlich ist.

| Zugart               | $\Delta L_{\text{errechnet}}$<br>in dB(A) | $\Delta L_{\text{gemessen}}$<br>in dB(A) |                     |                     |                        |
|----------------------|---|--|---------------------|---------------------|------------------------|
|                      |   | ICE 1<br>(200 km/h)                      | ICE 1<br>(250 km/h) | ICE 1<br>(280 km/h) | Güterzug<br>(110 km/h) |
| Messabstand<br>7,5 m | 12,9                                      | 11,8                                     | 11,4                | 10,2                | 17                     |
| Messabstand<br>25 m  | 10,5                                      | 7,4                                      | 7,5                 | 6,5                 | 12                     |
| Messabstand<br>50 m  | 9,2                                       | 7,3                                      | 7,6                 | 6,5                 | 11,8                   |

Tabelle 3: Schallschutzwand bei Northeim, nach 16. BImSchV berechnete Einfügungsdämpfungen und Mittelwerte der gemessenen Einfügungsdämpfungen (Schienen geschliffen) *geslepen.*



| Zugart               | $\Delta L_{\text{errechnet}}$<br>in dB(A) | $\Delta L_{\text{gemessen}}$<br>in dB(A) |                     |                  |                 |                       |
|----------------------|---|--|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------|
|                      |   | ICE 1<br>(200 km/h)                      | ICE 2<br>(200 km/h) | IC<br>(160 km/h) | RE<br>(130km/h) | Güterzug<br>(90 km/h) |
| Messabstand<br>7,5 m | 13,5                                      | 15,8                                     | 16,0                | 15,1             | 17,5            | 13,8                  |
| Messabstand<br>25 m  | 11,1                                      | 11,3                                     | 11,7                | 10,1             | 12,4            | 9,1                   |
| Messabstand<br>50 m  | 9,4                                       | 11,2                                     | 12,3                | 9,7              | 12,5            | 8,3                   |

Tabelle 4: Schallschutzwand bei Niederrodenbach, nach 16. BImSchV berechnete Einfügungsdämpfungen und Mittelwerte der gemessenen Einfügungsdämpfungen (Schienen ungeschliffen)

*Berechnend*

| Zugart               | $\Delta L_{\text{errechnet}}$<br>in dB(A) | $\Delta L_{\text{gemessen}}$<br>in dB(A) |                     |                  |                 |                        |
|----------------------|---|--|---------------------|------------------|-----------------|------------------------|
|                      |   | ICE 1<br>(200 km/h)                      | ICE 2<br>(200 km/h) | IC<br>(170 km/h) | RE<br>(140km/h) | Güterzug<br>(100 km/h) |
| Messabstand<br>7,5 m | 13,5                                      | 9,5                                      | 10,4                | 13,9             | 15,5            | 14,0                   |
| Messabstand<br>25 m  | 11,1                                      | 6,9                                      | 6,8                 | 8,2              | 9,5             | 9,4                    |
| Messabstand<br>50 m  | 9,4                                       | 7,0                                      | 8,3                 | 8,9              | 9,9             | 9,3                    |

Tabelle 5: Schallschutzwand bei Niederrodenbach, nach 16. BImSchV berechnete Einfügungsdämpfungen und Mittelwerte der gemessenen Einfügungsdämpfungen (Schienen geschliffen)

*goede (geslepen) rails  
à la B&R.*

*ca. - 3 dB  
minder demping  
vd wand*

*Noc hoger  
de snelheid  
des te minder  
de wand zijn  
werk doet.  
ca. 6 dB(A)  
slechtere  
prestatie  
vd wand.*

- \* Die abschirmende Wirkung der Wand wird bei ICE-Vorbeifahrten mit zunehmender Geschwindigkeit der Züge geringer. Bei einer Geschwindigkeit von  $v = 280$  km/h wurde gegenüber  $v = 200$  km/h eine Verringerung der Wirkung der Wand um 1 – 2 dB (A) ermittelt.
- Bei Vorbeifahrten von ICE 1 mit  $v = 280$  km/h wurden um 5,3 bis 6,8 dB(A) geringere Einfügungsdämpfungen als bei Vorbeifahrten von Güterzügen festgestellt.

