

Erläuterungen

zur

Anlage 2 der

**Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-
Immissionsschutzgesetzes
(Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV)**

Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03)

Teil 1: Erläuterungsbericht

Stand 23. Februar 2015

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Dieser Bericht ersetzt den Bericht vom 19.12.2014

Er enthält folgende Änderungen:

Teil 1:

redaktionelle Änderungen

Teil 2:

redaktionelle Änderungen,

Die Testaufgaben 2.3.1.6, 2.3.1.7, 2.3.1.8, 2.3.1.9 und 2.4.2.2 wurden ausgetauscht.

Die Testaufgaben entsprechen dem im Normenausschuss des DIN 45687 verabschiedeten Stand vom 21.01.2015.

Die Testaufgabe 2.1.1.6 wurden bezüglich der Schienenstegabschirmungen für Kesselwagen in Höhe 4 m geändert, Stand 23.02.2015

Die Konformitätserklärung wurde entfernt; als Fundstelle wurde ein Verweis auf die Website des DIN aufgenommen.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Referat LA 18

Invalidenstraße 44

10115 Berlin

Telefon: 030 18 - 300 - 0

Telefax: 030 18 - 300 – 1920

E-Mail: buengerinfo@bmvi.bund.de

Teil 1: Erläuterungsbericht

Inhaltsverzeichnis

Allgemeines	6
zu 1. Berechnungsverfahren.....	11
zu 2. Begriffe, Festlegungen	12
zu 3. Modellierung der Schallquellen.....	13
zu 4. Schallemissionen von Eisenbahnen.....	14
zu 5. Schallquellen von Straßenbahnen	29
zu 6. Schallausbreitung.....	35
zu 7. Berechnung der Schallimmission	38
zu 8. Beurteilungspegel.....	38
zu 9. Berücksichtigung von abweichender Bahntechnik und von schalltechnischen Innovationen.....	39
Literaturhinweise	41

Teil 2: Testaufgaben

Vorbemerkung

Der vorliegende Erläuterungsbericht soll die akustische Grundlagen und den technischen Hintergrund der Schall 03 erläutern und für den Anwender eine Hilfestellung bei der Anwendung dieser Rechenvorschrift bieten. Der Erläuterungsbericht kann bei Bedarf aktualisiert werden. Anwender können Hinweise auf ergänzenden Erläuterungsbedarf an das zuständige Fachreferat im Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) richten.

Allgemeines

In der Anlage 2 zur 16. BImSchV (Schall 03) ist das Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Schallimmissionen von Schienenwegen festgelegt. In diesem Erläuterungsbericht werden Randbedingungen sowie die akustischen Grundlagen und Annahmen erläutert, die zur Festlegung des Berechnungsverfahrens geführt haben. Außerdem werden zur Abschätzung der Schallimmissionen für Plausibilitätsprüfungen und für Vergleiche mit dem bisherig verwendeten Rechenverfahren der Schall 03 [1990] [1] Diagramme zur Verfügung gestellt.

Die Schall 03 wurde formal in Anlehnung an die an DIN – Normen gestellten Anforderungen entsprechend dem Entwurf der DIN 820-2 [2], Normungsarbeit – Teil 2: „Gestaltung von Dokumenten“ erstellt, um die Lesbarkeit für die Hauptanwender in den Ingenieurbüros zu vereinfachen. Im Zusammenhang mit der Erstellung der Schall 03 wurden Testaufgaben entwickelt, die die Prüfung auf korrekte Umsetzung der Berechnungsalgorithmen in Spezialsoftware ermöglichen. Diese Testaufgaben wurden in Anlehnung an die DIN 45687 [3], Qualitätssicherung von Softwareerzeugnissen für die Schallausbreitung, eingeführt und sind im Teil 2 dieses Dokumentes enthalten.

Das Berechnungsverfahren der Schall 03 enthält Algorithmen und Diagramme. Es berücksichtigt Beurteilungspegel für den Tages- und Nachtzeitraum an den Immissionsorten. Die Beurteilung der Immissionen erfolgt bezüglich der Anforderungen und der Grenzwerte nach der Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes - Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV). Für die Bestimmung von Art und Umfang passiver Schutzmaßnahmen nach der Vierundzwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes - Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege - Schallschutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV) [4] kommen diese Beurteilungspegel ebenfalls zur Anwendung. Für die Lärmkartierung im Rahmen der EU-Umgebungslärmrichtlinie in Verbindung mit der Vierunddreißigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung – 34. BImSchV) [5] ist derzeit das Verfahren der „Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen (VBUSch)“ [6] anzuwenden. Ab dem 01.01.2019 soll nach Artikel 13 (3) der Richtlinie 2002/49/EG (EU - Umge-

bungslärmrichtlinie) [7] , Anhang II, ein harmonisiertes europäisches Berechnungsverfahren zur Anwendung kommen (CNOSSOS EU) [8].

Das Berechnungsverfahren der Schall 03 unterscheidet sich von demjenigen der Schall 03 [1990] [1] im Wesentlichen durch die Einführung der Berechnung in Frequenzbändern (8 Oktavbänder mit Mittenfrequenzen von 63 Hz bis 8 kHz) beim Emissionsmodell und in der Schallausbreitung. Dadurch wird es möglich, die unterschiedliche Schallausbreitung und Abschirmwirkung von eher hochfrequenten Geräuschen (z.B. Stromabnehmer von Zügen) und eher tieffrequenten Geräuschen (z.B. Rollgeräusche von Güterzügen) zu berücksichtigen. Diese frequenzselektive Betrachtung wird bereits in anderen europäischen Ländern (z.B. Österreich, Skandinavien) und auch im o.a. harmonisierten europäischen Berechnungsverfahren CNOSSOS EU [8] angewendet.

Mit dem Rechenverfahren ist die Einführung des Schallleistungspegels als Ausgangswert verbunden; dieser tritt an die Stelle des Emissionspegels der Schall 03 [1990] [1]. Um einen Vergleich zu früheren Berechnungen nach Schall 03 [1990] [1] zu ermöglichen, werden in der Schall 03 Formeln zur Umrechnung des Emissionspegels in einen Schallleistungspegel und umgekehrt angegeben. Die Berechnungen der Schallausbreitung folgen im Wesentlichen der ISO 9613-2, „Schallausbreitung im Freien“ [10]. Diese Grundlagennorm findet auch Anwendung bei der Berechnung der Schallausbreitung von Gewerbe- und Industrielärm und beim Straßenlärm.

Unter Berücksichtigung neuer Erkenntnisse der Fachwelt ergeben sich gegenüber der bisherigen Anlage 2 der 16. BImSchV und der Schall 03 [1990] [1] folgende grundlegenden Veränderungen:

- Zusammenführung der bisherigen Schallimmissionsberechnungen nach der Schall 03 für Schienenwege und der Akustik 04 [9] für Rangier- und Umschlagbahnhöfe in einer Vorschrift
- Erweiterte Datenbasis unter Einbeziehung von Messungen neuerer Eisenbahntechnik (z.B. Hochgeschwindigkeits-Triebzüge, Güterwagen mit Verbundstoffbremssohle und neue Fahrbahnarten)
- Aufteilung der Geräusche in Rollgeräusche, Antriebsgeräusche, Aggregatgeräusche, aerodynamische Geräusche und Zuordnung auf 3 Quellhöhen in Höhe von 0 m, 4 m und 5 m über Schienenoberkante (SO)
- Erweiterte Berücksichtigung der Schallabschirmung und Reflexionen innerhalb von bebauten Gebieten
- Berücksichtigung der Reflexionen von Wasserflächen und transparenten Schallschutzwänden
- Integration neuartiger Schallschutzmaßnahmen wie z.B. niedrige Schallschutzwände, Schienenstegdämpfer oder Schienenstegabschirmung

- Möglichkeit der Einführung und Berücksichtigung abweichender Bahntechnik oder schalltechnischer Innovationen durch ein festgelegtes Nachweis- und Anerkennungsverfahren.

Vergleichsrechnungen zu den Schallemissionen zwischen Schall 03 [1990] [1] und Schall 03, zeigen grundsätzlich eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse bis auf folgende Ausnahmen:

- Nach Schall 03 ergeben sich etwas höhere Schallimmissionen für Güterzüge aufgrund der selektiven Betrachtung der tiefen Frequenzen (Bild 1).
- Bei Straßenbahnen und U-Bahnen ergeben sich insbesondere für U-Bahnen wesentlich geringere Schallimmissionen (Bild 2).
- Innerhalb von bebauten Gebieten ergeben sich aufgrund der in der Schall 03 angesetzten Bebauungsdämpfung durch alle vorhandenen Gebäude und unter Berücksichtigung von Mehrfachreflexionen gegenüber der Schall 03 [1990] [1] realistischere Schallimmissionen für zurückliegende Gebäude (Bild 3).

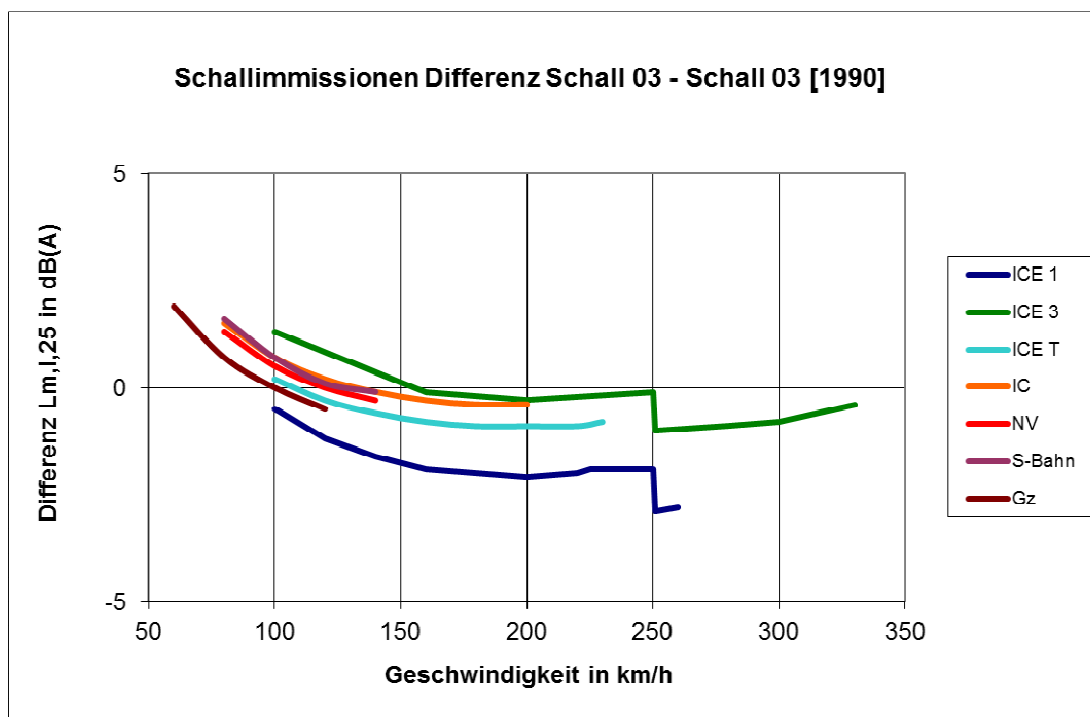


Bild 1: Differenz zwischen den Schallimmissionen von Eisenbahnen im Abstand von 25 m nach Schall 03 und nach Schall 03 [1990] [1]

