

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 200 51 201
UBA-FB 000390



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

von

**Bernd Barsikow
Michael Hellmig**

Ingenieurbüro akustik-data, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei
Vorauszahlung von 7,50 Euro
durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Weitere Veröffentlichungen zur Thematik Schienenverkehrsgeräusche in der Reihe Texte:
Texte 59/03: Abschirmung von Schallschutzwänden bei Hochgeschwindigkeitszügen
Texte 60/03: Weiterentwicklung der Prognoseverfahren der Verkehrslärmschutzverordnung (16.
BImSchV) – Besonders überwachtes Gleis (BüG), Feste Fahrbahnen
Texte 61/03: Geräuschemissionen von Eisenbahnen – Zusammenfassende Präsentation der
Messergebnisse des Umweltbundesamtes

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet I 3.4
Dr. Heidemarie Wende

Berlin, September 2003

Berichts – Kennblatt

Berichtsnummer 1. UBA-FB 00-200 51 201	2.	3.
4. Titel des Berichts Bestimmung der Einfügungsdämpfung einer Schallschutzwand anhand von Messungen in derselben Meßebene		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Barsikow, Bernd; Hellmig, Michael	8. Abschlußdatum 30.11.2000	9. Veröffentlichungsdatum
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Ingenieurbüro akustik-data, Dipl.-Ing. B. Barsikow Kirchblick 9, 14129 Berlin	10. UFOPLAN-Nr. 200 51 201	11. Seitenzahl 77
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Postfach 33 00 22, 14191 Berlin	12. Literaturangaben 6	13. Tabellen / Diagramme 32 / 43
		14. Abbildungen 7
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Im Herbst 2000 bot sich aufgrund von Sanierungsarbeiten an einer Schallschutzwand entlang der Schnellfahrstrecke Hannover - Göttingen bei Northeim die seltene Chance, die Einfügungsdämpfung einer Wand durch Messungen in derselben Meßebene zu bestimmen. Es wurde zunächst bei praktisch völlig entfernter Wand gemessen und dann nach sechs Wochen nach deren kompletten Wiederaufbau. Aufgezeichnet wurde in beiden Fällen eine jeweils ausreichende Anzahl von ICE 1-, ICE 2-, ICE 3-, IC-, IR- und Güterzügen. Die Ergebnisse der ICE 1- und ICE 2-Vorbeifahrten zwischen 200 und 250 km/h bestätigen die Aussage früherer Untersuchungen, daß die aktuell gültige Schall 03 die Wandwirkung für diese Zugart beträchtlich überschätzt, während sie bei Güterzügen zu geringe Werte für die Einfügungsdämpfung prognostiziert. Im Vergleich mit der hier bestimmten Wandwirkung bei ICE 1- und ICE 2-Zügen zeigt sich, daß ein bereits vorliegender Modifizierungsvorschlag für die Schall 03 das tatsächliche akustische Verhalten von Schallschutzwänden bei Vorbeifahrten von Zügen mit sehr hohen Geschwindigkeiten gut wiederzugeben vermag.		
17. Schlagwörter Schallschutzwand, Einfügungsdämpfung, Hochgeschwindigkeitszug, ICE 1, ICE 2, ICE 3, IC-Zug, IR-Zug, Güterzug, Vorbeifahrpegel, Grundwert, Pegelverlauf, Schalldruckspektrum, Richtlinie "Schall 03", Schienenrauhigkeit, Modifizierungsvorschlag für Schall 03		
18. Preis	19.	20.

Report - Data Sheet

1. Report No. UBA-FB 00-200 51 201	2.	3.
4. Report Title Insertion loss of a noise barrier determined by measurements made in the same measuring plane		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Barsikow, Bernd; Hellmig, Michael		8. Report Date 30 November 2000
		9. Publication Date
6. Performing Organisation (Name, Address) akustik-data Engineering Office, Dipl.-Ing. B. Barsikow Kirchblick 9, 14129 Berlin		10. UFOPLAN-No. 200 51 201
		11. No. of Pages 77
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Federal Environmental Agency Post box 33 00 22, 14191 Berlin		12. No. of References 6
		13. Tables / Diagrams 32 / 43
		14. Figures 7
15. Supplementary Notes		
16. Abstract In the course of reconstructing a noise barrier along the high-speed line from Hannover to Göttingen near Northeim, the rare chance of determining the insertion loss of the barrier by making measurements in the same measuring plane was taken in autumn 2000. The first series of measurements took place when the barrier was practically entirely demounted. After six weeks, when the barrier was completely reconstructed, the second series of measurements followed. In both cases, a sufficient number of pass-bys of ICE 1, ICE 2, ICE 3, IC, IR and freight trains could be recorded. As was found in former investigations, the results derived from ICE 1 and ICE 2 trains at speeds between 200 and 250 km/h confirm that the actual "Schall 03" guidelines considerably overestimate the barrier's insertion loss for this type of railway train while for freight trains the insertion loss is underestimated. At the end of the report, it is shown that an existing proposal for modifying the "Schall 03" is able to sufficiently predict the reduced insertion loss of noise barriers for pass-bys of high-speed trains.		
17. Key Words Noise barrier, insertion loss, high-speed train, ICE 1, ICE 2, ICE 3, IC train, IR train, freight train, pass-by sound-pressure level, basic value, time history, sound-pressure spectrum, "Schall 03" guidelines, rail roughness, proposal for modifying the "Schall 03" guidelines		
18. Price	19.	20.

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

bearbeitet von

Dipl.-Ing. B. Barsikow und Dipl.-Inform. M. Hellwig

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und Formelzeichen	2
1. Einleitung	3
2. Beschreibung des Meßorts	4
3. Durchführung der Messungen	8
3.1 Umgebungs- und Wetterbedingungen	8
3.2 Auflistung der ausgewerteten Zugvorbeifahrten	9
3.3 Meßgeräte	16
4. Meßergebnisse	18
4.1 Pegelverläufe und Schalldruckspektren	18
4.1.1 Exemplarische Ergebnisse ohne SSW	18
4.1.2 Exemplarische Ergebnisse mit SSW	27
4.1.3 Vergleich von Pegelverläufen mit und ohne SSW	36
4.1.4 Vergleich von Schmalband- und Terzspektren mit und ohne SSW	41
4.2 Vorbeifahr- und Stunden-Mittelungsspeigel sowie örtliche spezifische Grundwerte	49
5. Berechnung der SSW-Einfügungsdämpfung	65
5.1 Berücksichtigung des Wandstücks mit der Notfalltür	65
5.2 SSW-Einfügungsdämpfung für die verschiedenen Zugarten	68
5.3 Vergleich der gemessenen Einfügungsdämpfung mit Werten entsprechend einem Modifizierungsvorschlag für die Schall 03	73

6. Zusammenfassung	75
7. Literatur	76

Abkürzungen und Formelzeichen

D_{BM} , D_D , D_{Fb} ,	
D_{Fz} , D_l , D_v	Pegeldifferenzen in [dB(A)] gemäß Schall 03
l	Zuglänge in [m]
$L_A(t)$	A-bewerteter Schalldruckpegel bzw. Pegelverlauf in [dB(A)]
L_e	Ereignispegel in [dB(A)]
L_h	Stunden-Mittelungspegel in [dB(A)]
$L_{m,s}$	Örtlicher spezifischer Grundwert in [dB(A)]
L_v	Vorbeifahrpegel in [dB(A)]
SFS	Schnellfahrstrecke
SO	Schienenoberkante
SSW	Schallschutzwand
T_e	Mittelungszeit für den Ereignispegel in [s]
v	Zuggeschwindigkeit in [km/h]
Δf	Bandbreite in Schmalbandspektren
ΔL_{Geschw}	Term zur Geschwindigkeitskorrektur in [dB(A)]
$\Delta L_{m,s}$	Differenz örtlicher spezifischer Grundwerte in [dB(A)]
ΔL_{SSW}	Einfügungsdämpfung der SSW in [dB(A)]
$\Delta L_{SSW}'$	nach Schall 03 berechnete Einfügungsdämpfung der SSW in [dB(A)]
ΔL_v	Differenz von Vorbeifahrpegeln in [dB(A)]
α_A	Geschwindigkeitsexponent

1. Einleitung

Im Rahmen des Themas "Weiterentwicklung der Prognoseverfahren der Verkehrs-lärmschutzverordnung (16. BImSchV)" wird im Auftrag des Umweltbundesamtes die Abschirmwirkung von Schallschutzwänden (SSW) insbesondere bei Vorbeifahrten von Hochgeschwindigkeitszügen untersucht. So wurden Messungen an verschiedenen Meßorten mit und ohne SSW vom Ingenieurbüro akustik-data durchgeführt, und zwar im Jahr 1996 bei ungeschliffenen Schienen an der SFS Hannover - Göttingen sowie an der Ausbaustrecke Hanau - Fulda. Im Jahr 1997 wurden die Messungen an denselben Meßorten bei geschliffenen Schienen wiederholt. Die zugehörigen Ergebnisse, vor allem die dabei bestimmten Werte für die Einfügungsdämpfung der beiden SSW sind in den Berichten [1] und [2] niedergelegt. Weitere Betrachtungen zum obigen Thema folgten in den Berichten [3] und [4]. Als Fazit der Untersuchungen zeigte sich, daß bei ICE-Zügen und höheren Geschwindigkeiten die gemessene Wandwirkung deutlich geringer ausfällt als sie von der Schall 03 [5] prognostiziert wird.

Allerdings war diese Schlußfolgerung mit methodischen Schwierigkeiten behaftet, die sich daraus ergaben, daß die Messungen mit und ohne SSW zwar mit denselben Zügen, nicht aber in denselben Meßebenen stattgefunden hatten. Obwohl die Meßebenen eng benachbart waren, bestanden in deren Bereichen dennoch signifikante Unterschiede in der Schienenrauhigkeit (selbst im Fall nach dem Schleifen), die eine Pegelkorrektur mit den entsprechenden Unsicherheiten erforderlich machten. Das Problem, daß in zwei Meßebenen identische Randbedingungen für die Schallemission bzw. -immission praktisch nicht vorliegen, kann nur gelöst werden, wenn in derselben Ebene einmal mit und einmal ohne SSW gemessen wird.

Diese seltene Chance an einer seit Jahren betriebenen Strecke bot sich nun im Herbst 2000 während abschnittsweiser Sanierungsarbeiten an Wänden entlang der SFS Hannover - Göttingen. So auch im Bereich des in [1] bzw. [2] mit "A" bezeichneten Meßorts. Dort hatten sich während der letzten Jahre infolge des Druckstoßes der ICE-Züge mehr und mehr Kassetten aus der SSW gelöst. Zu Beginn der Arbeiten in diesem Bereich wurden dann auch die verbliebenen Kassetten aus der Wand entfernt (Zustand "ohne SSW"). Kurz darauf sind an deren Stelle von den Abmessungen identische, jedoch stabilere Kassetten in die verbliebenen Wandhalterungen eingesetzt worden, so daß nun die SSW im gesamten Bereich des Meßorts wieder voll funk-

tionsfähig war (Zustand "mit SSW"). Im nachfolgenden Bericht werden die zugehörigen Messungen beschrieben und die Einfügungsdämpfung der erneuerten SSW bei Vorbeifahrt verschiedener Zugarten bestimmt.

2. Beschreibung des Meßorts

Der Meßort ("A" in [1] und [2]) befand sich in der Nähe von Northeim, an der SFS Hannover - Göttingen, Richtungsgleis Göttingen, bei km 81,45. Entlang der westlichen Gleisseite steht eine SSW mit einer Höhe von 2,0 m über Schienenoberkante (SO) und einem Abstand von 4,5 m zwischen Gleismitte und Vorderkante der SSW. Auf dieser Seite der Trasse wurden drei Mikrofone postiert, nämlich Mikrofon 1 in 7,5 m Entfernung von Gleismitte und 1,2 m Höhe über SO, Mikrofon 2 in 25 m Entfernung von Gleismitte und 3,5 m Höhe über SO und Mikrofon 3 in 50 m Entfernung von Gleismitte und 5,0 m Höhe über SO. Wie bereits erwähnt, wurde die SSW am Meßort auf ihrer gesamten Länge saniert, so daß sich dort ein Zustand "ohne SSW" und ein Zustand "mit SSW" ergab. Diese Zustände bei den nachfolgend beschriebenen Messungen sind in den Bildern 1 bis 4 dokumentiert.

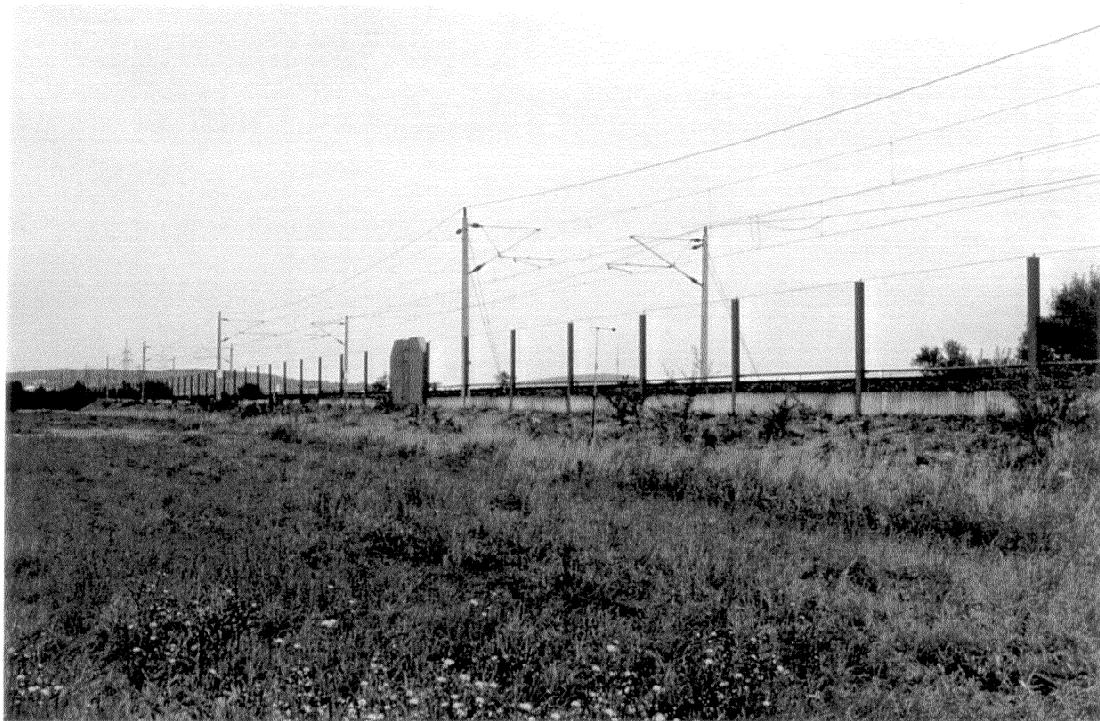


Bild 1 Gelände am Meßort und Zustand "ohne SSW"

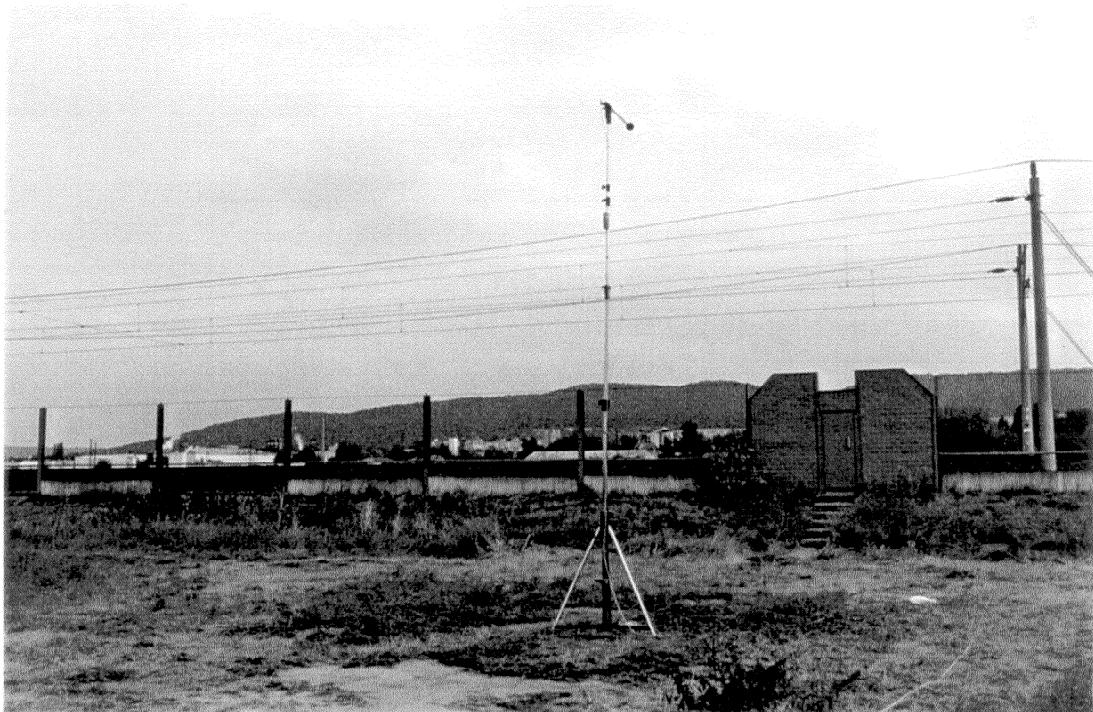


Bild 2 25 m-Mikrofon in der Meßebene der Notfalltür beim Zustand "ohne SSW"

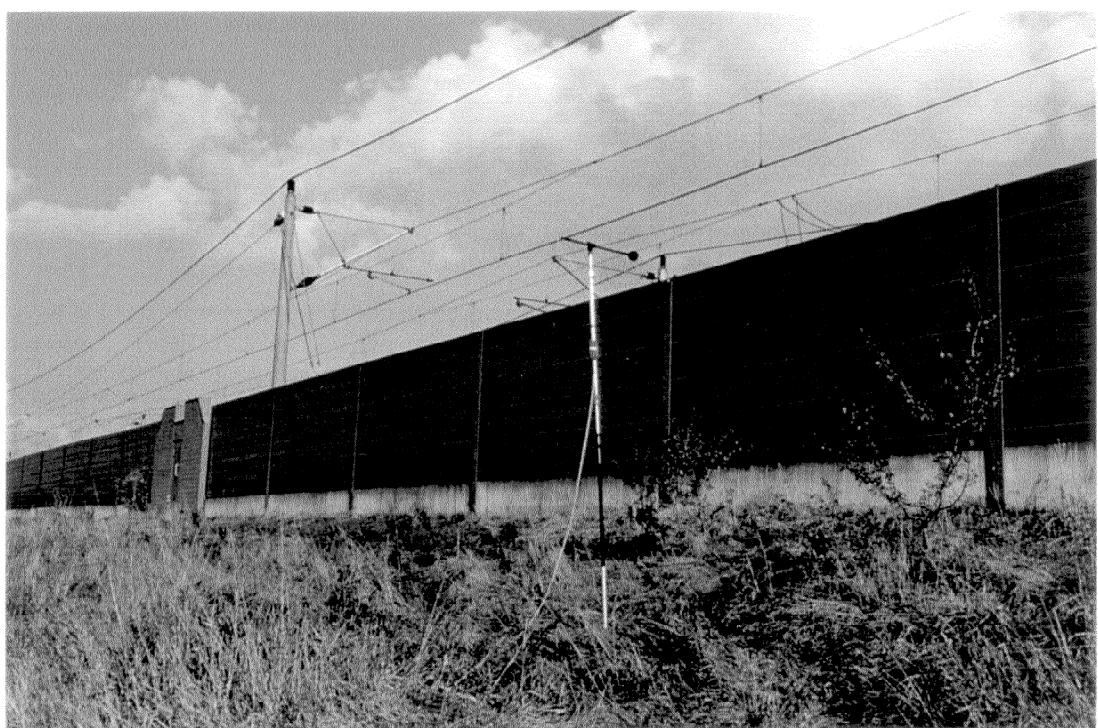


Bild 3 7,5 m-Mikrofon seitlich der Notfalltür nach Erneuerung der SSW



Bild 4 25 m- und 50 m-Mikrofon in der Meßebene der Notfalltür nach Erneuerung der SSW

Wie man in Bild 1 bzw. 2 erkennt, waren beim Zustand "ohne SSW" die Wandpfosten mit jeweils 5 m Abstand verblieben, in die die Kassetten hineingeschoben werden. Auch die Sockelelemente aus Beton waren während der ersten Meßreihe fast durchgängig vorhanden. Da diese Elemente bei 0,5 m unterhalb SO enden, spielen sie - ebenso wie die Pfosten - für die Schallausbreitung zu den drei Mikrofonen praktisch keine Rolle. Ein diesbezüglicher Einfluß ist allerdings durch das Wandsegment mit der Notfalltür zu beachten, das bei den Sanierungsarbeiten unverändert stehen blieb. Dadurch kommt es auch im Fall "ohne SSW" zu einer geringen Abschirmwirkung für das 25 m- und das 50 m-Mikrofon, die sich in der Ebene dieses Segments befanden. Eine spätere Modellrechnung wird den damit verbundenen Fehler bei der Bestimmung

der SSW-Einfügungsdämpfung abschätzen. Um einen solchen Fehler für das 7,5 m-Mikrofon von vornherein zu vermeiden, wurde dieses 25 m seitlich der Meßebene mit der Notfalltür aufgestellt (siehe Bild 1 und 3).

Das Gelände zu beiden Seiten der Trasse ist eben. Die Bodenbeschaffenheiten waren höheres Gras im Umkreis von Mikrofon 1, kurz gemähte Wiese in der Nähe von Mikrofon 2 sowie ein Rübenacker mit Feldweg in der Umgebung von Mikrofon 3. In ca. 40 m Entfernung von Gleismitte standen westlich der Trasse einige ca. 2 bis 3 m hohe Büsche oder Bäume entlang eines zu den Gleisen parallel verlaufenden Wirtschaftswegs. Diese Buschreihe war am Meßort auf einer Länge von ca. 50 m unterbrochen, so daß auch für Mikrofon 3 von einer relativ ungestörten Schallausbreitung ausgegangen werden kann. Etwa 300 m südlich der Meßebene(n) quert eine Eisenbahnüberführung die SFS.

Bild 5 zeigt eine Draufsicht auf die Umgebung des Meßorts. Gleichfalls sind die Mikrofonpositionen und das Geländerelief in der Seitenansicht in Bild 6 skizziert. Hieraus sind auch die Höhen der Mikrofone über Boden zu entnehmen, wobei die Höhen mit denen bei den früheren Messungen [1, 2] übereinstimmten.

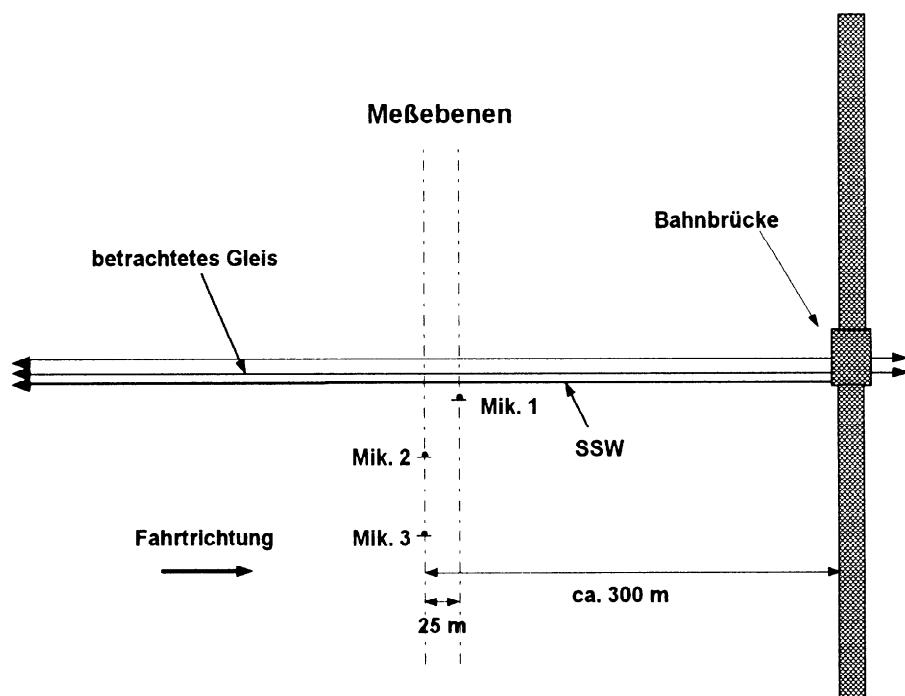


Bild 5 Draufsicht auf die Umgebung des Meßorts

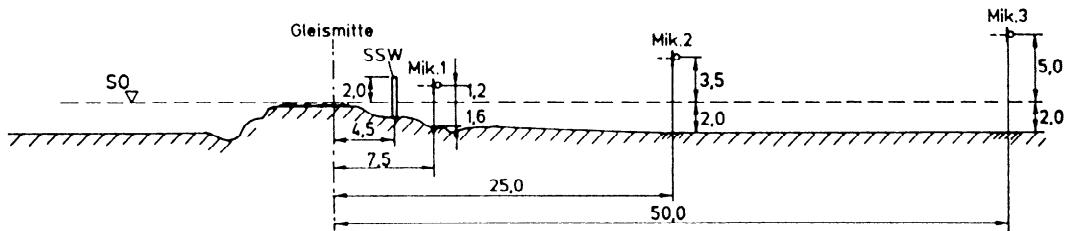


Bild 6 Seitenansicht des Meßorts

Messungen wurden nur bei Zugvorbeifahrten auf dem wandnahen Gleis, d. h. dem westlichen Gleis in Richtung Göttingen gemacht. Dieses Gleis besitzt den bei SFS-Strecken üblichen Aufbau (Schienen UIC 60, elastische Zwischenlage Zw 678a, Betonschwellen in Schotterbettung). Die Rauigkeit der Schienenoberflächen wurde nicht vermessen. Zum einen sprachen Kostengründe dagegen, zum anderen wurde dafür auch keine Notwendigkeit gesehen, da sich aus der Berechnung des örtlichen spezifischen Grundwerts über eine große Anzahl von Zügen für den Fall "ohne SSW" ein sehr genaues Abbild des Rauigkeitszustands ergibt. Da die Messungen "ohne SSW" und "mit SSW" innerhalb von nur sieben Wochen erfolgten, kann erfahrungsgemäß davon ausgegangen werden, daß sich die Schienenrauigkeit in dieser Zeit nicht merklich verändert hat. Des weiteren wurde eine Rauigkeitskontrolle auch deswegen als nicht erforderlich erachtet, weil die Sanierungsarbeiten nur außerhalb der Gleise durchgeführt wurden und somit keine Beeinträchtigung der Schienenoberflächen zu befürchten war.

3. Durchführung der Messungen

Die Messungen wurden am 31.08. und 01.09.2000 ohne SSW sowie vom 16. bis 18.10.2000 mit SSW durchgeführt. Sie fanden jeweils bei dem vorgefundenen Schienenzustand statt (siehe oben).

3.1 Umgebungs- und Wetterbedingungen

Die Messungen wurden bei wenigen Zugvorbeifahrten durch ein landwirtschaftliches Fahrzeug (am 31.08.2000) oder durch nicht zu verhindernde PKW-Fahrten auf dem Wirtschaftsweg gestört, was sich - wenn überhaupt - nur am Ort von Mikrofon 3

auswirkte. In diesen Fällen wurden die Messungen abgebrochen bzw. ein entsprechender Kommentar im Meßprotokoll vermerkt. Bei Zugfahrten auf dem Gegengleis oder der nicht weit entfernt verlaufenden alten Strecke Hannover - Göttingen wurde ebenso verfahren.

Bezüglich der Witterung sollten alle Vorbeifahrten bei trockenem Wetter, d. h. auf trockenen Schienen stattfinden. Dies ist auch für die überwiegende Anzahl der Messungen gelungen. Lediglich vier Fahrten vom 17.10.2000 konnten wegen eines etwa einstündigen Regenschauers nicht in die Datenauswertung einbezogen werden.

Die Temperatur betrug bei der ersten Meßreihe tagsüber ca. 16 bis 20°C und fiel während der Nachtmessung an den Güterzügen auf ca. 8°C. Bei der zweiten Meßreihe ging die Temperatur nachts auf etwa den gleichen Wert zurück, betrug am Tage jedoch höchstens 12°C. Bei beiden Meßreihen herrschte generell Windstille. Nur am 31.08.2000 waren aus Norden geringe Böen mit Windgeschwindigkeiten von maximal 4 m/s zu verzeichnen. Da die Schallausbreitung am Meßort im wesentlichen in Richtung Westen gemessen wurde, lag auch während dieser leichten Böen keine Mitwindwetterlage vor.

3.2 Auflistung der ausgewerteten Zugvorbeifahrten

Im Verlauf der Meßreihe ohne SSW wurden die Schalldrucksignale von insgesamt 72 Zugvorbeifahrten aufgezeichnet; bei der Meßreihe mit SSW waren es zusammen 81 Züge, so daß die Gesamtzahl der vermessenen Fahrten 153 beträgt. In den nun folgenden Tabellen 1 bis 8 sind alle in Bezug auf die Einfügungsdämpfung der erneuerten SSW ausgewerteten Vorbeifahrten aufgelistet; und zwar getrennt nach Zugarten, d. h. für ICE 1- *und* ICE 2-Züge, ICE 3-Züge, IC- *und* IR-Züge sowie für Güterzüge, und jeweils für die Fälle ohne und mit SSW. Innerhalb jeder Tabelle sind die Vorbeifahrten chronologisch geordnet. Die darin enthaltenen Abkürzungen bedeuten: Mw = Mittelwagen, Wg = Wagen, Vz = Vollzug und Hz = Halbzug.

Des weiteren zeigt Tabelle 9 - wieder getrennt für die Fälle ohne und mit SSW - eine Übersicht über die Anzahl der ausgewerteten Fahrten für jede Zugart und den mit diesen erfaßten Geschwindigkeitsbereich. Als Summe der Zeilen bzw. Spalten ergibt sich die Gesamtzahl der ausgewerteten Fahrten zu 147.