*D.v. de Duitse ICE / TGV's.*

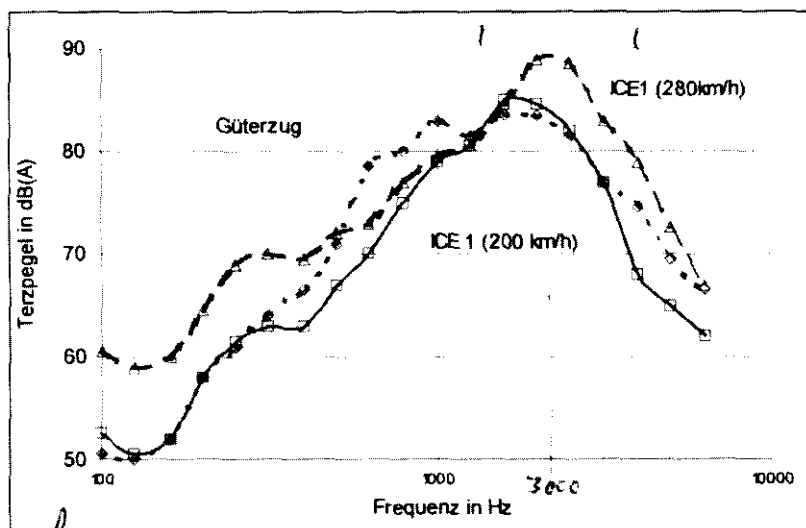
- Bei allen ICE – Geschwindigkeiten wurden am Messort Northeim eine gegenüber dem Rechenwert geringere Wirkung der Wand ermittelt. Die Unterschätzung ist, wie vermutet, bei  $v = 280 \text{ km/h}$  am größten und beträgt je nach Messabstand zwischen 2,7 und 4,6 dB(A).
- Bei Güterzügen wurde am Messort Northeim eine gegenüber dem Rechenwert um 1,5 bis 4,1 dB(A) höhere Wandwirkung ermittelt.
- Bei dem extrem schlechten Gleiszustand bei der Messung mit ungeschliffenen Schienen am Messort Niederrodenbach wurde bei allen Reisezügen eine höhere Wandwirkung als bei Güterzügen festgestellt. Die gemessenen Werte liegen bei den Reisezügen zum größten Teil über und bei den Güterzügen unter den Rechenwerten. Dies ist mit Sicherheit auf die sehr hohen Rauigkeiten zurückzuführen.
- Nach dem Schleifen wurde auch an diesem Messort bei ICE-Zügen wie am Messort Northeim eine geringere Wirkung der Wand als bei Güterzügen ermittelt.
- Die messtechnisch ermittelten Einfügungsdämpfungen liegen bei ICE-Zügen bis 4,5 dB(A) unter den rechnerisch ermittelten.
- Bei Güter- und RE-Zügen (Wagen z.T. mit Klotzbremsen) sind die Differenzen zwischen Rechnung und Messung geringer, es sind sowohl Über- als auch Unterschätzungen festgestellt worden.

Bei Zügen, bei denen der Hauptteil der Geräuschemission im Rad/Schiene-Bereich liegt, wird nach diesen Untersuchungen die Einfügungsdämpfung einer Schallschutzwand nach den Prognoseverfahren der 16. BImSchV bzw. Schall 03 ausreichend genau berechnet.

Bei Vorbeifahrten von ICE 1 und ICE 2 wird die abschirmende Wirkung einer Wand in den Prognoseverfahren überschätzt. Nur bei einem sehr schlechten Zustand der Schienen (der den Prognoseverfahren nicht zugrunde liegt) stimmen Messung und Rechnung ausreichend überein.

Bild 1 zeigt beispielhaft Spektren von ICE 1-Vorbeifahrten mit  $v = 200 \text{ km/h}$  bzw.  $280 \text{ km/h}$  und von Güterzügen am Messort Northeim ohne Schallschutzwand. Es ist zu erkennen, dass die Tendenz der ermittelten unterschiedlichen Wandwirkungen für die einzelnen Zugarten aufgrund der spektralen Unterschiede nicht erklärbar ist.

Bei einer Änderung der Geschwindigkeit des ICE 1 von  $v = 200 \text{ km/h}$  auf  $280 \text{ km/h}$  verschiebt sich das Maximum zu höheren Frequenzen. Es ist zusätzlich zwar bei tieferen Frequenzen eine Pegelerhöhung zu beobachten, die Maxima bei hohen Frequenzen, die auf Quellen im Rad/Schiene-Bereich (Eigenfrequenzen der Räder mit hohem Abstrahlgrad) zurückzuführen sind, bestimmen auch bei diesen Geschwindigkeiten an Messorten mit freier Schallausbreitung den A-bewerteten Gesamtschalldruckpegel. Bei Güterzügen ist das Maximum wesentlich breiter und zu tieferen Frequenzen verschoben. Anhand der Spektren wäre zu erwarten, dass die abschirmende Wirkung einer Wand bei schnellen Reisezügen am größten ist. Die Ursachen der Abweichungen sind im Einfluss von Quellen zu suchen, die einige Meter über Schienenoberkante liegen.



Gemittelt Spectrum.

Bild 1 Gemittelte Spektren von ICE 1- und Güterzugvorbeifahrten am Messort Northeim bei freier Schallausbreitung, Messentfernung 25m

