

# **TEXTE 59/2003**

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

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

## **Abschirmung von Schallschutzwänden bei Hochgeschwindigkeitszügen**

### **Bericht 1 - 4**

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

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

### **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.

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

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

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
<b>Ungeschliffene Schienen</b>				
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
<b>Geschliffene Schienen</b>				
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

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.

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	$\Delta L_{\text{errechnet}}$ in dB(A)	$\Delta L_{\text{gemessen}}$ in dB(A)			
		ICE 1 (200 km/h)	ICE 1 (250 km/h)	ICE 1 (280 km/h)	Güterzug (110 km/h)
Messabstand 7,5 m <sup>*)</sup>	12,9	7,3	6,1	5,5	19,3
Messabstand 25 m	10,5	7,6	6,7	5,9	12,6
Messabstand 50 m	9,2	8,4	7,1	6,3	12,5

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

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

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

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

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

- 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.

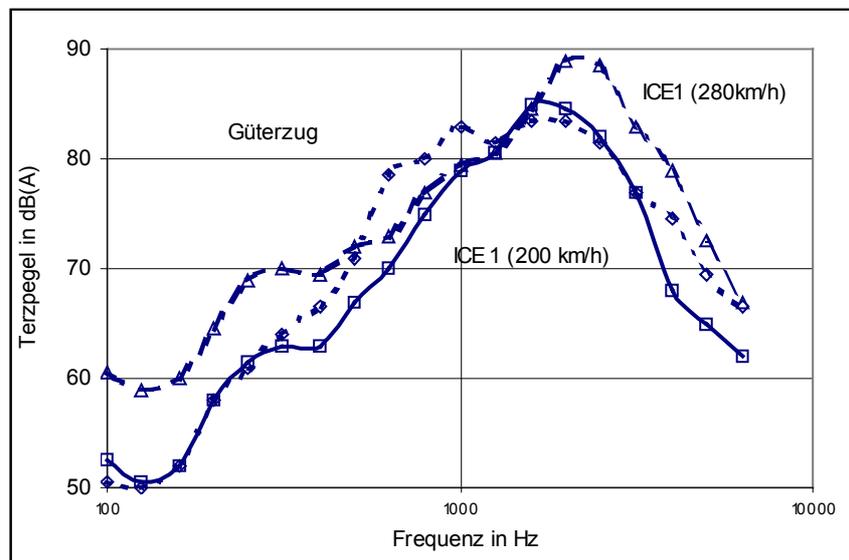


Bild 1 Gemittelte Spektren von ICE 1- und Güterzugvorbeifahrten am Messort Northeim bei freier Schallausbreitung, Messentfernung 25m

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.

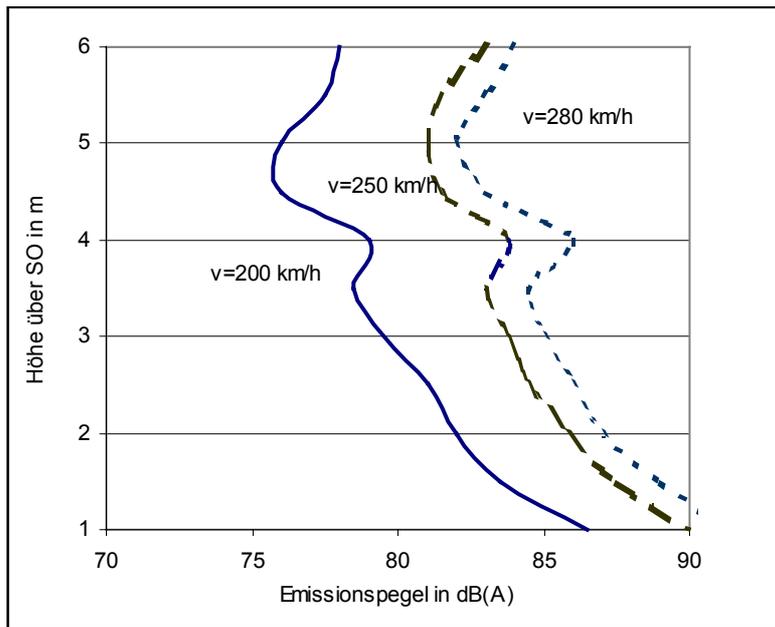


Bild 2 Vertikale Pegelverteilung des ICE 1, gemittelt über die gesamte Zuglänge (12 Mittelwagen, 2 Triebköpfe), gemessen mit eindimensionalem Schachtel-Array im Frequenzbereich 180 bis 2820 Hz

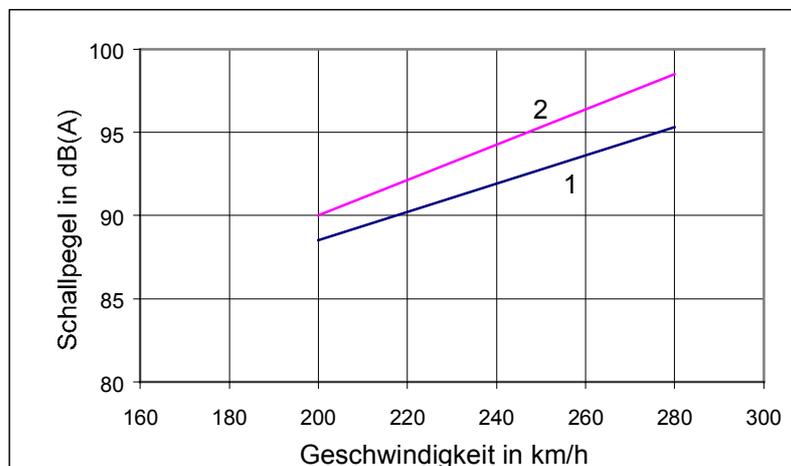


Bild 3 Regressionsgerade der gemessenen Pegelmaxima am Stromabnehmer-Fuß des vorlaufenden Triebkopfes des ICE 1

- 1 mit einem Stromabnehmer je Triebkopf
- 2 mit zwei Stromabnehmern je Triebkopf

In der nachfolgen 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]	$L_{A,5m;200}$ [dB(A)]	$\alpha_A$
Seitenlüfter (=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-

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 Einzählwerte (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.

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**

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.