Fahrt Nr.	Datum	Zugart	Geschw. [km/h]	Zuglänge [m]
002	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	249,7	357,92
003	31.08.00	ICE 1, 11 Mw	249,9	331,52
004	31.08.00	ICE 1, 11 Mw	249,2	331,52
005	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	239,7	357,92
006	31.08.00	ICE 2, Vz	212,6	410,72
007	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	218,9	357,92
009	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	229,7	357,92
010	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	221,4	357,92
012	31.08.00	ICE 2, Vz	237,8	410,72
013	31.08.00	ICE 1, 11 Mw	223,1	331,52
015	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	196,6	357,92
016	31.08.00	ICE 1, 11 Mw	197,8	331,52
017	31.08.00	ICE 1, 11 Mw	197,0	331,52
018	31.08.00	ICE 2, Hz	195,3	205,36
019	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	201,1	357,92
020	31.08.00	ICE 2, Vz	200,0	410,72
021	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	199,2	357,92
022	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	249,4	357,92
023	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	222,7	357,92
024	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	247,9	357,92
025	31.08.00	ICE 2, Vz	250,2	410,72
026	31.08.00	ICE 2, Vz	251,2	410,72
027	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	250,2	357,92
029	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	250,3	357,92
031	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	249,3	357,92
032	31.08.00	ICE 1, 11 Mw	250,1	331,52
033	31.08.00	ICE 2, Hz	277,5	205,36
035	31.08.00	ICE 2, Vz	225,6	410,72
036	31.08.00	ICE 1, 12 Mw	250,8	357,92
038	31.08.00	ICE 1, 11 Mw	250,3	331,52
040	31.08.00	ICE 1, 11 Mw	226,2	331,52
064	01.09.00	ICE 1, 12 Mw	222,8	357,92

065	01.09.00	ICE 1, 11 Mw	250,9	331,52
067	01.09.00	ICE 2, Vz	227,4	410,72
068	01.09.00	ICE 1, 12 Mw	229,0	357,92
070	01.09.00	ICE 1, 12 Mw	203,5	357,92
071	01.09.00	ICE 1, 11 Mw	226,8	331,52
072	01.09.00	ICE 1, 11 Mw	205,2	331,52
074	01.09.00	ICE 2, Vz	205,0	410,72
075	01.09.00	ICE 1, 12 Mw	206,0	357,92
076	01.09.00	ICE 1, 11 Mw	206,7	331,52
077	01.09.00	ICE 1, 12 Mw	207,7	357,92
078	01.09.00	ICE 1, 11 Mw	206,4	331,52

Tabelle 1 Auflistung aller ausgewerteten ICE 1- und ICE 2-Vorbeifahrten ohne SSW

Fahrt Nr.	Datum	Zugart	Geschw. [km/h]	Zuglänge [m]
001	31.08.00	ICE 3, Vz	195,0	400,00
028	31.08.00	ICE 3, Vz	199,8	400,00
034	31.08.00	ICE 3, Vz	200,0	400,00
037	31.08.00	ICE 3, Hz	200,4	200,00
039	31.08.00	ICE 3, Hz	200,4	200,00
043	31.08.00	ICE 3, Hz	200,3	200,00

Tabelle 2 Auflistung aller ausgewerteten ICE 3-Vorbeifahrten ohne SSW

Fahrt Nr.	Datum	Zugart	Geschw. [km/h]	Zuglänge [m]
011	31.08.00	IC/IR, 9 Wg	170,1	ca. 257
030	31.08.00	IC/IR, 12 Wg	189,1	ca. 336
041	31.08.00	IC/IR, 9 Wg	174,4	ca. 257
073	01.09.00	IC/IR, 9 Wg	172,9	ca. 257

Tabelle 3 Auflistung aller ausgewerteten IC- bzw. IR-Vorbeifahrten ohne SSW

Fahrt Nr.	Datum	Zugart	Geschw. [km/h]	Zuglänge [m]
014	31.08.00	Güterzug	100,3	ca. 488
044	31.08.00	Güterzug	119,3	ca. 566
045	31.08.00	Güterzug	107,4	ca. 342
046	31.08.00	Güterzug	120,0	ca. 237
047	31.08.00	Güterzug	115,2	ca. 472
048	31.08.00	Güterzug	120,5	ca. 381
049	31.08.00	Güterzug	113,2	ca. 424
050	31.08.00	Güterzug	122,3	ca. 526
051	31.08.00	Güterzug	120,3	ca. 524
052	31.08.00	Güterzug	120,2	ca. 525
053	31.08.00	Güterzug	120,6	ca. 467
054	01.09.00	Güterzug	121,2	ca. 275
055	01.09.00	Güterzug	121,6	ca. 505
056	01.09.00	Güterzug	120,3	ca. 324
057	01.09.00	Güterzug	119,2	ca. 480
058	01.09.00	Güterzug	121,2	ca. 494
059	01.09.00	Güterzug	118,0	ca. 472

Tabelle 4 Auflistung aller ausgewerteten Güterzug-Vorbeifahrten ohne SSW

Fahrt Nr.	Datum	Zugart	Geschw. [km/h]	Zuglänge [m]
121	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	241,6	357,92
123	17.10.00	ICE 1, 11 Mw	143,3	331,52
124	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	250,3	357,92
126	17.10.00	ICE 1, 11 Mw	248,2	331,52
127	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	249,6	357,92
128	17.10.00	ICE 1, 11 Mw	250,0	331,52
129	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	233,0	357,92
130	17.10.00	ICE 2, Vz	239,5	410,72
131	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	235,6	357,92
132	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	239,4	357,92

133	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	239,0	357,92
134	17.10.00	ICE 1, 11 Mw	227,8	331,52
135	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	196,9	357,92
137	17.10.00	ICE 2, Vz	199,0	410,72
138	17.10.00	ICE 1, 11 Mw	190,2	331,52
143	17.10.00	ICE 2, Vz	199,0	410,72
144	17.10.00	ICE 1, 11 Mw	199,3	331,52
145	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	233,9	357,92
146	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	238,1	357,92
147	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	219,0	357,92
149	17.10.00	ICE 2, Vz	250,8	410,72
150	17.10.00	ICE 2, Vz	216,5	410,72
151	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	244,2	357,92
153	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	248,3	357,92
155	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	200,4	357,92
156	17.10.00	ICE 1, 12 Mw	236,8	357,92
157	17.10.00	ICE 2, Hz	277,1	205,36
158	18.10.00	ICE 2, Vz	251,1	410,72
159	18.10.00	ICE 1, 12 Mw	212,2	357,92
160	18.10.00	ICE 1, 12 Mw	209,2	357,92
162	18.10.00	ICE 1, 11 Mw	221,4	331,52
164	18.10.00	ICE 1, 12 Mw	226,8	357,92
166	18.10.00	ICE 1, 11 Mw	250,7	331,52
167	18.10.00	ICE 1, 12 Mw	246,0	357,92
169	18.10.00	ICE 1, 12 Mw	224,6	357,92
170	18.10.00	ICE 1, 11 Mw	247,5	331,52
171	18.10.00	ICE 1, 12 Mw	227,6	357,92
172	18.10.00	ICE 2, Vz	230,8	410,72
173	18.10.00	ICE 1, 12 Mw	230,1	357,92
174	18.10.00	ICE 1, 12 Mw	221,0	357,92
175	18.10.00	ICE 1, 12 Mw	227,5	357,92
176	18.10.00	ICE 1, 11 Mw	231,5	331,52
177	18.10.00	ICE 1, 12 Mw	204,6	357,92
178	18.10.00	ICE 2, Vz	147,9	410,72

179	18.10.00	ICE 1, 12 Mw	210,5	357,92
180	18.10.00	ICE 1, 12 Mw	207,4	357,92
181	18.10.00	ICE 1, 12 Mw	206,5	357,92
182	18.10.00	ICE 1, 12 Mw	207,7	357,92

Tabelle 5 Auflistung aller ausgewerteten ICE 1- und ICE 2-Vorbeifahrten mit SSW

Fahrt Nr.	Datum	Zugart	Geschw. [km/h]	Zuglänge [m]
125	17.10.00	ICE 3, Vz	178,2	400,00
148	17.10.00	ICE 3, Hz	200,4	200,00
152	17.10.00	ICE 3, Vz	199,7	400,00
165	18.10.00	ICE 3, Vz	199,1	400,00

Tabelle 6 Auflistung aller ausgewerteten ICE 3-Vorbeifahrten mit SSW

Fahrt Nr.	Datum	Zugart	Geschw. [km/h]	Zuglänge [m]
122	17.10.00	IC/IR, 9 Wg	176,8	ca. 257
136	17.10.00	IC/IR, 9 Wg	180,7	ca. 257
154	17.10.00	IC/IR, 13 Wg	198,6	ca. 362
161	18.10.00	IC/IR, 12 Wg	197,7	ca. 336
163	18.10.00	IC/IR, 9 Wg	174,1	ca. 257
168	18.10.00	IC/IR, 12 Wg	161,6	ca. 336

Tabelle 7 Auflistung aller ausgewerteten IC- bzw. IR-Vorbeifahrten mit SSW

Fahrt Nr.	Datum	Zugart	Geschw. [km/h]	Zuglänge [m]
102	16.10.00	Güterzug	101,6	ca. 433
103	16.10.00	Güterzug	99,7	ca. 506
104	16.10.00	Güterzug	98,3	ca. 610
105	16.10.00	Güterzug	68,7	ca. 272
106	16.10.00	Güterzug	110,5	ca. 426

107	16.10.00	Güterzug	120,4	ca. 448
108	16.10.00	Güterzug	120,8	ca. 381
109	17.10.00	Güterzug	119,9	ca. 548
110	17.10.00	Güterzug	118,7	ca. 426
111	17.10.00	Güterzug	117,1	ca. 559
112	17.10.00	Güterzug	121,8	ca. 376
113	17.10.00	Güterzug	120,1	ca. 471
114	17.10.00	Güterzug	119,3	ca. 307
115	17.10.00	Güterzug	137,7	ca. 527
116	17.10.00	Güterzug	121,3	ca. 534
117	17.10.00	Güterzug	118,6	ca. 493
118	17.10.00	Güterzug	115,0	ca. 689
119	17.10.00	Güterzug	120,1	ca. 412
120	17.10.00	Güterzug	99,4	ca. 356

Tabelle 8 Auflistung aller ausgewerteten Güterzug-Vorbeifahrten mit SSW

Zugart	ohne SSW		mit SSW		Summe Zeilen
	Geschw. [km/h]	Anzahl Fahrten	Geschw. [km/h]	Anzahl Fahrten	
ICE 1, ICE 2	195 - 278	43	143 - 277	48	91
ICE 3	195 - 200	6	178 - 200	4	10
IC-, IR-Züge	170 - 189	4	162 - 199	6	10
Güterzüge	100 - 122	17	69 - 138	19	36
Summe Spalten	-	70	-	77	147

Tabelle 9 Übersicht über die Anzahl der ausgewerteten Vorbeifahrten und die dabei erfaßten Geschwindigkeitsbereiche

Die Zahl der tatsächlich ausgewerteten Fahrten, nämlich 147, gegenüber den insgesamt vermessenen 153 Vorbeifahrten weist aus, daß fast alle Fahrten für die Bestimmung der SSW-Einfügungsdämpfung herangezogen werden konnten. So wurden aus der Meßreihe ohne SSW lediglich zwei ICE 1-Fahrten ausgeschlossen, nämlich Fahrt 066 und Fahrt 069, da in den zugehörigen Pegelverläufen bei einigen Rädern

deutliche Hinweise auf Unrundheiten mit extrem erhöhter Schallabstrahlung zu erkennen sind. Aus der Meßreihe mit SSW wurden diejenigen ICE 1- bzw. ICE 2-Vorbeifahrten nicht in die Auswertung einbezogen, die in der Zeit des leichten Regens oder kurz danach stattfanden, nämlich Fahrten 139 bis 142. Obwohl die gemessenen Werte für den Vorbeifahr- bzw. Stunden-Mittelungspegel dieser Fahrten nicht signifikant vom Durchschnitt vergleichbarer ICE 1- bzw. ICE 2-Vorbeifahrten abweichen, wurden diese Fahrten dennoch von der Auswertung ausgeschlossen, da aus prinzipiellen Erwägungen nur Fahrten bei trockenen Schienen berücksichtigt werden sollten.

3.3 Meßgeräte

Die Signale der drei Mikrofone wurden vor Ort digital mittels eines mehrkanaligen Datenerfassungssystems aufgezeichnet. Folgende Geräte kamen dabei zum Einsatz:

Mikrofone: drei 1/2"-Freifeldkapseln, B&K Typ 4191 mit Vorverstärker, B&K Typ 2619; zur Unterdrückung des eventuellen Windgeräusches waren die Mikrofone mit Windschirmen, B&K Typ UA 0237 versehen;

Verstärker: 32-kanaliger Mikrofonverstärker Fa. L&P;

Datenaufzeichnung: PC mit 486er Prozessor, bestückt mit A/D-Wandlerkarten vom Typ RTI 860 der Fa. Analog Devices, Abtastrate 25,0 kHz.

Die gesamten Meßketten von den jeweiligen Mikrofonen bis zur Aufzeichnung wurden zu Beginn und am Ende jedes Meßtags mit einem akustischen Kalibrator, B&K Typ 4230 kalibriert.

Des weiteren wurden mit dem Datenerfassungssystem die Signale zweier Lichtschranken abgespeichert, mit deren Hilfe die Geschwindigkeit der Züge bestimmt und eine Zuordnung von Zugposition und Schalldrucksignalen hergestellt wird. Die Lichtschranken waren rechts und links der Meßebene mit der Notfalltür an der vorderen Schiene befestigt (siehe Bild 7). Der Abstand der beiden Lichtschranken untereinander betrug 2005 mm bei den Messungen ohne SSW und 1992 mm während der Meßreihe

mit SSW. Die Notwendigkeit zum Einsatz zweier Lichtschranken ergab sich aus der Geschwindigkeitsbestimmung bei den Güterzügen. Während für ICE-, IC- und IR-Züge die Achsabstände der (Mittel)Wagen, Triebköpfe, Lokomotiven usw. bekannt sind und diese zur Geschwindigkeitsmessung mittels nur einer Lichtschranke herangezogen werden können, liegen solche Informationen bei Regel-Güterzügen im allgemeinen nicht vor. Darum mußten anhand der Messung der Zeitdifferenzen beim Durchgang ausgewählter Achsen durch die beiden Lichtschranken die Geschwindigkeiten der Güterzüge bestimmt werden.



Bild 7 Fotografie der beiden am Meßort montierten Lichtschranken

Eines der Lichtschrankensignale diente außerdem noch zur Feststellung der Zuglängen. Bei ICE-, IC- und IR-Zügen wird dieses lediglich zur Kontrolle der Anzahl der (Mittel)Wagen benutzt, um dann mittels der bekannten Längen von (Mittel)Wagen, Steuerwagen (ICE 2), Triebköpfen (ICE 1 und ICE 2), Endwagen (ICE 3) und Lokomotiven (IC- und IR-Züge) die Zuglänge anzugeben (siehe Zuglängen in Tabelle 1 bis 3 und 5 bis 7). Bei Güterzügen wird hingegen die Zuglänge aus der Zeitspanne zwischen erster und letzter detekterter Achse und der vorher berechneten mittleren Zuggeschwindigkeit zuzüglich einer Länge von 6,0 m bestimmt. Diese Länge berücksichtigt den ungefähren Abstand der vorderen Puffer zur ersten Lokomotivachse und der hinteren Puffer zur letzten Wagenachse.

4. Meßergebnisse

Grundlage für die Analyse der in den Tabellen 1 bis 8 aufgeführten Zugvorbeifahrten sind die Zeitverläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels $L_A(t)$. Daher wurden diese zu Beginn der Datenauswertung für die drei Mikrofonpositionen berechnet, und zwar je Vorbeifahrt über die jeweilige individuelle Gesamtmeßzeit. Aus diesen Pegelverläufen lassen sich dann Einzahlwerte wie Vorbeifahr-, Ereignis- und Stunden-Mittelungspegel durch Integration über unterschiedliche Meßzeiten bestimmen. Aus letzterem Pegel folgt durch Normierung entsprechend den Vorschriften der Schall 03 der örtliche spezifische Grundwert. Diese Kenngröße sowie der Vorbeifahrpegel jeweils für die Fälle mit und ohne SSW bilden später die Basis zur Bestimmung der SSW-Einfügungsdämpfung.

4.1 Pegelverläufe und Schalldruckspektren

Im folgenden werden für jede Zugart und jeweils alle drei Mikrofonpositionen exemplarische Zeitverläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels gezeigt. Die Mikrofonsignale wurden dafür so ausgewertet, daß die Kurvendarstellung vergleichbar mit analog gemessenen Pegelschrieben bei "Fast"-Bewertung ist. Als Abszisse dient in den Bildern die Fahrzeugkoordinate mit der Zugspitze als Nullpunkt. Die Pegelverläufe sind über die jeweilige gesamte Meßzeit aufgetragen. In jedem der folgenden Bilder sind zusätzlich zu den Pegelverläufen die dazugehörigen Schmalbandspektren dargestellt. Für diese erfolgte die Signalanalyse jeweils zwischen den Zeitpunkten, als die Zugspitze bzw. das Zugende die Meßebene durchfuhr.

4.1.1 Exemplarische Ergebnisse ohne SSW

Die Bilder 8 bis 15 zeigen die Ergebnisse von acht Zugvorbeifahrten ohne SSW. Sie wurden als repräsentative Beispiele aus den insgesamt 70 ausgewerteten Vorbeifahrten zur Veranschaulichung der Situation ohne SSW ausgewählt. Aufgetragen sind jeweils die Ergebnisse in 7,5, 25 und 50 m Entfernung von Gleismitte entsprechend den drei Mikrofonorten. Zunächst zeigen die Bilder 8 bis 10 Vorbeifahrten des ICE 1 mit 12 Mittelwagen und Geschwindigkeiten von ca. 200, 225 und 250 km/h. Typisch für den ICE 1 sind dabei die in den Pegelverläufen erkennbaren Überhöhungen im Bereich der Triebköpfe, die allerdings in 50 m Meßentfernung kaum noch ausgeprägt sind.

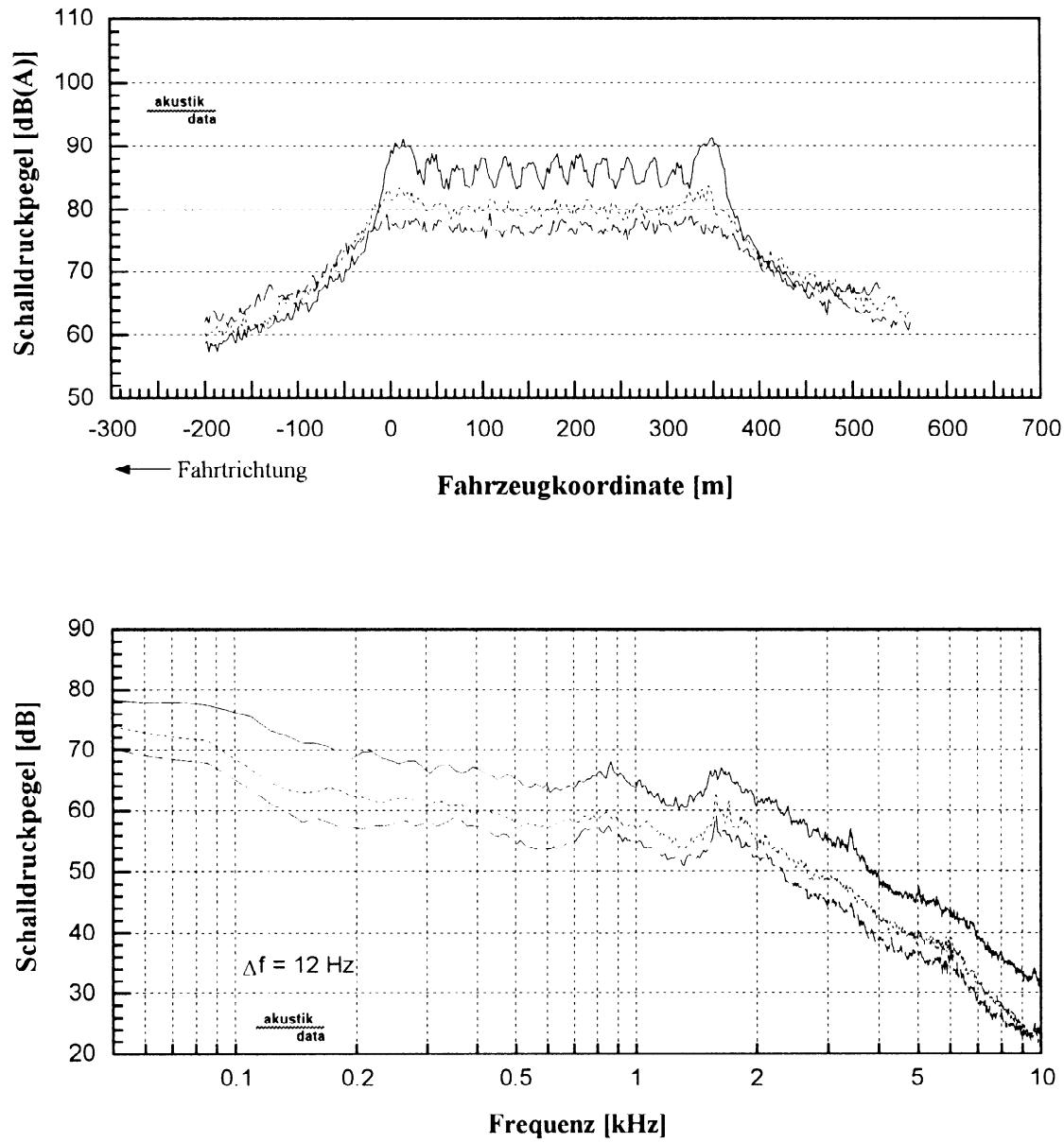


Bild 8 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines ICE 1 mit 12 Mittelwagen (Fahrt 019) mit 201,1 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (---) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte ohne SSW

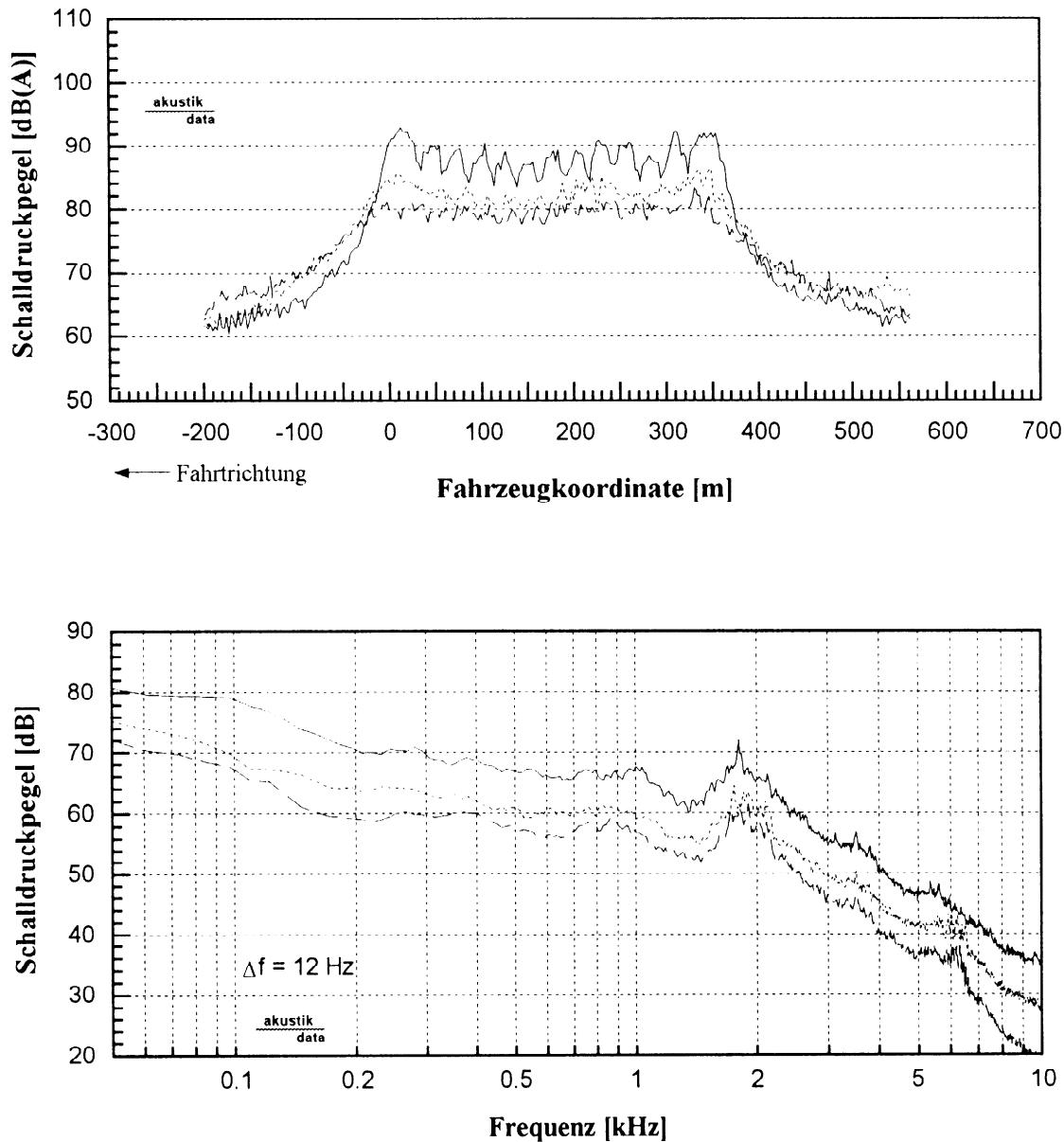


Bild 9 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines ICE 1 mit 12 Mittelwagen (Fahrt 023) mit 222,7 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (- - -) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte ohne SSW

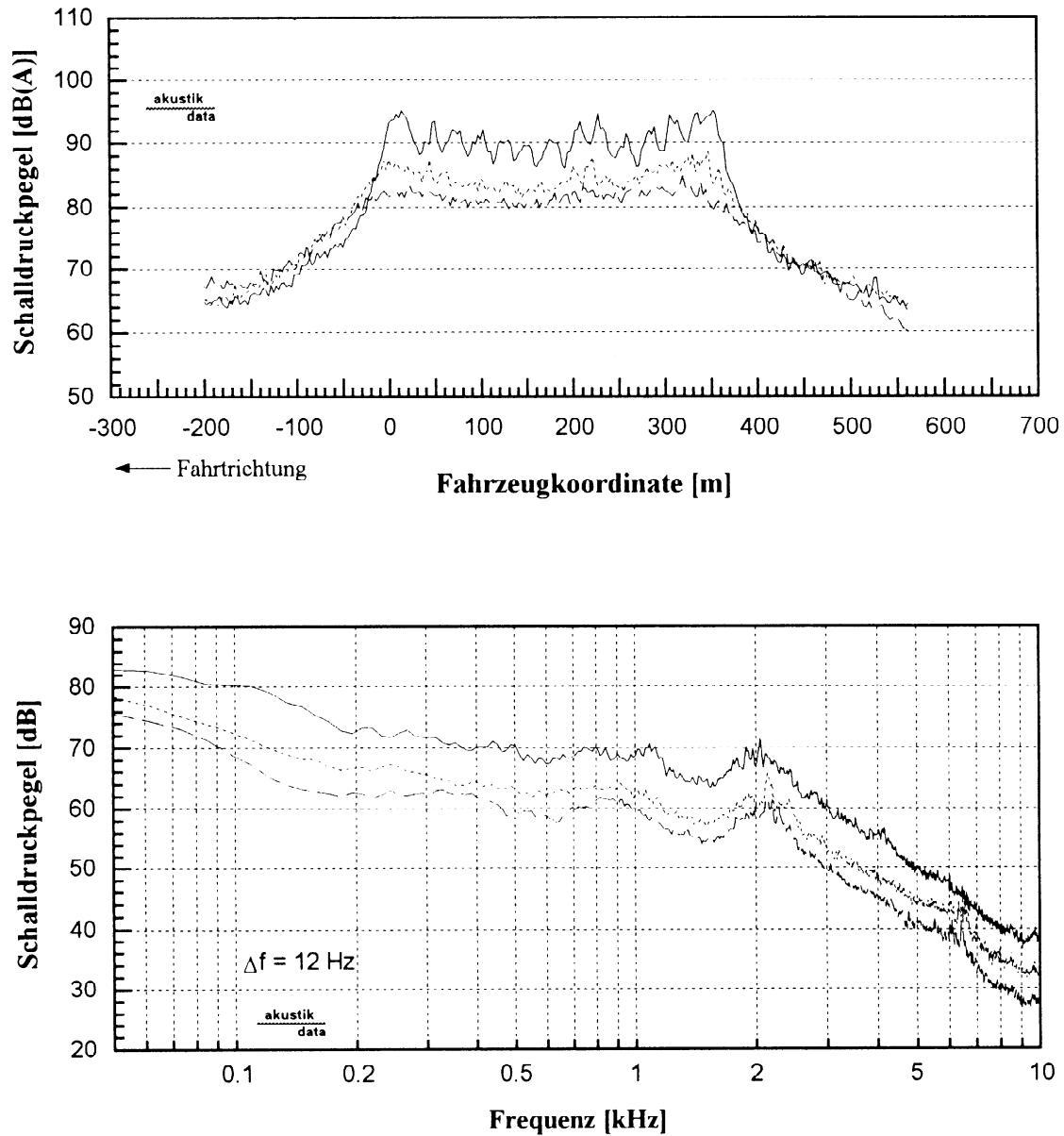


Bild 10 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines ICE 1 mit 12 Mittelwagen (Fahrt 029) mit 250,3 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (---) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte ohne SSW

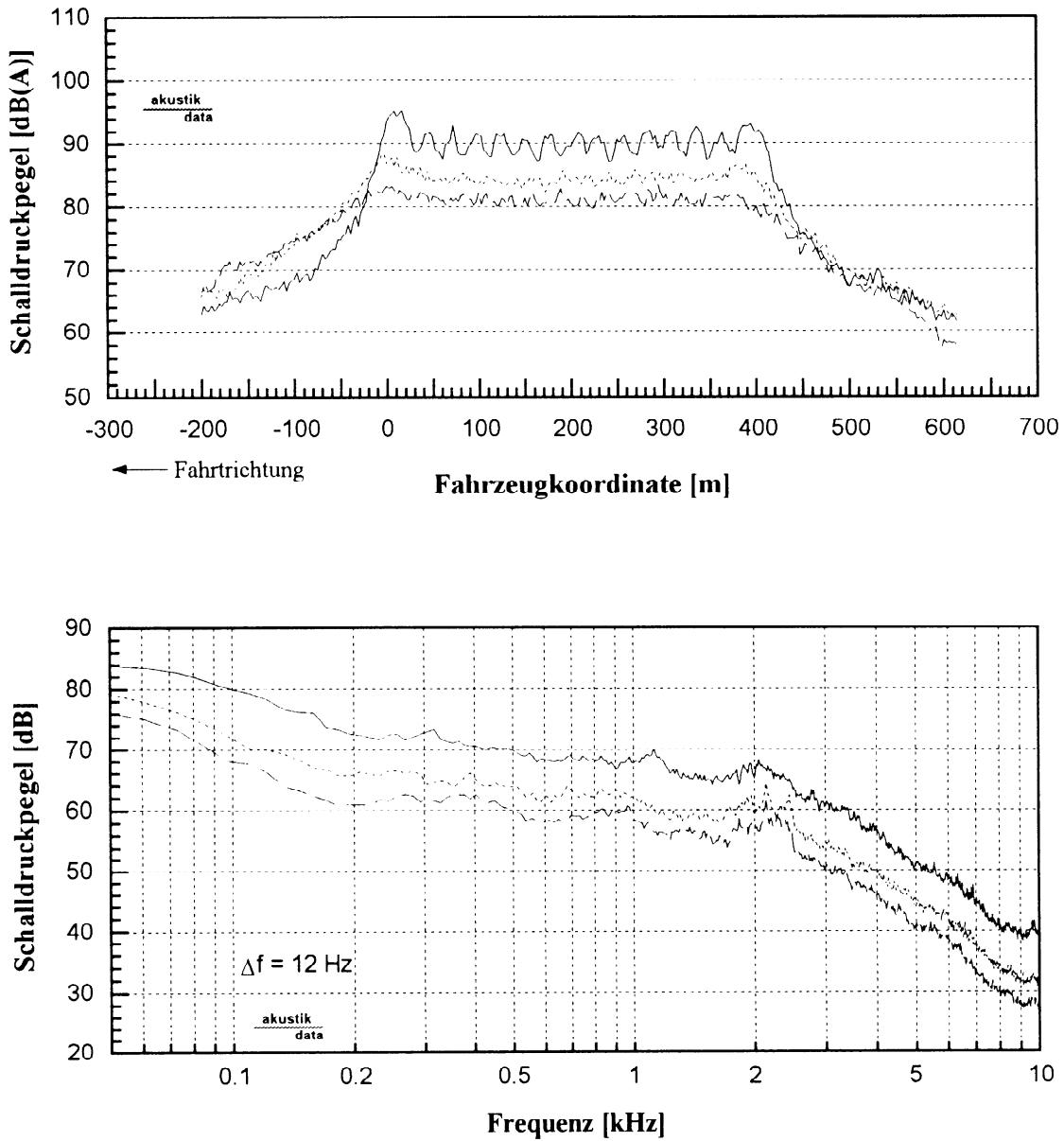


Bild 11 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines ICE 2-Vollzugs (Fahrt 025) mit 250,2 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (---) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte ohne SSW