Um die mit den Einzelmikrofonen ermittelten Pegelverläufe mit und ohne Wand mit einem Rechenprogramm simulieren und ein neues Verfahren zur Berechnung der Einfügungsdämpfung entwickeln zu können, sind Kenntnisse aller Geräuschquellen über die gesamte Zuglänge von Regelzügen hinsichtlich ihrer Lage, ihrer Emissionspegel, einschließlich der Geschwindigkeit und des Frequenzspektrums notwendig. Um die „hochliegenden“ Schallquellen des ICE 1, aber auch des ICE 2 und des IC-Zuges zu erfassen, erfolgten Messungen im Raum Northeim mit einem eindimensionalen und einem zweidimensionalen Array. Aufgrund der Mikrofonabstände ist der

auswertbare Frequenzbereich eines Arrays begrenzt. Bei dem eindimensionalen Array handelt es sich um ein Schachtel-Array (3 Unter-Arrays mit unterschiedlichen Mikrofonabständen), so dass ein Frequenzbereich von ca. 200 bis 3000 Hz erreicht wurde. Dieser ist ausreichend zur Kennzeichnung der A-bewerteten Schallemission der aerodynamischen Quellen und Lüfter. Mit diesem Array kann der Zug in der Vertikalen in einem Raster von 20 cm abgetastet werden. Es ermöglicht auch Informationen in horizontaler Richtung. Der auswertbare Abstand zweier Messpositionen beträgt aber nur 1 m. Deshalb wurde zusätzlich ein X-Array eingesetzt, das eine zweidimensionale Trennung der Quellen gestattet, in der Vertikalen ebenfalls in einem Raster von 20 cm und in der Horizontalen von 50 cm. Die Mikrofonabstände wurden so gewählt, dass ein Frequenzbereich von 280 bis 1120 Hz ausgewertet werden konnte. Dieser Frequenzbereich wird als ausreichend erachtet, da der wesentliche Frequenzbereich abgedeckt wird und die X-Array-Messungen die Messungen mit dem eindimensionalen Array hinsichtlich der besseren horizontalen Ortung ergänzen.

Insgesamt wurden 32 Vorbeifahrten analysiert, mit Geschwindigkeiten  $v = 200$  km/h 11 (darunter 2 IC), mit  $v = 250$  km/h 8 und mit  $v = 280$  km/h 13.

Die Bilder 2 und 3 zeigen beispielhaft Ergebnisse dieser Untersuchungen. In Bild 2 ist die über die gesamte Zuglänge gemittelte vertikale Pegelverteilung, die in einem Abstand von 4,87 m zur Gleismitte ermittelt wurde, dargestellt. Es deutet sich ein Maximum in einer Höhe von 4 m an. Zu beachten ist, dass nur die in einem Bereich von 2,5 bis 5,5 m über Schienenoberkante auftretenden Pegel tatsächlich auf die Abstrahlung hochliegender Quellen zurückzuführen sind. Die Pegelanstiege unterhalb von 2,5 m sind auf die Auswirkungen der Emission im Rad/Schiene-Bereich zurückzuführen, die hier nicht Gegenstand der Untersuchungen waren. Die Pegel in diesem Bereich (unterhalb 1 m) liegen erfahrungsgemäß bei diesem Abstand deutlich über 90 dB(A). Die Pegelzunahme oberhalb 5,5 m ist auf Effekte zurückzuführen, die messtechnisch begründet und erklärbar sind.

Bild 3 ist ein Beispiel für die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Pegel der hochliegenden Quellen, hier die Quelle Stromabnehmer-Fuß. Die Geraden lassen sich jeweils durch einen Pegel bei einer Bezugsgeschwindigkeit und einen Geschwindigkeitsexponenten beschreiben. Daraus kann dann der Pegel bei einer beliebigen Geschwindigkeit errechnet werden.

aerodynamica  
en licht weer  
stand (panograf)

geluidbronnen  
2,5-5,5 m boven  
de rails worden  
veroorzaakt door  
hooggelegen  
bronnen

↓  
dus schermen  
> h = 6 m

panograf  
enz. →

onder 2,5 m  
geluid van  
wielen enz.

Boven 4m' - 6m' ca. 84 - 87 dB(A) bij 280 km/h.  
 $\pm 14$  dB(A) → gat pantograaf Traxx ICEV  
 → gat aerodynamica Traxx ICEV

$h = 2,5$  m'