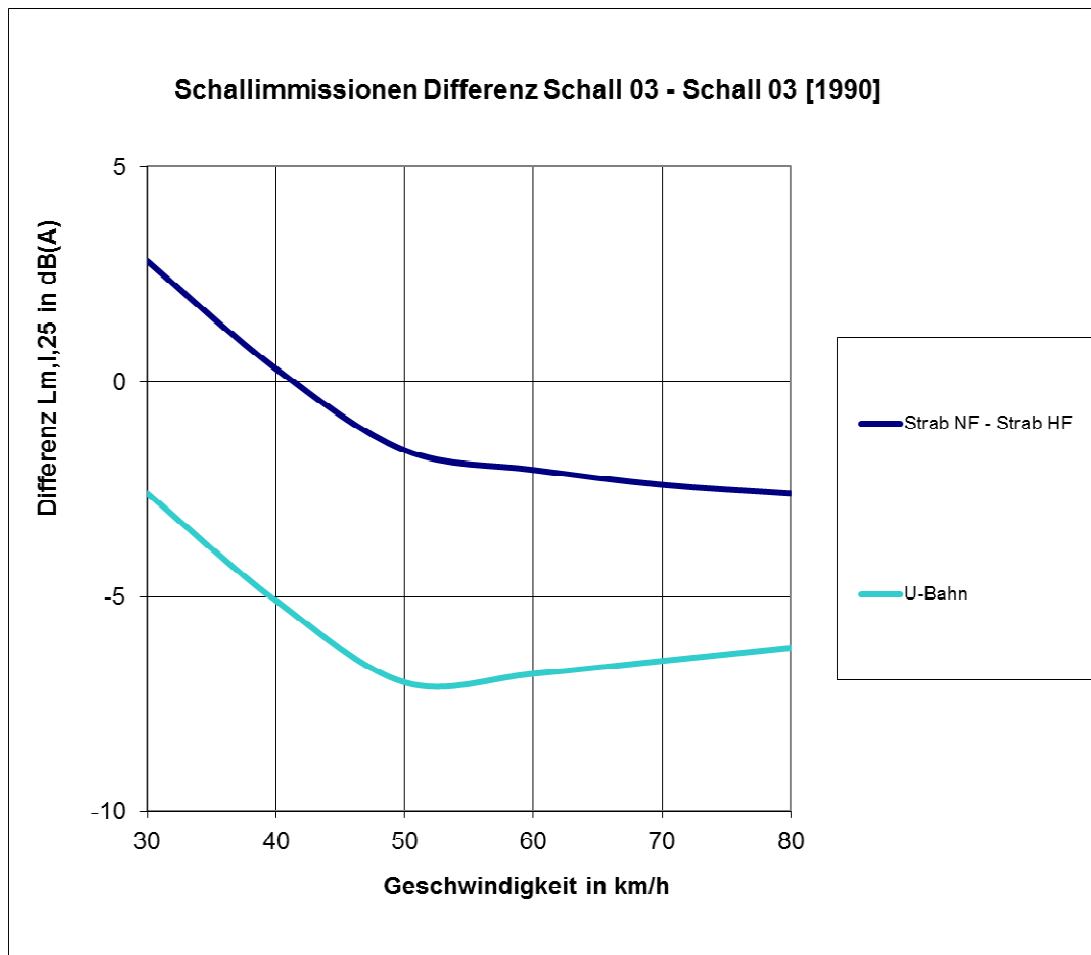


Bild 2: Differenz zwischen den Schallimmissionen von Straßenbahnen im Abstand von 25 m nach Schall 03 und nach Schall 03 [1990] [1]

Bei der Berechnung der Schallimmissionen innerhalb bebauter Gebiete wurden nach Schall 03 [1990] nur lange geschlossene Häuserzeilen berücksichtigt; nach Schall 03 ist grundsätzlich die gesamte Bebauung zu berücksichtigen. In folgender Abbildung ist der daraus resultierende Unterschied in den Berechnungsergebnissen dargestellt:

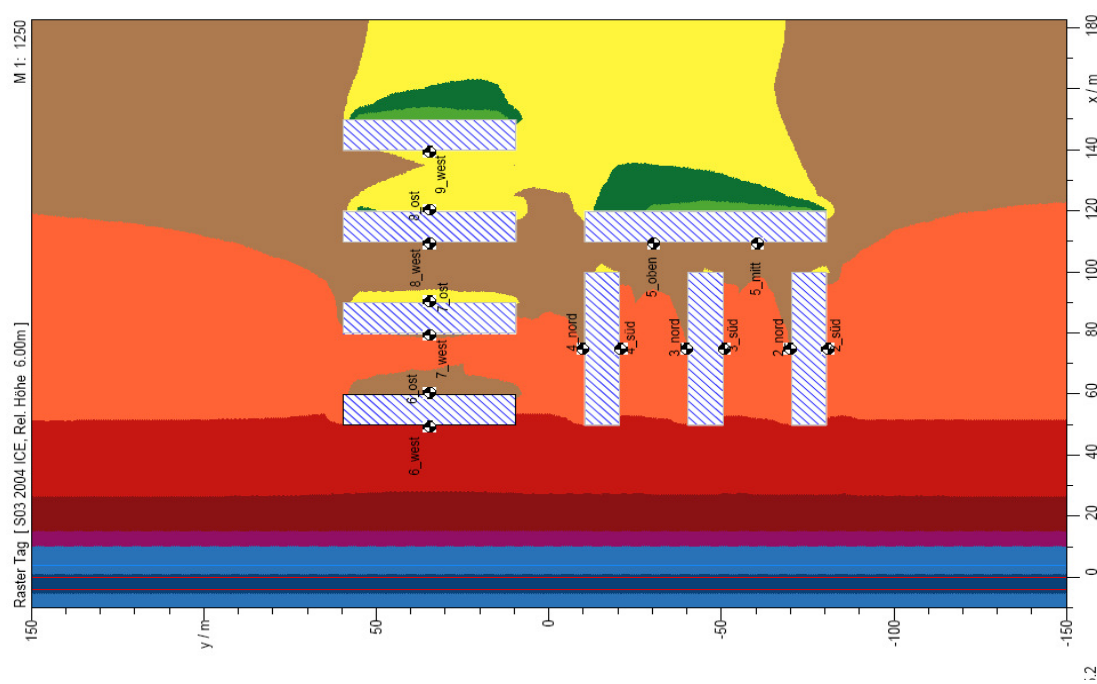
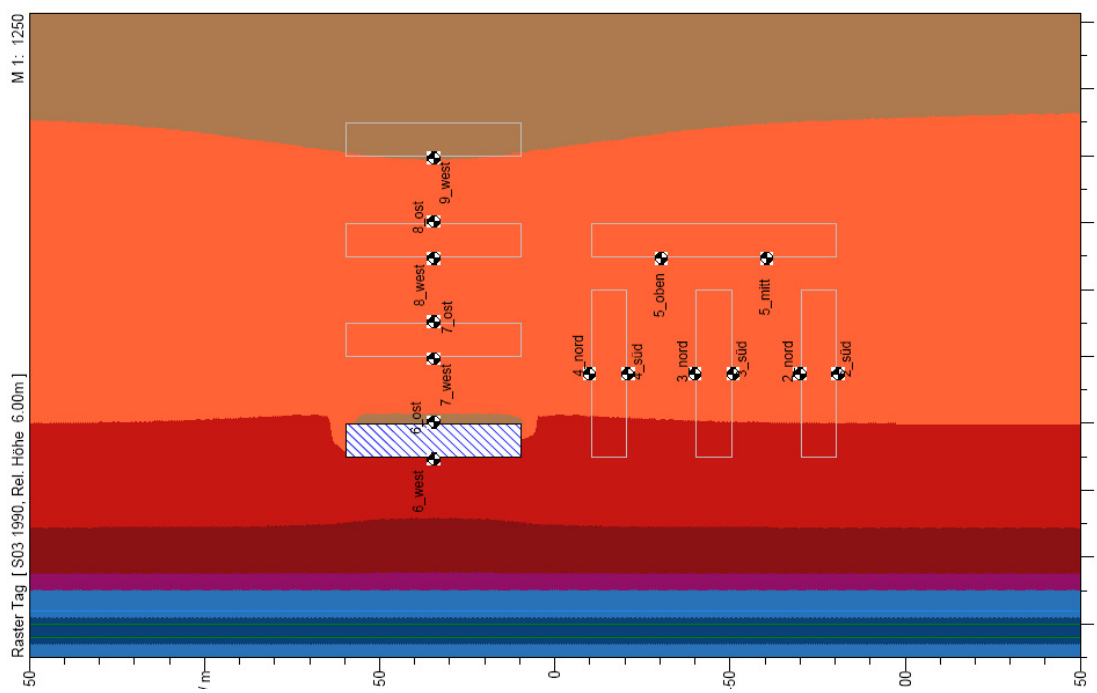
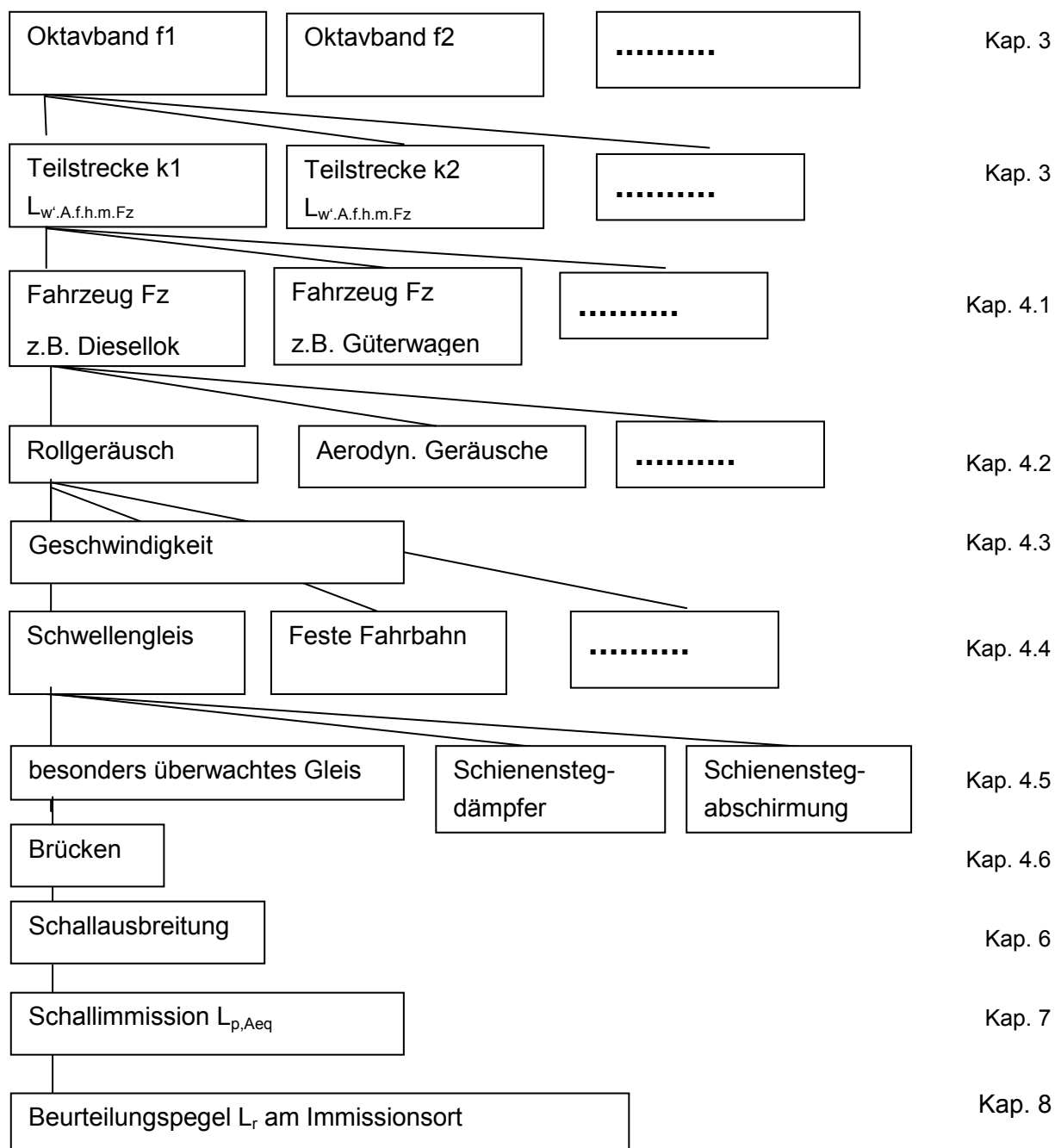