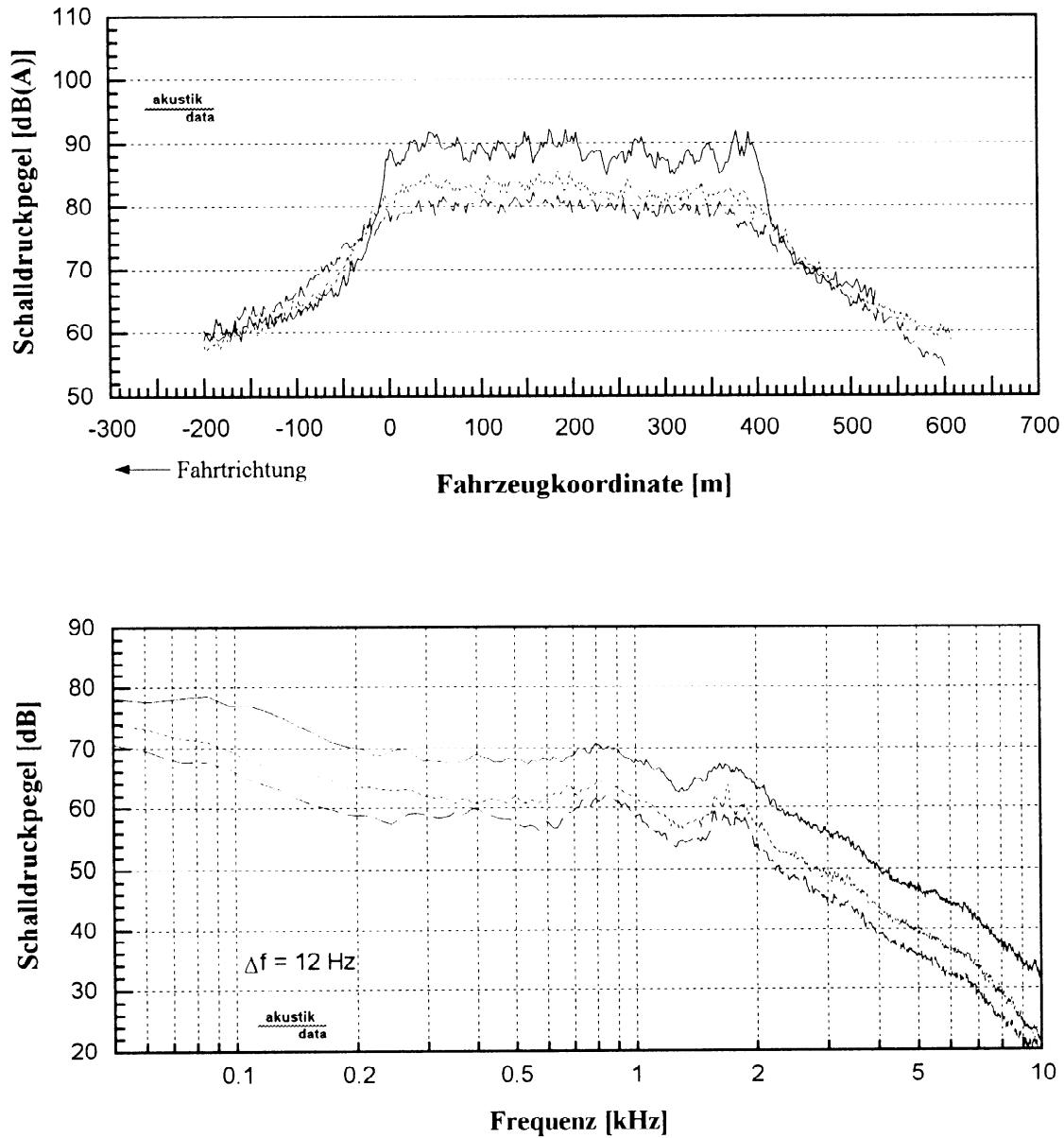


Bild 12 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines ICE 3-Vollzugs (Fahrt 028) mit 199,8 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (---) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte ohne SSW

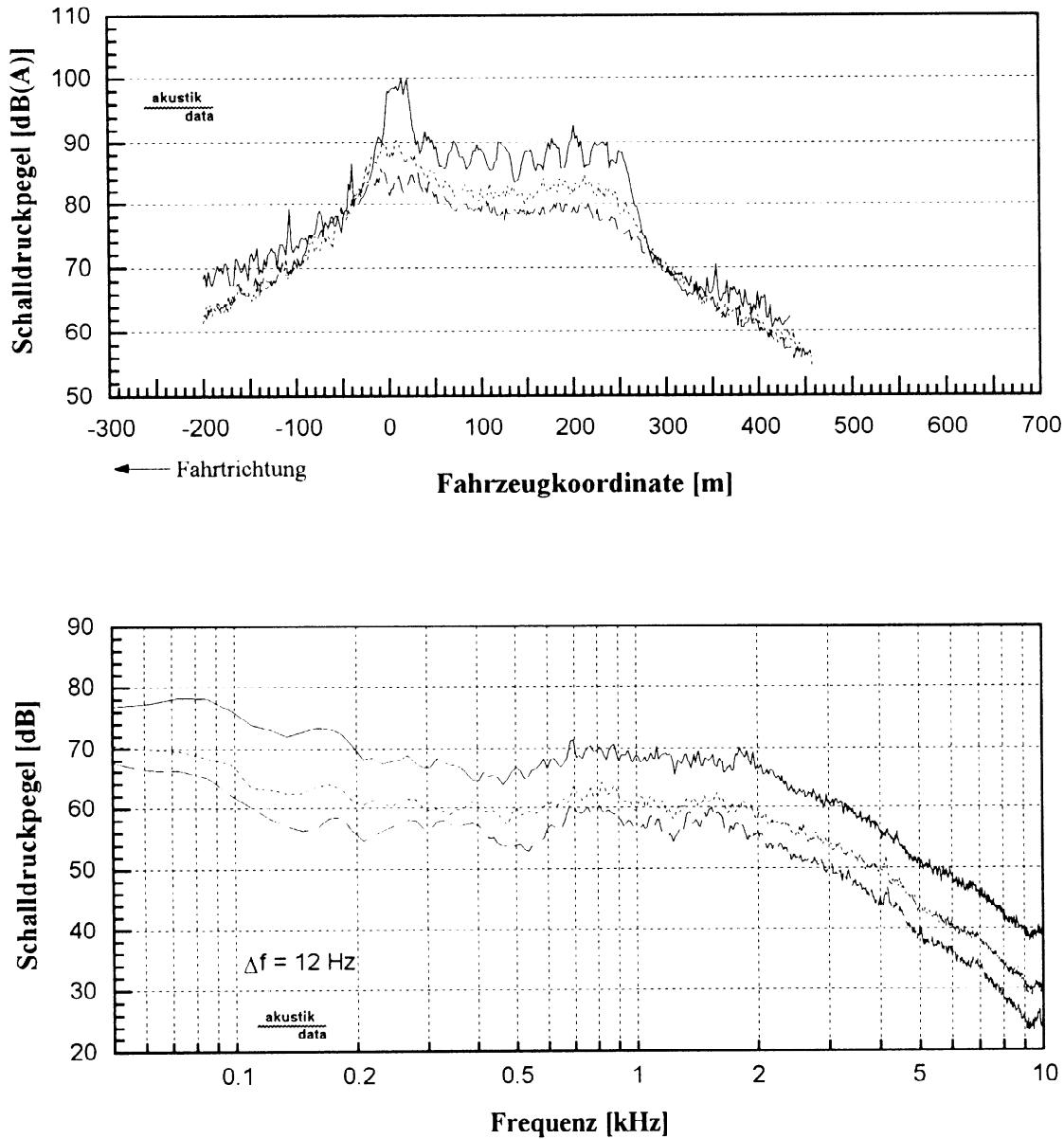


Bild 13 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines IC- bzw. IR-Zugs mit 9 Wagen (Fahrt 041) mit 174,4 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (---) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte ohne SSW

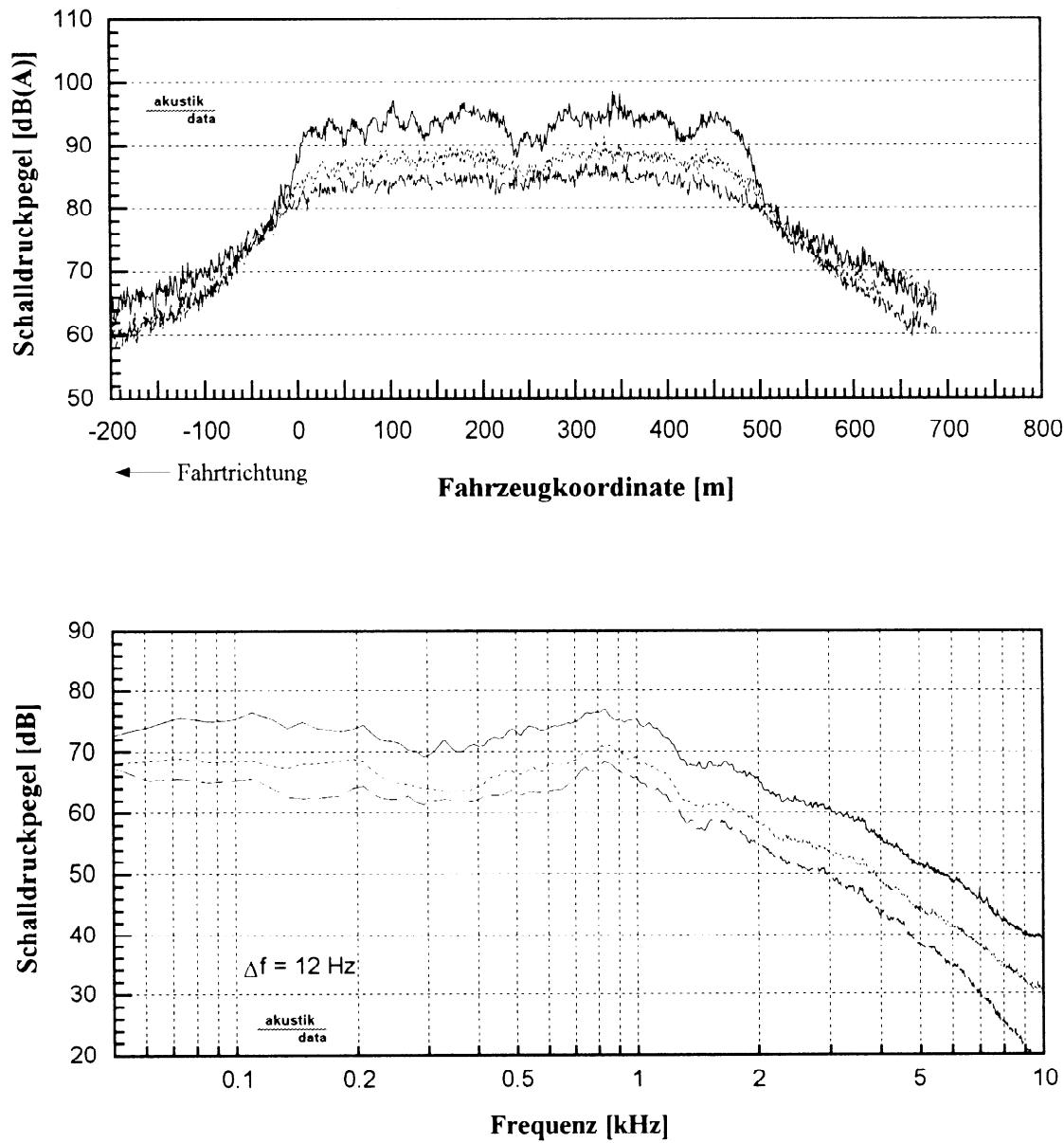


Bild 14 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines Güterzugs von ca. 488 m Länge (Fahrt 014) mit 100,3 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (----) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte ohne SSW

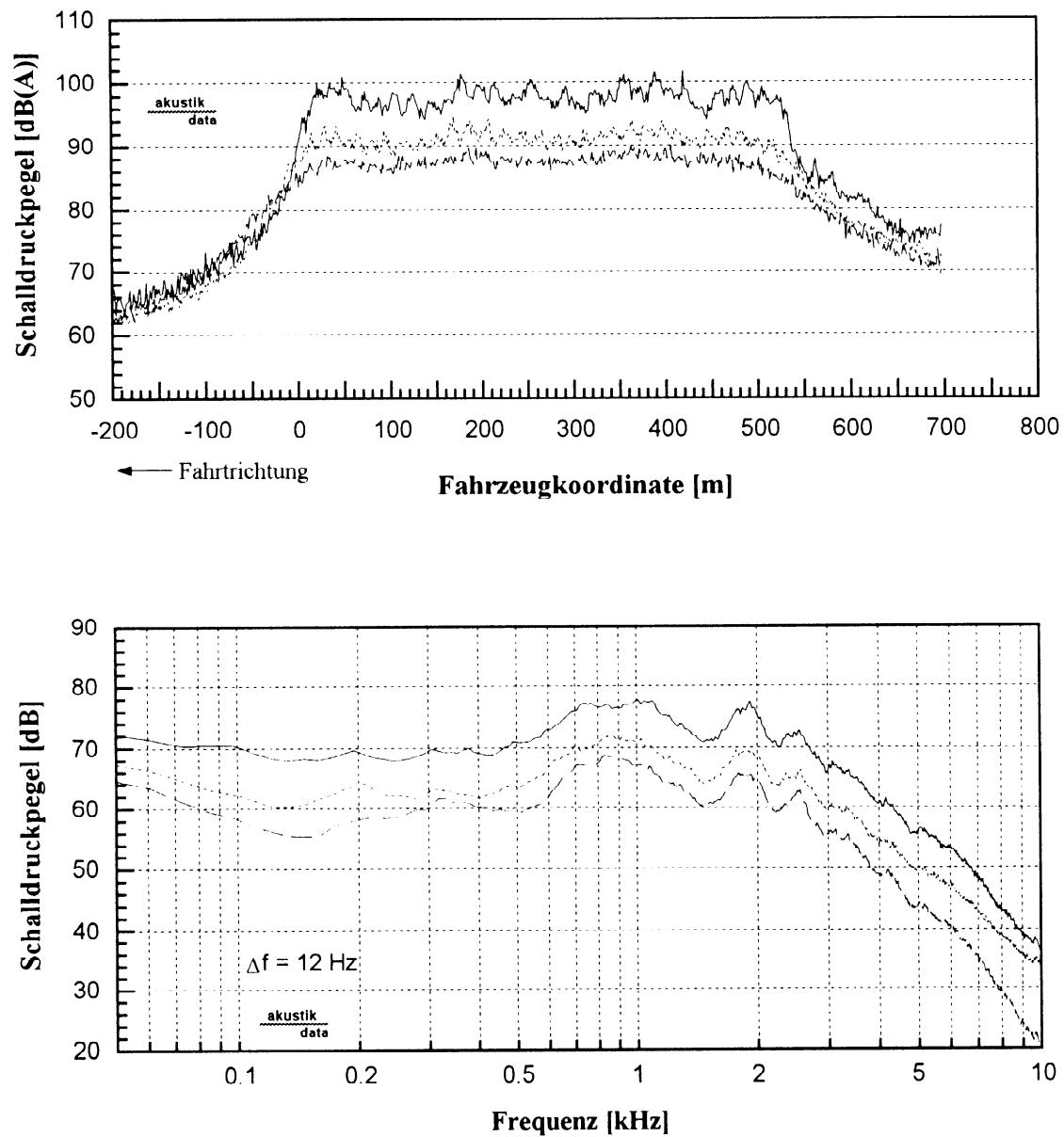


Bild 15 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines Güterzugs von ca. 526 m Länge (Fahrt 050) mit 122,3 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (---) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte ohne SSW

Die Pegelverläufe von ICE 2-Zügen sind sowohl in ihrer Form als auch der Pegelhöhe denen von ICE 1-Zügen sehr ähnlich. Bild 11 zeigt die Vorbeifahrt eines ICE 2-Vollzugs bestehend aus zwei Halbzügen mit jeweils einem Triebkopf und einem Steuerwagen bei 250 km/h. Demgegenüber weist der ICE 3 eine abweichende Struktur in den gleisnah gemessenen Pegelverläufen auf, da dieser Triebwagenzug eine veränderte Schallquellenverteilung besitzt. Die Geschwindigkeit von 200 km/h - wie in Bild 12 - war zum Zeitpunkt der Messungen im Herbst 2000 die für Regelfahrten des ICE 3 maximal zulässige Geschwindigkeit, so daß keine schnelleren ICE 3-Züge vermessen werden konnten. Vergleicht man Bild 8 und Bild 12, stellt man für den aus zwei identischen Halbzügen bestehenden ICE 3-Vollzug gegenüber dem ICE 1 eine merklich höhere Schallemission fest.

Die Vorbeifahrt eines IC- bzw. IR-Zugs mit neun Wagen und ca. 175 km/h ist in Bild 13 dargestellt. Die Pegelüberhöhung am Zuganfang weist die Lokomotive als Bereich der stärksten Schallquellen eines solchen Zugs mit scheibengebremsten Wagenrädern aus. Vorbeifahrten von ungefähr 500 m langen Güterzügen mit ca. 100 und 120 km/h sind in Bild 14 und 15 gezeigt. Hierbei kann es in der Struktur der Pegelverläufe innerhalb und zwischen individuellen Güterzügen zu sehr großen Abweichungen kommen, je nachdem welche Wagenbauarten in diese Züge eingestellt sind und welche Rauhigkeiten die Radlauflächen der einzelnen Wagen besitzen. Bild 14 ist dazu ein augenfälliges Beispiel, während der Güterzug von Bild 15 eine eher homogene Schallquellenverteilung aufweist. In beiden Fällen tritt die Emission der Lokomotive wegen der klotzgebremsten Wagenräder nicht hervor.

4.1.2 Exemplarische Ergebnisse mit SSW

In Analogie zu den Bildern 8 bis 15 dokumentieren die Bilder 16 bis 23 Vorbeifahrten derselben Zugarten, nachdem die SSW wieder vollständig aufgebaut worden war. Diese Fahrten stehen exemplarisch für die insgesamt 77 ausgewerteten Messungen mit SSW. Die Ergebnisse für ICE 1-Züge bei ca. 200, 225 und 250 km/h sind in den Bildern 16 bis 18 wiedergegeben. Die Struktur der Pegelverläufe ist nun bei allen drei Meßentfernungen gekennzeichnet durch starke Pegelüberhöhungen im Bereich der Triebköpfe gegenüber den deutlich verminderten Pegeln im Bereich der Mittelwagen, was Ausdruck der geringeren Wandwirkung bei den Triebköpfen aufgrund ihrer so genannten "hochliegenden" Schallquellen ist.

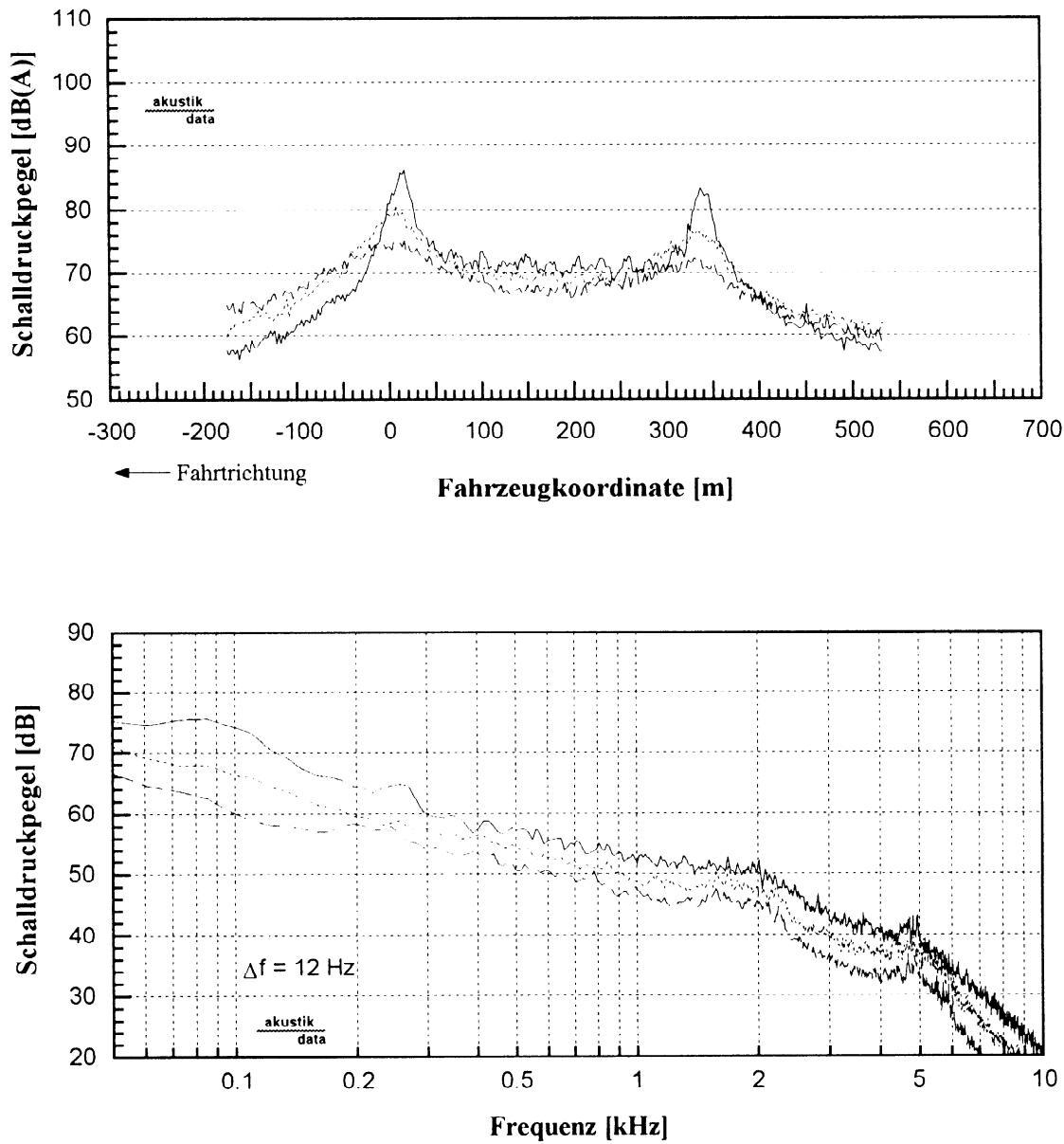


Bild 16 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines ICE 1 mit 12 Mittelwagen (Fahrt 155) mit 200,4 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (---) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte mit SSW

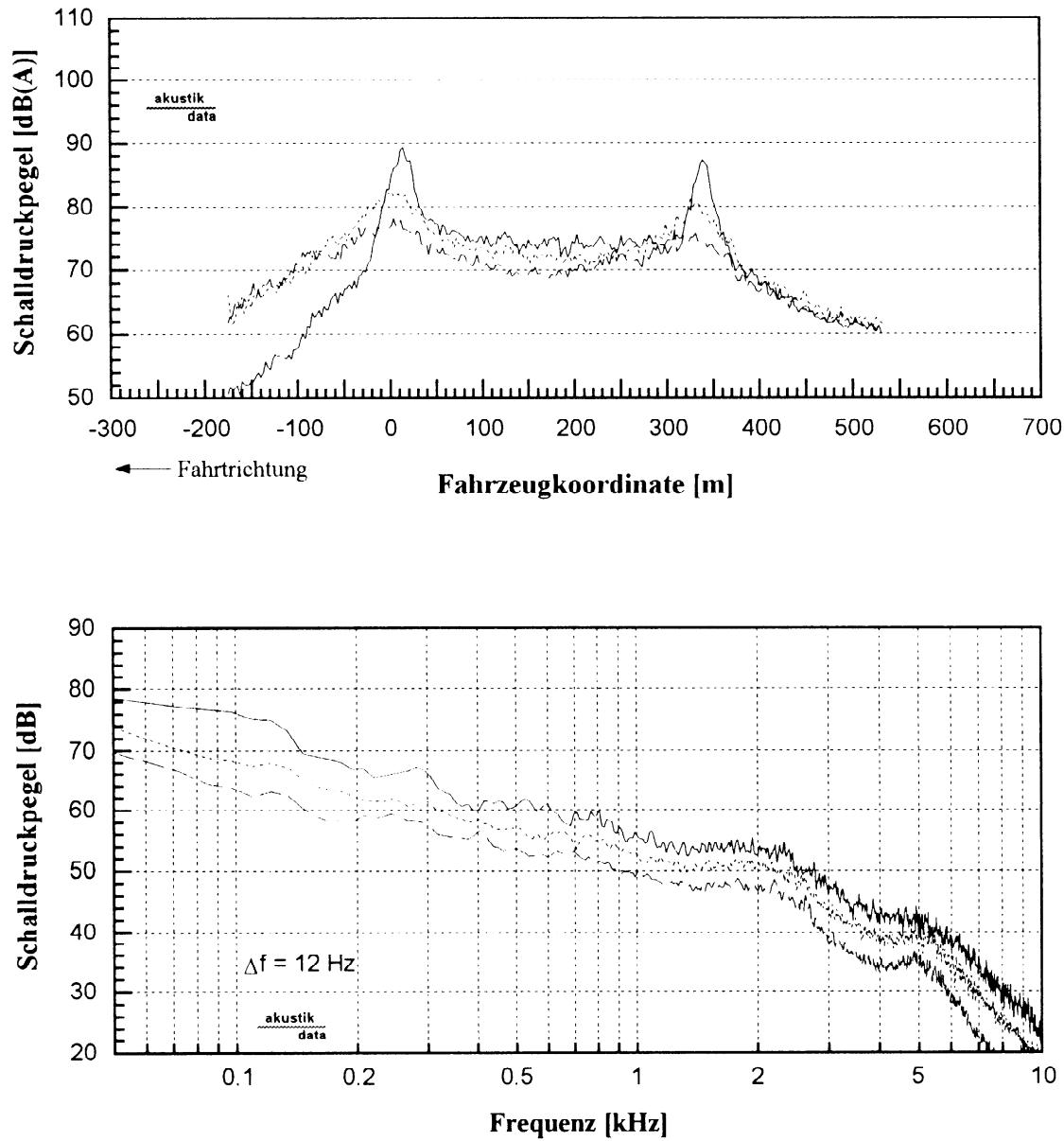


Bild 17 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines ICE 1 mit 12 Mittelwagen (Fahrt 164) mit 226,8 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (---) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte mit SSW

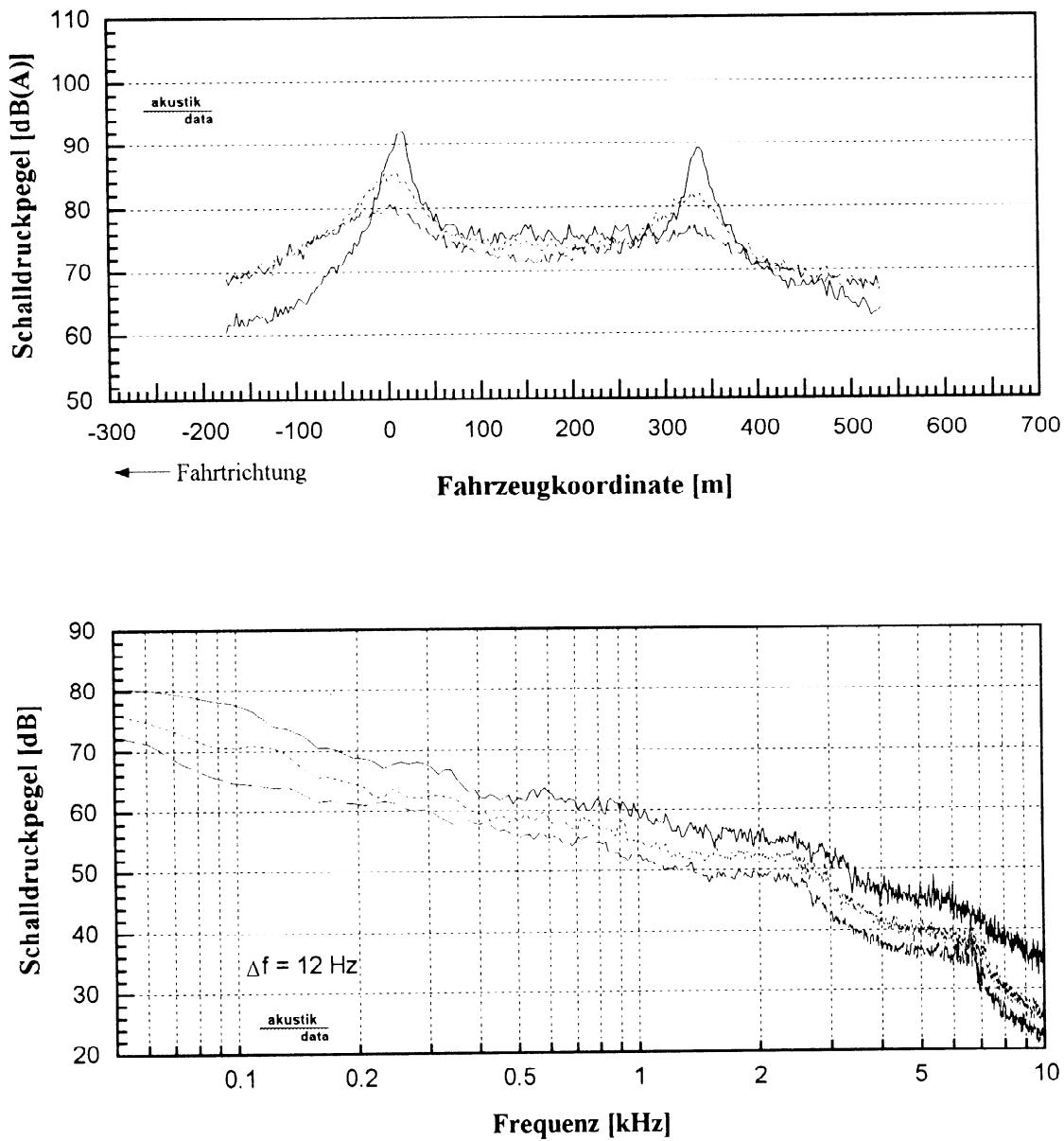


Bild 18 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines ICE 1 mit 12 Mittelwagen (Fahrt 124) mit 250,3 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (---) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte mit SSW