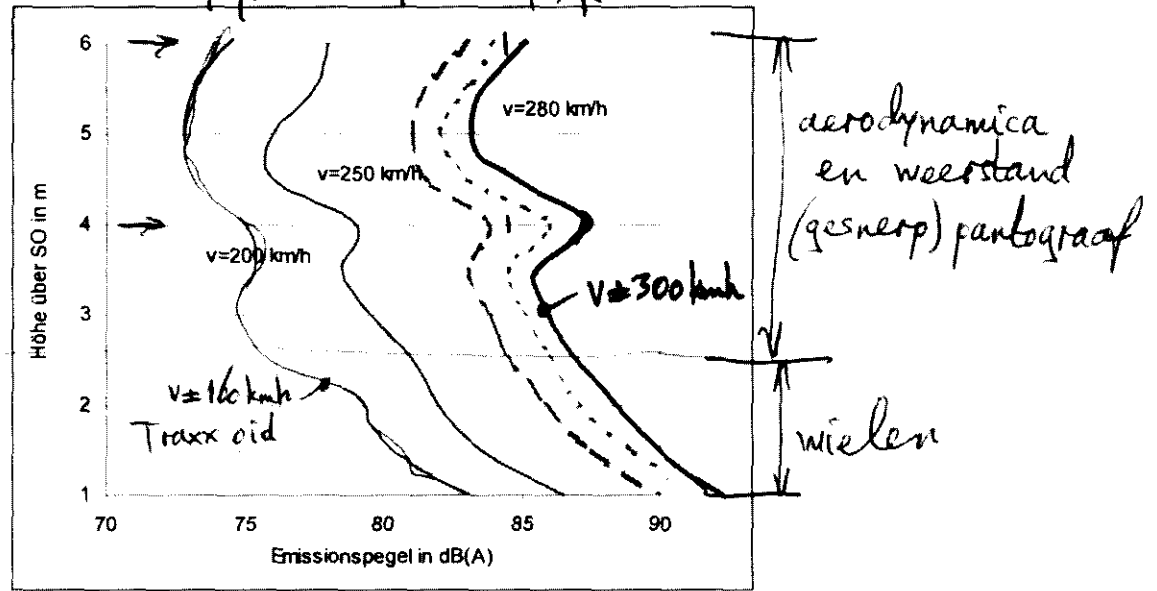


Bild 2 Vertikale Pegelverteilung des ICE 1, gemittelt über die gesamte Zuglänge (12 Mittelwagen, 2 Triebköpfe), gemessen mit eindimensionalem Schachtel-Array im Frequenzbereich 180 bis 2820 Hz

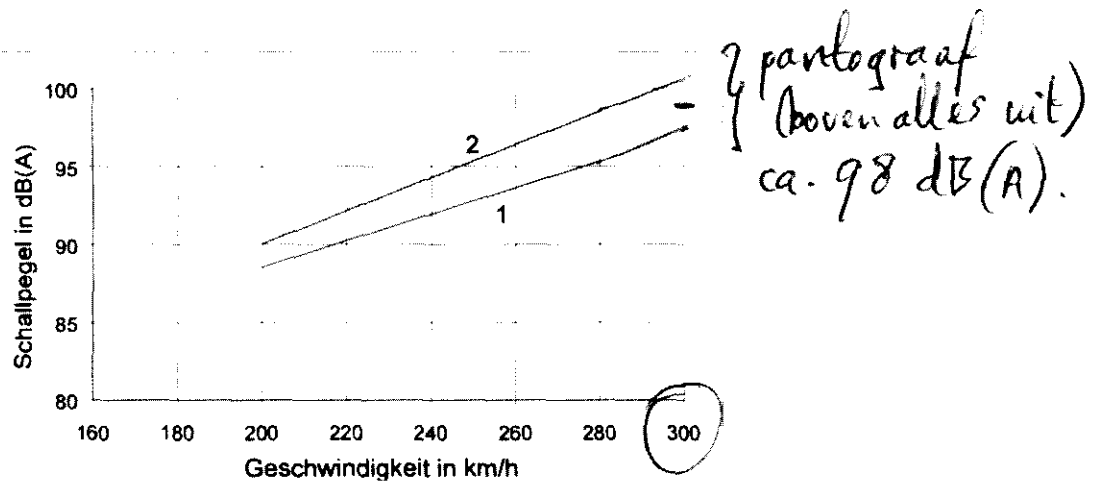


Bild 3 Regressionsgerade der gemessenen Pegelmaxima am Stromabnehmer-Fuß des vorlaufenden Triebkopfes des ICE 1  
 1 mit einem Stromabnehmer je Triebkopf  
 2 mit zwei Stromabnehmern je Triebkopf

In der nachfolgenden Tabelle sind die Emissionspegel und Geschwindigkeits-exponenten der georteten hochliegenden Schallquellen zusammengestellt. Die Emissionspegel sind auf einen Abstand von 5 m und eine Geschwindigkeit von

200 km/h bezogen. Die jeweilige Zugkoordinate gilt für einen ICE 1 mit 12 Mittelwagen (und 2 Triebköpfen). Positive Angaben zur Gleismitte bedeuten eine Lage der Quelle zur Messebene.

| Quelle                               | Bezeichnung | Zugkoordinate [m] | Höhe über SO [m] | Abstand von Gleismitte [m] | $L_{A,5m,200}$<br><i>kuh</i><br>[dB(A)] | $a_A$ |
|--------------------------------------|-------------|-------------------|------------------|----------------------------|---|-------|
| Seitenlüfter<br>(=Fahrmotorlüfter)   | S-VA        | 5,4               | 3,0              | + 1,5                      | 83,3                                    | 5,0   |
|                                      | S-VB        | 16,7              |                  |                            |   |       |
|                                      | S-HA        | 341,2             |                  |                            |   |       |
|                                      | S-HB        | 352,5             |                  |                            |   |       |
| Ölkühlerlüfter                       | Ö-VA        | 7,8               | 3,85             | - 0,8                      | 83,9                                    | 2,0   |
|                                      | Ö-HB        | 350,1             |                  | + 0,8                      | 83,7                                    | 2,0   |
| Stromabn.-Fußbereich <sup>1)</sup>   | F1-V        | 17,6              | 4,0              | 0,0                        | 88,3                                    | 4,4   |
|                                      | F1-H        | 340,3             |                  |                            | 84,4                                    | 4,5   |
| Stromabn.-Fußbereich <sup>1)2)</sup> | FW2-V       | 16,7              | 4,0              | 0,0                        | 89,9                                    | 5,8   |
|                                      | FW2-H       | 341,2             |                  |                            | 85,9                                    | 4,9   |
| Stromabn.-Wippe                      | W-V         | 17,2              | 5,2              | 0,0                        | 88,4                                    | 4,6   |
|                                      | W-H         | 340,7             |                  |                            | 87,4                                    | 4,9   |
| Klimalüfter                          | Ü-V         | <sup>3)</sup>     | 3,5              | + 1,5                      | 75,5                                    | 4,8   |
|                                      | Ü-H         | <sup>4)</sup>     |                  |                            | 74,3                                    | 5,1   |