Bild 3: Schallimmissionen im bebauten Bereich nach Schall 03 [1990] [1] (oberes Bild) und Schall 03 (unteres Bild)

zu 1. Berechnungsverfahren

Die Schallimmissionsberechnungen nach Schall 03 können aufgrund der Komplexität des Berechnungsverfahrens nur mit der Unterstützung von Spezialsoftware durchgeführt werden. Um sicherzustellen, dass die verwendete Software die Schall 03 korrekt widerspiegelt, ist für diese nach den Vorgaben der DIN 45687 [3] eine Qualitätssicherung durchzuführen. Diese umfasst die korrekte Berechnung von Testaufgaben und eine Konformitätserklärung. Die Konformitätserklärung ist als Dokument 3 der DIN 45687 [3] veröffentlicht. Der Nachweis kann de facto nur über eine Konformitätserklärung nach dieser DIN geführt werden. Der Ablauf der Berechnungen ist in folgendem Ablaufdiagramm mit Bezug zu den in der Schall 03 aufgeführten Kapiteln dargestellt:



zu 2. Begriffe, Festlegungen

zu 2.1.7 Schienenweg

Durch die Definition des Schienenweges als Gleisanlagen mit Unter- und Oberbau einschließlich einer Oberleitung, auf denen durch Fahrvorgänge Schallemissionen hervorgerufen werden, wird der Geltungsbereich der Schall 03 gegenüber der Schall 03 [1990] und Akustik 04 eingeschränkt. Das bedeutet, dass Geräusche, die nicht durch Fahrvorgänge auf Schienenwegen emittiert werden, z.B. LKW- Fahrten in Containeranlagen, Containerkränen und Lautsprecherdurchsagen, nach TA Lärm [11] zu berechnen und zu beurteilen sind. Dies gilt auch für Aggregat- und Antriebsgeräusche von Fahrzeugen, die in Zugabstellanlagen/Zugbildungsanlagen oder an Endhaltestellen abgestellt werden.

Unverändert nach der TA Lärm zu berechnen und zu beurteilen sind Fahrvorgänge auf solchen Schienenwegen, die nicht der Abwicklung von Verkehr dienen, wie z.B. Schienenwege in Reparatur- und Ausbesserungswerken oder innerhalb gewerblicher Anlagen.

zu 2.1.10 Immissionsort

Falls die Höhen der Fensteroberkanten über Gelände nicht aus Vermessungsdaten bekannt sind, kann als maßgebliche Immissionsorthöhe für das Erdgeschoß eine Höhe von 3,50 m über Gelände, zusätzlich für jedes weitere Geschoß eine Höhe von 2,80 m angenommen werden.

zu 3. Modellierung der Schallquellen

Die Modellierung der Schallquellen erfolgt über den Pegel der längenbezogenen Schalleistung nach Gleichung 1. Die zur Berechnung notwendigen Parameter wurden aus Messungen der DB AG, des Umweltbundesamtes und verschiedener Ingenieurbüros abgeleitet. Die Messergebnisse wurden nach akustischen und fahrzeugspezifischen Kriterien zusammengefasst. Anhand von Mittelwertvergleichen und Fehlerbetrachtungen wurden daraus die Emissionsparameter ermittelt. Die Festlegung der in den Beiblättern für die einzelnen Fahrzeugarten maßgeblichen akustischen Kennwerte erfolgte für eine Bezugsgeschwindigkeit von 100 km/h und für die jeweils angegebene Bezugsanzahl der Achsen, z. B. für Güterwagen 4 Achsen. Bei bekannten Abweichungen der tatsächlichen Achsanzahl von Fahrzeugen gegenüber der Bezugsanzahl der Achsen, z.B. bei Ganzgüterzügen mit jeweils 2achsigen Wagen, erfolgt eine Korrektur entsprechend Gleichung 1.

Als Quellhöhe wird grundsätzlich zwischen den Höhen 0 m, 4 m und 5 m unterschieden. Der Höhenbezugspunkt in dieser Richtlinie ist grundsätzlich die Schienenoberkante.

Alle linien- und flächenförmigen Schallquellen werden in Punktschallquellen zerlegt. Die Bildung dieser Punktschallquellen mit der Anforderung an eine Genauigkeit von 0,1 dB ist erforderlich für Einzelpunktberechnungen im Zusammenhang mit schalltechnischen Untersuchungen für Planrechtsverfahren. Die für die Teilstückzerlegung zu wählenden Methoden und Algorithmen bleiben den jeweiligen Softwareherstellern überlassen. Die Erfüllung der in der Schall 03 definierten Anforderung wird über entsprechende Testaufgaben (siehe Teil 2 des Erläuterungsberichtes) nachgewiesen.

zu 4. Schallemissionen von Eisenbahnen

zu 4.1 Fahrzeugarten

Als Fahrzeugarten für Eisenbahnen wurden eingeführt:

- HGV-Triebkopf
- HGV-Mittelwagen
- HGV-Triebzug
- HGV-Neigezug
- E-Triebzug und S-Bahn
- Diesel-Triebzug
- E-Lok
- Diesel-Lok
- Reisezugwagen
- Güterwagen.

Diesen Fahrzeugarten wurden – soweit vorhanden – für die Geräuscharten „Rollgeräusche“, „Aerodynamische Geräusche“, „Aggregatgeräusche“ und „Antriebsgeräusche“ als akustische Kennwerte die Schalleistungspegel für eine Bezugsgeschwindigkeit von 100 km/h zugeordnet. Die akustischen Kennwerte sind im normativen Beiblatt 1 festgelegt. Für die akustische Modellierung von Zügen werden nicht mehr der Zugtyp und die Zuglänge herangezogen, sondern die Anzahl von Fahrzeugeinheiten der jeweiligen Fahrzeugart mit der dazugehörenden Anzahl von Achsen. In Tabelle 4 sind die Höchstgeschwindigkeiten von Zügen im Regelverkehr und die Anzahl von Fahrzeugeinheiten je Fahrzeugkategorie von häufig eingesetzten Zügen aufgeführt. Damit können die schalltechnischen Berechnungen auf der gleichen Datengrundlage wie für die Schall 03 [1990] [1] erfolgen. Als Faustformel für die Umrechnung von Güterzuglängen aus Berechnungen nach Schall 03 [1990] in Anzahl von Güterwagen kann eine Wagenlänge von 20 m mit jeweils 4 Achsen angenommen werden.

Die in der Schall 03 zugrunde gelegten Schalleistungspegel für den Hochgeschwindigkeitsverkehr und den konventionellen Verkehr wurden mit aktuellen Auswertungen von Abnahmemessungen des Umweltbundesamtes („Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotentiale mit Darstellung von Best – Practice - Beispielen“, UBA, FKZ: 3709 54 145 im Rahmen des UFOPLANs 2009) [12] verglichen. Diese umfassen Fahrzeuge, die nach den aktuellen europäischen Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität TSI, TSI-HS RST – 2008 [13] und TSI CR NOI 2011 [14] zugelassen sind und damit die Grenzwerte der TSI einhalten und oftmals deutlich unterschreiten. Unter Berücksichtigung von Pegelaufschlägen auf die TSI - Abnahmemessungen zur Umrechnung auf durchschnittliche Gleisbedingungen wurde eine

Übereinstimmung der Ausgangsdaten der Schall 03 mit den nach TSI abgenommenen Fahrzeugen aufgezeigt. In den Beiblättern der akustischen Kennwerte für Güterwagen (Beiblatt 1, Kategorie 10) sind Wagen mit Verbundstoffklotzbremsen (K-Sohle oder LL-Sohle) berücksichtigt.

Die Zielzahlen (vgl. Anmerkungen zu Tab. 4 der Schall 03) spiegeln die Grundannahmen des lärmabhängigen Trassenpreissystems der Bundesregierung wider. Demnach sollen bis 2020 80 Prozent und bis 2030 100 Prozent der auf dem deutschen Netz fahrenden Bestandsgüterwagen auf Verbundstoffklotzbremsen umgerüstet werden. Dem Vorhabenträger bleibt unbenommen, seiner Prognose begründet einen abweichenden Ausrüstungsstand zugrunde zu legen.

zu 4.2 Schallquellenarten

Es werden vier Arten von Schallquellen nach ihrer unterschiedlichen Geschwindigkeitsabhängigkeit unterschieden. Am genauesten untersucht sind Rollgeräusche und aerodynamische Geräusche. Aggregat- und Antriebsgeräusche sind häufig für den Fahrbetrieb von geringerer Bedeutung und werden in dieser Richtlinie nur näherungsweise angegeben. Bild 4 zeigt beispielhaft die längenbezogenen Schalleistungspegel der einzelnen Schallquellenarten eines HGV-Triebzuges in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.

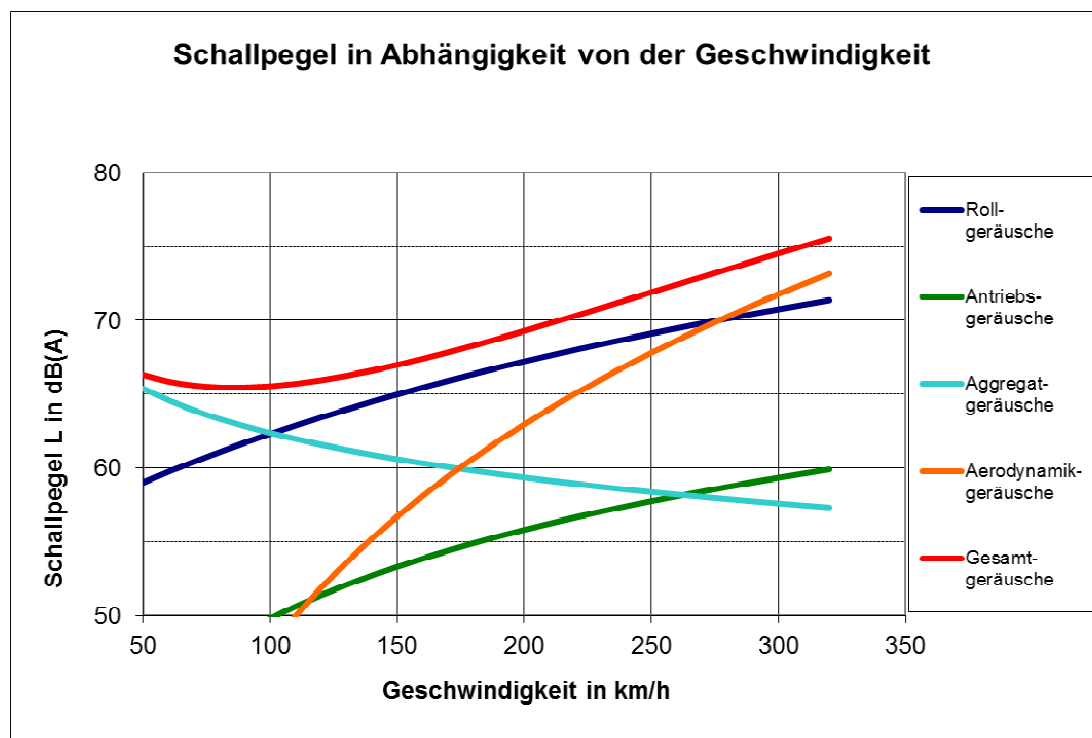


Bild 4: Längenbezogene Schalleistungspegel eines HGV-Triebzuges in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit getrennt nach den Schallquellenarten nach Tab. 5 der Schall 03

Es kann abgeleitet werden, dass im Geschwindigkeitsbereich bis ca. 100 km/h die Aggregat- und Rollgeräusche und im Geschwindigkeitsbereich über 250 km/h die Rollgeräusche sowie die aerodynamischen Geräusche einen Beitrag zum Gesamtpegel leisten.