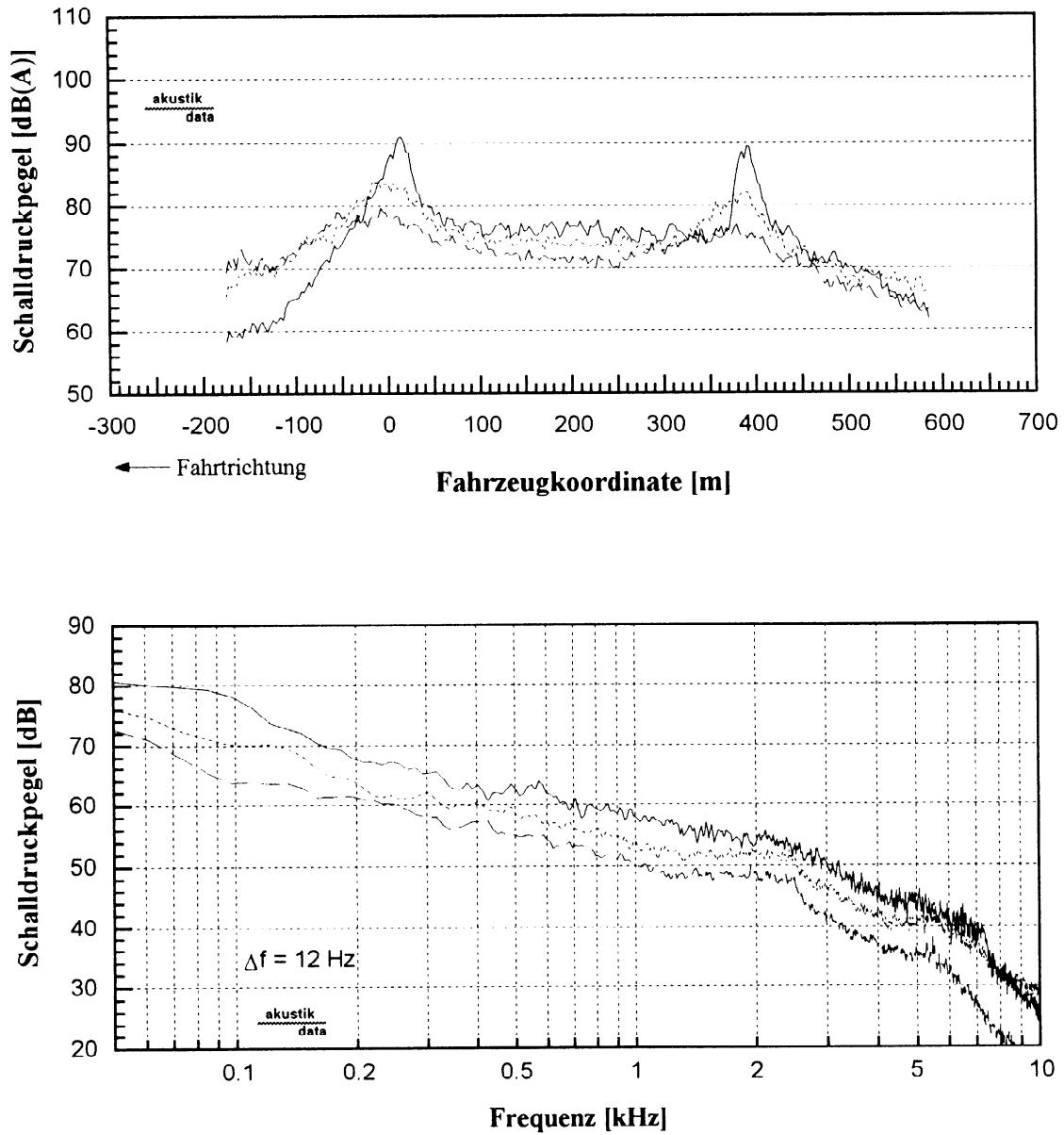


Bild 19 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines ICE 2-Vollzugs (Fahrt 149) mit 250,8 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (---) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte mit SSW

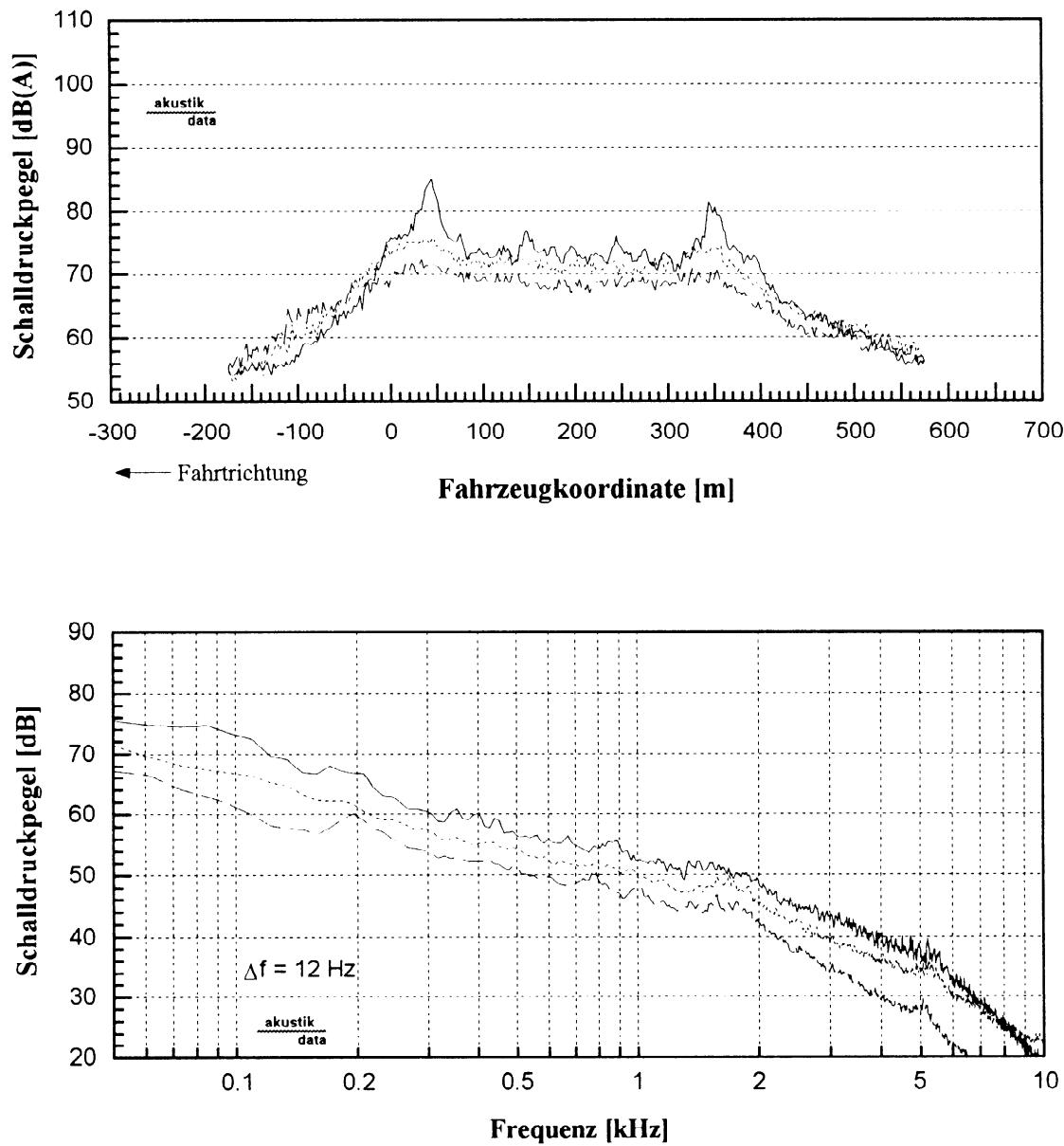


Bild 20 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines ICE 3-Vollzugs (Fahrt 152) mit 199,7 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (---) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte mit SSW

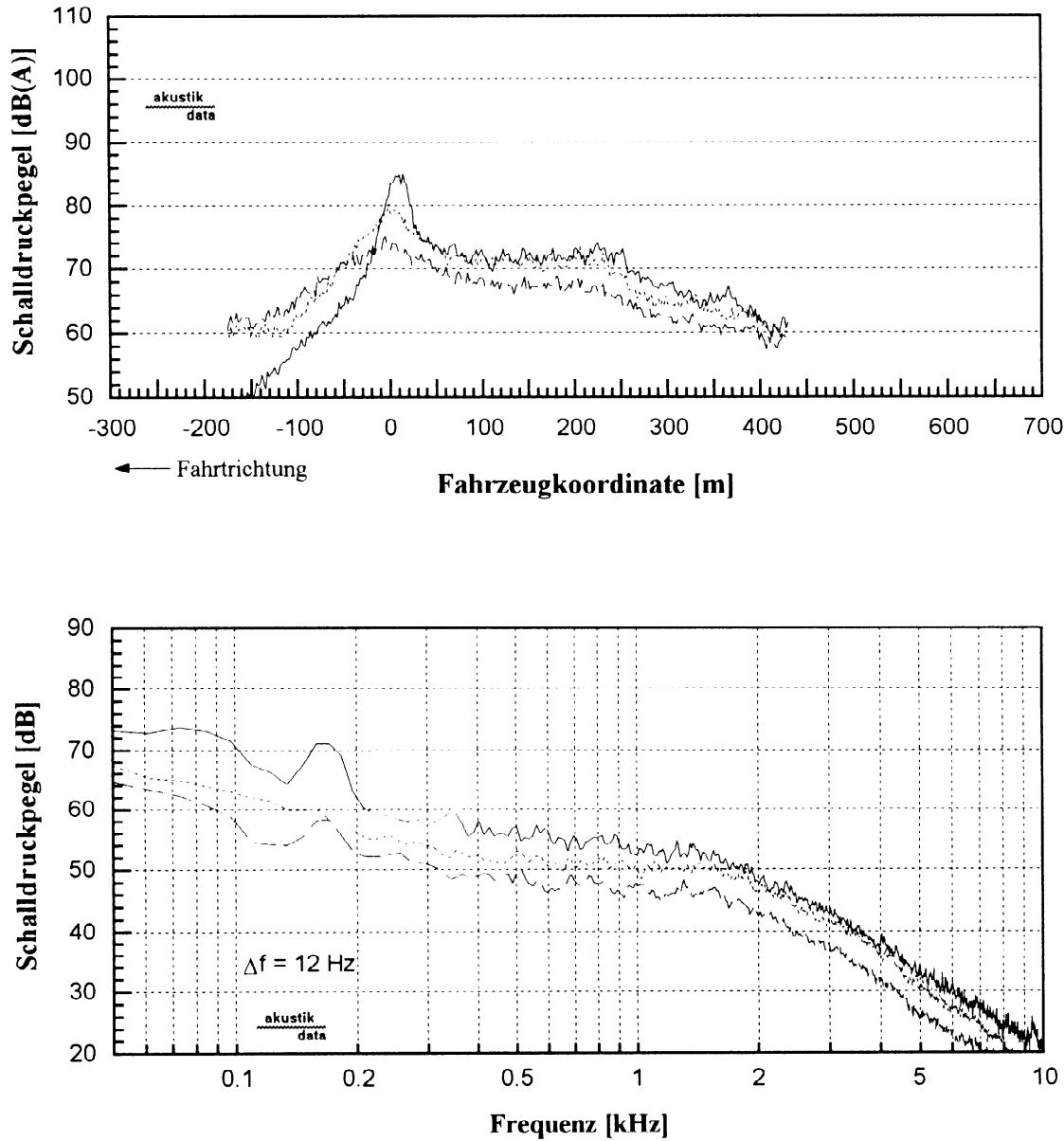


Bild 21 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines IC- bzw. IR-Zugs mit 9 Wagen (Fahrt 163) mit 174,1 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (---) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte mit SSW

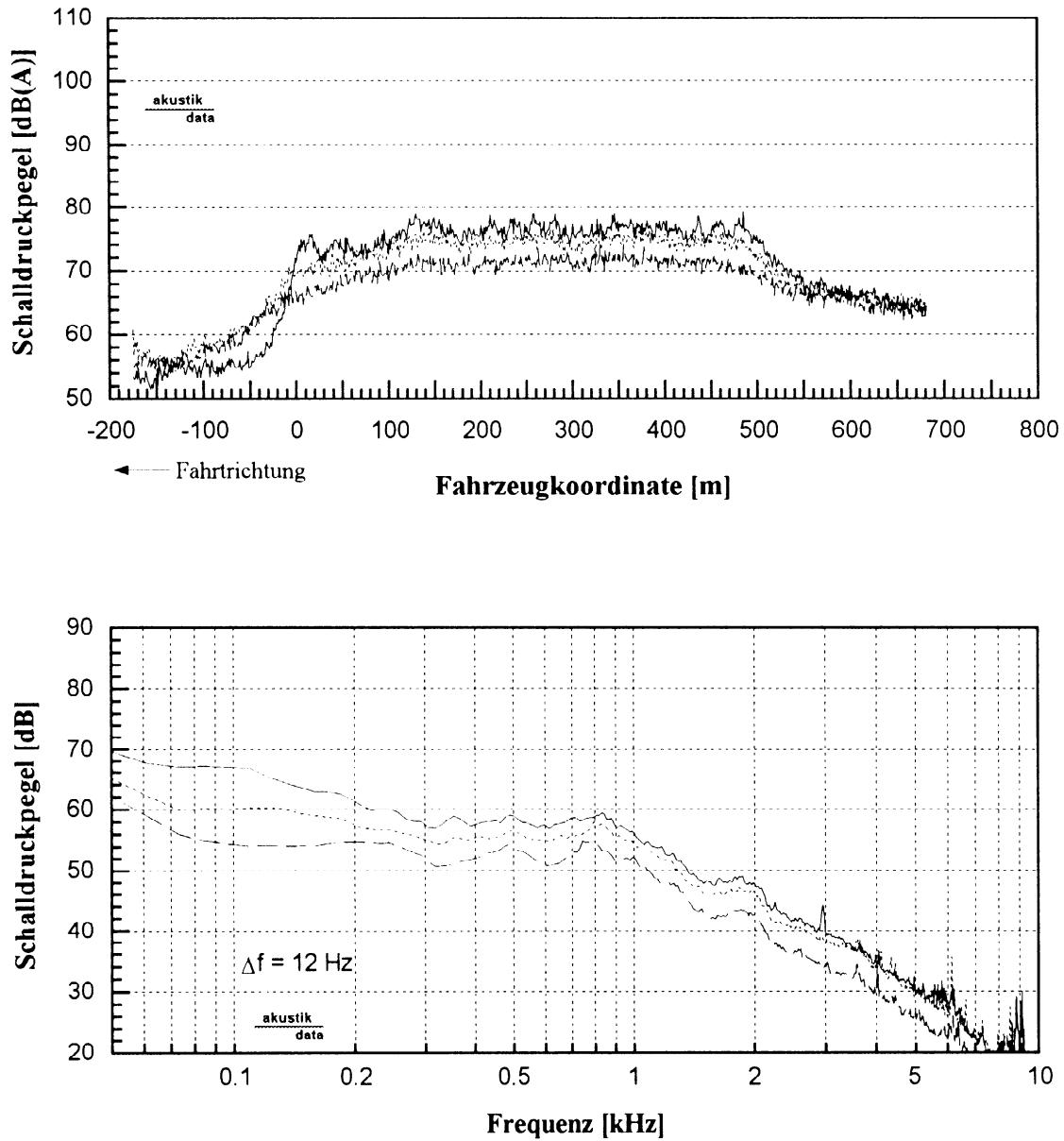


Bild 22 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines Güterzugs von ca. 506 m Länge (Fahrt 103) mit 99,7 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (---) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte mit SSW

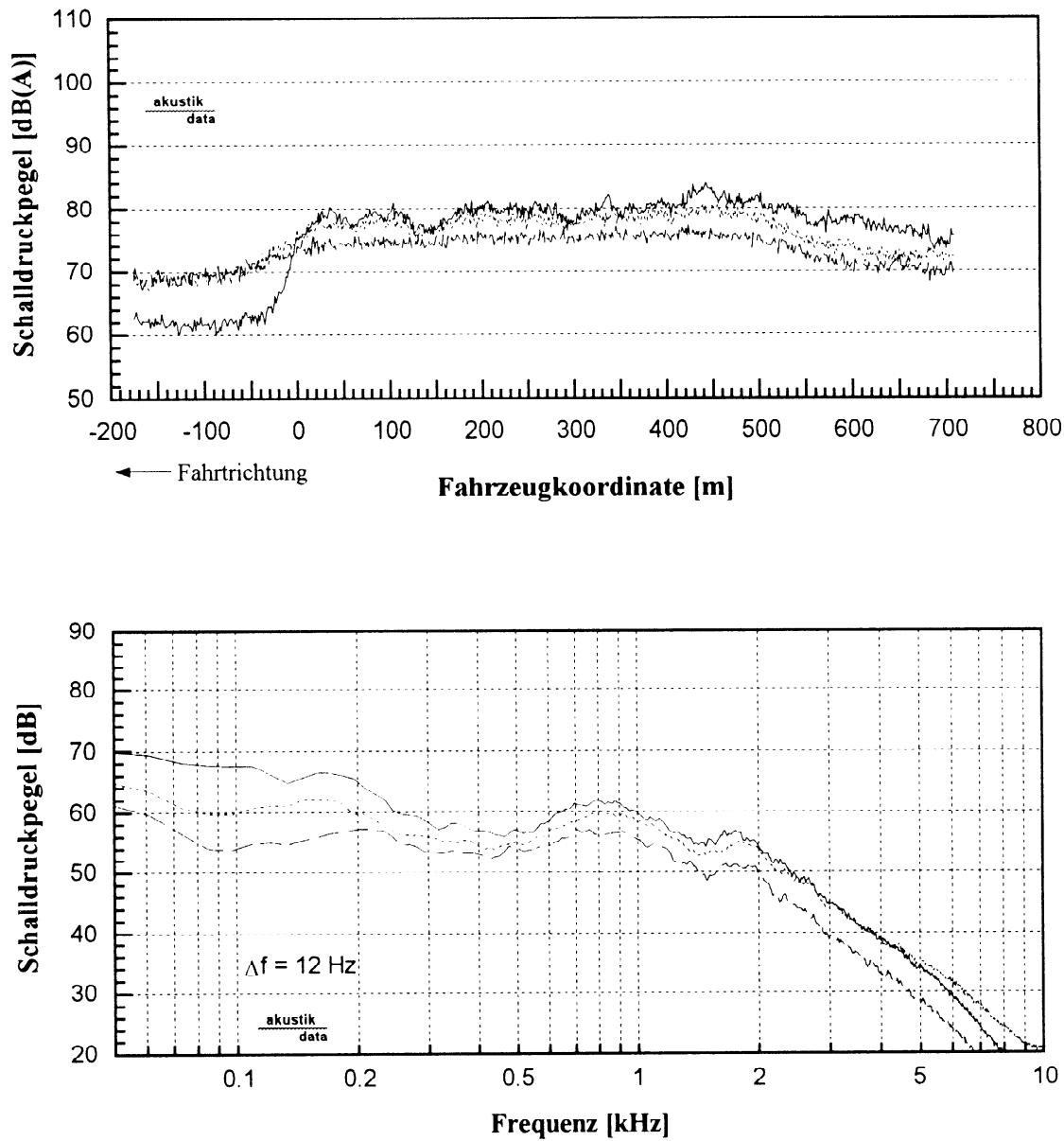


Bild 23 Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels (oben) sowie Schmalbandspektren (unten) bei Vorbeifahrt eines Güterzugs von ca. 534 m Länge (Fahrt 116) mit 121,3 km/h gemessen in 7,5 m (—), 25 m (----) und 50 m (— —) Entfernung von Gleismitte mit SSW

Für ICE 2-Vollzüge (siehe Bild 19) ergibt sich für die gemessenen Pegelverläufe wegen der weitgehenden akustischen Äquivalenz von ICE 1 und ICE 2 die gleiche Aussage wie beim ICE 1. In Bild 20 läßt sich bei Vorbeifahrt eines ICE 3-Vollzugs mit ca. 200 km/h eine verminderte Wandwirkung nur in 7,5 m Entfernung von Gleismitte deutlich erkennen, und zwar an den Orten der ausgefahrenen Stromabnehmer auf dem zweiten und vorletzten Wagen. Zwei weitere - allerdings geringere - Pegel spitzen in diesem Pegelverlauf weisen auf die Emission der beiden abgesenkten Stromabnehmer hin.

Entsprechend bewirken auch die hochliegenden Schallquellen einer Lokomotive bei einem ca. 175 km/h schnellen IC- bzw. IR-Zug in diesem Bereich eine Verringerung der SSW-Einfügungsdämpfung. Dies dokumentiert sich in Bild 21 darin, daß insbesondere am 7,5 m-Meßort hinter der Wand die Pegeldifferenz zwischen Lokomotiv- und Wagenbereich deutlich zugenommen hat (vergleiche mit Bild 13). Für die Güterzug-Vorbeifahrten mit SSW in Bild 22 (ca. 100 km/h) und Bild 23 (ca. 120 km/h) wurden wieder zwei Züge von ungefähr 500 m Länge zur Veranschaulichung ausgewählt, damit sie zum nun folgenden Vergleich der Pegelverläufe bei nicht vorhandener SSW möglichst gut passen.

4.1.3 Vergleich von Pegelverläufen mit und ohne SSW

Pegelverläufe mit und ohne SSW werden für die verschiedenen Zugarten in den Bildern 24 bis 31 verglichen. Ausgewählt wurden dafür die Ergebnisse aus den Bildern 8 bis 23 in 25 m Meßentfernung. Da es sich im jeweiligen folgenden Bild nicht um denselben Zug handelt, können sich individuelle Besonderheiten in einem Pegelverlauf nicht im damit verglichenen Verlauf widerspiegeln. Jedoch ist bei den ICE- sowie IC- bzw. IR-Zügen die Anzahl der Wagen identisch und ebenso ist die Länge der Güterzüge annähernd gleich. Auch differiert die Zuggeschwindigkeit je Bild kaum. Dadurch läßt sich für die einzelnen Zugarten ein erster optischer und qualitativer Eindruck bezüglich der Wandwirkung gewinnen. So erkennt man beim ICE 1 und ICE 2 (Bild 24 bis 27) die starke Verringerung der Einfügungsdämpfung im Bereich der Triebköpfe aufgrund der dortigen hochliegenden Schallquellen, was sich ebenfalls beim ICE 3 (Bild 28) in den Bereichen mit Dachaufbauten andeutet. Dies hat bei der Pegelmittelung über die Vorbeifahrzeit (und längere Zeiten) einen erheblichen negativen Einfluß auf den Wert der Einfügungsdämpfung.

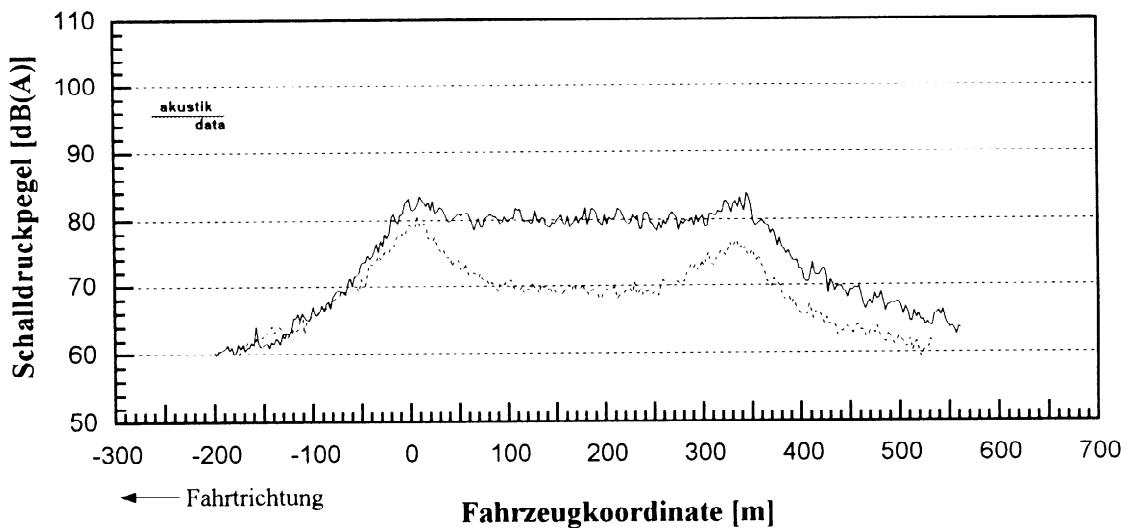


Bild 24 Vergleich der Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte bei Vorbeifahrt eines ICE 1 mit 12 Mittelwagen ohne SSW (—, Fahrt 019, 201,1 km/h) und mit SSW (- - -, Fahrt 155, 200,4 km/h)

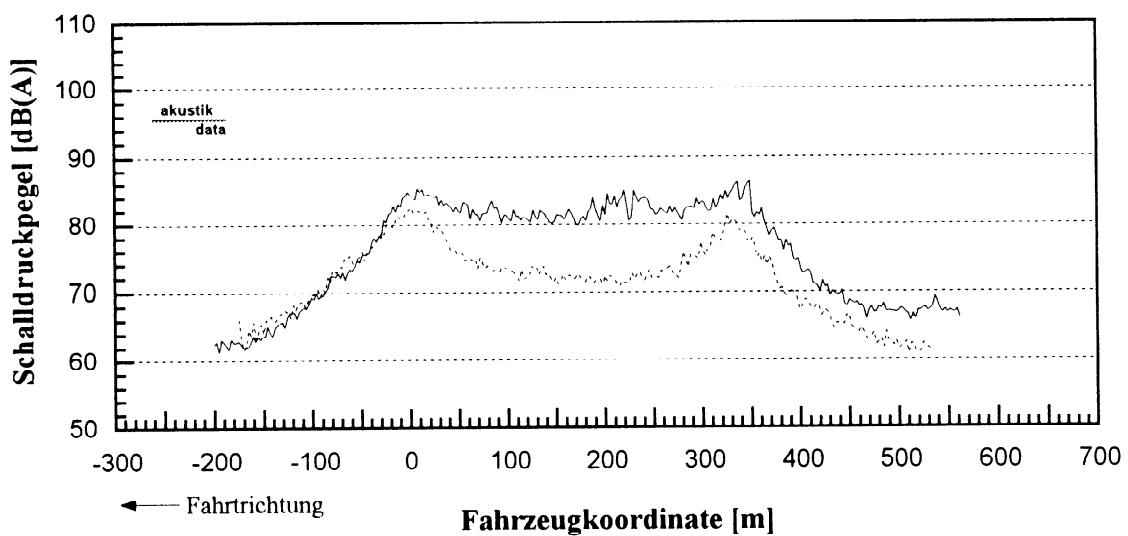


Bild 25 Vergleich der Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte bei Vorbeifahrt eines ICE 1 mit 12 Mittelwagen ohne SSW (—, Fahrt 023, 222,7 km/h) und mit SSW (- - -, Fahrt 164, 226,8 km/h)

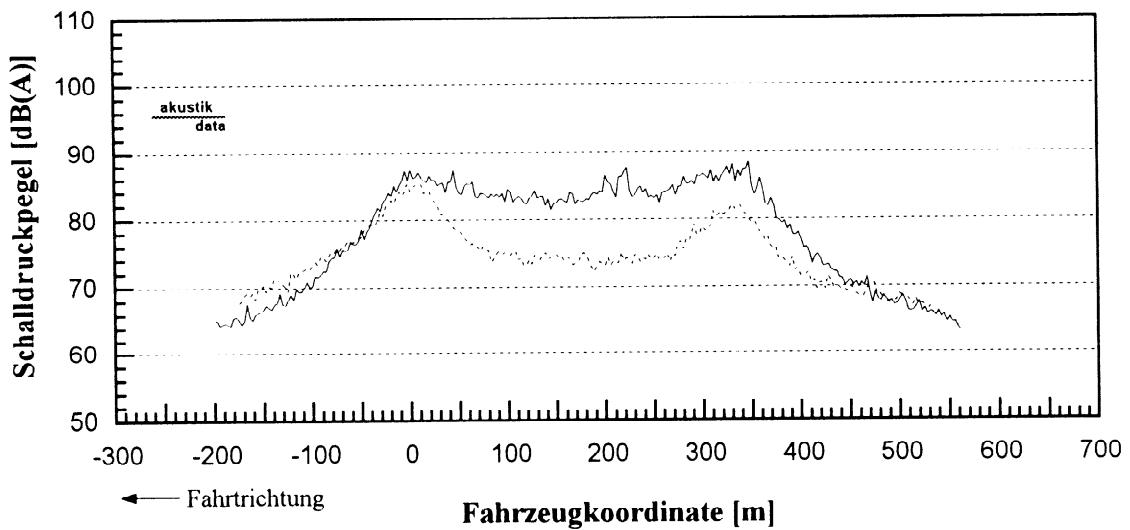


Bild 26 Vergleich der Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte bei Vorbeifahrt eines ICE 1 mit 12 Mittelwagen ohne SSW (—, Fahrt 029, 250,3 km/h) und mit SSW (---, Fahrt 124, 250,3 km/h)

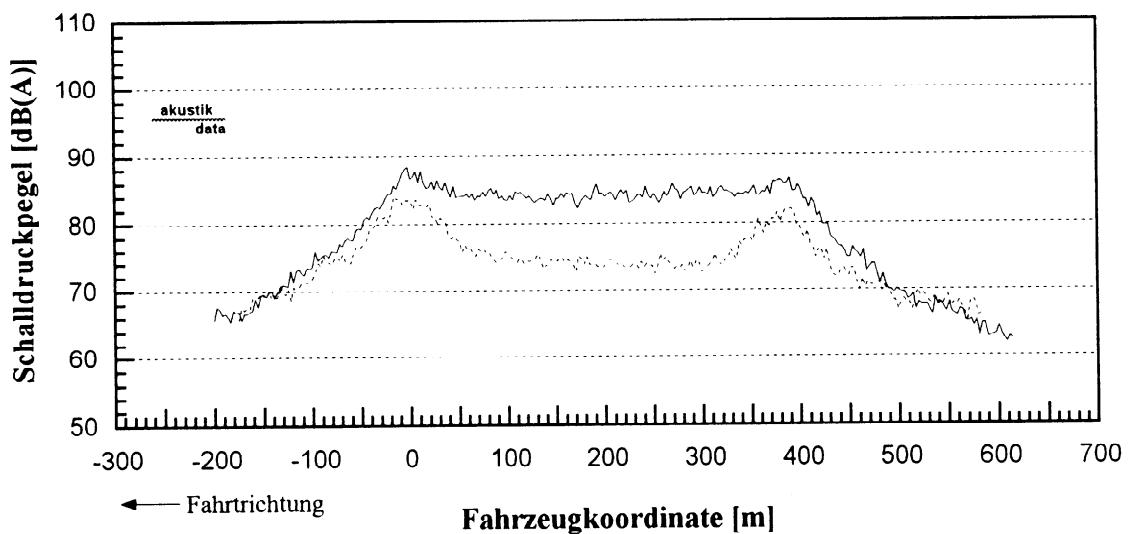


Bild 27 Vergleich der Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte bei Vorbeifahrt eines ICE 2-Vollzugs ohne SSW (—, Fahrt 025, 250,2 km/h) und mit SSW (---, Fahrt 149, 250,8 km/h)

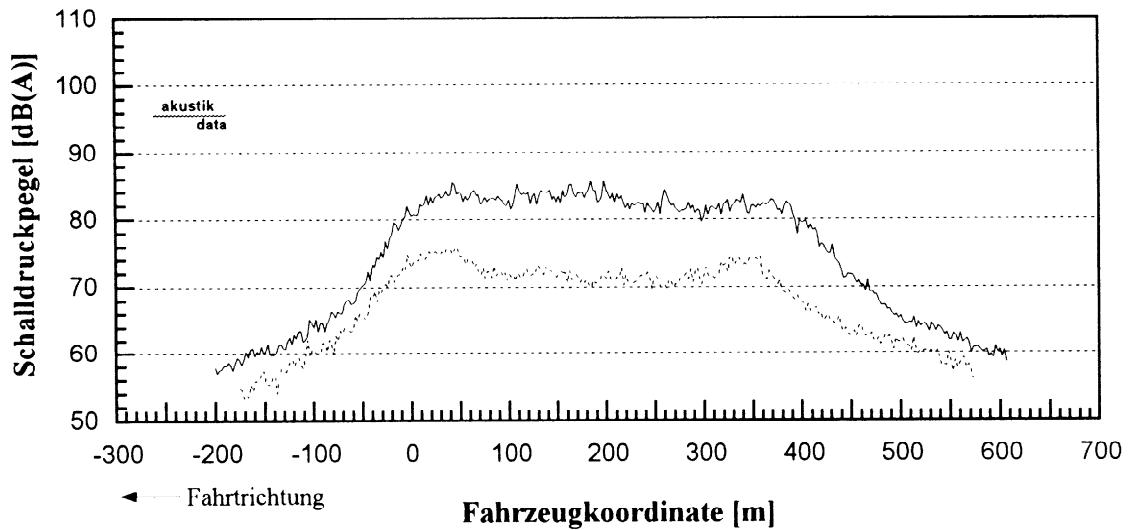


Bild 28 Vergleich der Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte bei Vorbeifahrt eines ICE 3-Vollzugs ohne SSW (—, Fahrt 028, 199,8 km/h) und mit SSW (---, Fahrt 152, 199,7 km/h)