<sup>1)</sup> enthält auch Anteile der Emission des nahegelegenen Ölkühlerlüfters

<sup>2)</sup> einschließlich der Wippe des zweiten, abgesenkten Stromabnehmers

<sup>3)</sup> alle Wagenübergänge im vorderen Zugteil (bis auf die Zugkoordinate 99,8 m)

<sup>4)</sup> alle Wagenübergänge im hinteren Zugteil

Tabelle 6: Lage und A-bewertete Emissionspegel aller relevanten hochliegenden Quellen in 5 m Abstand bei 200 km/h, einschließlich Geschwindigkeitsexponenten

Die in der Tabelle 6 enthaltenen Emissionsdaten sind Voraussetzung für die Formulierung eines neuen Verfahrens zur Berechnung der Einfügungsdämpfung von Wänden bei Vorbeifahrten von ICE 1 und 2. Die gewonnenen Daten sind ein wichtiger Beitrag zur Ergänzung des Kenntnisstandes, da erstmals eine Schallquellen-

grotere aantallen gemeten, grote statistische zekerheid.

lokalisierung über die gesamte Zuglänge von Regelzügen erfolgte. Aufgrund der großen Anzahl an gemessenen Vorbeifahrten wurde eine hohe statistische Sicherheit erreicht. Bei einem IC-Zug befinden sich alle relevanten hochliegenden Quellen nur im Bereich der Lokomotive (Fahrmotorlüfter, Stromabnehmer).

Mit den o.g. Daten wurde die Emissionsdatenbank des vom Auftragnehmer für andere Aufgabenstellungen entwickelten Rechenmodells ergänzt. Für eine begrenzte Anzahl von Vorbeifahrten wurde der A-bewertete Pegelverlauf bei freier Schallausbreitung und bei vorhandener Schallschutzwand modelliert und mit den entsprechenden gemessenen Pegelverläufen verglichen (Beispiel siehe Anlage 17).

Bei der Berechnung wird die Abstrahlung jeder Quelle als bewegte Schallquelle berücksichtigt. Die Pegelabnahme wurde bei freier Schallausbreitung entsprechend VDI 2714 „Schallausbreitung im Freien“ und bei Vorhandensein einer Schallschutzwand entsprechend VDI 2720 „Schallschutz durch Abschirmung im Freien“ berechnet.

Die Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Pegelverläufen sind in den meisten Fällen als gering einzuschätzen. Größere Abweichungen wurden nur am Messort Niederodenbach festgestellt. Es wird vermutet, dass die Wand nicht hochabsorbierend ist und Reflexionen zwischen Wand und Zug vorhanden waren.

Auch bei einer Betrachtung der Einzelergebnisse (z. B. Emissionspegel) sind die Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Pegeln in den meisten Fällen sehr gering ( $< 1 \text{ dB(A)}$ ), so dass die Anwendbarkeit des mit den Daten aus den Array-Messungen ergänzten Rechenmodells gegeben ist.

Nachdem davon ausgegangen werden konnte, dass die Quellen ausreichend genau simuliert werden, wurden mit diesen Ergebnissen mehrere Varianten eines neuen Berechnungsverfahrens für das Einfügungsdämpfungsmaß erarbeitet. Ziel für ein korrigiertes Verfahren war es, zusätzliche Quellen einzuführen und den Algorithmus des bisherigen Verfahrens möglichst beizubehalten. Die messtechnisch ermittelten Werte sollten möglichst genau beschrieben werden, bei keiner Geschwindigkeit sollten die berechneten Maße unter den messtechnisch ermittelten liegen.

Eine sehr gute Anpassung (vgl. Anlage 18) wird erreicht, wenn zusätzlich zur Quelle im Rad/Schiene-Bereich (mechanisch) zwei aerodynamische Quellen mit unterschiedlicher Höhe über Schienenoberkante (SO), entsprechendem Geschwindigkeitsexponenten  $\alpha$  und Grundwert, siehe Tabelle 7, eingeführt werden und die For-

mel zur Berechnung des Abschirmmaßes für den mechanischen Anteil modifiziert wird.

| Geräuschkomponente   | Grundwert [dB(A)] | $D_{FZ,me}$ [dB(A)] | Geschwindigkeitsexponent $\alpha_A$ | Höhe des Emissionsortes über SO [m] |
|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| mechanisch           | 51                | - 5 <sup>2)</sup>   | 2                                   | 0,0                                 |
| aerodynamisch (tief) | 25                | -                   | 5                                   | 0,0                                 |
| aerodynamisch (hoch) | 30 <sup>1)</sup>  | -                   | 5                                   | 4,5                                 |