Die Verteilung der Geräuschquellen ist für den ICE-Triebkopf in Bild 5 dargestellt.

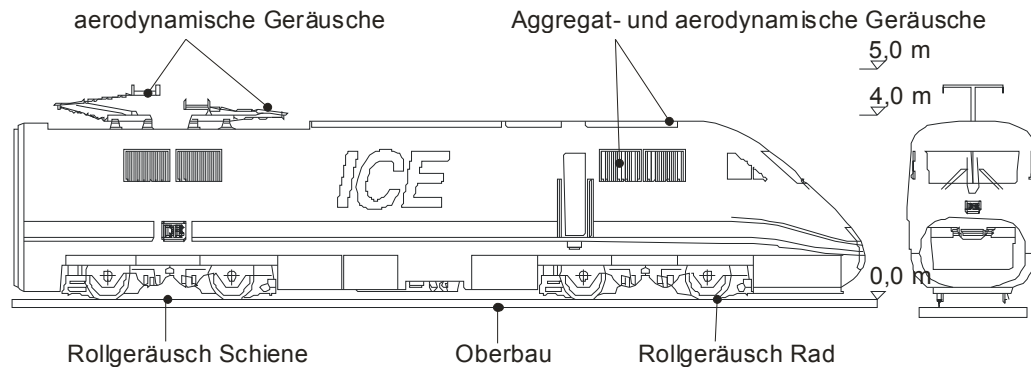


Bild 5: Schallquellen am ICE1-Triebkopf

Rollgeräusche

Die Ursache für Rollgeräusche sind Rauheiten sowie dynamische Verformungen der Fahrflächen von Rädern und Schienen. Die Beiträge von Rad und Schiene zum Rollgeräusch werden als voneinander unabhängig angenommen und deshalb energetisch addiert. Rollgeräusche dominieren das Gesamtgeräusch im mittleren Geschwindigkeitsbereich von etwa 100 km/h bis 250 km/h. Der Geschwindigkeitsfaktor hängt vom Oktavband ab.

Moderne Reisezugwagen sind mit Scheibenbremsen ausgerüstet, die zu geringeren Rauheiten der Radfahrflächen führen als Grauguss-Klotzbremsen z.B. bei Güterwagen.

Bei Güterwagen werden die bisher gebräuchlichen Grauguss-Klotzbremsen durch Verbundstoffbremsen ersetzt. Diese sind Klotzbremsen mit Bremssohlen aus Verbundstoffen (z.B. K-Sohle, LL-Sohle). Sie erzeugen weniger Rauheiten der Radlaufflächen und bewirken damit eine geringere Geräuschemission.

Zu unterscheiden sind Wellenscheibenbremsen, die an nicht angetriebenen Fahrzeugen eingesetzt werden und Radscheibenbremsen an angetriebenen Fahrzeugen, die eine etwas andere Schallabstrahlung durch Bedämpfung und Abschirmung von Rädern bewirken.

Bei Kesselwagen werden Rollgeräusche abweichend von anderen Güterwagenbauarten auch von den Aufbauten abgestrahlt. Deshalb wird bei Kesselwagen hierfür eine zusätzliche Quelle in 4 m Höhe angesetzt. Der Pegel dieser Geräuschemission wird 10 dB unter der direkten Abstrahlung der Rollgeräusche aus der Höhe SO angenommen.

Durch das besonders überwachte Gleis (büG) in Verbindung mit verbundstoffklotzgebremsten Güterzügen kann gegenüber einem durchschnittlich gepflegten Gleis in Verbindung mit graugussklotzgebremsten Güterzügen eine Pegelminderung von ca. 8 dB(A) (siehe Kap. 4.5) erreicht werden.

Aerodynamische Geräusche

Die Ursache für aerodynamische Geräusche ist die Umströmung der Fahrzeuge. Für die Geschwindigkeitsabhängigkeit wird frequenzunabhängig ein Exponent 5 angesetzt. Das bedeutet einen relativ starken Einfluss bei sehr hohen Geschwindigkeiten. Schalltechnisch relevant sind als hochliegende Quellen der Stromabnehmer, Dachaufbauten und Lüftungsöffnungen im Dachbereich.

An Abdeckgittern von Luftein- bzw. -auslässen treten bei der Fahrt Strömungsgeräusche auf, die zu den dort im Stand messbaren Aggregatgeräuschen hinzukommen.

Tieffrequente Geräusche aus dem Drehgestellbereich, die sich nach ihrer Geschwindigkeitsabhängigkeit nicht den Rollgeräuschen sondern aerodynamischen Geräuschen zuordnen lassen, werden nach dieser Richtlinie ebenfalls berücksichtigt, auch wenn sie kaum zum Abwerteten Gesamtpegel der Emission beitragen.

Aggregatgeräusche

Aggregatgeräusche von Ventilatoren in Kühl- und Klimaanlage werden sowohl an angetriebenen als auch nicht angetriebenen Fahrzeugeinheiten berücksichtigt. Die höheren Emissionen angetriebener Einheiten werden z. B. bei elektrischer Traktion durch Lüfterventilatoren (z.B. Fahrmotorlüfter, Ölkühlerlüfter) verursacht. Im Fall von nicht angetriebenen Einheiten werden die Geräusche durch Klimageräte verursacht.

Aggregatgeräusche werden nach Messungen im Stand mit einem geschwindigkeitsunabhängigen Spektrum angesetzt. Ihre Bedeutung im Bahnhofsbereich wird durch die Mindestgeschwindigkeit berücksichtigt.

Die Aggregatgeräusche in Zugabstellanlagen oder an Endhaltestellen abgestellter Züge sind nach den Vorgaben der TA Lärm [11] zu ermitteln und zu beurteilen.

Hinsichtlich der Bezugshöhe wird bei Aggregatgeräuschen zwischen 0 m für Aggregate im Bereich der Drehgestelle und 4 m für Geräusche im Bereich des Fahrzeugdaches unterschieden. In Situationen mit Schallschutzwänden können hochliegende Aggregate eine maßgebliche Schallquelle darstellen.

Antriebsgeräusche

Antriebsgeräusche werden durch die Erzeugung und Weiterleitung von Kräften verursacht. Zu den Antriebsgeräuschen zählen die Geräusche von Motoren und Getrieben sowie die Abgasanlage dieselbetriebener Fahrzeuge. Dabei werden die Höhenbereiche 0 und 4 m unterschieden. Ihre Bedeutung im Bahnhofsbereich wird ebenfalls durch die Mindestgeschwindigkeit berücksichtigt. Bei dieselbetriebenen Fahrzeugen können Abgasanlagen auf dem Dach insbesondere in Situationen mit Schallschutzwänden eine maßgebliche Schallquelle darstellen.

zu 4.3 Geschwindigkeiten

Im Bereich von Bahnhöfen werden bei der Berechnung der Schallimmissionen die Streckengeschwindigkeiten, mindestens jedoch eine Geschwindigkeit von 70 km/h berücksichtigt. Die tatsächliche Geschwindigkeit der Züge in Bahnhofsbereichen liegt meist weit unter diesen Geschwindigkeiten. Durch die daraus resultierende Überbewertung der Schallimmissionen werden die Geräusche aus den Aggregat- und Antriebsgeräuschen stehender Züge, aus den Geräuschen ein- und aussteigender Fahrgäste (Unterhaltung, Türeenschlagen) und Transportkarren zur Versorgung der Züge berücksichtigt. Darin nicht enthalten sind Lautsprecherdurchsagen. Diese Geräusche sowie die Aggregat- und Antriebsgeräusche von Fahrzeugen, die in Zugabstellanlagen oder an Endhaltestellen abgestellt werden, sind nach den Vorgaben der TA Lärm [11] zu ermitteln und zu beurteilen.

In folgender Abbildung ist die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Schalldruckpegel im Abstand von 25 m von der Gleisachse für 4 typische Züge aufgetragen:

ICE 1:	2 Triebköpfe, 12 Mittelwagen
IC:	1 scheibengebremste E-Lok, 10 scheibengebremste Wagen
NV:	1 E-Lok GG - klotzgebremst, 5 scheibengebremste Wagen mit je 4 Achsen
Gz:	1 E-Lok GG - klotzgebremst, 20 Wagen (davon 4 Kesselwagen) GG - klotzgebremst mit je 4 Achsen