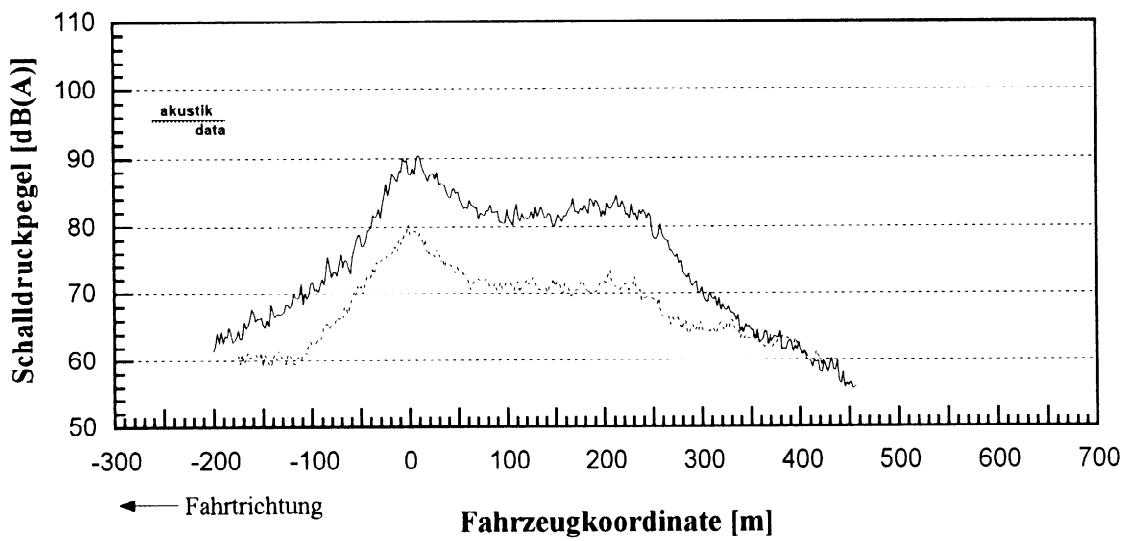


Bild 29 Vergleich der Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte bei Vorbeifahrt eines IC- bzw. IR-Zugs mit 9 Wagen ohne SSW (—, Fahrt 041, 174,4 km/h) und mit SSW (---, Fahrt 163, 174,1 km/h)

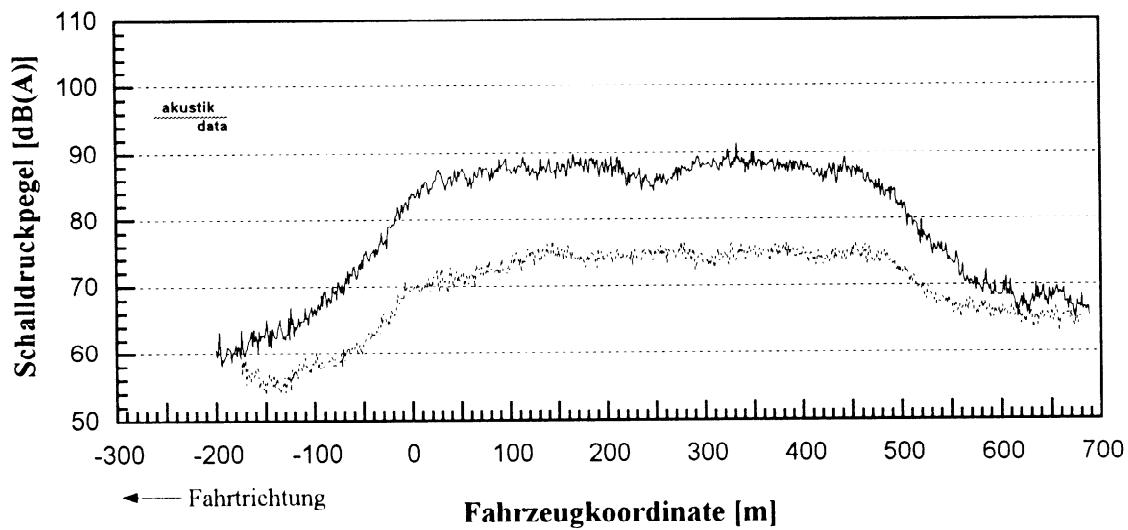


Bild 30 Vergleich der Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte bei Vorbeifahrt eines Güterzugs ohne SSW (—, Fahrt 014, 100,3 km/h, Länge ca. 488 m) und mit SSW (- - - , Fahrt 103, 99,7 km/h, Länge ca. 506 m)

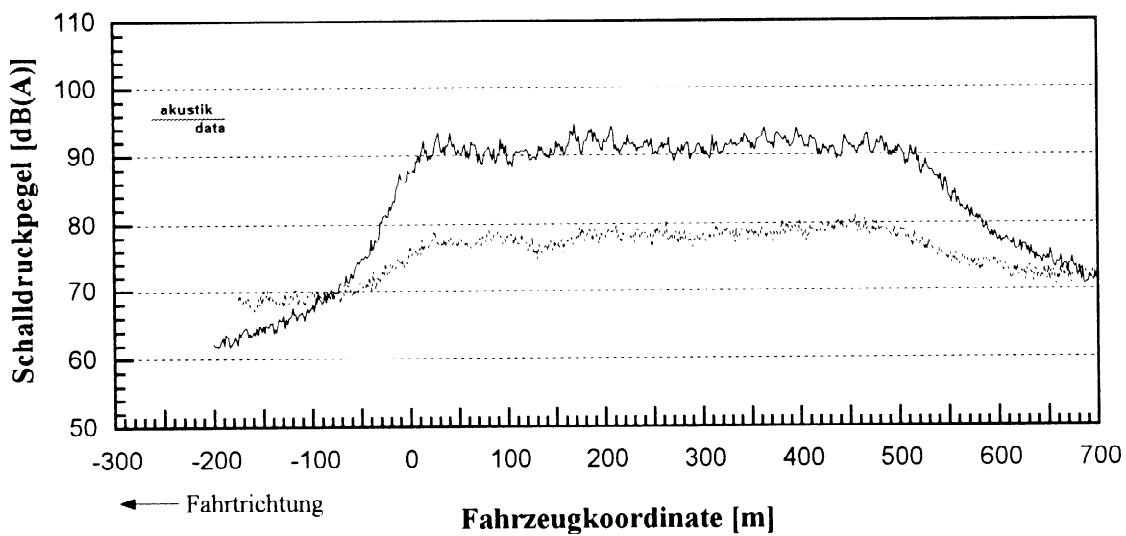


Bild 31 Vergleich der Verläufe des A-bewerteten Schalldruckpegels gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte bei Vorbeifahrt eines Güterzugs ohne SSW (—, Fahrt 050, 122,3 km/h, Länge ca. 526 m) und mit SSW (- - - , Fahrt 116, 121,3 km/h, Länge ca. 534 m)

Das Problem der hochliegenden Schallquellen scheint dagegen für einen lokbe- spannten IC- bzw. IR-Zug (Bild 29) eher gering zu sein, da die beiden Pegelverläufe im wesentlichen parallel zueinander liegen. Solches gilt offensichtlich auch für Güter- züge (Bild 30 und 31), wobei von individuellen Pegelmaxima und -minima abzusehen ist, da je Bild nicht dieselben Züge verglichen sind. Im übrigen sind hochliegende Schallquellen bei den relativ geringen Güterzug-Geschwindigkeiten kaum zu erwarten, es sei denn im Bereich der Lokomotive. Die Emission der Lokomotive fällt aber in Bezug auf die großen Längen der Güterzüge - zumal diese klotzgebremste Wagenräder besitzen - nicht ins Gewicht. Eine quantitative Aussage zur Wandwirkung für die verschiedenen Zugarten wird später anhand der gemessenen Vorbeifahrpegel und der berechneten örtlichen spezifischen Grundwerte erfolgen. Zunächst sollen aber noch Schalldruckspektren mit und ohne SSW verglichen werden.

4.1.4 Vergleich von Schmalband- und Terzspektren mit und ohne SSW

Die Bilder 32 bis 37 zeigen Gegenüberstellungen von Schmalbandspektren des Schalldrucks bei Vorbeifahrten des ICE 1 oder ICE 2 (Bilder 32 bis 34 bei ca. 200, 225 und 250 km/h), des ICE 3 (Bild 35 bei ca. 200 km/h), von IC- bzw. IR-Zügen (Bild 36 bei ca. 175 km/h) sowie von Güterzügen (Bild 37 bei ca. 120 km/h) mit und ohne SSW. Wieder wurde der Meßort in 25 m Entfernung von Gleismitte für die Darstellungen gewählt. In den Bildern werden keine Ergebnisse von einzelnen Vorbeifahrten verglichen, sondern es sind jeweils über eine bestimmte Anzahl von Fahrten einer Zugart gemittelte Spektren. Dies hat den Vorteil, daß die Spektren eher allgemeingültig sind und wegen der langen Mittelungszeiten eine große Genauigkeit besitzen. Gleichzeitig mitteln sich vereinzelt auftretende spektrale Besonderheiten individueller Züge heraus, zumal es wenig Sinn gemacht hätte, solche Besonderheiten darzustellen, da für die Fälle mit und ohne SSW keine identischen Züge vermessen wurden.

Einzelheiten zu den gemittelten Spektren in Hinblick auf die involvierten Zugarten und Fahrnummern sowie den jeweiligen Geschwindigkeitsbereich sind in Tabelle 10 angegeben. Diese Details gelten auch für die Terzspektren in den Bildern 38 bis 43, da diese - zuzüglich der A-Bewertung - aus den Schmalbandspektren der Bilder 32 bis 37 berechnet wurden. Aus den Spektren läßt sich für Frequenzen von 50 Hz bis 10 kHz bzw. für die in diesem Bereich liegenden Terzmittenfrequenzen die Wandwirkung als spektrale Information ablesen. Beginnend mit sehr geringen Werten bei

tiefen Frequenzen erreicht die Einfügungsdämpfung bei mittleren Frequenzen Werte um 10 dB, wobei für Güterzüge auch größere Werte bis ca. 15 dB gemessen werden. Zu höheren Frequenzen bleibt die Wandwirkung im wesentlichen konstant (IC-, IR- und Güterzüge), sie kann aber auch beträchtlich abnehmen (ICE-Züge insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten). Da das gesamte Frequenzverhalten der Einfügungsdämpfung bei konstanter Wandhöhe in komplexer Weise von den Höhen der beteiligten Schallquellen über SO und deren individuellen Emissionsspektren abhängt, sollen hier keine weiteren spektralen Details geschildert werden. Auch sind die Schalldruckspektren nicht das eigentliche Thema dieses Berichts.

Bild Nr.	SSW	gemittelte Züge	gemittelte Fahrten Nr.	Geschwindigkeitsbereich [km/h]
32, 38	ohne	ICE 1, 11 Mw; ICE 1, 12 Mw; ICE 2, Vz	016, 017, 019, 020, 021	197,0 bis 201,1
	mit	ICE 1, 11 Mw; ICE 1, 12 Mw; ICE 2, Vz	135, 137, 143, 144, 155	196,9 bis 200,4
33, 39	ohne	ICE 1, 11 Mw; ICE 1, 12 Mw; ICE 2, Vz	013, 023, 035, 040, 071	222,7 bis 226,8
	mit	ICE 1, 11 Mw; ICE 1, 12 Mw	134, 162, 164, 169, 171	221,4 bis 227,8
34, 40	ohne	ICE 1, 11 Mw; ICE 1, 12 Mw	003, 022, 029, 031, 038	249,3 bis 250,3
	mit	ICE 1, 11 Mw; ICE 1, 12 Mw	124, 127, 128, 153, 166	248,3 bis 250,7
35, 41	ohne	ICE 3, Hz; ICE 3, Vz	028, 034, 037, 039, 043	199,8 bis 200,4
	mit	ICE 3, Hz; ICE 3, Vz	148, 152, 165	199,1 bis 200,4
36, 42	ohne	IC- bzw. IR-Zug, 9 Wg	011, 041, 073	170,1 bis 174,4
	mit	IC- bzw. IR-Zug, 9 Wg	122, 136, 163	174,1 bis 180,7
37, 43	ohne	Güterzüge, Länge ca. 237 bis 566 m	044, 046, 048, 051, 052, 053, 054, 056, 057, 058	119,2 bis 121,2
	mit	Güterzüge, Länge ca. 307 bis 548 m	107, 108, 109, 110, 113, 114, 116, 117, 119	118,6 bis 121,3

Tabelle 10 Details zu den gemittelten Schalldruckspektren in den Bildern 32 bis 43

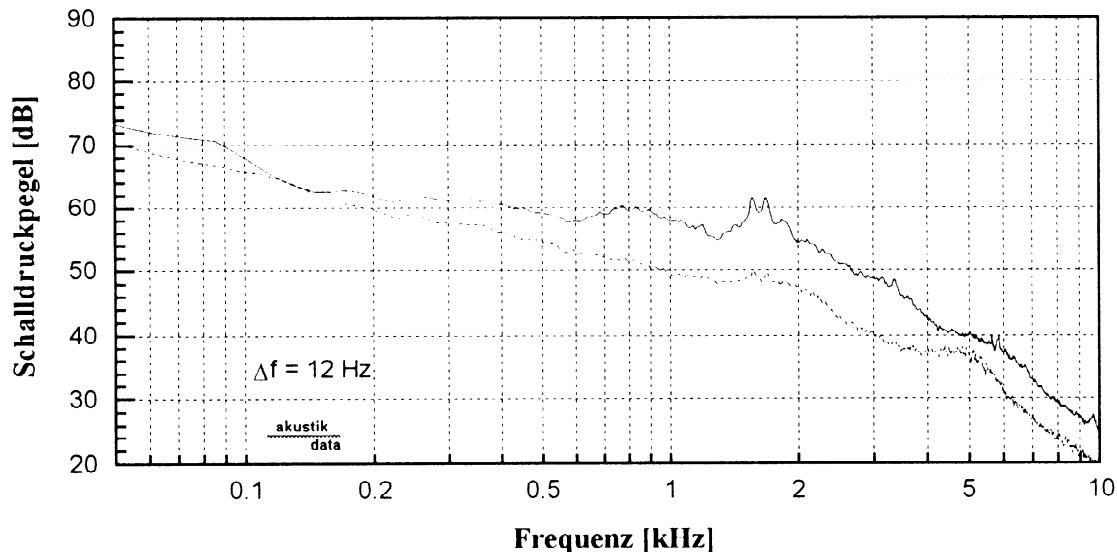


Bild 32 Über jeweils 5 Vorbeifahrten des ICE 1 oder ICE 2 gemittelte Schmalbandspektren gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte mit (---) und ohne (—) SSW; Geschwindigkeit der Züge ca. 200 km/h

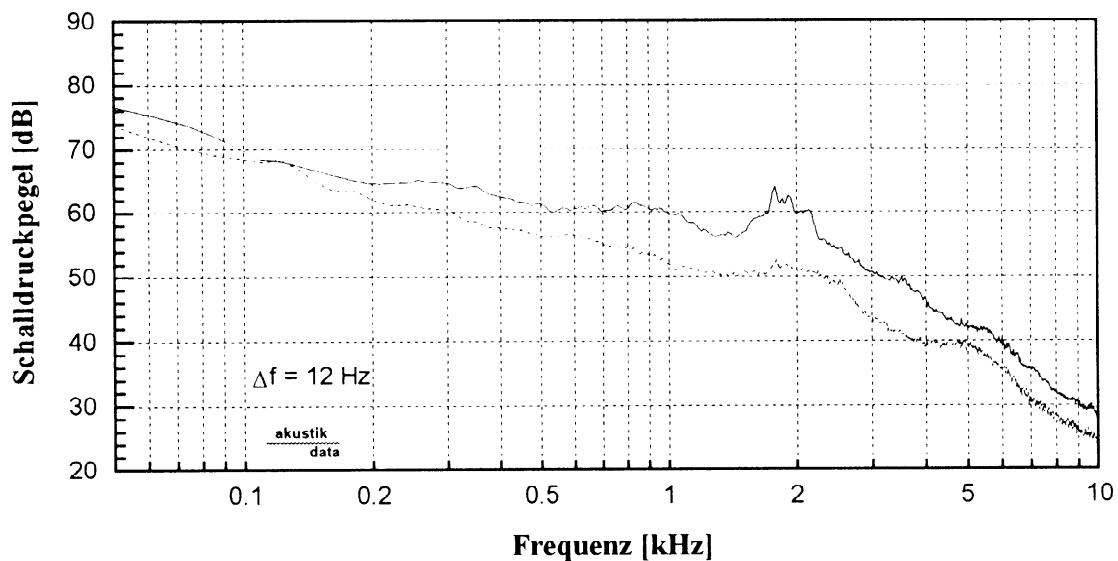


Bild 33 Über jeweils 5 Vorbeifahrten des ICE 1 oder ICE 2 gemittelte Schmalbandspektren gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte mit (---) und ohne (—) SSW; Geschwindigkeit der Züge ca. 225 km/h

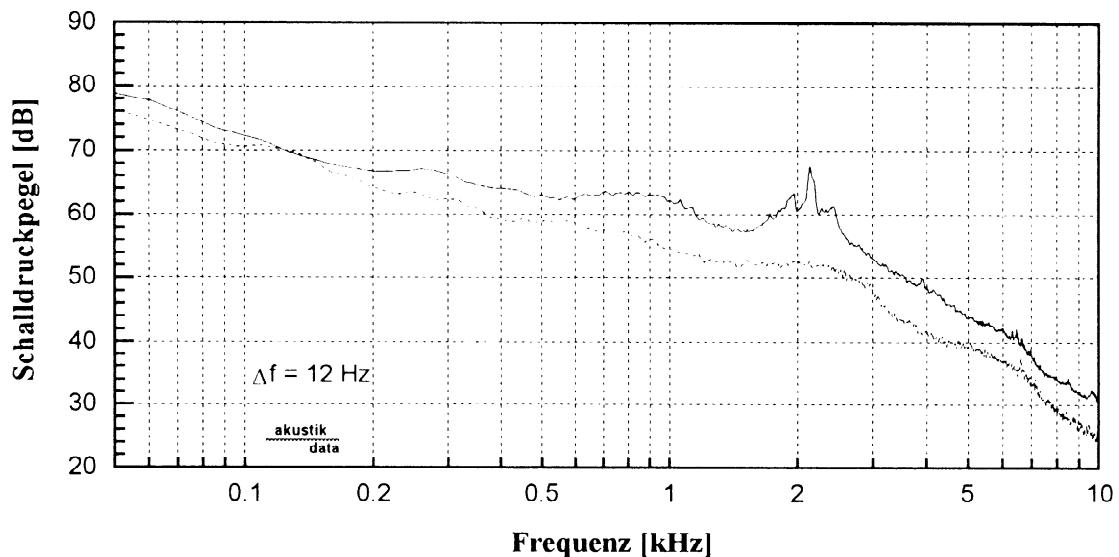


Bild 34 Über jeweils 5 Vorbeifahrten des ICE 1 gemittelte Schmalbandspektren gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte mit (---) und ohne (—) SSW; Geschwindigkeit der Züge ca. 250 km/h

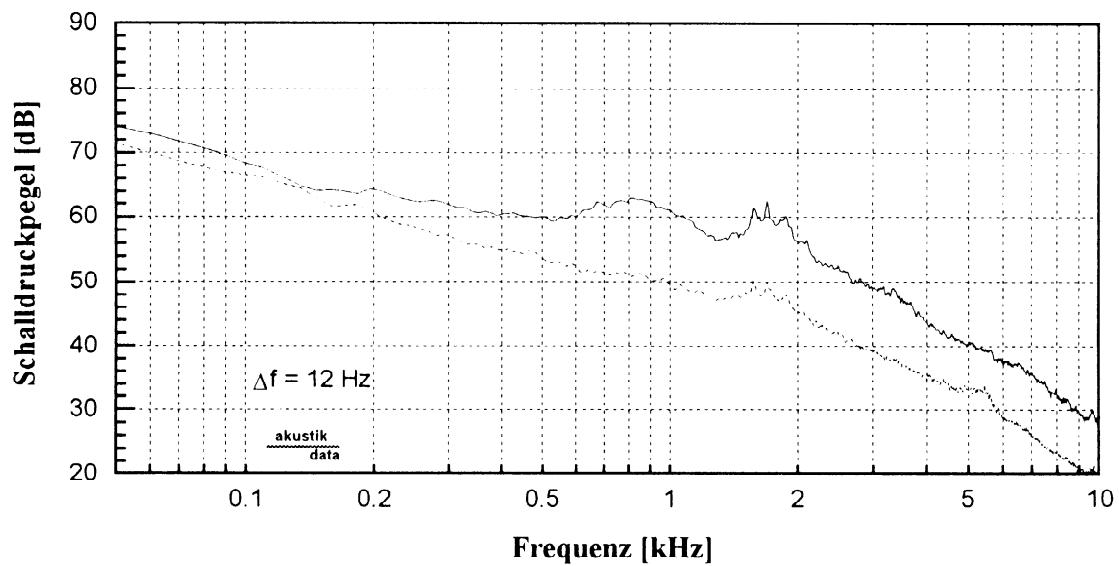


Bild 35 Über 3 bzw. 5 Vorbeifahrten des ICE 3 gemittelte Schmalbandspektren gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte mit (---) und ohne (—) SSW; Geschwindigkeit der Züge ca. 200 km/h

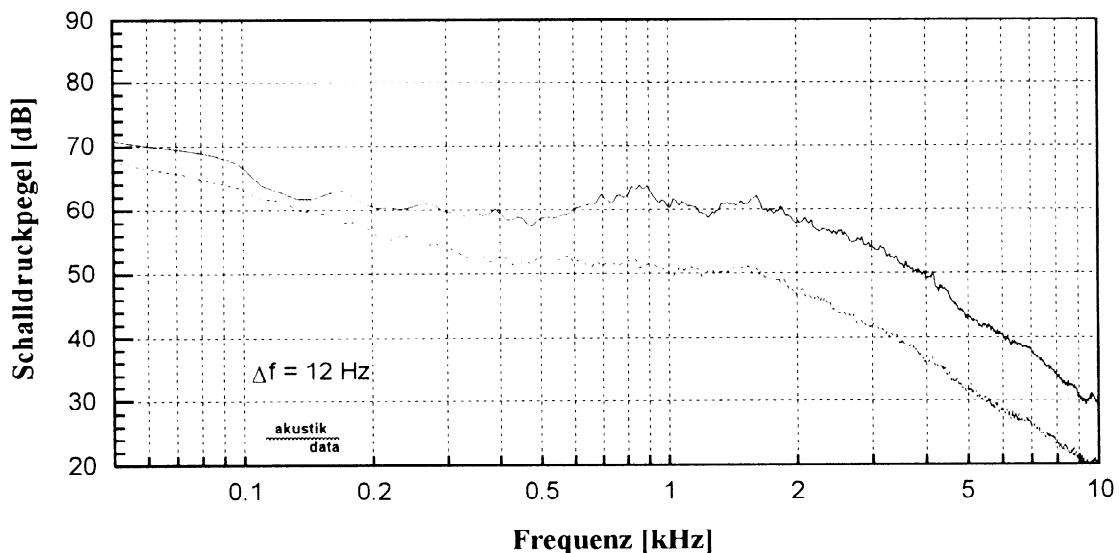


Bild 36 Über jeweils 3 Vorbeifahrten von IC- bzw. IR-Zügen gemittelte Schmalbandspektren gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte mit (---) und ohne (—) SSW; Geschwindigkeit der Züge ca. 175 km/h

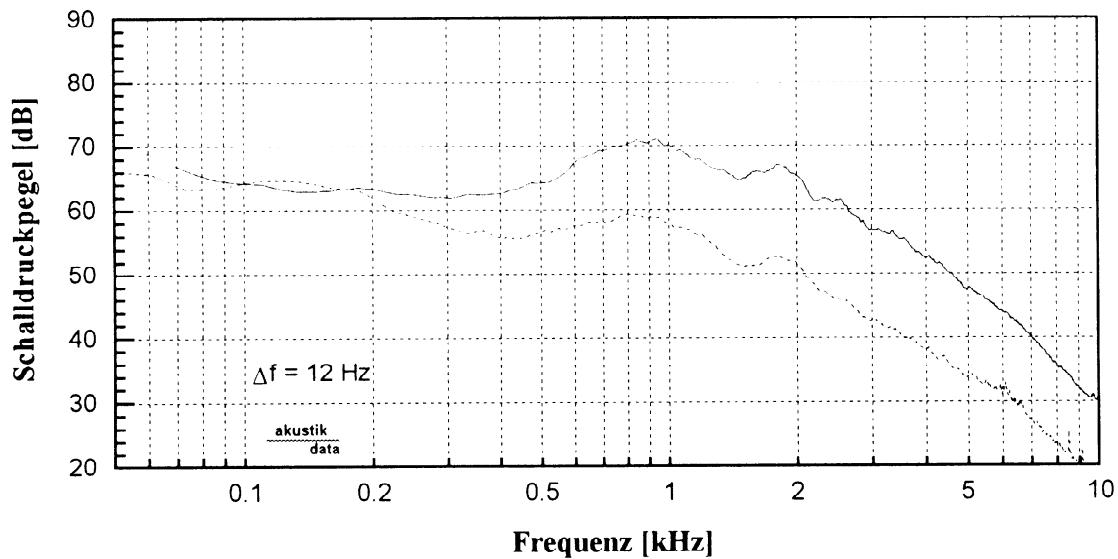


Bild 37 Über 9 bzw. 10 Vorbeifahrten von Güterzügen gemittelte Schmalbandspektren gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte mit (---) und ohne (—) SSW; Geschwindigkeit der Züge ca. 120 km/h

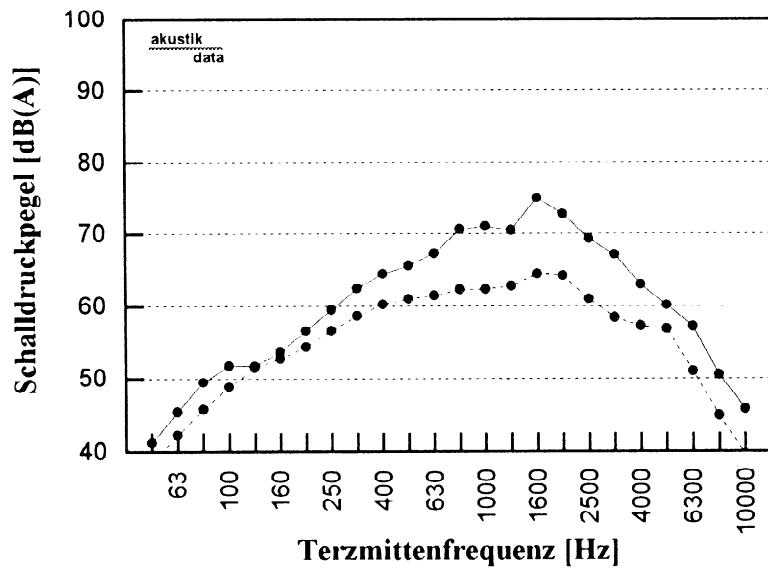


Bild 38 Über jeweils 5 Vorbeifahrten des ICE 1 oder ICE 2 gemittelte A-bewertete Terzspektren gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte mit (---) und ohne (—) SSW; Geschwindigkeit der Züge ca. 200 km/h

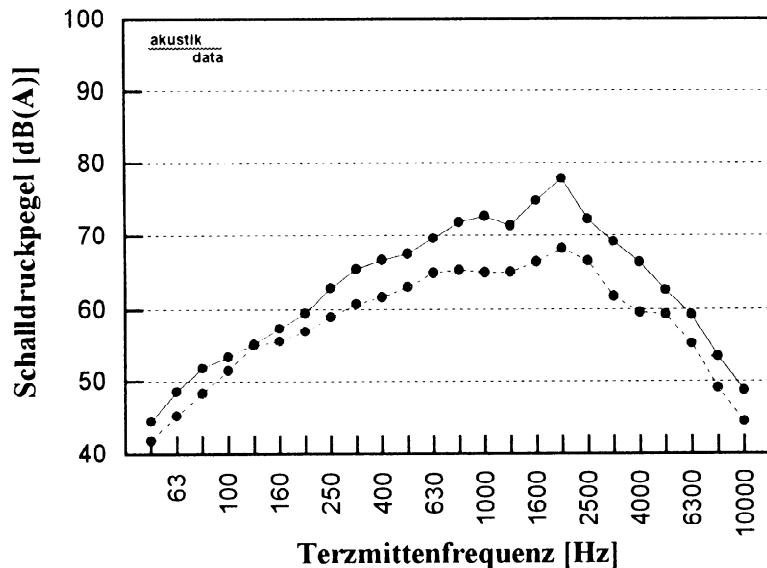


Bild 39 Über jeweils 5 Vorbeifahrten des ICE 1 oder ICE 2 gemittelte A-bewertete Terzspektren gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte mit (---) und ohne (—) SSW; Geschwindigkeit der Züge ca. 225 km/h

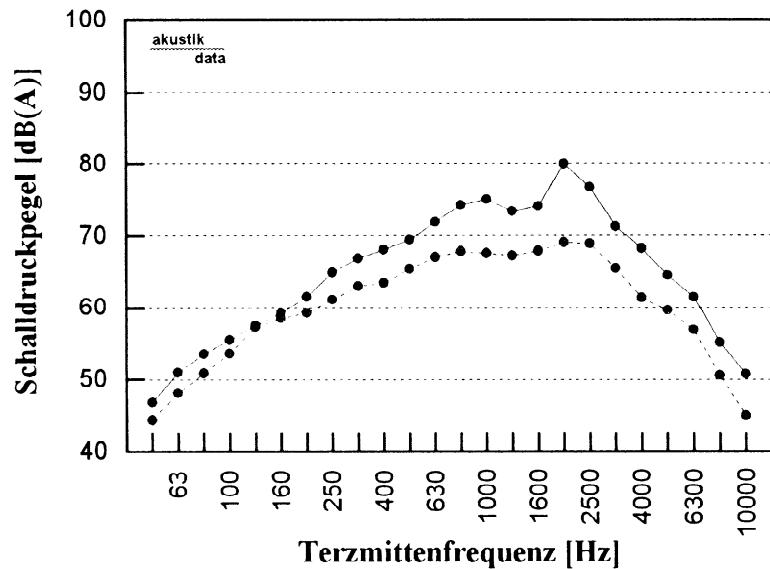


Bild 40 Über jeweils 5 Vorbeifahrten des ICE 1 gemittelte A-bewertete Terzspektren gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte mit (---) und ohne (—) SSW; Geschwindigkeit der Züge ca. 250 km/h