<sup>1)</sup> Korrekturterm für die Länge entfällt bei dieser Geräuschkomponente

<sup>2)</sup> Abweichung gegenüber bisheriger Vorschrift (- 4 dB(A))

Tabelle 7: Angaben zu den Geräuschkomponenten für den ICE 1 einer korrigierten Version des Berechnungsverfahrens nach 16.BImSchV bzw. Schall 03

Der Faktor  $C_2/\lambda$  müsste von 60 auf 120 erhöht werden. Für die aerodynamischen Komponenten bleibt die ursprüngliche Gleichung erhalten.

$$D_{e,k,me} = (10 \log (3 + 120 * Z_{k,me} * K_{w,k,me}) + D_{BM,k,me}) \quad \text{dB(A)}$$

$$D_{e,k,ae} = (10 \log (3 + 60 * Z_{k,ae} * K_{w,k,ae}) + D_{BM,k,ae}) \quad \text{dB(A)}$$

Die Ergebnisse für den ICE 1 können auf den ICE 2 übertragen werden. Für alle anderen untersuchten Zugarten ergibt sich nach den vorliegenden Untersuchungen kein Änderungsbedarf des bisherigen Berechnungsverfahrens. Beim IC-Zug mit Geschwindigkeiten oberhalb 180 km/h könnte nach der gültigen Version im Falle des „besonders überwachten Gleises“ eine Überschätzung möglich sein. Allerdings fehlen hierzu Messergebnisse mit ausreichender statistischer Sicherheit.

Mit der Berücksichtigung zweier zusätzlicher Schallquellen beim ICE 1 und ICE 2 kann bei hohen Geschwindigkeiten eine ausreichende Genauigkeit bei der Berechnung des Einfügungsdämpfungsmaßes erreicht werden. Eine Verbesserung könnte noch durch die Modellierung der Lüfteremissionen bei niedrigeren Geschwindigkeiten erfolgen. Dazu wären aber noch Untersuchungen erforderlich.



toekomstige treinen eerst meten,  
dan pas verder rekenen.

Auf künftige Hochgeschwindigkeitszüge (auch ICE 3) sind die Ergebnisse nicht einfach übertragbar, es müssen die jeweiligen Kennwerte für die relevanten Quellen (Grundwert, Geschwindigkeitsexponent und Quellhöhe) neu bestimmt werden.

### Zusammenfassung Conclusie

Mit diesem Vorhaben konnte durch umfangreiche Messungen nachgewiesen werden, dass die abschirmende Wirkung von Schallschutzwänden bei Reisezügen mit hohen Geschwindigkeiten z. T. wesentlich geringer als bei Güterzügen ist. Im Vergleich zu Rechenergebnissen nach den Prognoseverfahren der Verkehrslärmschutz-Verordnung (16. BImSchV) bzw. der Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen (Schall 03) wurden bei schnellen Reisezügen (ICE 1 und ICE 2) bis 5 dB(A) geringere Einfügungsdämpfungsmaße messtechnisch ermittelt. Bei den anderen Zugarten stimmen Messung und Rechnung gut überein. Die Betroffenen werden an Strecken mit Hochgeschwindigkeitsverkehr nicht ausreichend geschützt.

Die Ergebnisse der Array-Messungen ermöglichen eine Beschreibung aller relevanten hochliegenden Quellen hinsichtlich Emission, Geschwindigkeitsabhängigkeit und Lage, so dass ein erster Vorschlag für ein verbessertes Berechnungsverfahren unterbreitet werden konnte.

Über die Aufgabenstellung hinaus enthalten die Berichte Informationen, die bei einer Novellierung der Prognoseverfahren genutzt werden können, z. B. Geschwindigkeitsabhängigkeit der Zugarten,  $D_{BM}$ -Korrektur, Zusammenhang Emissionspegel-Schienenrauigkeit, Emissionspegel der verschiedenen Zugarten bei unterschiedlichen Gleiszuständen.

Veel minder geluidwering van wanden  
dan men berekend / verondersteld / fabrikant zegt!

→ Verkorte versie 51bz./0,07 MB. → Samenvatting/Conclusies.  
**TEXTE 61/2003**  
Totale versie 291bz./48,3 MB.

## **Geräuschemissionen von Eisenbahnen**

**Zusammenfassende Präsentation der Messergebnisse des  
Umweltbundesamtes**

2003 Umweltbundesamt.  
Kennnummer 2393.  
Stand: 28.10.2009, 1 Publikation.

[www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien)  
[www.umweltdaten.de/publikationen/pdf-1/2393.pdf](http://www.umweltdaten.de/publikationen/pdf-1/2393.pdf).

2003 - bijgewerkt t/m 28-10-2009.  
Gehidsmissie spoorwegen.

## Geräuschemissionen von Eisenbahnen - Zusammenfassende Präsentation der Messergebnisse des Umweltbundesamtes

gemeten (in de praktijk) door MilieuMin.