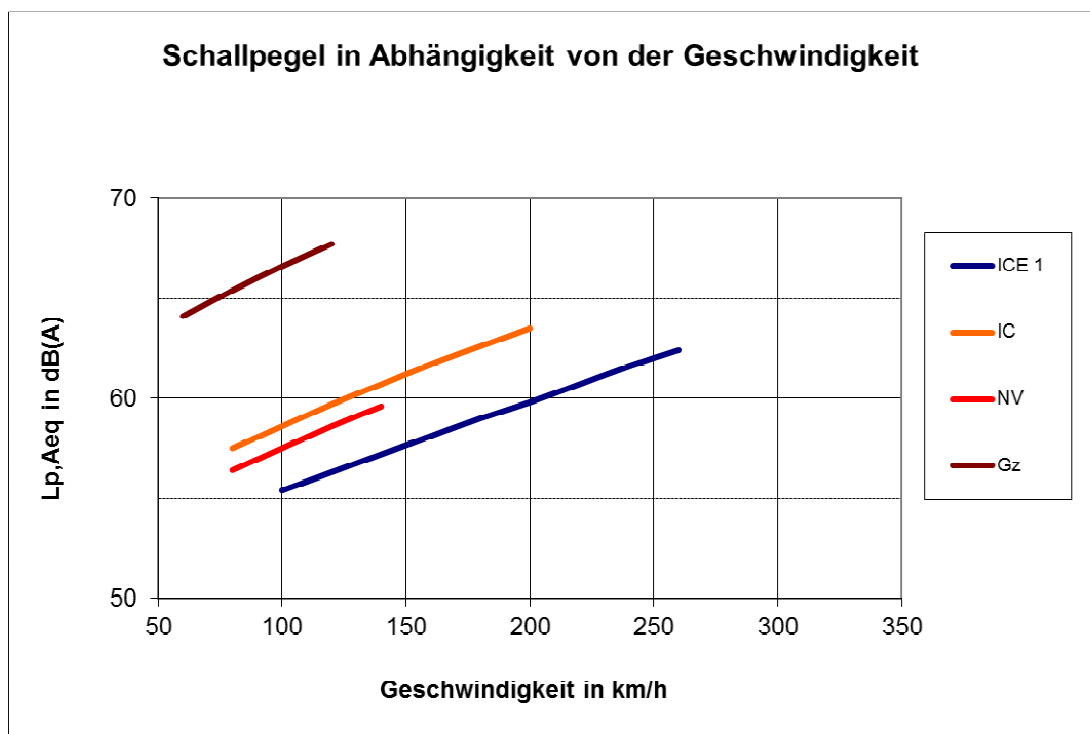
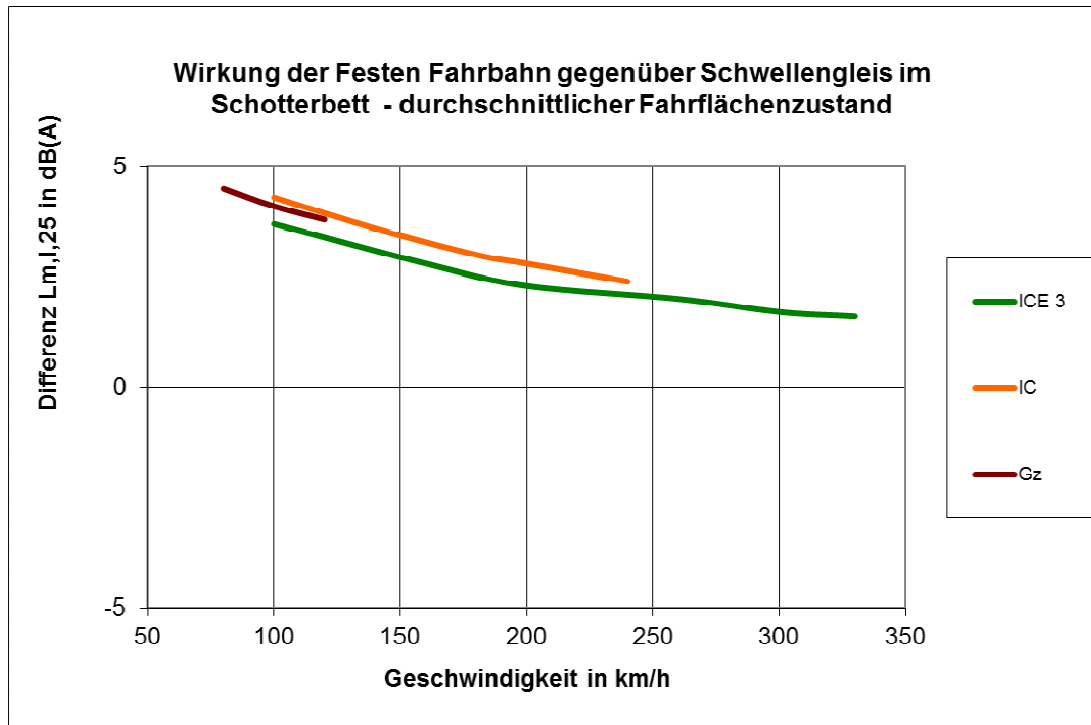


Bild 6: Schalldruckpegel im Abstand von 25 m für 1 Zug / h nach Beiblatt 1 der Schall 03 in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

zu 4.4 Fahrbahnarten

Als maßgebliche Fahrbahnarten werden das Schwellengleis im Schotterbett, die feste Fahrbahn sowie Bahnübergänge berücksichtigt. Gegenüber der Schall 03 [1990] entfällt nun die Unterscheidung zwischen Holzschwellen und Betonschwellen, da aktuelle Messungen keinen Unterschied in der Schallabstrahlung zeigten. Bei der festen Fahrbahn wurde gegenüber der Schall 03 [1990] zusätzlich die feste Fahrbahn mit Absorber – als Lärmschutzmaßnahme – ergänzt. Die Wirkung der festen Fahrbahn mit und ohne Absorber ist in folgenden Diagrammen dargestellt:



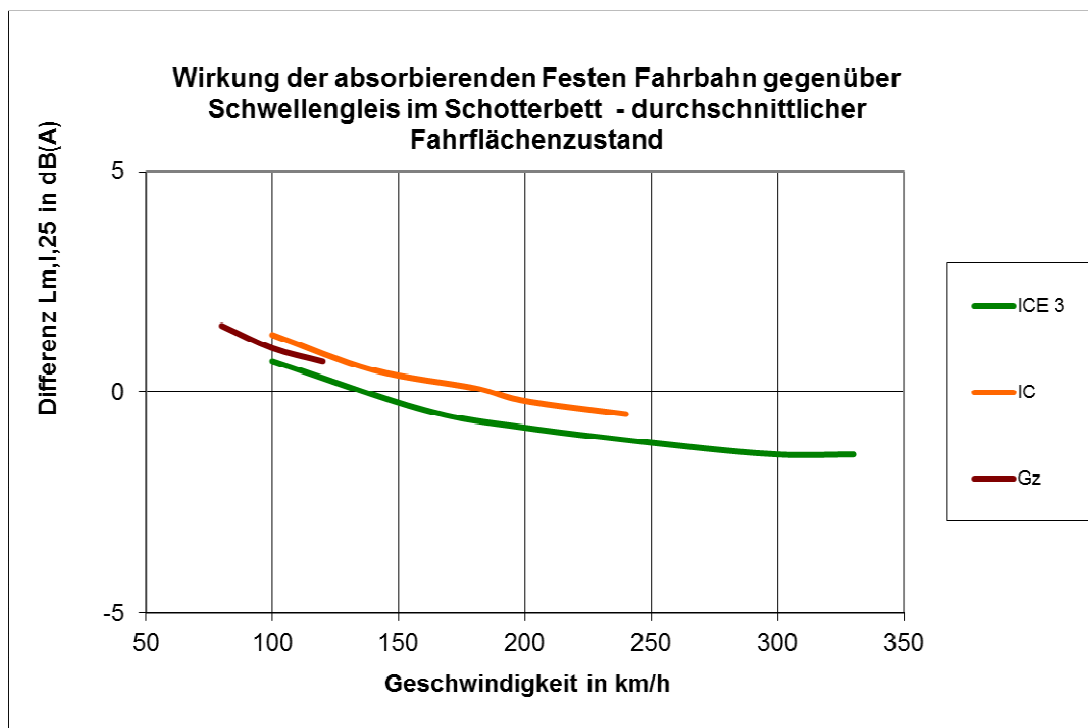


Bild 7: Differenz des Äquivalenten Dauerschalldruckpegels im Abstand von 25 m für 1 Zug / h nach Beiblatt 1 der Schall 03

Aus den Diagrammen kann abgeleitet werden, dass sich die Schallemissionen bei fester Fahrbahn ohne Absorber gegenüber Schallemissionen bei Schwellengleis mit Schotterbett um bis zu 4,5 dB erhöhen können, während sich durch die absorbierende feste Fahrbahn nur geringe Veränderungen gegenüber dem Schotterbett ergeben.

Im Rahmen der Schallmessungen zum Konjunkturprogramm II (Schlussbericht zum KP II) [15] wurde zusätzlich „verschäumter Schotter“ untersucht. Dabei hat sich herausgestellt, dass verschäumter Schotter die gleichen akustischen Eigenschaften aufweist, wie ein Schwellengleis im Schotterbett.

zu 4.5 Schallminderungstechniken am Gleis

Für die Abstrahlung der Schiene wird mit der Einführung des „Schienenzustands“ ein zusätzlicher Einflussfaktor berücksichtigt. Für Maßnahmen zur Reduzierung der Rollgeräusche wie das besonders überwachte Gleis (büG), Schienenstegdämpfer und Schienenstegabschirmungen wird eine Korrektur eingeführt. Im Unterschied zur Verfügung Pr.1110 Rap/Rau 98 vom 16.03.1998 [32], in der für das büG ein pauschaler Abschlag von 3 dB für alle Fahrzeugarten angesetzt wurde, ergibt sich nun eine unterschiedliche Schallabstrahlung in Abhängigkeit von der Fahrzeugkategorie. Das im Konjunkturpaket II [15] erfolgreich erprobte Hochgeschwindigkeitsschleifen (HSG) kann neben dem bisher eingesetzten akustischen Schleifverfahren angewendet werden. Voraussetzung ist, dass das Eisenbahn-Bundesamt

Festlegungen zum HSG getroffen hat. Die unterschiedliche Wirkung des büG ist in folgendem Diagramm dargestellt:

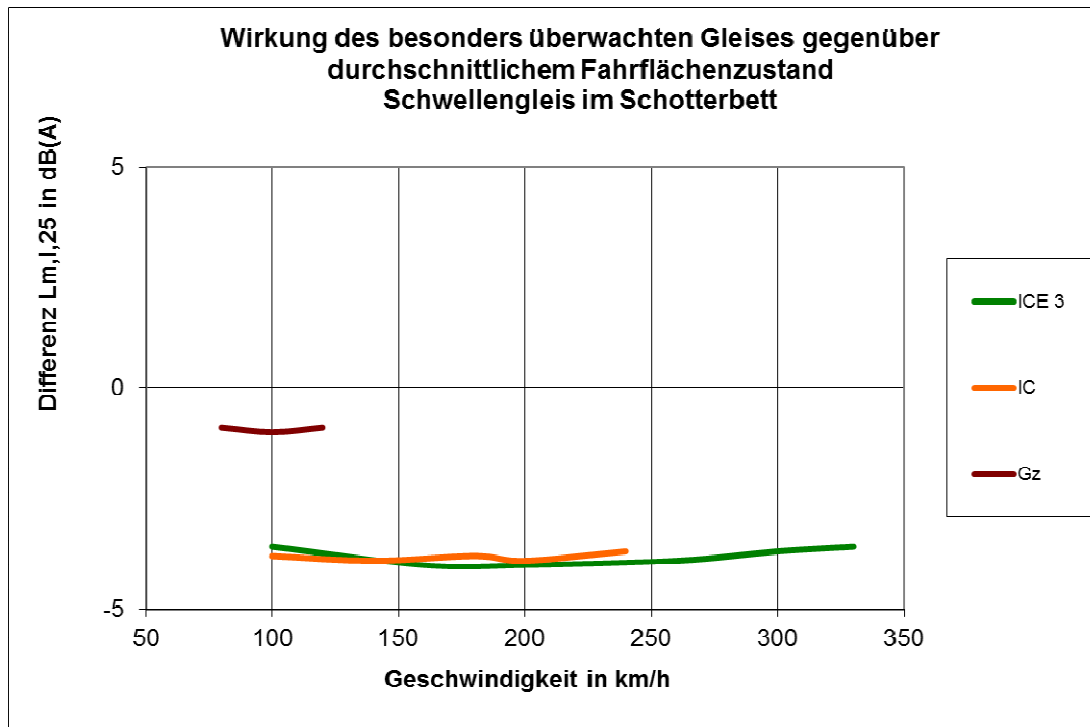


Bild 8: Differenz des Äquivalenten Dauerschalldruckpegels im Abstand von 25 m für 1 Zug / h nach Beiblatt 1 der Schall 03

Bei Güterzügen mit Grauguss-Klotzbremsen ist die Wirkung mit ca. - 1 dB wesentlich geringer als bei IC- und ICE-Zügen mit scheibengebremsen Fahrzeugen mit knapp - 4 dB.