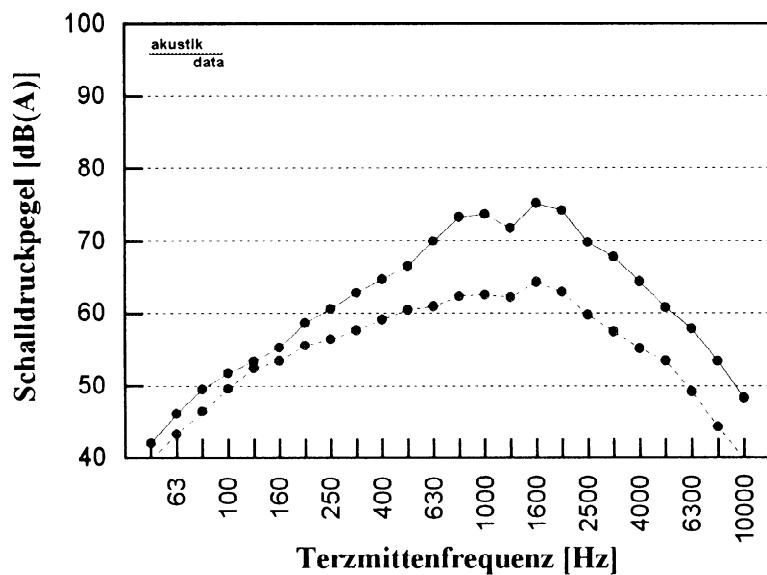


Bild 41 Über 3 bzw. 5 Vorbeifahrten des ICE 3 gemittelte A-bewertete Terzspektren gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte mit (---) und ohne (—) SSW; Geschwindigkeit der Züge ca. 200 km/h

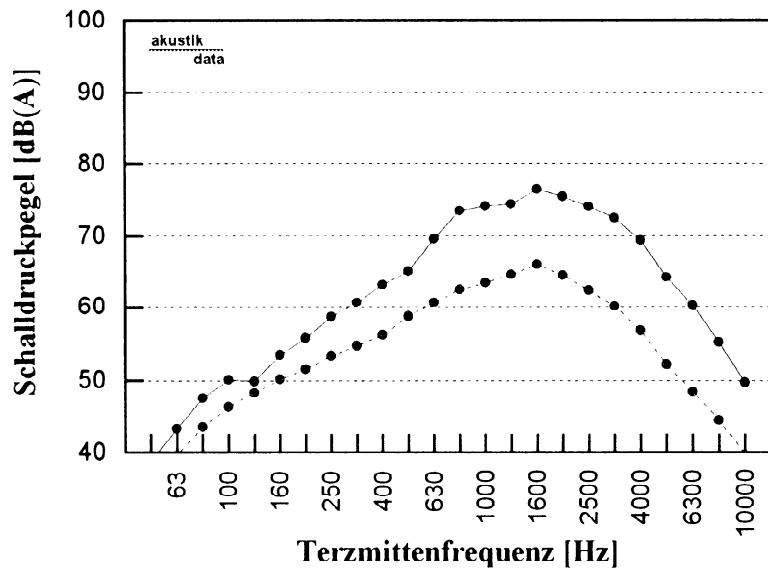


Bild 42 Über jeweils 3 Vorbeifahrten von IC- bzw. IR-Zügen gemittelte A-bewertete Terzspektren gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte mit (---) und ohne (—) SSW; Geschwindigkeit der Züge ca. 175 km/h

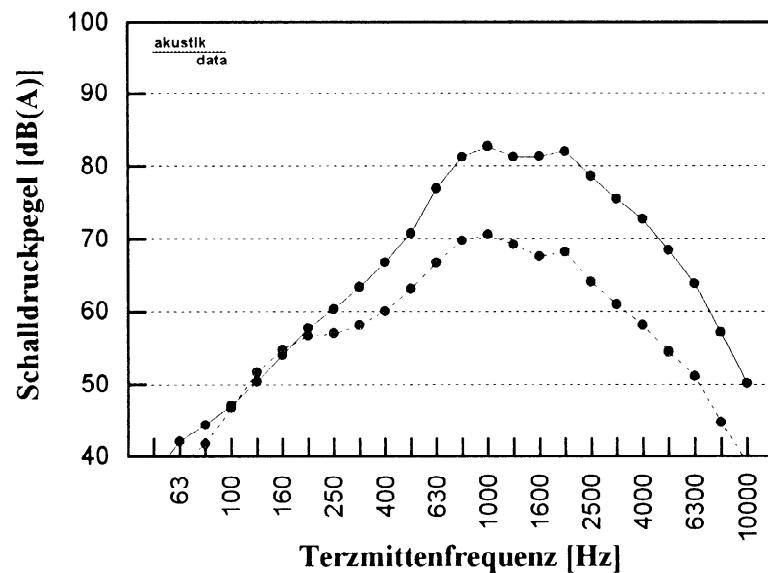


Bild 43 Über 9 bzw. 10 Vorbeifahrten von Güterzügen gemittelte A-bewertete Terzspektren gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte mit (---) und ohne (—) SSW; Geschwindigkeit der Züge ca. 120 km/h

4.2 Vorbeifahr- und Stunden-Mittelungspegel sowie örtliche spezifische Grundwerte

Im folgenden wird das Geräusch während der Zugvorbeifahrten für alle drei Mikrofonpositionen durch Einzahlwerte charakterisiert. Die Berechnung dieser Werte basiert auf den Zeitverläufen des A-bewerteten Schalldruckpegels $L_A(t)$, wie sie exemplarisch in den Bildern 8 bis 23 gezeigt wurden. Jeder dieser Pegelverläufe wird zunächst zwischen den Zeitpunkten gemittelt, als die Zugspitze bzw. das Zugende die zur Mikrofonposition gehörige Meßebene passierte. Hieraus bestimmt sich der **Vorbeifahrpegel** L_v . Als weiterer Einzahlwert wird der Ereignispegel L_e als Vorstufe für den Stunden-Mittelungspegel berechnet. Dabei wurden die Grenzen der Mittelungszeit T_e so festgelegt, daß ein möglichst großer Bereich der Pegelverläufe erfaßt wird, aber das Signal an den Grenzen noch mindestens 5 dB über dem Hintergrundgeräusch liegt. An diesen Auswertegrenzen waren die Pegel in der Regel wenigstens 10 dB geringer als der im jeweiligen Pegelverlauf aufgetretene Maximalpegel. Den **Stunden-Mittelungspegel** L_h erhält man aus dem Ereignispegel durch eine Normierung der Mittelungszeit T_e auf eine Stunde:

$$L_h = L_e + 10 \lg (T_e / 3600) \text{ dB(A).} \quad (1)$$

Neben dem Vorbeifahr- und Stunden-Mittelungspegel wird noch ein weiterer Einzahlwert bestimmt, nämlich der **örtliche spezifische Grundwert** $L_{m,s}$, welcher unabhängig von Zugart, -länge und -geschwindigkeit den schalltechnischen Zustand des Gleises beschreibt und direkt mit dem Grundwert nach Schall 03 verglichen werden kann. Er beruht auf dem Stunden-Mittelungspegel L_h und wird wie folgt berechnet:

$$L_{m,s} = L_h - (D_{Fz} + D_D + D_{Fb} + D_v + D_l) \text{ dB(A),} \quad (2)$$

D_{Fz}	= -4 dB(A)	für ICE-Züge mit Radschallabsorbern,
	= 0 dB(A)	für sonstige Züge (inkl. ICE 3),
D_D	= 0 dB(A)	für ICE-Züge (100% scheibengebremst),
	= 1 dB(A)	für IC- bzw. IR-Züge (Wagen scheiben-gebremst, Lokomotive klotzgebremst),
	= 7 dB(A)	für Güterzüge (100% klotzgebremst),
D_{Fb}	= 2 dB(A)	für Betonschwellengleis an den Meßorten,

$$D_v = 20 \lg (\nu/100 \text{ km/h}) \text{ dB(A)} \text{ Geschwindigkeitsnormierung auf } \nu = 100 \text{ km/h},$$

$$D_l = 10 \lg (l/100 \text{ m}) \text{ dB(A)} \text{ Zuglängennormierung auf } l = 100 \text{ m.}$$

Typische Zahlenwerte für $L_{m,s}$ in 25 m Entfernung von Gleismitte ohne SSW liegen bei Rechnung nach Gleichung (2) bei 48 dB(A) für einen sehr guten und bei 51 dB(A) für einen guten Rauhigkeitszustand der Schienenoberflächen. Bei vorhandener SSW reduziert sich dieser Wert durch die Einfügungsdämpfung. Die begriffliche Abgrenzung zum Grundwert der Schall 03 wurde gewählt, weil hier für alle Mikrofonpositionen spezifische Grundwerte angegeben werden, wohingegen der Grundwert nach Schall 03 ausschließlich die Immission in 25 m von Gleismitte und 3,5 m Höhe über SO beschreibt.

Die für jede ausgewertete Zugvorbeifahrt an allen drei Mikrofonorten berechneten Vorbeifahr- und Stunden-Mittelungspegel sowie die örtlichen spezifischen Grundwerte sind getrennt für die verschiedenen Zugarten in den Tabellen 11 bis 14 für den Fall ohne SSW aufgelistet. Die entsprechenden Pegel für die Situation mit SSW folgen in den Tabellen 15 bis 18. In jeder Tabelle sind die Fahrten zur besseren Übersicht nach der Zuggeschwindigkeit geordnet.

Fahrt Nr.	Zugart	Geschw. [km/h]	L_v [dB(A)]			L_h [dB(A)]			$L_{m,s}$ [dB(A)]		
			7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m
018	ICE 2, Hz	195,3	86,2	80,1	76,5	56,9	51,3	48,1	50,0	44,4	41,2
015	ICE 1, 12 Mw	196,6	88,0	81,6	78,4	60,7	54,7	51,7	51,3	45,3	42,3
017	ICE 1, 11 Mw	197,0	87,1	80,5	77,7	59,7	53,5	50,9	50,6	44,4	41,8
016	ICE 1, 11 Mw	197,8	87,7	81,2	77,8	60,1	54,0	51,0	51,0	44,9	41,9
021	ICE 1, 12 Mw	199,2	87,2	80,5	77,3	60,1	53,7	50,7	50,6	44,2	41,2
020	ICE 2, Vz	200,0	87,2	80,9	77,6	60,6	54,8	51,6	50,4	44,6	41,4
019	ICE 1, 12 Mw	201,1	86,9	80,5	77,3	59,7	53,8	50,7	50,1	44,2	41,1
070	ICE 1, 12 Mw	203,5	88,3	82,1	78,6	61,1	55,2	51,9	51,4	45,5	42,2
074	ICE 2, Vz	205,0	87,6	81,6	78,1	60,9	55,3	52,0	50,5	44,9	41,6
072	ICE 1, 11 Mw	205,2	87,6	81,4	77,6	59,9	54,2	50,7	50,5	44,8	41,3
075	ICE 1, 12 Mw	206,0	88,6	82,6	79,0	61,1	55,7	52,2	51,3	45,9	42,4
078	ICE 1, 11 Mw	206,4	87,5	80,8	77,5	59,9	53,8	50,8	50,4	44,3	41,3

076	ICE 1, 11 Mw	206,7	87,8	81,6	78,1	60,1	54,3	51,1	50,6	44,8	41,6
077	ICE 1, 12 Mw	207,7	88,2	81,5	77,6	60,9	54,7	51,0	51,0	44,8	41,1
006	ICE 2, Vz	212,6	87,3	81,1	78,4	60,5	54,7	52,1	49,8	44,0	41,4
007	ICE 1, 12 Mw	218,9	89,4	82,9	79,8	61,7	55,7	52,6	51,4	45,4	42,3
010	ICE 1, 12 Mw	221,4	89,3	82,4	78,9	61,5	55,2	51,9	51,1	44,8	41,5
023	ICE 1, 12 Mw	222,7	88,7	82,7	79,7	61,1	55,5	52,7	50,6	45,0	42,2
064	ICE 1, 12 Mw	222,8	90,7	84,0	80,7	62,8	56,6	53,6	52,3	46,1	43,1
013	ICE 1, 11 Mw	223,1	89,2	82,7	80,0	61,2	55,3	52,5	51,0	45,1	42,3
035	ICE 2, Vz	225,6	88,4	82,3	79,2	61,5	55,7	52,9	50,3	44,5	41,7
040	ICE 1, 11 Mw	226,2	89,5	82,9	79,9	61,5	55,4	52,5	51,2	45,1	42,2
071	ICE 1, 11 Mw	226,8	90,7	83,8	80,2	62,6	56,3	52,8	52,3	46,0	42,5
067	ICE 2, Vz	227,4	89,5	83,0	79,6	62,3	56,3	53,0	51,0	45,0	41,7
068	ICE 1, 12 Mw	229,0	89,9	83,4	80,2	62,1	56,3	53,2	51,4	45,6	42,5
009	ICE 1, 12 Mw	229,7	90,6	84,1	80,7	62,8	56,7	53,4	52,0	45,9	42,6
012	ICE 2, Vz	237,8	89,3	83,4	80,1	62,1	56,4	53,4	50,4	44,7	41,7
005	ICE 1, 12 Mw	239,7	89,8	83,3	80,1	61,8	55,9	52,8	50,7	44,8	41,7
024	ICE 1, 12 Mw	247,9	90,3	84,0	80,8	62,3	56,3	53,2	50,9	44,9	41,8
004	ICE 1, 11 Mw	249,2	90,3	84,1	81,0	61,9	56,2	53,1	50,8	45,1	42,0
031	ICE 1, 12 Mw	249,3	91,6	85,5	82,1	63,5	57,6	54,5	52,0	46,1	43,0
022	ICE 1, 12 Mw	249,4	91,7	85,3	81,9	63,4	57,5	54,4	51,9	46,0	42,9
002	ICE 1, 12 Mw	249,7	90,9	84,2	80,9	62,6	56,3	53,4	51,1	44,8	41,9
003	ICE 1, 11 Mw	249,9	91,2	85,0	81,7	62,7	56,9	53,7	51,5	45,7	42,5
032	ICE 1, 11 Mw	250,1	90,7	84,1	80,9	62,1	56,2	53,3	50,9	45,0	42,1
027	ICE 1, 12 Mw	250,2	91,3	85,8	82,8	63,3	58,0	54,9	51,8	46,5	43,4
025	ICE 2, Vz	250,2	90,6	84,6	81,3	63,1	57,5	54,3	51,0	45,4	42,2
038	ICE 1, 11 Mw	250,3	90,7	84,4	81,4	62,2	56,6	53,5	51,0	45,4	42,3
029	ICE 1, 12 Mw	250,3	91,1	84,8	81,8	62,9	57,1	54,2	51,4	45,6	42,7
036	ICE 1, 12 Mw	250,8	91,9	85,5	82,4	63,8	57,8	54,8	52,3	46,3	43,3
065	ICE 1, 11 Mw	250,9	91,1	84,4	81,0	62,5	56,4	53,1	51,3	45,2	41,9
026	ICE 2, Vz	251,2	91,1	85,1	81,9	63,7	57,9	55,0	51,6	45,8	42,9
033	ICE 2, Hz	277,5	92,8	86,3	82,8	62,1	56,5	53,3	52,1	46,5	43,3

Tabelle 11 Vorbeifahrpegel, Stunden-Mittelungspiegel und örtliche spezifische Grundwerte der ausgewerteten ICE 1- und ICE 2-Vorbeifahrten ohne SSW

Fahrt Nr.	Zugart	Geschw. [km/h]	L_v [dB(A)]			L_h [dB(A)]			$L_{m,s}$ [dB(A)]		
			7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m
001	ICE 3, Vz	195,0	88,5	82,1	78,9	61,6	55,6	52,5	47,8	41,8	38,7
028	ICE 3, Vz	199,8	88,9	82,7	79,7	62,1	56,1	53,3	48,1	42,1	39,3
034	ICE 3, Vz	200,0	87,3	81,1	78,2	60,4	54,6	51,8	46,4	40,6	37,8
043	ICE 3, Hz	200,3	88,5	82,0	78,5	58,9	52,8	49,7	47,9	41,8	38,7
037	ICE 3, Hz	200,4	88,9	82,3	79,3	59,3	53,1	50,0	48,3	42,1	39,0
039	ICE 3, Hz	200,4	88,7	82,1	78,8	59,0	52,7	50,0	48,0	41,7	39,0

Tabelle 12 Vorbeifahrpegel, Stunden-Mittelungspegel und örtliche spezifische Grundwerte der ausgewerteten ICE 3-Vorbeifahrten ohne SSW ($D_{Fz} = 0$ dB(A))

Fahrt Nr.	Zugart	Geschw. [km/h]	L_v [dB(A)]			L_h [dB(A)]			$L_{m,s}$ [dB(A)]		
			7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m
011	IC/IR, 9 Wg	170,1	90,6	83,5	80,2	62,7	56,4	53,5	51,0	44,7	41,8
073	IC/IR, 9 Wg	172,9	90,5	83,7	79,3	62,7	56,6	52,7	50,9	44,8	40,9
041	IC/IR, 9 Wg	174,4	91,1	83,7	80,2	63,4	56,8	53,5	51,5	44,9	41,6
030	IC/IR, 12 Wg	189,1	91,4	84,4	81,6	64,2	57,9	55,0	50,4	44,1	41,2

Tabelle 13 Vorbeifahrpegel, Stunden-Mittelungspegel und örtliche spezifische Grundwerte der ausgewerteten IC- bzw. IR-Vorbeifahrten ohne SSW

Fahrt Nr.	Zugart	Geschw. [km/h]	L_v [dB(A)]			L_h [dB(A)]			$L_{m,s}$ [dB(A)]		
			7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m
014	Güterzug	100,3	93,7	87,5	84,2	70,6	64,5	61,3	54,7	48,6	45,4
045	Güterzug	107,4	94,4	87,6	84,5	69,6	63,0	59,9	54,6	48,0	44,9
049	Güterzug	113,2	94,8	87,9	84,4	70,5	63,9	60,6	54,1	47,5	44,2

047	Güterzug	115,2	95,5	89,1	85,7	71,8	65,5	62,1	54,8	48,5	45,1
059	Güterzug	118,0	98,4	91,8	88,3	74,5	68,0	64,5	57,3	50,8	47,3
057	Güterzug	119,2	96,6	89,8	86,5	72,6	66,2	62,9	55,3	48,9	45,6
044	Güterzug	119,3	97,6	90,8	87,4	74,3	67,7	64,4	56,2	49,6	46,3
046	Güterzug	120,0	97,1	90,4	86,8	70,2	63,6	60,4	55,9	49,3	46,1
052	Güterzug	120,2	95,4	89,0	85,4	71,9	65,5	62,1	54,1	47,7	44,3
056	Güterzug	120,3	95,7	89,2	85,5	70,1	63,8	60,4	54,4	48,1	44,7
051	Güterzug	120,3	97,4	90,7	87,2	73,7	67,3	63,9	55,9	49,5	46,1
048	Güterzug	120,5	95,8	89,2	85,8	71,0	64,5	61,1	54,6	48,1	44,7
053	Güterzug	120,6	96,8	90,2	86,8	72,8	66,2	63,0	55,5	48,9	45,7
054	Güterzug	121,2	94,6	88,0	84,4	68,3	61,9	58,5	53,2	46,8	43,4
058	Güterzug	121,2	96,7	90,2	86,6	72,9	66,3	63,0	55,3	48,7	45,4
055	Güterzug	121,6	94,6	87,9	84,5	70,9	64,3	60,9	53,2	46,6	43,2
050	Güterzug	122,3	97,9	91,3	87,4	74,3	67,7	64,1	56,3	49,7	46,1

Tabelle 14 Vorbeifahrpegel, Stunden-Mittelungspegel und örtliche spezifische Grundwerte der ausgewerteten Güterzug-Vorbeifahrten ohne SSW

Fahrt Nr.	Zugart	Geschw. [km/h]	L _v [dB(A)]			L _h [dB(A)]			L _{m,s} [dB(A)]		
			7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m
123	ICE 1, 11 Mw	143,3	70,0	68,2	64,8	44,3	42,9	40,2	38,0	36,6	33,9
178	ICE 2, Vz	147,9	72,2	70,0	67,0	47,4	46,3	43,6	39,9	38,8	36,1
138	ICE 1, 11 Mw	190,2	75,8	73,0	69,8	48,8	47,0	43,8	40,0	38,2	35,0
135	ICE 1, 12 Mw	196,9	75,9	73,0	69,4	49,1	46,9	43,5	39,7	37,5	34,1
137	ICE 2, Vz	199,0	75,3	72,7	69,3	49,1	47,2	44,0	39,0	37,1	33,9
143	ICE 2, Vz	199,0	76,0	73,0	69,9	50,2	47,9	45,0	40,1	37,8	34,9
144	ICE 1, 11 Mw	199,3	76,5	73,3	69,8	49,5	47,2	44,2	40,3	38,0	35,0
155	ICE 1, 12 Mw	200,4	76,0	72,8	70,0	49,3	47,0	44,7	39,7	37,4	35,1
177	ICE 1, 12 Mw	204,6	76,3	73,2	69,8	49,5	47,4	44,4	39,7	37,6	34,6
181	ICE 1, 12 Mw	206,5	77,0	73,8	70,5	50,1	47,9	44,9	40,3	38,1	35,1
180	ICE 1, 12 Mw	207,4	76,6	73,4	70,3	49,6	47,4	44,6	39,7	37,5	34,7
182	ICE 1, 12 Mw	207,7	76,8	73,1	69,8	49,9	47,0	44,2	40,0	37,1	34,3

160	ICE 1, 12 Mw	209,2	77,6	73,9	70,4	50,4	47,9	44,8	40,5	38,0	34,9
179	ICE 1, 12 Mw	210,5	77,5	74,3	71,1	-	-	-	-	-	-
159	ICE 1, 12 Mw	212,2	78,2	74,6	71,7	50,9	48,6	45,9	40,8	38,5	35,8
150	ICE 2, Vz	216,5	77,6	74,2	70,9	51,0	48,6	45,7	40,2	37,8	34,9
147	ICE 1, 12 Mw	219,0	78,9	75,2	72,0	51,6	48,9	46,1	41,3	38,6	35,8
174	ICE 1, 12 Mw	221,0	78,3	75,0	71,7	51,0	48,9	45,9	40,6	38,5	35,5
162	ICE 1, 11 Mw	221,4	79,1	75,6	72,1	51,4	49,0	46,0	41,3	38,9	35,9
169	ICE 1, 12 Mw	224,6	79,1	75,6	72,5	51,7	49,5	46,8	41,1	38,9	36,2
164	ICE 1, 12 Mw	226,8	79,4	75,9	72,5	51,9	49,7	46,7	41,2	39,0	36,0
175	ICE 1, 12 Mw	227,5	79,2	76,4	73,1	51,8	49,9	47,1	41,1	39,2	36,4
171	ICE 1, 12 Mw	227,6	79,5	75,7	72,2	52,0	49,4	46,4	41,3	38,7	35,7
134	ICE 1, 11 Mw	227,8	79,6	76,5	72,6	51,8	49,6	46,1	41,4	39,2	35,7
173	ICE 1, 12 Mw	230,1	79,7	76,0	72,5	52,0	49,4	46,6	41,2	38,6	35,8
172	ICE 2, Vz	230,8	79,6	75,7	72,2	52,6	50,0	46,9	41,2	38,6	35,5
176	ICE 1, 11 Mw	231,5	79,4	75,9	72,6	51,6	49,1	46,3	41,1	38,6	35,8
129	ICE 1, 12 Mw	233,0	80,2	76,5	72,8	52,7	50,0	46,9	41,8	39,1	36,0
145	ICE 1, 12 Mw	233,9	80,2	76,0	72,6	52,4	49,8	46,6	41,5	38,9	35,7
131	ICE 1, 12 Mw	235,6	80,9	77,3	73,5	53,2	50,8	47,6	42,2	39,8	36,6
156	ICE 1, 12 Mw	236,8	80,6	77,0	73,6	53,1	50,5	47,8	42,1	39,5	36,8
146	ICE 1, 12 Mw	238,1	80,4	76,8	73,3	52,6	50,3	47,4	41,5	39,2	36,3
133	ICE 1, 12 Mw	239,0	80,5	77,1	73,4	52,8	50,5	47,4	41,7	39,4	36,3
132	ICE 1, 12 Mw	239,4	80,3	76,9	73,3	52,7	50,3	47,0	41,6	39,2	35,9
130	ICE 2, Vz	239,5	80,5	77,1	73,4	53,6	51,5	48,2	41,9	39,8	36,5
121	ICE 1, 12 Mw	241,6	81,1	77,0	73,5	53,1	50,4	47,3	41,9	39,2	36,1
151	ICE 1, 12 Mw	244,2	81,2	77,4	74,0	53,7	50,9	48,0	42,4	39,6	36,7
167	ICE 1, 12 Mw	246,0	81,7	77,4	74,0	53,8	50,8	47,8	42,4	39,4	36,4
170	ICE 1, 11 Mw	247,5	82,1	77,9	74,7	53,9	51,0	48,2	42,8	39,9	37,1
126	ICE 1, 11 Mw	248,2	82,3	78,4	74,9	54,1	51,4	48,3	43,0	40,3	37,2
153	ICE 1, 12 Mw	248,3	80,9	77,1	73,8	53,2	50,4	47,5	41,8	39,0	36,1
127	ICE 1, 12 Mw	249,6	81,6	77,8	74,3	53,8	51,2	48,0	42,3	39,7	36,5
128	ICE 1, 11 Mw	250,0	82,0	78,1	74,4	53,7	51,0	47,8	42,5	39,8	36,6
124	ICE 1, 12 Mw	250,3	82,1	78,2	75,0	54,2	51,7	48,9	42,7	40,2	37,4
166	ICE 1, 11 Mw	250,7	82,2	78,5	75,0	53,8	51,6	48,5	42,6	40,4	37,3
149	ICE 2, Vz	250,8	81,0	77,3	73,8	54,0	51,2	48,4	41,9	39,1	36,3

158	ICE 2, Vz	251,1	81,3	77,5	74,1	54,3	51,9	48,8	42,2	39,8	36,7
157	ICE 2, Hz	277,1	84,0	79,6	75,7	54,0	51,6	48,5	44,0	41,6	38,5

Tabelle 15 Vorbeifahrpegel, Stunden-Mittelungspegel und örtliche spezifische Grundwerte der ausgewerteten ICE 1- und ICE 2-Vorbeifahrten mit SSW

Fahrt Nr.	Zugart	Geschw. [km/h]	L_v [dB(A)]			L_h [dB(A)]			$L_{m,s}$ [dB(A)]		
			7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m
125	ICE 3, Vz	178,2	73,0	69,9	66,5	46,9	44,0	40,9	33,9	31,0	27,9
165	ICE 3, Vz	199,1	75,8	72,2	68,8	49,2	43,2	42,8	35,2	32,2	28,8
152	ICE 3, Vz	199,7	75,8	72,5	69,1	49,2	46,0	43,0	35,2	32,0	29,0
148	ICE 3, Hz	200,4	75,0	72,1	69,2	45,7	45,9	40,4	34,7	31,9	29,4

Tabelle 16 Vorbeifahrpegel, Stunden-Mittelungspegel und örtliche spezifische Grundwerte der ausgewerteten ICE 3-Vorbeifahrten mit SSW ($D_{FZ} = 0$ dB(A))

Fahrt Nr.	Zugart	Geschw. [km/h]	L_v [dB(A)]			L_h [dB(A)]			$L_{m,s}$ [dB(A)]		
			7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m
105	Güterzug	68,7	74,4	72,0	68,4	50,8	48,9	45,6	40,7	38,8	35,5
104	Güterzug	98,3	77,8	75,7	72,4	55,8	54,0	50,9	39,1	37,3	34,2
120	Güterzug	99,4	78,5	76,5	73,3	54,4	52,4	49,6	39,9	37,9	35,1
103	Güterzug	99,7	76,0	74,1	70,8	53,4	51,5	48,4	37,4	35,5	32,4
102	Güterzug	101,6	78,1	76,2	72,6	54,6	52,9	49,7	39,1	37,4	34,2
106	Güterzug	110,5	77,2	75,3	71,9	53,5	51,8	48,5	37,3	35,6	32,3
118	Güterzug	115,0	77,1	75,2	72,2	55,3	53,5	50,5	36,7	34,9	31,9
111	Güterzug	117,1	79,9	78,1	75,1	57,0	55,6	52,8	39,2	37,8	35,0
117	Güterzug	118,6	80,7	78,3	75,0	57,7	55,2	52,1	40,3	37,8	34,7
110	Güterzug	118,7	78,1	76,2	72,9	54,0	52,4	49,2	37,2	35,6	32,4
114	Güterzug	119,3	79,9	77,5	73,8	54,7	52,5	49,1	39,3	37,1	33,7
109	Güterzug	119,9	78,9	76,9	73,4	55,9	53,8	50,6	37,9	35,8	32,6

119	Güterzug	120,1	78,5	76,4	73,0	54,1	52,2	49,0	37,4	35,5	32,3
113	Güterzug	120,1	78,0	76,4	72,9	54,3	52,7	49,6	37,0	35,4	32,3
107	Güterzug	120,4	79,6	77,8	74,1	55,8	53,9	50,4	38,7	36,8	33,3
108	Güterzug	120,8	80,5	78,8	75,3	55,8	54,2	51,0	39,3	37,7	34,5
116	Güterzug	121,3	79,9	78,3	75,1	57,1	55,3	52,5	39,1	37,3	34,5
112	Güterzug	121,8	79,8	78,1	74,6	55,0	53,6	50,6	38,5	37,1	34,1
115	Güterzug	137,7	79,9	78,2	74,1	56,3	54,4	50,7	37,3	35,4	31,7

Tabelle 18 Vorbeifahrpegel, Stunden-Mittelungspegel und örtliche spezifische Grundwerte der ausgewerteten Güterzug-Vorbeifahrten mit SSW

Fahrt Nr.	Zugart	Geschw. [km/h]	L_v [dB(A)]			L_h [dB(A)]			$L_{m,s}$ [dB(A)]		
			7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m	7,5 m	25 m	50 m
168	IC/IR, 12 Wg	161,6	73,8	71,4	67,9	47,8	46,1	43,0	35,4	33,7	30,6
163	IC/IR, 9 Wg	174,1	75,7	72,8	69,0	48,3	46,4	43,1	36,4	34,5	31,2
122	IC/IR, 9 Wg	176,8	75,3	73,1	69,2	48,0	46,4	43,1	35,9	34,3	31,0
136	IC/IR, 9 Wg	180,7	76,2	73,3	68,9	48,6	46,8	43,3	36,4	34,6	31,1
161	IC/IR, 12 Wg	197,7	77,9	75,1	72,3	51,2	49,7	47,0	37,0	35,5	32,8
154	IC/IR, 13 Wg	198,6	76,7	74,6	71,2	50,5	49,0	46,2	36,0	34,5	31,7

Tabelle 17 Vorbeifahrpegel, Stunden-Mittelungspegel und örtliche spezifische Grundwerte der ausgewerteten IC- bzw. IR-Vorbeifahrten mit SSW

Getrennt nach der Meßentfernung sind die berechneten Vorbeifahrpegel der ausgewerteten Zugvorbeifahrten aus den Tabellen 11 bis 18 in den Bildern 44 bis 46 über der Geschwindigkeit aufgetragen. Es fehlen lediglich die vier Güterzüge mit Geschwindigkeiten unter 100 km/h bei vorhandener SSW. Zunächst vermitteln die Bilder einen Eindruck von der unterschiedlichen Schallemission der klotzgebremsten Güterzüge gegenüber den scheibengebremsten Reisezügen. Bei letzteren zeigt sich im Vergleich von IC- bzw. IR-Zügen mit ICE 1- und ICE 2-Zügen die deutliche Wirkung der Absorber an den Mittelwagenrädern der ersten und zweiten ICE-Generation. Zumindest im Falle ohne SSW belegen des weiteren die wenigen Vorbeifahrten des

ICE 3 im Bereich um 200 km/h eine merklich erhöhte Schallemission verglichen mit seinen Vorgängermodellen. Dies beruht auf seiner Ausführung als Triebwagenzug und des damit verbundenen Fehlens von Radschallabsorbern an der Vielzahl der angetriebenen Achsen.