Mit dem vorgelegten Bericht werden Ergebnisse von Emissionsmessungen an Schienenfahrzeugen vorgestellt, die als Basis für die geplante Novellierung der Schall 03 dienen und sicherstellen sollen, dass der Schutz der Bürger im erforderlichen Umfang entsprechend 16. BImSchV gewährleistet wird. Ziel des Berichtes ist insbesondere eine Verbesserung der Prognoseverfahren, die derzeit in den entsprechenden Gremien behandelt werden, sowie die Information der Öffentlichkeit.

*geplande nuvellering (nieuwe regelgeving) burgers beschermen verbeteren prognoses/verzekering  
alsook betere communicatie/openheid.*

Das Umweltbundesamt hat mit seinem Lärmlabor in den Jahren 1988 bis 2002, teilweise in Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, dem Landesumweltamt Brandenburg, dem Niedersächsischen Landesamt für Ökologie und dem Landesumweltamt Sachsen-Anhalt zahlreiche Messungen an

Schienenwegen der Bundesbahn, Reichsbahn und Deutschen Bahn AG zur Ermittlung von Emissionsparametern durchgeführt. Es erfolgten Messungen an 365 Messgleisen. Erfasst wurden Vorbeifahrten von rund 2470 ICE-, 3980 IC/IR-, 4020 Nahverkehrs- und 2160 Güterzügen. Die Messungen erfolgten an Schwellengleisen im

Schotterbett und an „Festen Fahrbahnen“. Als Messwert wurde der Mittelungspegel jeder einzelnen Zugvorbeifahrt direkt vor Ort und/oder im Labor (aus den Tonbandaufzeichnungen) bestimmt. Im Labor wurden die Geräuschemissionen von Zugvorbeifahrten außerdem spektral ausgewertet. in "laboratorium" bovendien spectraal geanalyseerd.

*2470 staks ICE-MST treinen op betonbanen  
op 365 localities  
zoort vele praktijkmetingen  
gemiddelde geluidsdruk*

Die Messungen sollten zur Klärung folgender Sachverhalte beitragen:

- X - Einfluss der Schwellenart auf die Geräuschemission *invloed stuygtyd*
- Einfluss der Qualität der Schienenfahrfläche (durchschnittlich, geschliffen) auf die Geräuschemission *invloed ruwheid spoor*
- Veränderung der Geräuschemission in Abhängigkeit von der Zeit *invloed tyd (dagdeel) seizoen*
- X - Veränderung der Geräuschemission verschiedener Zugarten in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit *invloed type trein in relatie tot snelheid*
- X - Geräuschemission verschiedener Zugarten auf Gleisen mit Festen Fahrbahnen *gehidsmissie type treinen op vast spoor (ballastloos)*
- X - Einfluss von Absorberelementen bei Gleisen mit Festen Fahrbahnen *invloed raildempers op vast spoor (ballastloos)*

frequentie zwaartepunten 300 Hz verdragend  
grote afstand 3000 Hz hinderlijk  
kortere afstand

- Schwerpunktfrequenzen verschiedener Zugarten auf den verschiedenen Fahrbahnarten und in Abhängigkeit von der Qualität der Schienenfahrfläche (durchschnittlich, geschliffen)

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Die in der 16. BImSchV und Schall 03 für den Einfluss von Holz- und Betonschwellen auf die Geräuschemission festgelegten unterschiedlichen Fahrbahnzuschläge rekenbeslag  
für das Holzschwellengleis mit  $D_{Fd} = 0$  dB(A) und für das Betonschwellengleis mit praktijk > theorie  
 $D_{Fd} = + 2$  dB(A) konnten durch die Messungen nicht bestätigt werden. Holzschwellen sind als Maßnahme zur Senkung der Geräuschemissionen nicht geeignet. Das Geräuschniveau ist bei scheibengebremsten Zügen bei beiden Schwellenarten annähernd gleich. Bei Zügen mit Graugussklotzbremsen ist die Geräuschemission auf Holzschwellengleisen etwa 1 - 2 dB(A) höher als auf Betonschwellengleisen.

Die Emissionsannahmen (Grundwert = 51 dB(A)) in den Berechnungsvorschriften konnten durch die Messungen an Gleisen mit einem durchschnittlichen Zustand der Schienenfahrfläche im Mittel bestätigt werden. Das Geräuschniveau des den Regelwerken zugrunde liegenden mittleren Zustandes der Verriffelung eines Gleises wird über alle Zugarten und alle Messgleise gemittelt, etwa 4 ½ Jahre nach einem Oberbauschleifen erreicht. Um den Wert von 51 im zeitlichen Mittel einhalten zu können, müssen Gleise nach 9 Jahren geschliffen werden.

Durch ein so genanntes Oberbauschleifen, das in erster Linie der Aufrechterhaltung der Betriebssicherheit dient und mit dem Fahrflächenunebenheiten und -fehler beseitigt oder zumindest verkleinert werden sollen, wird die Geräuschemission bei den Zugvorbeifahrten geringer. Sie verringert sich bei den verschiedenen Zugarten in unterschiedlichem Maße. Werden die Rechenwerte nach der 16. BImSchV bzw. Schall 03 für das durchschnittliche Gleis als Vergleich herangezogen, ist festzustellen, dass bei Zügen mit Wagen mit Graugussklotzbremsen die Pegelminderung am geringsten ist. Sie beträgt im ersten Jahr nach dem Schleifen im Mittel 1,5 dB(A). verschilt sterk per treintype.

soort remmen is van invloed op  
ontrondheid / ruwheid wielen en  
dus op 2 totaal aan geleid.  
(Logisch, niet.)