Tabelle 1: Pegeldifferenz des L_{AEQ} zwischen Güterzügen* mit Grauguss- Klotzbremsen (GG) und Verbundstoff-Klotzbremsen (V-Sohle) mit und ohne büG in dB			
Bremsbauart Güterzüge	80 km/h	100 km/h	120 km/h
GG mit büG - GG ohne büG	-0,7	-0,7	-0,7
V-Sohle mit büG - V-Sohle ohne büG	-3,2	-3,3	-3,2
V-Sohle ohne büG - GG ohne büG -	-4,4	-4,4	-4,5
V-Sohle mit büG - GG ohne büG	-7,6	-7,7	-7,7

*1 Lok, 20 Wagen (davon 4 Kesselwagen) klotzgebremst; l = 420 m

Aus der Tabelle 1 kann abgeleitet werden, dass Güterwagen mit Verbundstoff-Klotzbremsen auf besonders überwachtem Gleis gegenüber Wagen mit Grauguss-Klotzbremsen auf durchschnittlichem Gleis (ohne büG) ca. 8 dB geringere Emissionen aufweisen.

Neben dem besonders überwachten Gleis (büG) können als Lärmschutzmaßnahme Schienenstegdämpfer (SSD) und Schienenstegabschirmungen (SSA) vorgesehen werden. Die sich aus technischen Zulassungen ggf. ergebenden Anwendungseinschränkungen von SSD und SSA sind zu beachten.



Bild 9: Beispiele für Schienenstegdämpfer



Bild 10: Beispiel einer Schienenstegabschirmung

Die unterschiedliche Wirkung dieser Maßnahmen ist beispielhaft in folgender Tabelle in Abhängigkeit von der Bremsbauart von Güterzügen aufgeführt:

Tabelle 2: Pegeldifferenz des L_{AEQ} zwischen Güterzügen* mit Grauguss – Klotzbremsen (GG) und Verbundstoff-Klotzbremsen (V-Sohle) mit und ohne SSA und SSD in dB			
Schienenstegabschirmungen (SSA)	80 km/h	100 km/h	120 km/h
GG mit SSA - GG ohne SSA	-0,8	-0,7	-0,8
V-Sohle mit SSA - V-Sohle ohne SSA	-2,6	-2,6	-2,5
Schienenstegdämpfer (SSD)			
GG mit SSD - GG ohne SSD	-2,3	-2,2	-2,3
V-Sohle mit SSD - V-Sohle ohne SSD	-2,4	-2,4	-2,3

*1 Lok, 20 Wagen (davon 4 Kesselwagen) klotzgebremst; l = 420 m

Die Wirksamkeit von Schienenstegdämpfern und Schienenstegabschirmungen ist bei Güterzügen mit Verbundstoff-Klotzbremsen etwa gleich groß. Dagegen weisen Schienenstegabschirmungen bei Güterzügen mit Grauguss-Klotzbremsen eine geringere Wirksamkeit (ca. - 1 dB) als Schienenstegdämpfer auf.

zu 4.6 Brücken

Die gegenüber der freien Strecke erhöhte Schallabstrahlung von Brücken wird differenziert betrachtet. Gegenüber der Schall 03 [1990] [1], die nur einen Standardwert kannte, wurde der Zuschlag angehoben. Er wird nunmehr für 4 Brückenarten entsprechend deren Konstruktion (Stahl-, Betonbrücken) und Schienenauflagerung (direkt, Schwellengleis im Schotterbett und feste Fahrbahn) angegeben.

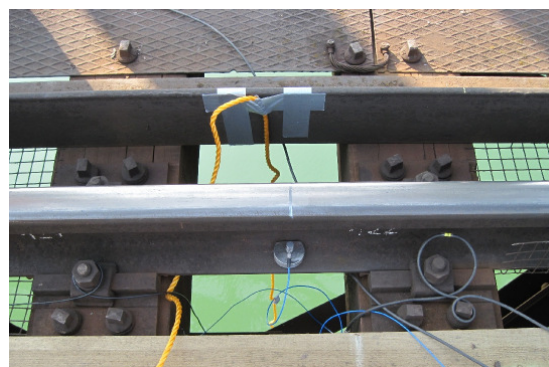


Bild 11: Beispiel Brücke mit stählernem Überbau, Gleise direkt aufgelagert (nach Schall 03, Tab. 9, Zeile 1)



Bild 12: Beispiel Brücke mit stählernem Überbau und Schwellengleis im Schotterbett (nach Schall 03, Tab. 9, Zeile 2)



Bild 13: Beispiel Brücke mit massiver Fahrbahnplatte oder mit besonderem stählernem Überbau und Schwellengleis im Schotterbett (nach Schall 03, Tab. 9, Zeile 3)



Bild 14: Beispiel Brücke mit fester Fahrbahn (nach Schall 03, Tab. 9, Zeile 4)

Die Korrektur erfolgt als Summenpegel und beinhaltet die erhöhte Schallabstrahlung und Lästigkeitswirkung durch die tieffrequente Schallabstrahlung. Neben der Korrektur für die erhöhte Schallabstrahlung werden auch Korrekturen für Minderungsmaßnahmen angegeben.

Werden auf Brückenbauwerken Schallschutzmaßnahmen wie z.B. Schallschutzwände oder Schienenstegdämpfer vorgesehen, sind zur Verminderung der Körperschallabstrahlung des Brückenüberbaues Unterschottermatten vorzusehen, damit die schallabschirmende Wirkung

der Schallschutzmaßnahmen nicht vermindert wird. Im Einzelfall ist diese Maßnahme durch ein gesondertes Gutachten zu belegen.

zu 4.7 Schallemission von Bauwerken

Im Bereich von Tunnelportalen können beim Hochgeschwindigkeitsverkehr durch Mikrodruckwellen („Tunnelknall“) erhöhte Schallimmissionen auftreten, die aufgrund der Impulshaltigkeit des Geräusches und der tiefen Frequenzen zu besonderen Belästigungen führen können. Die Ermittlung und Beurteilung derartiger Geräusche ist in der Richtlinie der DB AG, Infrastruktureseitige Behandlung der Mikrodruckwellen-Thematik, Nr. 853.1002A01, 07.2012 [16] beschrieben.

Für den Fall der Berücksichtigung einer abschirmenden Wirkung von Bahnhofshallen wird auf die VDI Richtlinie 2571 „Schallabstrahlung von Industriebauten“ [17] verwiesen.

zu 4.8 Rangier- und Umschlagbahnhöfe

Die Ermittlung der Schallimmissionen aus Rangier- und Umschlagbahnhöfen erfolgte bisher mit einer von der Schall 03 [1990] [1] unabhängigen Richtlinie, der „Akustik 04“, Ausgabe 1990 [9]. Die Berechnung dieser Anlagen wurde nunmehr in die Schall 03 integriert und methodisch entsprechend angepasst. Außerdem wurden die akustischen Kenndaten für die spezifischen Geräuschquellen von Rangierbahnhöfen und Umschlagbahnhöfen, wie z.B. Gleisbremsen an den derzeitigen Stand der Technik angepasst. Dadurch wird nun ein aktuelles und einheitliches Berechnungsverfahren für Eisenbahnstrecken sowie Rangier- und Umschlagbahnhöfe ermöglicht.

Rangierbahnhöfe

Das folgende Bild 15 zeigt ein Gliederungsschema für Rangierbahnhöfe. Die Güterwagen ankommender Züge werden in der Einfahrtgruppe zur Neuordnung vorbereitet, am Ablaufberg zerlegt, in der Richtungsgruppe nach neuen Zielrichtungen sortiert und in der Ausfahrtgruppe für die Weiterfahrt fertig gestellt. Die Nachordnungsgruppe dient der Korrektur von „Falschläufnern“ in der Richtungsgruppe oder der ortsgerechten Reihung von Wagen in den Güterzügen, die Ziele im Nahbereich bedienen. Sie ist nicht immer ein eigenständiger Teilbereich innerhalb des Rangierbahnhofgeländes, sondern kann, wie auch die Ausfahrtgruppe, in die Richtungsgruppe integriert sein.

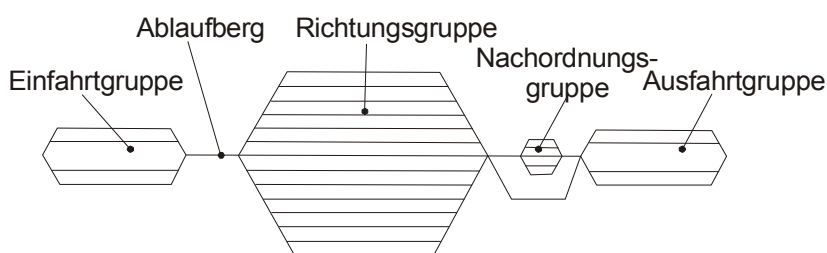


Bild 15: Gliederungsschema für Rangierbahnhöfe

Container oder andere Güter werden in Rangierbahnhöfen nicht umgeschlagen. Dazu gibt es Umschlagbahnhöfe, die Rangierbahnhöfen angegliedert sein können.

Ein- und ausfahrende Güterzüge, Rangierfahrten

Geräusche von ein- oder ausfahrenden Güterzügen und Fahrten von Lokomotiven und Güterwagen in allen Anlagenteilen des Rangierbahnhofs (jeweils innerhalb der Einfahrtsignale bzw. innerhalb der maßgebenden Abzweigweichen) werden den Rangierbahnhofgeräuschen zugerechnet.

Abdrücken von Wagen über den Ablaufberg

In der Einfahrgruppe werden ankommende Güterzüge zur Neusortierung vorbereitet und anschließend mit Lokomotiven zum Ablaufberg geschoben und von dort in die Gleisharfe der Richtungsgruppe abgedrückt.

Kurvenfahren

Kurvenfahrgeräusche, dazu zählen z.B. Zischen, Kreischen bzw. Quietschen, Rattern, treten bei all denjenigen Gleisbögen auf, deren Radien $r < 300$ m sind. Sie werden u. a. durch das Anlaufen der Radspurkränze an die Schienenkopfflanken oder durch den Stick-slip-Effekt (Schlupf einer Radlauffläche auf dem Schienenkopf infolge unterschiedlicher Weglängen für die über eine Achse starr miteinander verbundenen Räder auf Schienen in engen Kurvenradien) verursacht. Beobachtungen in Rangieranlagen über einen Zeitraum von ca. 6 Monaten haben gezeigt, dass bei ca. 40 % aller Abläufe signifikante Kurvenfahrgeräuschen (Zischen, Kreischen bzw. Quietschen, Rattern) und bei ca. 60 % der Abläufen keine typischen Kurvenfahrgeräusche auftreten. Kurvenfahrgeräusche können durch den Auftrag von geeigneten Reibmodifikatoren wirksam reduziert werden.

Gleisbremsen

Gleisbremsen dienen dazu, vom Ablaufberg abrollende Güterwagen auf eine vorbestimmte Geschwindigkeit abzubremsen. Sie wirken beidseitig, d.h. an beiden Schienen des Gleises (als Zulaufbremsen bei Gefällebahnhöfen, als Balkengleisbremsen in ein oder zwei Bremsstaffeln, zwischen Ablaufberg und Richtungsgruppe) oder einseitig, d.h. an einer Schiene (i.W. Gleis- und Gefälleausgleichsbremsen in der Richtungsgruppe). Eine Reihe nebeneinander liegender Gleisbremsen kann zu einer Linienschallquelle zusammengefasst werden. Zulaufbremsen bei Gefällebahnhöfen befinden sich am Ablaufberg. Einseitige Gleisbremsen gibt es beispielsweise als Balken-, Gummiwalk- oder Schraubenbremsen.