Durch die Gegenüberstellung der Vorbeifahrpegel mit und ohne SSW ergibt sich als wesentliche Aussage der Bilder 44 bis 46 ein visueller Eindruck von der Wandwirkung bei den verschiedenen Zugarten. Unschwer zu erkennen ist, daß am jeweiligen Immissionsort die SSW-Einfügungsdämpfung bei Güterzug-Vorbeifahrten stets am größten ist, während beim ICE 1 und ICE 2 mit höheren Geschwindigkeiten die Wirkung der SSW abnimmt. Dieses Verhalten wird später durch Pegelmitteilungen bei den einzelnen Zugarten bzw. geeignete Regressionsanalysen quantifiziert werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Beschreibung der Wandwirkung besteht im Vergleich der bei den einzelnen Zugvorbeifahrten bestimmten örtlichen spezifischen Grundwerte. Diese gleichfalls aus den Tabellen 11 bis 18 entnommenen Werte sind in den Bildern 47 bis 49 als Funktion der Zuggeschwindigkeit eingezeichnet, und zwar wieder separat für jede Meßentfernung.

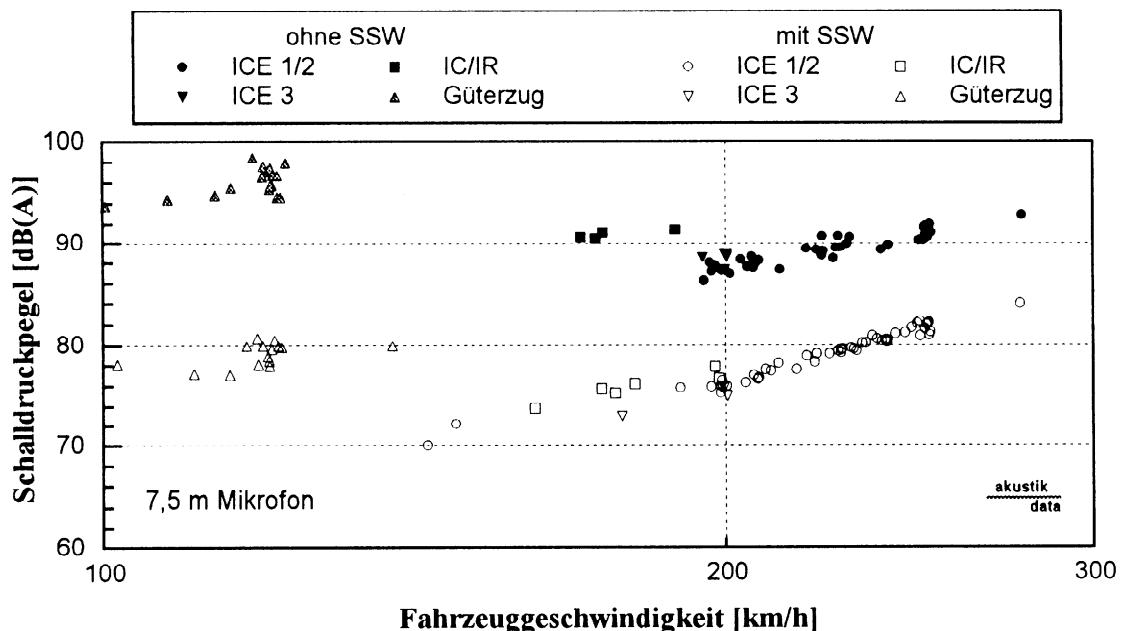


Bild 44 Vorbeifahrpegel der ausgewerteten Zugvorbeifahrten gemessen in 7,5 m Entfernung von Gleismitte mit und ohne SSW

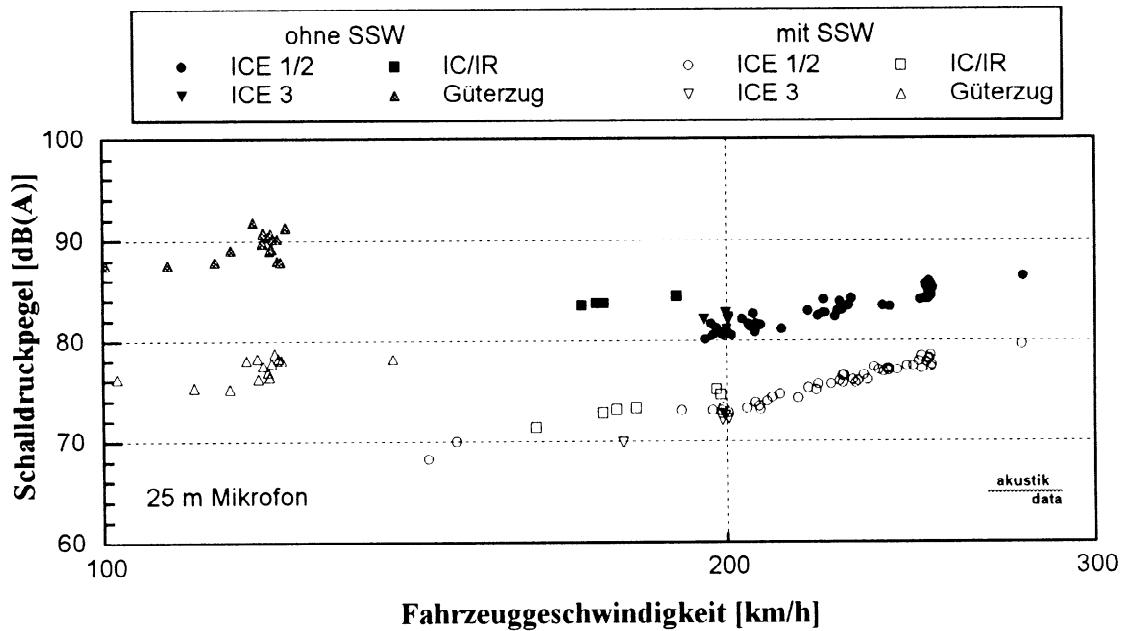


Bild 45 Vorbeifahrpegel der ausgewerteten Zugvorbeifahrten gemessen in 25 m Entfernung von Gleismitte mit und ohne SSW

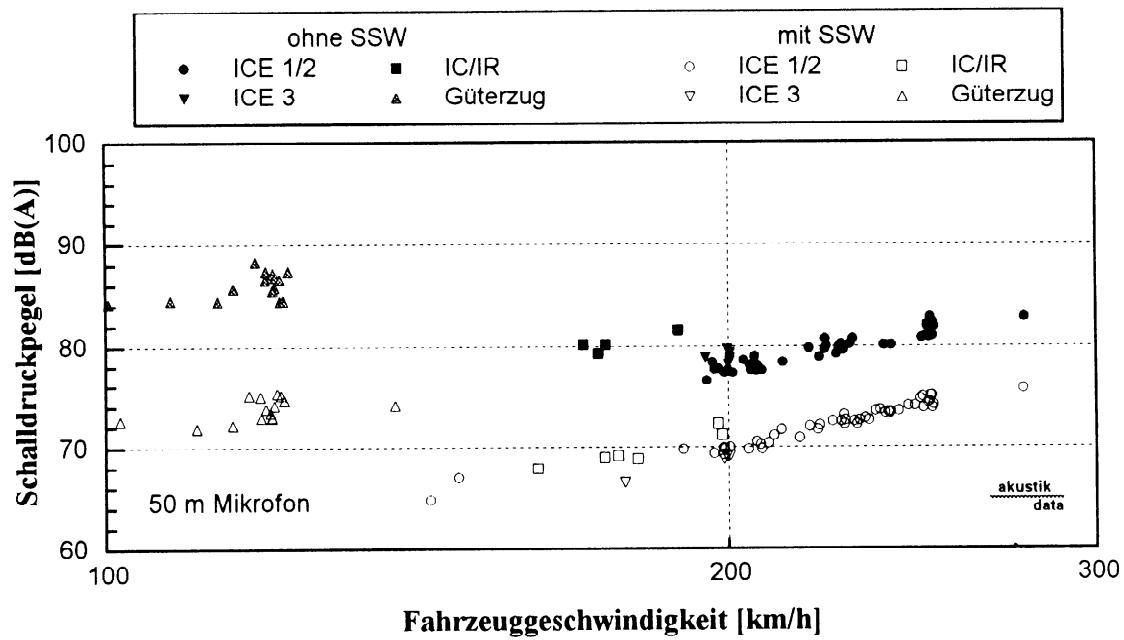


Bild 46 Vorbeifahrpegel der ausgewerteten Zugvorbeifahrten gemessen in 50 m Entfernung von Gleismitte mit und ohne SSW

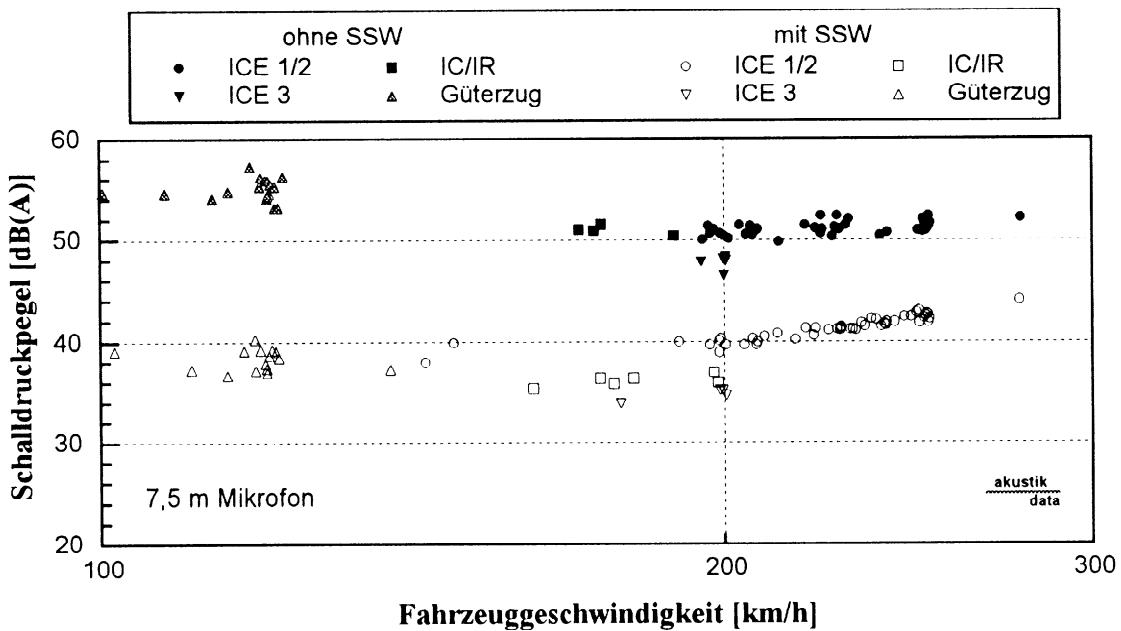


Bild 47 Bei den ausgewerteten Zugvorbeifahrten in 7,5 m Entfernung von Gleismitte bestimmte örtliche spezifische Grundwerte mit und ohne SSW

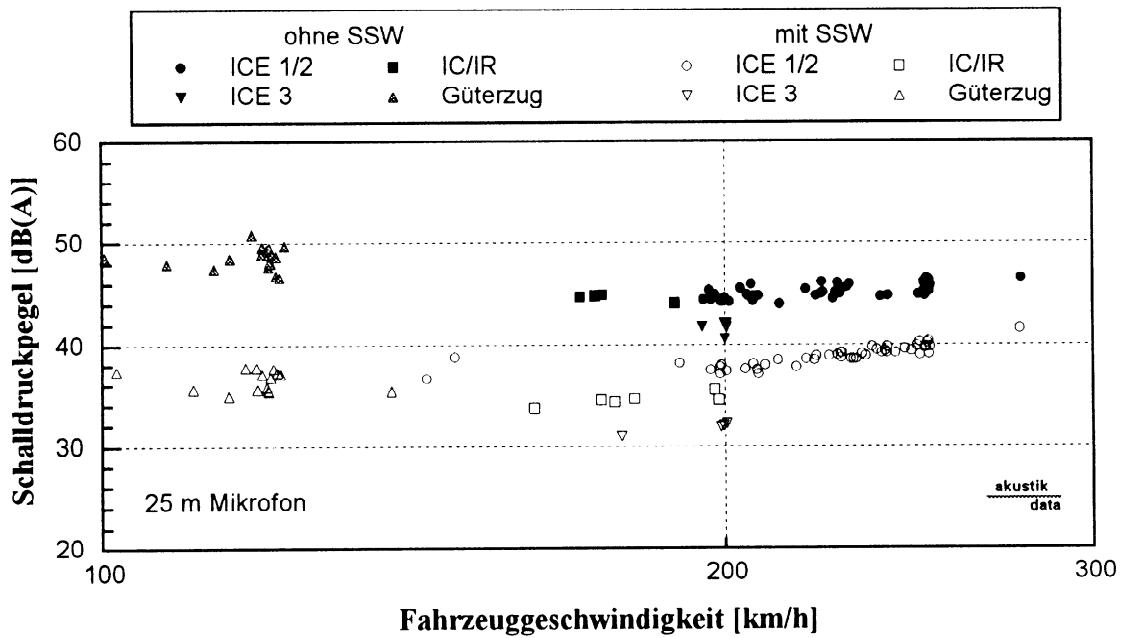


Bild 48 Bei den ausgewerteten Zugvorbeifahrten in 25 m Entfernung von Gleismitte bestimmte örtliche spezifische Grundwerte mit und ohne SSW

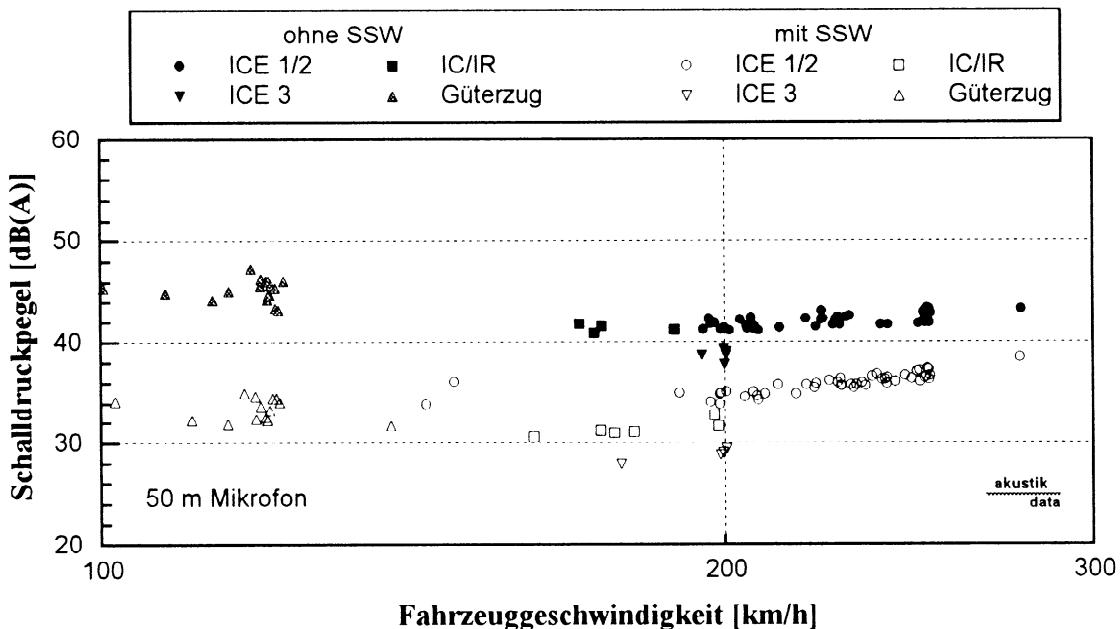


Bild 49 Bei den ausgewerteten Zugvorbeifahrten in 50 m Entfernung von Gleismitte bestimmte örtliche spezifische Grundwerte mit und ohne SSW

Die Differenz zwischen den örtlichen spezifischen Grundwerten mit und ohne SSW repräsentiert abermals die Einfügungsdämpfung der Wand. Qualitativ ergibt sich diesbezüglich die gleiche Aussage wie in den Bildern mit den Vorbeifahrpegeln. Da der örtliche spezifische Grundwert den akustischen Zustand des Gleises im Bereich des Meßquerschnitts beschreibt, muß dieser Wert für eine bestimmte Mikrofonentfernung - zumindest im Fall ohne SSW - unabhängig von der Zugart und Zuggeschwindigkeit sein. Andernfalls sind die in Gleichung (2) entsprechend Schall 03 berücksichtigten zugbezogenen Pegeldifferenzen D_{Fz} , D_D , D_v und D_l nicht ausreichend genau.

Dies erkennt man z. B. am ICE 3, der mit $D_{Fz} = 0$ dB(A) sicherlich nicht korrekt gekennzeichnet ist. Auch ist bezüglich der bei ICE 1- bzw. ICE 2-Vorbeifahrten bestimmten örtlichen spezifischen Grundwerten zu bemerken, daß diese mit der Geschwindigkeit leicht ansteigen, was bedeutet, daß bei höheren Geschwindigkeiten die Korrektur D_v die tatsächliche Geschwindigkeitsabhängigkeit nicht mehr präzise wider spiegelt. Für die Bestimmung der Wandwirkung je Zugart sind die Unzulänglichkeiten von D_{Fz} , D_D , D_v und D_l allerdings irrelevant, da sie bei der Differenzbildung der örtlichen spezifischen Grundwerte mit und ohne SSW herausfallen und letztlich die Differenz der gemessenen Stunden-Mittelungspegel berechnet wird.

Als Vorstufe zur Bestimmung der Einfügungsdämpfung der SSW bei den verschiedenen Zugarten sollen nun Regressionsanalysen der Ergebnisse mit und ohne SSW durchgeführt werden. Eine solche Regressionsanalyse über der Zuggeschwindigkeit ist aber nur sinnvoll, wenn Meßwerte in einem hinlänglich breiten Geschwindigkeitsbereich vorliegen und in diesem Bereich möglichst gleichmäßig verteilt sind. Erstere Bedingung ist für die ICE 1- und ICE 2-Vorbeifahrten sowohl mit und ohne SSW gut erfüllt. Allerdings werden die beiden Fahrten um 145 km/h (mit SSW) und die beiden Fahrten mit ca. 277 km/h (mit und ohne SSW) von der Analyse ausgeschlossen, da sie obiger zweiten Bedingung nicht gehorchen. Somit erstreckt sich die Regression über Zuggeschwindigkeiten von ca. 190 bis 251 km/h.

Da beim ICE 1 bzw. ICE 2 in diesem Geschwindigkeitsbereich - insbesondere bei Vorbeifahrten hinter einer SSW - aerodynamische Schallquellen bereits einen merklichen Beitrag zur Gesamtschallemission liefern, wäre aus physikalischer Sicht für die Analyse der Ansatz mit einem Ausgleichspolynom zweiter Ordnung geboten, wobei die logarithmierten Geschwindigkeiten (bezogen auf die Referenzgeschwindigkeit von 200 km/h) die x-Variablen und die Pegel die y-Variablen darstellen. Jedoch ergeben die Meßwerte bei allen drei Mikrofonpositionen ohne SSW in nicht sinnvoller Weise negative Koeffizienten für den quadratischen Summanden, so daß sich eine lineare Regression als ausreichend herausstellt. Die Regressionsgeraden für den Vorbeifahrpegel der ICE 1- und ICE 2-Züge lauten demnach ohne SSW

$$\text{in 7,5 m Entfernung: } L_{v,\text{ohne}} = 87,4 + 37,4 \cdot \lg(v / 200 \text{ km/h}) \text{ dB(A)}, \quad (3a)$$

$$\text{in 25 m Entfernung: } L_{v,\text{ohne}} = 81,0 + 38,5 \cdot \lg(v / 200 \text{ km/h}) \text{ dB(A)}, \quad (3b)$$

$$\text{in 50 m Entfernung: } L_{v,\text{ohne}} = 77,7 + 40,0 \cdot \lg(v / 200 \text{ km/h}) \text{ dB(A)}; \quad (3c)$$

sowie mit SSW

$$\text{in 7,5 m Entfernung: } L_{v,\text{mit}} = 76,2 + 57,4 \cdot \lg(v / 200 \text{ km/h}) \text{ dB(A)}, \quad (4a)$$

$$\text{in 25 m Entfernung: } L_{v,\text{mit}} = 73,1 + 49,5 \cdot \lg(v / 200 \text{ km/h}) \text{ dB(A)}, \quad (4b)$$

$$\text{in 50 m Entfernung: } L_{v,\text{mit}} = 69,8 + 47,2 \cdot \lg(v / 200 \text{ km/h}) \text{ dB(A)}. \quad (4c)$$

Die Korrelationskoeffizienten liegen bei den Gleichungen (3a) bis (3c) zwischen 0,93 und 0,95. Bei den Gleichungen (4a) bis (4c) sind diese Koeffizienten mit Werten zwischen 0,97 und 0,98 sogar noch etwas größer. In allen Fällen besteht für den linearen

Ansatz bei der Regressionsanalyse also eine sehr große Berechtigung. Die Streuung der Meßwerte bezüglich der jeweiligen Regressionsgeraden beträgt ca. 0,6 dB(A) ohne SSW und ca. 0,4 dB(A) mit SSW. Des weiteren ist zu den Ausgleichsgeraden (3a) bis (4c) zu bemerken, daß deren Steigung unmittelbar mit dem sogenannten Geschwindigkeitsexponenten α_A verknüpft ist [3]. Während $\alpha_A = 3,0$ typisch für den Rollgeräuschanteil an der Gesamtemission ist, deuten sich hier größere Exponenten an, nämlich Werte von ca. 4 ohne SSW und ca. 5 mit SSW. Dies ist ein sicheres Zeichen für Beiträge aerodynamischer Schallquellen im untersuchten Geschwindigkeitsbereich, wobei diese wegen ihrer höheren Lage am Zug im Vergleich zu den Rollgeräuschquellen im Falle mit SSW bereits einen wesentlichen Anteil liefern.

Für die örtlichen spezifischen Grundwerte, die aus den ICE 1- und ICE 2-Vorbeifahrten bestimmt wurden, wird wegen ihrer schwachen Abhängigkeit von der Zuggeschwindigkeit von vornherein ein linearer Ansatz bei der Regressionsanalyse gewählt (Geschwindigkeiten wieder zwischen ca. 190 und 251 km/h). Als Ergebnis für die Regressionsgeraden des örtlichen spezifischen Grundwerts erhält man ohne SSW

$$\text{in 7,5 m Entfernung: } L_{m,s,\text{ohne}} = 50,7 + 7,6 \cdot \lg(v / 200 \text{ km/h}) \text{ dB(A)}, \quad (5a)$$

$$\text{in 25 m Entfernung: } L_{m,s,\text{ohne}} = 44,7 + 8,5 \cdot \lg(v / 200 \text{ km/h}) \text{ dB(A)}, \quad (5b)$$

$$\text{in 50 m Entfernung: } L_{m,s,\text{ohne}} = 41,6 + 9,2 \cdot \lg(v / 200 \text{ km/h}) \text{ dB(A)}; \quad (5c)$$

sowie mit SSW

$$\text{in 7,5 m Entfernung: } L_{m,s,\text{mit}} = 39,8 + 26,4 \cdot \lg(v / 200 \text{ km/h}) \text{ dB(A)}, \quad (6a)$$

$$\text{in 25 m Entfernung: } L_{m,s,\text{mit}} = 37,6 + 22,0 \cdot \lg(v / 200 \text{ km/h}) \text{ dB(A)}, \quad (6b)$$

$$\text{in 50 m Entfernung: } L_{m,s,\text{mit}} = 34,7 + 21,4 \cdot \lg(v / 200 \text{ km/h}) \text{ dB(A)}. \quad (6c)$$

Insbesondere bei den Vorbeifahrten ohne SSW zeigt sich in den Gleichungen (5a) bis (5c) nur eine sehr geringe Abhängigkeit von der Geschwindigkeit. Diese sozusagen "Rest"abhängigkeit röhrt von den aerodynamischen Schallquellen her, nachdem die Pegelzunahme aufgrund des Rollgeräusches durch die Geschwindigkeitskorrektur D_v bereits abgezogen ist. Wegen der größeren Bedeutung der aerodynamischen Quellen bei Vorbeifahrten hinter einer Wand ist die Geschwindigkeitsabhängigkeit in den Gleichungen (6a) bis (6c) folglich stärker als ohne SSW. Die Korrelationskoeffizienten für die Ausgleichsgeraden (5a) bis (5c) fallen mit Werten zwischen 0,48 und 0,59 zwar

relativ gering aus (Streuung um 0,5 dB(A)), sie lassen aber den linearen funktionalen Zusammenhang der Variablen noch als begründet erscheinen. Bei den Gleichungen (6a) bis (6c) liegen die Koeffizienten zwischen 0,88 und 0,93 (Streuung um 0,4 dB(A)), was den linearen Ansatz bei der Regressionsanalyse voll bestätigt.

Regressionsgeraden wie für die Vorbeifahrten der ICE 1- und ICE 2-Züge lassen sich für die anderen vermessenen Zugarten nicht berechnen. Hierzu ist entweder der Geschwindigkeitsbereich der x-Variablen zu schmal oder sie sind im Geschwindigkeitsbereich zu ungleichmäßig verteilt (siehe Güterzüge). Daher können für ICE 3-, IC- bzw. IR- und Güterzüge nur gemittelte Vorbeifahrpegel und gemittelte örtliche spezifische Grundwerte für bestimmte Geschwindigkeiten angegeben werden, die im folgenden Kapitel zur Berechnung der SSW-Einfügungsdämpfung dienen werden. Diese Werte einschließlich ihrer jeweiligen Streuung sind in den Tabellen 19 bis 24 für die drei Meßentfernungen eingetragen. Die Pegelmittelung und die Berechnung der Streuungen erfolgte wie in [1] mit dem Auftraggeber abgesprochen.

Meßentfernung	$L_{v,\text{ohne}}$ [dB(A)]	$L_{m,s,\text{ohne}}$ [dB(A)]
7,5 m	$88,5 \pm 0,7$	$47,8 \pm 0,8$
25 m	$82,1 \pm 0,6$	$41,7 \pm 0,6$
50 m	$78,9 \pm 0,6$	$38,8 \pm 0,6$

Tabelle 19 Gemittelte Vorbeifahrpegel und gemittelte örtliche spezifische Grundwerte bei fünf Vorbeifahrten des ICE 3 mit Geschwindigkeiten zwischen 199,8 und 200,4 km/h ohne SSW ($D_{Fz} = 0$ dB(A))

Meßentfernung	$L_{v,\text{mit}}$ [dB(A)]	$L_{m,s,\text{mit}}$ [dB(A)]
7,5 m	$75,5 \pm 0,5$	$35,0 \pm 0,3$
25 m	$72,3 \pm 0,2$	$32,0 \pm 0,2$
50 m	$69,0 \pm 0,2$	$29,1 \pm 0,3$

Tabelle 20 Gemittelte Vorbeifahrpegel und gemittelte örtliche spezifische Grundwerte bei drei Vorbeifahrten des ICE 3 mit Geschwindigkeiten zwischen 199,1 und 200,4 km/h mit SSW ($D_{Fz} = 0$ dB(A))

Beim ICE 3 konnten fünf Fahrten ohne SSW und drei Fahrten mit SSW zur Mittelung herangezogen werden. Die mittlere Zuggeschwindigkeit ist dabei mit 200,2 bzw. 199,7 km/h nahezu identisch. Im Falle der IC- bzw. IR-Züge wurden mit und ohne SSW jeweils drei Fahrten gemittelt, wobei die Mittelwerte der Geschwindigkeit 172,5 (ohne SSW) und 177,2 km/h (mit SSW) betragen; d. h. die Ergebnisse sind ungefähr vergleichbar. Eine diesbezügliche Verbesserung kann erreicht werden, wenn man den Vorbeifahrpegel bei 172,5 km/h (ohne SSW) um $\Delta L_{\text{Geschw}} = 30 \cdot \lg(177,2/172,5) = 0,4 \text{ dB(A)}$ erhöht, was die Pegelzunahme der Gesamtemission eines IC- bzw. IR-Zugs in diesem Geschwindigkeitsbereich bei dominierendem Rollgeräusch beschreibt. Für die örtlichen spezifischen Grundwerte ist keine weitere Geschwindigkeitskorrektur notwendig, da diese bereits durch den Term D_v in (2) hinreichend berücksichtigt ist. Die Pegel bei den Güterzügen wurden über 12 (ohne SSW) und 10 Züge (mit SSW) gemittelt. Dabei ergeben sich als Mittelwerte der Geschwindigkeit 120,2 bzw. 120,1 km/h, so daß der Differenzbildung der zugehörigen Pegel mit und ohne SSW aus dieser Sicht im nächsten Kapitel nichts entgegen steht.

Meßentfernung	$L_{v,\text{ohne}}$ [dB(A)]	$L_{m,s,\text{ohne}}$ [dB(A)]
7,5 m	$90,7 \pm 0,3$	$51,1 \pm 0,3$
25 m	$83,6 \pm 0,1$	$44,8 \pm 0,1$
50 m	$79,9 \pm 0,5$	$41,5 \pm 0,5$

Tabelle 21 Gemittelte Vorbeifahrpegel und gemittelte örtliche spezifische Grundwerte bei drei Vorbeifahrten von IC- bzw. IR-Zügen mit Geschwindigkeiten zwischen 170,1 und 174,4 km/h ohne SSW

Meßentfernung	$L_{v,\text{mit}}$ [dB(A)]	$L_{m,s,\text{mit}}$ [dB(A)]
7,5 m	$75,7 \pm 0,5$	$36,2 \pm 0,3$
25 m	$73,1 \pm 0,3$	$34,5 \pm 0,2$
50 m	$69,0 \pm 0,2$	$31,1 \pm 0,1$

Tabelle 22 Gemittelte Vorbeifahrpegel und gemittelte örtliche spezifische Grundwerte bei drei Vorbeifahrten von IC- bzw. IR-Zügen mit Geschwindigkeiten zwischen 174,1 und 180,7 km/h mit SSW

Meßentfernung	$L_{v,\text{ohne}}$ [dB(A)]	$L_{m,s,\text{ohne}}$ [dB(A)]
7,5 m	$96,5 \pm 1,2$	$55,2 \pm 1,2$
25 m	$89,9 \pm 1,2$	$48,7 \pm 1,2$
50 m	$86,4 \pm 1,2$	$45,4 \pm 1,2$

Tabelle 23 Gemittelte Vorbeifahrpegel und gemittelte örtliche spezifische Grundwerte bei 12 Vorbeifahrten von Güterzügen mit Geschwindigkeiten zwischen 118,0 und 121,6 km/h ohne SSW

Meßentfernung	$L_{v,\text{mit}}$ [dB(A)]	$L_{m,s,\text{mit}}$ [dB(A)]
7,5 m	$79,5 \pm 1,0$	$38,6 \pm 1,1$
25 m	$77,6 \pm 0,9$	$36,7 \pm 0,9$
50 m	$74,1 \pm 0,9$	$33,5 \pm 1,0$

Tabelle 24 Gemittelte Vorbeifahrpegel und gemittelte örtliche spezifische Grundwerte bei 10 Vorbeifahrten von Güterzügen mit Geschwindigkeiten zwischen 118,6 und 121,8 km/h mit SSW

5. Berechnung der SSW-Einfügungsdämpfung

Die Einfügungsdämpfung einer Schallschutzwand lässt sich im Prinzip aus der Differenz der mit und ohne Wand gemessenen Vorbeifahrpegel bzw. der dabei bestimmten örtlichen spezifischen Grundwerte berechnen, wie sie je nach Zugart anhand von Regressionsanalysen oder bei bestimmten Zuggeschwindigkeiten gemittelten Pegeln im letzten Kapitel bereitgestellt wurden. Allerdings ist bei vorliegender Untersuchung zuvor noch der Einfluß des im Falle "ohne SSW" verbliebenen Wandstücks mit der Notfalltür auf die Pegel des 25 m- und 50 m-Mikrofons abzuschätzen.