Bei den Zügen mit scheibengebremsten Wagen wird eine Pegelminderung von 3 - 4 dB(A) erreicht.

Bei einer höheren Güte der Schienenfahrfläche, wie sie durch das akustische Schleifen erzielt werden kann und bei dem nur sehr geringe Restraugigkeiten zulässig sind, werden im Vergleich zum Oberbauschleifen noch geringere Geräuschemissionen erwartet. Die Ergebnisse zeigen, dass nur bei Zügen mit Scheibenbremsen diese Erwartungen erfüllt werden. Die weitere Verbesserung beträgt etwa 3 dB(A).

moderne schiffbrannen c.g. materialen is een "must"

Im Vergleich zum durchschnittlichen Zustand wurden damit 6 - 7 dB(A) geringere Werte ermittelt.

stechte remmen / ruwe rails / onronde wielren } kan tot 6 dB vers  
moderne " / gladde " / ronde " } schillen

Bei Zügen mit Graugussklotzbremsen konnten keine weiteren Verbesserungen erreicht werden, so dass im Vergleich zum durchschnittlichen Zustand nur 1 - 2 dB(A) geringere Emissionen (wie beim Oberbauschleifen) ermittelt wurden. Im Mittel über alle Züge wird damit gegenüber dem Oberbauschleifen nur eine Verringerung um knapp 1 dB(A) auf etwa 3,5 dB(A) im Vergleich zum durchschnittlichen Zustand erreicht.

Met perfecte spoor / steinstel kwam slechts tot 0,5 dB(A) beter dan theorie.

Der Zielwert für das „Besonders überwachte Gleis“ wird entsprechend nur um 0,5 dB(A) unterschritten. Um im zeitlichen Mittel den Zielwert einhalten zu können, ist deshalb eine Überschreitung von ebenfalls nur 0,5 dB(A) zulässig. Im Mittel muss deshalb etwa nach 2 Jahren geschliffen werden. Die gegenwärtige Eingriffsschwelle ist zu hoch angesetzt.

nodzak  
2 jaarlijks  
slijpen

" te hoge verwachtingen "

Hinsichtlich der zeitlichen Veränderung der Geräuschemission nach einem Neu(auf)bau oder einem Oberbauschleifen wurden größere Differenzen sichtbar. Gründe dafür können Unterschiede im Gleisaufbau, Schwankungen in der Qualität des Schienenschliffes oder des Neuaufbaus des Gleises und unterschiedliche Zugbelastungen der Strecken sein. Die Untersuchungen zeigen, dass im Mittel über alle Messorte der Anstieg pro Jahr bei den Reisezügen mit Scheibenbremsen mit 0,7 bis 0,9 dB(A) pro Jahr am höchsten ist. Bei den Zügen mit Graugussklotzbremsen ist die jährliche Pegelzunahme etwa nur halb so hoch. Im Mittel über alle Zugarten wird,

wie bereits erwähnt, etwa nach einer Liegedauer von 4 ½ Jahren der Zustand der Gleise erreicht, der den Emissionsdaten in den Rechenvorschriften zugrunde liegt. Um diesen Wert im zeitlichen Mittel einhalten zu können, müssten die Gleise demnach nach 9 Jahren geschliffen werden.

*ballastloos vast spoor*

Messungen an der Fahrbahnart Feste Fahrbahn erfolgten im Wesentlichen an Versuchsstrecken sowie an einigen Streckenabschnitten der Neu- bzw. Ausbaustrecke Berlin - Hannover. ICE.

Im Vergleich zu Schwellengleisen im Schotterbett mit neuen und oberbaugeschliffenen Schienen, wie sie auch an den Versuchsstrecken vorhanden waren, wurden auf Festen Fahrbahnen (nicht absorbierend) bei Vorbeifahrten von IC/IR- und Güter-zügen im Mittel um etwa 4 dB(A) höhere Emissionspegel ermittelt.

*gemiddeld  
ca. 4 dB(A)  
meest gemeten  
dan berekend.*

*raildenpers scheelt tenaauwernood in de praktijk 2 dB(A) en geen 3 dB*

Die Absorber bewirken bei diesen beiden Zugarten eine Minderung der Geräuschemission im Mittel von knapp 2 dB(A) und nicht wie angestrebt von 3 dB(A). Eine Gleichwertigkeit der absorbierenden Festen Fahrbahn mit dem Schwellengleis im Schotterbett ist bei den Versuchsstrecken mit oberbaugeschliffenen Gleisen bei den angetroffenen Zugarten nicht gegeben.

An der Strecke Berlin - Hannover konnte ebenfalls durch die Absorber nur eine Minderung von ca. 2 dB(A) im Mittel über die drei angetroffenen Zugarten (ICE, IC und Nahverkehr) festgestellt werden.