Retarder

Retarder (z.B. Dowty-Retarder) sind punktuelle Bremsen, die ablaufende Güterwagen im Gefällebereich des Ablaufberges (Verzögerungsstrecke) auf eine vorbestimmte Ge-

schwindigkeit abbremsen und zur Beibehaltung derselben in der Richtungsgruppe beitragen (Beharrungsstrecke). In der Verzögerungsstrecke sind mehrere Retarder in je einem Schwellenfach angeordnet und bilden dort je eine Punktschallquelle, die, hintereinander angeordnet, zu einer Linienschallquelle verbunden werden können. Dagegen gibt es je Schwellenfach in der Beharrungsstrecke höchstens einen Retarder. Wegen der konstruktionsbedingt erforderlichen, vergleichsweise großen Entwicklungslänge der Beharrungsstrecke wird hierfür eine Linienschallquelle angenommen. Rangierfahrten über Retarderstrecken lösen Retarderge-räusche aus, sofern die Bremseinrichtungen bei diesen Fahrbewegungen nicht abgeklappt werden können. Nebeneinander und/oder hintereinander liegende Verzögerungs- und Beharrungsstrecken können zu Linien- oder auch Flächenschallquellen zusammengefasst werden.

Hemmschuhaufläufe

In Richtungs- und Nachordnungsgruppen, die nicht mit moderner Rangiertechnik (radarge-steuerte Gleisbremsen und/oder Retarder) ausgestattet sind, müssen die Güterwagen mit Hemmschuhen abgebremst werden. Verteilen sich dabei auftretende Hemmschuhauflaufge-räusche (Punktschallquellen vergleichbar) annähernd gleichmäßig auf eine Fläche oder Li-nie, können sie zu Flächen- oder Linienschallquellen zusammengefasst werden.

Auflaufstöße (Pufferstöße)

Auch in vollautomatisierten und mit neuer Technik ausgestatteten Rangierbahnhöfen, in de-nen Güterwagen in Richtungs- oder Nachordnungsgruppen zielgebremst, d.h. mit vorgege-bener, kontrollierter Geschwindigkeit ($v \leq 1,25$ m/s) bewegt werden, sind Auflaufstöße un-vermeidbar. Sie sind jedoch vergleichsweise unauffällig gegenüber den Auflaufstoßgeräu-schen, die in Rangierbahnhöfen ohne moderne Rangiertechnik entstehen. Insofern werden hier alternativ zwei Schallemissionskennwerte je nach technischer Ausrüstung im Rangier-bahnhof angesetzt. Auflaufstöße sind Geräusche von Punktschallquellen. Sie können jedoch zu Flächen- oder Linienschallquellen zusammengefasst werden.

Anreißen und Abbremsen lose gekuppelter Wagen

Diese von Linienschallquellen stammenden Geräusche, sind beim Abziehen lose gekuppel-ter Wagengruppen oder Rangiereinheiten aus der Richtungs- oder Nachordnungsgruppe und bei deren Abbremsen in der Ausfahrgruppe zu erwarten (Ziehharmonikaeffekt). Fest mitei-nander gekuppelte Güterwagen erzeugen beim Anreißen oder Abbremsen keine nennens-werten Geräusche.

Umschlagbahnhöfe

Umschlagbahnhöfe sind Anlagen des kombinierten Verkehrs. Sie bestehen in der Regel aus Gleisen für an- und abfahrende Güterzüge, aus Ladestraßen, die an das öffentliche Stra-ßennetz anbinden, und, bei Bedarf, aus Abstell- oder Zwischenlagerflächen, vgl. Bild 16. Mittels Containerkränen oder Wechselbrücken mit Containerkränen und/oder Seitenladern

werden Lastwagen- und Sattelanhänger und/oder Container von Straßenfahrzeugen auf Güterzüge oder umgekehrt umgeladen. Lastwagen- und Sattelanhänger sowie Container können aber auch zwischengelagert werden. Ferner gibt es Umschlagbahnhöfe mit Gleisen, auf denen Zugmaschinen mit Sattelanhängern oder auf denen Lkw mit und ohne Anhänger spezielle Güterwagen befahren (Rollende Landstraße).

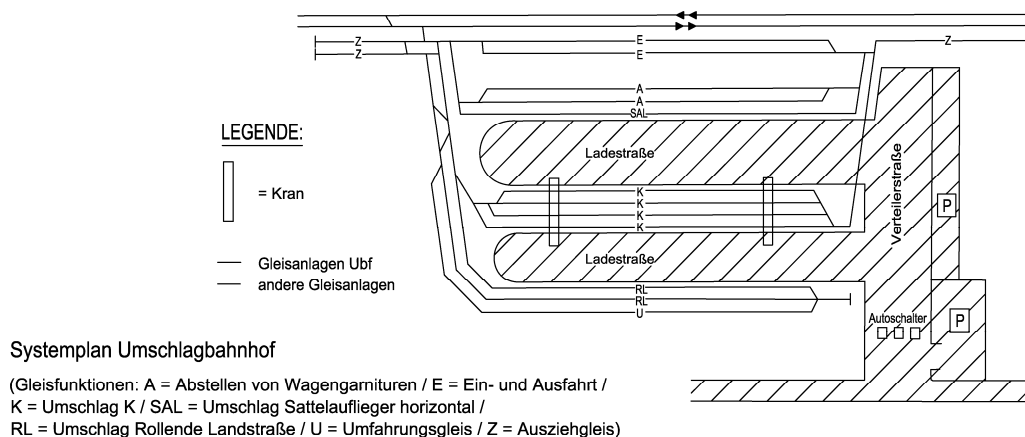


Bild 16: Gliederungsschema für Umschlagbahnhöfe

Geräusche im Umschlagbahnhof werden verursacht durch Zug- und Rangierfahrten. Weitere auftretende Geräusche, wie Lade-, Maschinen- und Fahrgeräusche der Umschlageinrichtungen (Containerkräne, Seitenlader), Geräusche durch Kfz-Bewegungen (Pkw und Lkw) und Parkvorgänge sowie bei Umschlagbahnhöfen mit Einrichtungen für die Rollende Landstraße Geräusche durch das Befahren von Auffahrtsrampen und der sich daran anschließenden Ladeebenen der Lkw-Transporter sind nach den Vorgaben der TA Lärm [11] zu ermitteln und zu beurteilen.

zu 4.9 Auffälligkeit von Eisenbahngeräuschen

Bei der Erprobung lärmindernder Maßnahmen im Zusammenhang mit dem Konjunkturpaket II hat sich gezeigt, dass durch den Einsatz von Schienenschmieranlagen (Reibmodifikatoren) im Bereich von Kurvenradien $r \leq 500$ m und im Bereich von Berg- und Talbremsen von Rangieranlagen die Anzahl und Intensität von Kurvenfahrgeräuschen stark vermindert werden konnte. Daher wurde für den Einsatz von Schmiereinrichtungen, die das Auftreten von Quietschgeräuschen dauerhaft vermindern, eine Pegelminderung K_{LA} eingeführt.

Bei engen Kurvenradien $r < 300$ m und in Rangieranlagen verbleiben auch bei Ansatz von Minderungsmaßnahmen Zuschläge, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass durch die Maßnahmen in diesen Situationen alle zusätzlichen Geräusche vermieden werden können.

zu 5. Schallquellen von Straßenbahnen

zu 5.1 Fahrzeugarten

Unter dem Begriff „Straßenbahnen“ werden folgende Fahrzeugarten zusammengefasst [18], [19]:

- Straßenbahn-Niederflurfahrzeuge,
- Straßenbahn-Hochflurfahrzeuge und
- U-Bahn-Fahrzeuge.

Die Unterscheidung zwischen Nieder- und Hochflurfahrzeugen erfolgt insbesondere aufgrund der Lage der Aggregate im Fahrzeug:

- Niederflurfahrzeuge: Aggregate vorwiegend auf dem Dach,
- Hochflurfahrzeuge: Aggregate vorwiegend unterhalb des Fahrzeugfußbodens.

Bei U-Bahnfahrzeugen befinden sich die Aggregate vorwiegend unter dem Fahrzeugfußboden. Diese Fahrzeuge verkehren jedoch ausschließlich auf eigenen, vom Straßenverkehr unabhängigen, Gleisen. Eine Aufräumung durch Straßenschmutz unterbleibt daher weitgehend, die Fahrflächen von Rad und Schiene sind daher glatter als bei Hochflurfahrzeugen, die auch auf in Straßenfahrbahnen eingebetteten Gleisen verkehren (Näheres hierzu s. 5.4).

Diesen Fahrzeugarten wurden als akustische Kennwerte die Schalleistungspegel für die Geräuscharten „Fahrgeräusche“ und „Aggregatgeräusche“ bei einer Bezugsgeschwindigkeit von $v = 100 \text{ km/h}$ zugeordnet und im normativen Beiblatt 2 festgelegt. Diese Geschwindigkeit wurde entsprechend den Vorgaben für die Eisenbahn festgelegt, um so eine einheitliche Bezugsgeschwindigkeit für Straßen- und Eisenbahnen zu erhalten. In der Regel sind Straßenbahnen (Fahrzeuge und Fahrbahnen) jedoch nicht für diese Geschwindigkeit ausgelegt.

zu 5.2 Schallquellenarten

Die Geräusche von Straßenbahnen werden in

- Fahrgeräusche (Roll- und Antriebsgeräusche) sowie
- Aggregatgeräusche unterschieden.

Im folgenden Bild 17 sind beispielhaft die Geräuschquellen einer Niederflur-Straßenbahn angegeben.

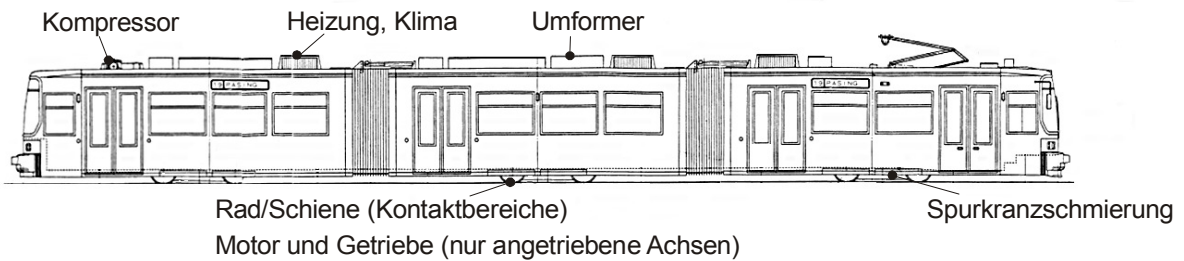


Bild 17: Schallquellen an der Niederflurstraßenbahn (Typ R 2.2)

Rollgeräusche

Ursachen für Rollgeräusche sind Rauheiten sowie dynamische Verformungen der Fahrflächen von Rädern und Schienen. Die Schallabstrahlung erfolgt vorwiegend durch die Räder und Schienen. Aufgrund von Reflexionen liefern die Schwellen bzw. die Fahrbahnplatte bei einer Festen Fahrbahn oder die Gleiseindeckung (Beton, Asphalt, Pflaster) bei in der Straßenfahrbahn eingebetteten Gleisen einen weiteren Beitrag zum Rollgeräusch. Dieser Beitrag wird durch die Fahrbahnzuschläge nach Kap. 5.4 berücksichtigt. Die emittierten Rollgeräusche sind abhängig von der Fahrgeschwindigkeit v .