5.1 Berücksichtigung des Wandstücks mit der Notfalltür

In der Meßebene dieser beiden Mikrofone enthält die SSW statt der normalerweise verwendeten Wandelementen einen gemauerten Abschnitt, in den eine Tür zu Zwecken

der Gleisbegehung und als Fluchtweg eingelassen ist (siehe Bild 2 und 4). Da dieses Wandstück keine Schäden aufwies, wurde es bei der Demontage der übrigen SSW-Teile stehen gelassen, so daß die Meßserie "ohne SSW" mit diesem verbliebenen Abschnitt von 5 m Länge durchgeführt werden mußte. Dementsprechend muß dessen Wirkung auf die Immission am 25 m- und 50 m-Meßort im Falle "ohne SSW" berücksichtigt werden, was im folgenden anhand von Modellrechnungen geschieht. Für das 7,5 m-Mikrofon liegt keine diesbezügliche Beeinflussung vor, da es in ausreichender Entfernung von der Notfalltür postiert wurde (siehe Bild 3).

Zur Durchführung dieser Rechnungen wird die Software AD-PRO 2.0 verwendet, wie sie bereits in [4] zum Einsatz gekommen ist. AD-PRO 2.0 erlaubt die Modellierung der Emission eines beliebig konfigurierten Zugs aus einer Vielzahl von Punktquellen, die dessen relevante Schallquellen repräsentieren. Bei Vorbeifahrt des so akustisch beschriebenen Zugs wird von AD-PRO 2.0 unter Berücksichtigung der Schallausbreitungsbedingungen der Pegelverlauf an einem zu wählenden Immissionsort berechnet. Darüber hinaus ist die Berücksichtigung einer in ihren Abmaßen beliebigen SSW möglich, wobei deren Abschirmung entsprechend VDI 2720 [6] formuliert ist.

Modellrechnungen erfolgten für Vorbeifahrten eines ICE 1 mit 12 Mittelwagen bei den Geschwindigkeiten 200, 225, 250 und 280 km/h sowie eines aus 20 Flachwagen (ohne Lokomotive) bestehenden Güterzugs bei 80, 100 und 120 km/h. Aus den so prognostizierten Pegelverläufen wurden sowohl der A-bewertete Vorbeifahr- als auch der Stunden-Mittelungspegel für die in 25 bzw. 50 m von Gleismitte positionierten Mikrofone bestimmt, und zwar mit und ohne das verbliebene 5 m lange Wandstück. Bild 50 zeigt als Beispiel die Gegenüberstellung der Pegelverläufe einer ICE 1-Vorbeifahrt bei einer Geschwindigkeit von 250 km/h mit und ohne den Restabschnitt der SSW.

Aus den obigen Modellrechnungen lassen sich die in Tabelle 25 und 26 aufgeführten Differenzen zwischen Vorbeifahrten mit und ohne verbliebenes Wandstück ermitteln, und zwar steht ΔL_v für die Differenz der Vorbeifahrpegel und $\Delta L_{m,s}$ für die Differenz der örtlichen spezifischen Grundwerte bzw. der Stunden-Mittelungspegel. Die Differenzen spiegeln gleichzeitig die Einfügungsdämpfung der restlichen Wand wieder. Deren Wirkung als Ergebnis der Modellrechnungen ist folglich für das 25 m-Mikrofon mit 0,5 bis 0,6 dB(A) und für das 50 m-Mikrofon mit 0,3 dB(A) anzu-

setzen, wobei die Werte der Tabelle 25 später nicht nur für alle ICE-Züge sondern auch für die IC- bzw. IR-Züge benutzt werden. Diese bereits bei der Meßreihe "ohne SSW" vorhandene geringe Wandwirkung ist bei der Ermittlung der Einfügungsdämpfung für die gesamte SSW derart zu berücksichtigen, daß die gemessenen Einfügungsdämpfungen um die Werte aus Tabelle 25 bzw. 26 zu erhöhen sind.

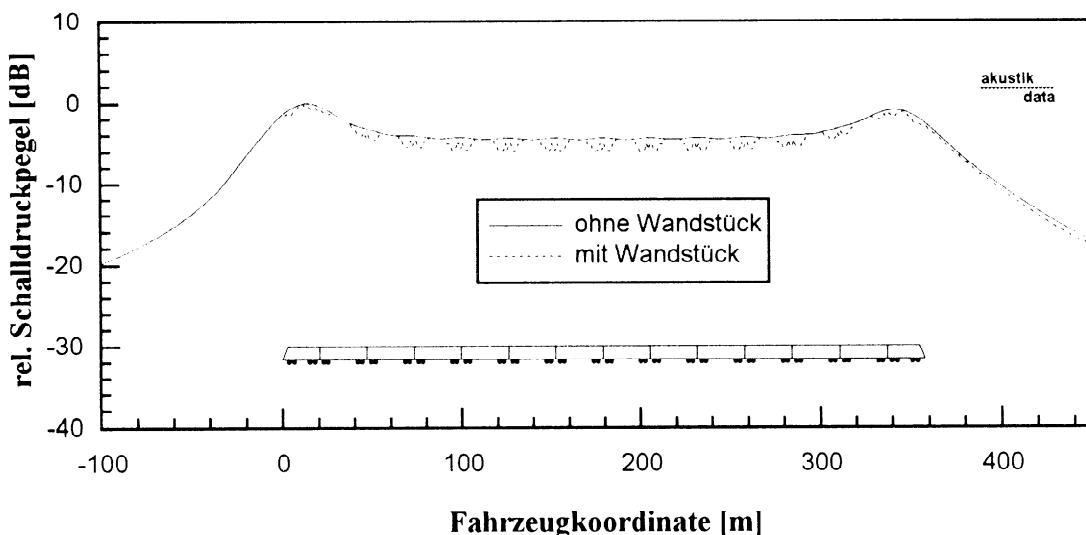


Bild 50 Vergleich der mittels AD-PRO 2.0 berechneten Pegelverläufe eines ICE 1 mit 12 Mittelwagen bei 250 km/h in 25 m Entfernung von Gleismitte mit und ohne Wandstück mit der Notfalltür

Geschw. [km/h]	ΔL_v [dB(A)]		$\Delta L_{m,s}$ [dB(A)]	
	25 m	50 m	25 m	50 m
200	0,6	0,3	0,6	0,3
225	0,6	0,3	0,5	0,3
250	0,5	0,3	0,5	0,3
280	0,5	0,3	0,5	0,3

Tabelle 25 Aus dem Vorbeifahrpegel sowie dem örtlichen spezifischen Grundwert berechnete Einfügungsdämpfung des verbliebenen Wandstücks mit der Notfalltür in 25 und 50 m Entfernung von Gleismitte bei Vorbeifahrt eines ICE 1 mit 12 Mittelwagen

Geschw. [km/h]	ΔL_v [dB(A)]		$\Delta L_{m,s}$ [dB(A)]	
	25 m	50 m	25 m	50 m
80	0,5	0,3	0,5	0,3
100	0,5	0,3	0,5	0,3
120	0,5	0,3	0,5	0,3

Tabelle 26 Aus dem Vorbeifahrpegel sowie dem örtlichen spezifischen Grundwert berechnete Einfügungsdämpfung des verbliebenen Wandstücks mit der Notfalltür in 25 und 50 m Entfernung von Gleismitte bei Vorbeifahrt eines Güterzugs bestehend aus 20 Flachwagen

5.2 SSW-Einfügungsdämpfung für die verschiedenen Zugarten

Für jede Zugart getrennt berechnet sich die Einfügungsdämpfung ΔL_{ssw} der untersuchten Schallschutzwand aus den bei gleicher Zuggeschwindigkeit mit und ohne SSW gemessenen Vorbeifahrpegeln $L_{v,mit}$ bzw. $L_{v,ohne}$ nach

$$\Delta L_{ssw,v} = L_{v,ohne} - L_{v,mit} + \Delta L_v + \Delta L_{Geschw} \text{ dB(A)} \quad (7)$$

sowie aus den bei gleicher Zuggeschwindigkeit mit und ohne SSW bestimmten örtlichen spezifischen Grundwerten $L_{m,s,mit}$ bzw. $L_{m,s,ohne}$ nach

$$\Delta L_{ssw,m,s} = L_{m,s,ohne} - L_{m,s,mit} + \Delta L_{m,s} \text{ dB(A)}. \quad (8)$$

Die Geschwindigkeitskorrektur ΔL_{Geschw} ist nur bei den IC- bzw. IR-Zügen ungleich Null, da nur bei dieser Zugart der Geschwindigkeitsmittelwert bei den Vorbeifahrten mit und ohne SSW einen signifikanten Unterschied aufwies. In Gleichung (8) tritt der Term ΔL_{Geschw} nicht auf, da die örtlichen spezifischen Grundwerte vom Prinzip her bereits geschwindigkeitskorrigiert sind. Aus den Tabellen 27 bis 31 ist die mittels (7) und (8) berechnete Einfügungsdämpfung der SSW für die verschiedenen Zugarten zu entnehmen. Dabei beruhen die Vorbeifahrpegel für ICE 1- und ICE 2-Züge bei den exemplarischen Geschwindigkeiten auf den Gleichungen (4) bzw. (3); die örtlichen

spezifischen Grundwerte für diese Zugart sind durch (6) bzw. (5) beschrieben. Die bei bestimmten Geschwindigkeiten gemessenen Vorbeifahrpegel und örtlichen spezifischen Grundwerte für die übrigen Zugarten entstammen den Tabellen 19 bis 24. Die für den jeweiligen Wert der Einfügungsdämpfung in den Tabellen 29 bis 31 angegebene Streuung folgt aus der Streuung der beiden Summanden $L_{v,\text{ohne}}$ und $L_{v,\text{mit}}$ bzw. $L_{m,s,\text{ohne}}$ und $L_{m,s,\text{mit}}$ durch Anwendung des Gaußschen Gesetzes der Fehlerfortpflanzung (siehe [1]). Für die Einfügungsdämpfung bei Vorbeifahrten des ICE 1 oder ICE 2 (Tabelle 27 und 28) wird ebenso verfahren: als Streuung für die beiden Summanden wird die Streuung der jeweiligen Regressionsgeraden angesetzt.

Immissionsort (Entfernung / Höhe über SO)	$\Delta L_{\text{SSW},v}$ [dB(A)]			$\Delta L_{\text{SSW}}'$ [dB(A)] (mit D_{BM})	$\Delta L_{\text{SSW}}'$ [dB(A)] (ohne D_{BM})
	200 km/h	225 km/h	250 km/h		
7,5 m / 1,2 m	11,2 ± 0,7	10,2 ± 0,7	9,3 ± 0,7	12,9	13,1
25 m / 3,5 m	8,5 ± 0,7	7,9 ± 0,7	7,4 ± 0,7	10,5	10,9
50 m / 5,0 m	8,2 ± 0,7	7,8 ± 0,7	7,5 ± 0,7	9,2	11,2

Tabelle 27 Einfügungsdämpfung der SSW bei Vorbeifahrten des ICE 1 oder ICE 2 mit den exemplarischen Geschwindigkeiten von 200, 225 und 250 km/h berechnet aus den gemessenen Vorbeifahrpegeln und Gegenüberstellung mit der Einfügungsdämpfung nach Schall 03

Immissionsort (Entfernung / Höhe über SO)	$\Delta L_{\text{SSW},m,s}$ [dB(A)]			$\Delta L_{\text{SSW}}'$ [dB(A)] (mit D_{BM})	$\Delta L_{\text{SSW}}'$ [dB(A)] (ohne D_{BM})
	200 km/h	225 km/h	250 km/h		
7,5 m / 1,2 m	10,9 ± 0,7	9,9 ± 0,7	9,1 ± 0,7	12,9	13,1
25 m / 3,5 m	7,7 ± 0,7	6,9 ± 0,7	6,3 ± 0,7	10,5	10,9
50 m / 5,0 m	7,2 ± 0,6	6,6 ± 0,6	6,0 ± 0,6	9,2	11,2

Tabelle 28 Einfügungsdämpfung der SSW bei Vorbeifahrten des ICE 1 oder ICE 2 mit den exemplarischen Geschwindigkeiten von 200, 225 und 250 km/h berechnet aus den örtlichen spezifischen Grundwerten und Gegenüberstellung mit der Einfügungsdämpfung nach Schall 03

Immissionsort (Entfernung / Höhe über SO)	$\Delta L_{SSW,v}$ [dB(A)]	$\Delta L_{SSW,m,s}$ [dB(A)]	$\Delta L_{SSW}'$ [dB(A)] (mit D_{BM})	$\Delta L_{SSW}'$ [dB(A)] (ohne D_{BM})
7,5 m / 1,2 m	13,0 ± 0,9	12,8 ± 0,9	12,9	13,1
25 m / 3,5 m	10,4 ± 0,6	10,3 ± 0,6	10,5	10,9
50 m / 5,0 m	10,2 ± 0,6	10,0 ± 0,7	9,2	11,2

Tabelle 29 Einfügungsdämpfung der SSW bei Vorbeifahrten des ICE 3 mit ca. 200 km/h berechnet aus den gemessenen Vorbeifahrpegeln bzw. den örtlichen spezifischen Grundwerten und Gegenüberstellung mit der Einfügungsdämpfung nach Schall 03

Immissionsort (Entfernung / Höhe über SO)	$\Delta L_{SSW,v}$ [dB(A)]	$\Delta L_{SSW,m,s}$ [dB(A)]	$\Delta L_{SSW}'$ [dB(A)] (mit D_{BM})	$\Delta L_{SSW}'$ [dB(A)] (ohne D_{BM})
7,5 m / 1,2 m	15,4 ± 0,6	14,9 ± 0,4	12,9	13,1
25 m / 3,5 m	11,5 ± 0,3	10,9 ± 0,2	10,5	10,9
50 m / 5,0 m	11,6 ± 0,5	10,7 ± 0,5	9,2	11,2

Tabelle 30 Einfügungsdämpfung der SSW bei Vorbeifahrten von IC- oder IR-Zügen mit ca. 177 km/h berechnet aus den gemessenen Vorbeifahrpegeln bzw. den örtlichen spezifischen Grundwerten und Gegenüberstellung mit der Einfügungsdämpfung nach Schall 03

Immissionsort (Entfernung / Höhe über SO)	$\Delta L_{SSW,v}$ [dB(A)]	$\Delta L_{SSW,m,s}$ [dB(A)]	$\Delta L_{SSW}'$ [dB(A)] (mit D_{BM})	$\Delta L_{SSW}'$ [dB(A)] (ohne D_{BM})
7,5 m / 1,2 m	17,0 ± 1,6	16,6 ± 1,6	12,9	13,1
25 m / 3,5 m	12,8 ± 1,5	12,5 ± 1,5	10,5	10,9
50 m / 5,0 m	12,6 ± 1,5	12,2 ± 1,6	9,2	11,2

Tabelle 31 Einfügungsdämpfung der SSW bei Vorbeifahrten von Güterzügen mit ca. 120 km/h berechnet aus den gemessenen Vorbeifahrpegeln bzw. den örtlichen spezifischen Grundwerten und Gegenüberstellung mit der Einfügungsdämpfung nach Schall 03

Des weiteren ist in den Tabellen 27 bis 31 für jeden einzelnen Immissionsort die nach Schall 03 berechnete Einfügungsdämpfung $\Delta L_{SSW}'$ angegeben; und zwar wie sie sich bereits in [1] und [2] auf Wunsch des Auftraggebers mit und ohne Berücksichtigung der Boden- und Meteorologiedämpfung D_{BM} ergeben hat.

Vergleicht man in jeder dieser Tabellen die mittels der Vorbeifahrpegel und der örtlichen spezifischen Grundwerte bestimmten Werte für die Einfügungsdämpfung, wird eine sehr gute bis gute Übereinstimmung bei Güterzügen, für die nahen Mikrofone bei IC- bzw. IR-Zügen und beim ICE 3 deutlich, während beim ICE 1 und ICE 2 - außer für das 7,5 m-Mikrofon - die Berechnung mittels der örtlichen spezifischen Grundwerte einen 1 bis 1,5 dB(A) geringeren Wert für die Einfügungsdämpfung erbringt. Um nicht diesen Parameter auch noch mit in die Diskussion der Ergebnisse einzubeziehen, wird im folgenden nur die Einfügungsdämpfung $\Delta L_{SSW,m,s}$ betrachtet. Da diese die Differenz der Stunden-Mittelungspegel mit und ohne SSW darstellt und da die Schall 03 auf dem Stunden-Mittelungspegel basiert, scheinen die Werte für $\Delta L_{SSW,m,s}$ zum Vergleich mit Werten der Einfügungsdämpfung $\Delta L_{SSW}'$ nach Schall 03 besser geeignet. Um abermals einen Parameter weniger berücksichtigen zu müssen, wird für die Vergleiche nur die mit D_{BM} berechnete Einfügungsdämpfung $\Delta L_{SSW}'$ herangezogen, was dem derzeitigen Stand des Berechnungsverfahrens entspricht. Mit dieser Einschränkung bezüglich der Anzahl der Parameter ergibt sich für die Wandwirkung bei Vorbeifahrten der untersuchten Zugarten folgendes:

- Güterzüge

Die Schall 03 unterschätzt die Einfügungsdämpfung der SSW je nach betrachtetem Immissionsort um ca. 2 bis 4 dB(A). Das gleiche Ergebnis haben auch die Untersuchungen in [1] und [2] ergeben (siehe Meßorte "A" und "B" bei Güterzugvorbeifahrten mit 110 und 113 km/h). Ohne Berücksichtigung der jeweiligen Streuung weichen die Werte für die Einfügungsdämpfung aus Tabelle 31 maximal um 0,5 dB(A) von den entsprechenden Werten in [1] und [2] ab.

- IC- bzw. IR-Züge

Auch bei Vorbeifahrten von IC- bzw. IR-Zügen (Tabelle 30) offenbart die vorliegende Untersuchung eine Unterschätzung der Wandwirkung durch die Schall 03.

Allerdings ist die Abweichung mit ca. 1 dB(A) eher gering. Eine Kontrolle dieser Aussage mittels der Ergebnisse aus [1] und [2] ist für diese Zugart leider nicht möglich, da dort IC-, EC- und IR-Vorbeifahrten nur bei einer anderen, nicht vergleichbaren Wandgeometrie vermessen wurden.

- ICE 1- und ICE 2-Züge

Zunächst dokumentieren die hier bestimmten Werte für die Einfügungsdämpfung bei Vorbeifahrten des ICE 1 und ICE 2 (Tabelle 28) eine Geschwindigkeitsabhängigkeit, die die Schall 03 nicht abzubilden vermag. Die Abnahme der Wandwirkung mit steigender Geschwindigkeit ist an allen drei Immissionsorten mit 1 bis 2 dB(A) im Bereich von 200 bis 250 km/h sehr deutlich. Des weiteren überschätzt die Schall 03 selbst bei 200 km/h die Wandwirkung bereits beträchtlich, nämlich je nach Immissionsort um 2 bis 3 dB(A), so daß bei 250 km/h Abweichungen zur Schall 03 um insgesamt bis zu 4 dB(A) gemessen werden. Es ist unschwer zu prognostizieren, daß sich dieser Trend zur verminderten Wandwirkung bei höheren Geschwindigkeiten weiter fortsetzt und die Einfügungsdämpfung damit noch geringere Werte annehmen wird als beispielsweise die gemessenen 6 bis 7 dB(A) bei 250 km/h am Ort des 25 m-Mikrofons.

Ursache hierfür ist die schon mehrfach diskutierte, mit der Geschwindigkeit zunehmende Dominanz der sogenannten hochliegenden (aerodynamischen) Schallquellen bei Hochgeschwindigkeitsfahrzeugen. Im Vergleich zu den Meßergebnissen aus [1] und [2] (Meßorte "A" und "B") weisen die hier bei 200 km/h bestimmten Werte für die Einfügungsdämpfung nur wenige Zehntel dB Unterschied bei einer weit geringeren Streuung auf. Bei 250 km/h ist diese Differenz größer, und zwar wurden hier noch um 1 bis 2 dB(A) kleinere Werte als in [1] und [2] gemessen. An der deutlich verminderten Wandwirkung im Falle von schnell fahrenden Eisenbahnen besteht somit kein Zweifel.

- ICE 3-Züge

Zwar gehört der ICE 3 zu den Hochgeschwindigkeitszügen, es konnten jedoch im August und Oktober 2000 nur Vorbeifahrten mit maximal 200 km/h aufgezeichnet werden, da zum damaligen Zeitpunkt für diesen Zug noch eine Geschwindigkeits-

beschränkung auf 200 km/h bestand. Dadurch läßt sich die mit Sicherheit auch beim ICE 3 verminderte Wandwirkung nicht demonstrieren. Hingegen weist das Ergebnis bei 200 km/h (Tabelle 29) aus, daß die Schall 03 bei dieser Geschwindigkeit die Einfügungsdämpfung noch richtig beschreibt, ganz im Gegensatz zu den Meßergebnissen des ICE 1 und ICE 2 bei 200 km/h. Dies hängt mit den konstruktiven Unterschieden zwischen einem Triebkopfzug (ICE 1 bzw. ICE 2) und einem Triebwagenzug (ICE 3) zusammen. So sind beim ICE 3 fast sämtliche Lüfter bei geringerer Leistung pro Aggregat unter den Wagenböden angeordnet, was durch die erhebliche Verringerung der Anzahl und Stärke der hochliegenden Schallquellen einen positiven Effekt auf die Wirksamkeit einer SSW hat. Die Verminderung der SSW-Einfügungsdämpfung wird jedoch infolge der Stromabnehmer und der zugehörigen Dachgeräte sowie der an den meisten Wagenübergängen auf den Dächern paarweise angeordneten Isolatoren für die Hochspannungsleitung zu höheren Geschwindigkeiten hin einsetzen.

5.3 Vergleich der gemessenen Einfügungsdämpfung mit Werten entsprechend einem Modifizierungsvorschlag für die Schall 03

Bereits nach der Untersuchung [1] bzw. [2] war klar, daß die bestehende Schall 03 die Wandwirkung bei Vorbeifahrten von Eisenbahnen mit hohen Geschwindigkeiten über-schätzt. Aufgrund dieses Ergebnisses wurden in [4] Vorschläge zur Modifizierung der Schall 03 erarbeitet, die auf möglichst einfache Weise Rechenwerte nach Schall 03 an Meßwerte bei vorhandener SSW anpassen sollten. Dazu wurden in [4] vier Varianten vorgestellt. Alle Varianten gehen von dem Grundgedanken aus, daß sich die Berechnung der Wandwirkung innerhalb der Schall 03 beim Hochgeschwindigkeitsverkehr verbessern läßt, wenn zusätzlich zum Rollgeräusch noch weitere, insbesondere aerodynamisch verursachte Geräusche mittels entsprechender Ersatzquellen berücksichtigt werden. Dies soll anhand der Variante C und den in vorliegender Untersuchung bestimmten Werten für die Einfügungsdämpfung demonstriert werden, und zwar bei Vorbeifahrten des ICE 1 bzw. ICE 2 mit 200, 225 und 250 km/h hinter einer SSW mit der an der SFS bei Northeim vorgefundenen Geometrie (siehe Kapitel 2).

Da die Wandwirkung bei schnellen Zügen von der Schienenrauhigkeit abhängig ist, d. h. vom Verhältnis zwischen Roll- und aerodynamischem Geräusch, wurden die Modellrechnungen in [4] für verschiedene Rauhigkeitszustände durchgeführt. Für die Variante C liegen Ergebnisse bei einem guten Gleiszustand, also bei einem Grundwert

von 51 dB(A), und bei einem Grundwert von 48 dB(A), entsprechend den Anforderungen an ein besonders überwachtes Gleis, vor. Allerdings haben die in diesem Bericht diskutierten Messungen offenbar bei einem noch besseren Gleiszustand stattgefunden. Ein Indiz hierfür ist der bei IC- bzw. IR-Zügen in 25 m Entfernung ohne SSW gemessene örtliche spezifische Grundwert von 44,8 dB(A) (siehe Tabelle 21). Auch der für diese Situation bei Vorbeifahrten von Güterzügen erhaltene örtliche spezifische Grundwert von 48,7 dB(A) (siehe Tabelle 23) weist auf den sehr guten Gleiszustand hin. Ein sehr geringer Grundwert, nämlich ca. 45 dB(A), folgt gleichfalls aus den Werten in Bild 48 bei Fahrten des ICE 1 bzw. ICE 2 ohne SSW bei 200 km/h, der auch als Grundwert bei 100 km/h angenommen werden kann.

Damit spiegeln die Rechnungen mittels Variante C in [4] wahrscheinlich die vermessene Situation selbst bei einem D_{FB} von -1 dB(A) nicht vollständig wieder. Im übrigen wurden die Betrachtungen für einen ICE 1 mit 12 Mittelwagen gemacht, was exakt der mittleren Länge aller hier einbezogenen ICE 1- bzw. ICE 2-Züge entspricht. Die für die Orte des 7,5, 25 und 50 m-Mikrofons erstellten Ergebnisse für die SSW-Einfügungsdämpfung (siehe Bilder B6 bis B8 in [4]) sind in Tabelle 32 zusammengestellt.

Immissionsort (Entfernung / Höhe über SO)	$\Delta L_{SSW, Variante C}$ [dB(A)]		
	200 km/h	225 km/h	250 km/h
7,5 m / 1,2 m	10,7	9,8	9,0
25 m / 3,5 m	9,3	8,5	7,8
50 m / 5,0 m	8,1	7,4	6,8

Tabelle 32 Mittels einer modifizierten Version der Schall 03 (Variante C) in [4] mit $D_{FB} = -1$ dB(A) für verschiedene Immissionsorte berechnete Einfügungsdämpfung einer 2,0 m hohen und 4,5 m von Gleismitte entfernten SSW bei Vorbeifahrten des ICE 1 mit 12 Mittelwagen

Die Werte aus Tabelle 32 sind nun abschließend mit den gemessenen Werten für die Einfügungsdämpfung aus Tabelle 28 zu vergleichen. Für den Immissionsort in 7,5 m Entfernung von Gleismitte ist eine sehr gute Übereinstimmung festzustellen, während

die Variante C an den beiden anderen Orten eine um 1 bis 1,5 dB(A) höhere Wandwirkung als gemessen prognostiziert. Diese im Gegensatz zu Rechnungen mit der aktuellen Schall 03 bereits geringen Abweichungen sind durch den in [4] nicht ganz korrekt modellierten Rauhigkeitszustand der Schienen erklärbar (siehe oben). Unter der Annahme einer noch geringeren Schienenrauhigkeit ergeben sich nämlich für die Einfügungsdämpfung entsprechend geringere Werte, wobei dies am Ort des wandnahen Mikrofons in 7,5 m Entfernung nur wenig Veränderung bewirkt.

Mit dem in diesem Abschnitt angeführten Rechenbeispiel konnte somit gezeigt werden, daß sich die verminderte Wandwirkung bei Vorbeifahrt von Hochgeschwindigkeitszügen durch relativ einfache Modifizierungen in der bestehenden Schall 03 nachbilden läßt. Dabei ist die Variante C in [4] als ein möglicher Vorschlag anzusehen. Eine endgültige Anpassung der Schall 03 in Bezug auf das tatsächliche akustische Verhalten von Schallschutzwänden bedarf mit Sicherheit noch weiterer Modellrechnungen.

6. Zusammenfassung

Die Verminderung der Wandwirkung bei Vorbeifahrten von Eisenbahnen mit hohen Geschwindigkeiten war bereits Thema der Untersuchungen [1] und [2], wobei den Ergebnissen eine gewisse Unsicherheit anhaftet, da die Messungen mit und ohne SSW an verschiedenen Orten stattfinden mußten. Im Herbst 2000 bot sich dann aufgrund von Sanierungsarbeiten an einer Wand entlang der SFS Hannover - Göttingen die seltene Chance, Messungen mit und ohne SSW innerhalb einer kurzen Zeit in derselben Meßebene durchführen zu können.

Es wurde zunächst bei praktisch völlig entfernter SSW gemessen sowie nach sechs Wochen nach deren kompletten Wiederaufbau, und zwar an drei Immissionsorten in 7,5, 25 und 50 m Entfernung von Gleismitte. Für beide Fälle konnte eine zur statistischen Absicherung der Ergebnisse ausreichende Anzahl von ICE 1-, ICE 2-, ICE 3-, IC-, IR- und Güterzügen aufgezeichnet werden. Im Bericht werden für alle Zugarten exemplarische Pegelverläufe und Schalldruckspektren gezeigt sowie bei Vorbeifahrten mit und ohne SSW gegenübergestellt.

Aus der Differenz der Vorbeifahrpegel bzw. der örtlichen spezifischen Grundwerte mit und ohne SSW wird sodann die Einfügungsdämpfung der SSW ermittelt. Für Vorbeifahrten von Güterzügen ergibt sich, daß die bestehende Schall 03 die Wandwirkung je nach Immissionsort um 2 bis 4 dB(A) unterschätzt. Dies gilt mit ca. 1 dB(A) auch für IC- und IR-Züge. Bei Vorbeifahrten von ICE 1- und ICE 2-Zügen überschätzt die Schall 03 hingegen die Wandwirkung beträchtlich, und zwar bei der höchsten gemessenen Geschwindigkeit von 250 km/h um bis zu 4 dB(A), so daß für die Einfügungsdämpfung beispielsweise in 25 m Entfernung nur noch ein Wert von 6 bis 7 dB(A) verbleibt. Dies deckt sich weitgehend mit den Ergebnissen aus [1] und [2]. Für ICE 3-Züge konnte der Beweis für die geringere Wirkung einer SSW nicht erbracht werden, da diese Züge während der Messungen nur mit maximal 200 km/h verkehrten durften.

Zum Abschluß des Berichts wird die bei ICE 1- und ICE 2-Vorbeifahrten gemessene Einfügungsdämpfung verglichen mit Rechnungen anhand von Modifizierungsvorschlägen für die Schall 03, wie sie schon in [4] unterbreitet worden sind. Es zeigt sich, daß diese Modifikationen bereits zu einer sehr guten Anpassung der Schall 03 an das tatsächliche akustische Verhalten von Schallschutzwänden bei Vorbeifahrten von Hochgeschwindigkeitszügen führen.

7. Literatur

- [1] M. Klemenz, M. W. Hansen und B. Barsikow
Abschirmwirkung von Schallschutzwänden bei Hochgeschwindigkeitszügen;
Bericht 1, Arbeitspaket 1, Meßserie 1: Einzelmikrofon-Messungen
bei ungeschliffenen Schienen.
Umweltbundesamt, Forschungsvorhaben 296 55 215, August 1998
- [2] M. Klemenz, M. W. Hansen und B. Barsikow
Abschirmwirkung von Schallschutzwänden bei Hochgeschwindigkeitszügen;
Bericht 2, Arbeitspaket 1, Meßserie 2: Einzelmikrofon-Messungen
bei geschliffenen Schienen.
Umweltbundesamt, Forschungsvorhaben 296 55 215, August 1998

- [3] M. Klemenz und B. Barsikow
Abschirmwirkung von Schallschutzwänden bei Hochgeschwindigkeitszügen;
Bericht 3, Arbeitspaket 2: Array-Messungen.
Umweltbundesamt, Forschungsvorhaben 296 55 215, Oktober 1998
- [4] M. Klemenz und B. Barsikow
Abschirmwirkung von Schallschutzwänden bei Hochgeschwindigkeitszügen;
Bericht 4, Arbeitspaket 3: Modellrechnungen und Vorschläge zur
Modifikation der Schall 03.
Umweltbundesamt, Forschungsvorhaben 296 55 215, Dezember 1998
- [5] Information Akustik 03, Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen
von Schienenwegen - Schall 03.
Deutsche Bundesbahn, Bundesbahn-Zentralamt München, Ausgabe 1990
- [6] VDI 2720, Blatt 1, Schallschutz durch Abschirmung im Freien.
Entwurf Februar 1991