Die Schienen von Straßenbahnen sind vielfach in dem von Kraftfahrzeugen befahrenen Straßenraum verlegt. Sie sind infolgedessen der Verschmutzung durch Sand, Rollsplitt o.ä. sowie den mechanischen Einwirkungen von Kfz-Rädern ausgesetzt und dementsprechend aufgeraut. Die Rauheit von Schienen im Straßenbereich ist daher in der Regel deutlich größer als diejenige von Schienen, die auf einem unabhängigen Bahnkörper verlegt sind.

Die Rollgeräuschemissionen werden bei Straßenbahnen erhöht durch [20], [21], [22], [23]:

- Gleisbögen mit kleinen Radien (Kurvengeräusche),
- Weichen und Kreuzungen,
- Unrundheiten und Aufrauung der Radfahrflächen,
- Verschmutzung und Aufrauung (z. T. auch durch Riffel) der Schienenfahrflächen,
- Riffel auf den Rad- und Schienenfahrflächen sowie
- Isolier- und Schweißstöße (bei schlechtem Zustand).

Straßenbahn-Fahrzeuge nach PBefG [18] sind in der Regel mit elektrodynamischen Bremsen, mit Scheibenbremsen und - sofern sie am Straßenverkehr teilnehmen - mit Schienenbremsen ausgestattet. Zur Unterstützung der Bremswirkung sind Sandungsanlagen vorhanden. Bei Gleit- und Schleudervorgängen wird hiermit zur Erhöhung der Reibung Sand auf die Schiene gestreut, dieser erhöht durch Überfahren sowohl die Schienenrauheit als auch die Radrauheit.

Als Maßnahmen zur Verminderung der Rollgeräusche kommen insbesondere Gleispfleßmaßnahmen, d.h. Reinigen und Schleifen der Schienenfahrflächen, und Maßnahmen zur

Pflege der Radfahrflächen, z.B. durch Radsatz-Profilierungsmaschine (Unterflurdreh- oder Unterflurfräsmaschinen), in Betracht. Bedämpfungen von Rad und Schiene mindern die Rollgeräuschemissionen, Schallabsorber zeigen ähnliche Effekte. Eine Fahrbahnfläche mit absorbierenden Eigenschaften (Schotter, Begrünung) mindert die Schallemissionen im Vergleich zu einer nicht absorbierenden Eindeckung (z. B. Asphaltdecke).

Antriebsgeräusche

Die Ursachen für Antriebsgeräusche liegen in der Erzeugung und Weiterleitung von Kräften (Antriebsstrang: Motor → Getriebe → Radsatz → Räder). Die Antriebsgeräusche werden nicht gesondert berücksichtigt, sie sind in den Fahrgeräuschen enthalten.

Kurvengeräusche

Kurvengeräusche beinhalten alle Geräusche, die in einem Gleisbogen mit $r < 200$ m zusätzlich zu denen auf einer geraden Strecke auftreten können [20]:

- kreischende oder quietschende Geräusche,
- zischende Geräusche (Spurkranzanlaufen) sowie
- rumpelnde Geräusche.

Kurvengeräusche werden in der Richtlinie vereinfachend durch die Berechnung mit einer Mindestgeschwindigkeit von $v = 50$ km/h berücksichtigt, s. a. Abschnitt 5.3. Diese Geschwindigkeit ist auch dann anzusetzen, wenn die tatsächliche Geschwindigkeit im betrachteten Gleisbogen $v < 50$ km/h beträgt. Wird der Gleisbogen mit einer höheren Geschwindigkeit als $v = 50$ km/h befahren, dann ist diese höhere Geschwindigkeit anzusetzen.

Werden keine wirksamen Schallminderungsmaßnahmen ergriffen, dann ist zusätzlich eine frequenzunabhängige Pegelkorrektur von $KL = 4$ dB anzusetzen.

Maßnahmen zur Verminderung der Kurvengeräusche sind Spurkranzschmierung, Rad- und Schienenabsorber, Bedämpfung von Rad und Schiene, Fahrwerke mit Radialeinstellung, Antiquietschschweißung und Schienenbenetzung [20], [21], [22], [23].

Aggregatgeräusche

Aggregatgeräusche werden bei Straßenbahnfahrzeugen verursacht durch

- Klima- oder Heizungs-/Lüftungsaggregate,
- Druckluftkompressoren.

Die Emissionsdaten der Aggregatgeräusche wurden mit Messungen im Stand ermittelt. Bei der Schallberechnung werden sie mit einem einheitlichen Spektrum für alle Straßenbahnfahrzeuge angesetzt. Je nach Fahrzeugtyp (Hochflur-/ Niederflurfahrzeug) sind die Aggregate unterflur oder auf dem Dach angeordnet. Dies wird durch zwei Höhen für die Schallquellen

berücksichtigt. Im Sommer können dies die Kühlaggregate sein, im Winter die Heizaggregate.

Beim Anfahren und Bremsen treten im unteren Geschwindigkeitsbereich Geräusche der Stromrichter und Fahrmotoren/Getriebe hervor. Diese Geräusche werden bei der Schallberechnung nicht gesondert berücksichtigt, sie sind in den Emissionspegeln der Fahrgeräusche enthalten, die in der Regel für eine untere Geschwindigkeit von $v = 50$ km/h berechnet werden.

zu 5.3 Geschwindigkeiten

Bei Geschwindigkeiten $v < 50$ km/h sind die Geschwindigkeitsfaktoren b nach Tab. 14 der Verordnung nicht mehr aussagekräftig.

Die zusätzlichen Schallemissionen an

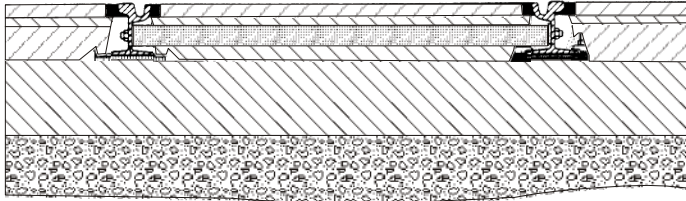
- Weichen und Kreuzungen,
- Gleisbögen mit Radien $r < 200$ m,
- Isolierstößen und Schweißstößen,
- Beschleunigungs- und Bremsstrecken sowie
- Haltestellen

werden deshalb ersatzweise durch die Annahme einer höheren Geschwindigkeit als die dort tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit berücksichtigt.

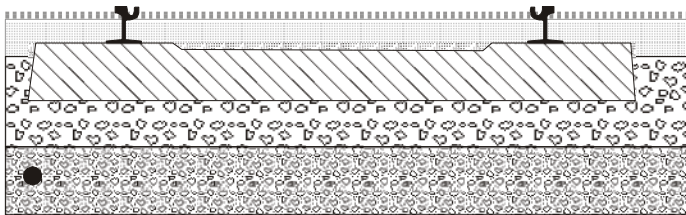
An Haltestellen werden durch die Festlegung der Geschwindigkeit $v = 50$ km/h auch die für sie typischen Geräusche, wie z.B. tonhaltige Anfahr- und Brems-Geräusche, Türschließgeräusche und Kommunikation von Fahrgästen erfasst.

zu 5.4 Fahrbahnarten

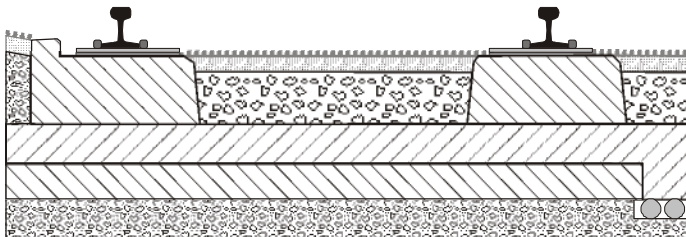
Als Referenzfahrbahnart wird das Schwellengleis im Schotterbett herangezogen. Eine Unterscheidung nach den verwendeten Werkstoffen Holz, Beton oder Stahl für die Schwellen erfolgt nicht. Auf das Schwellengleis im Schotterbett beziehen sich die Pegelkorrekturen für die Fahrbahnarten „straßenbündiger Bahnkörper und feste Fahrbahn“ sowie „begrünte Bahnkörper mit hoch oder mit tief liegender Vegetationsebene“, Beispiele hierzu sind in Bild 18 a) bis c) dargestellt [24] und [25] .



a) straßenbündiger Bahnkörper



b) begrünter Bahnkörper – Gleiseindeckung mit hoch liegender Vegetationsebene



c) begrünter Bahnkörper – Gleiseindeckung mit tief liegender Vegetationsebene

Bild 18: Fahrbahnarten bei Straßenbahnen (Beispiele)

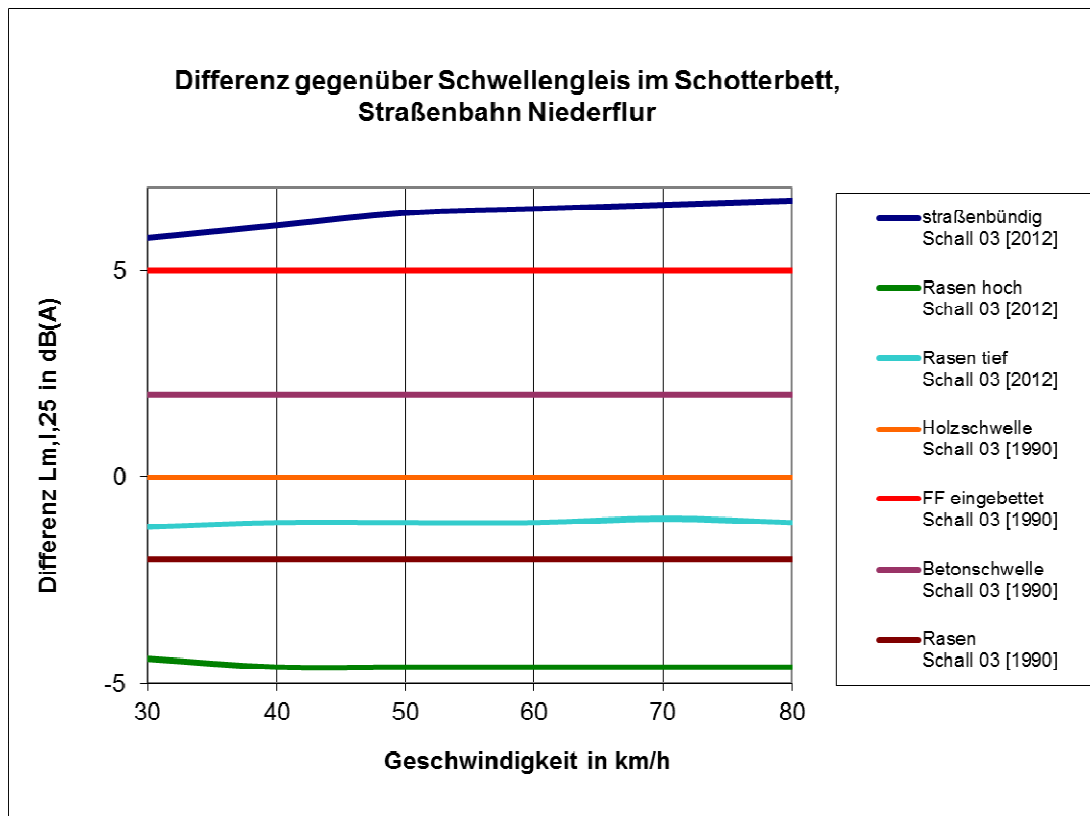


Bild 19: Differenz des Schalldruckpegels gegenüber Schwellengleis im Schotterbett, Straßenbahn Niederflur

zu 5.5 Brücken und Viadukte

Die gegenüber der freien Strecke erhöhte Schallabstrahlung beim Befahren von Brücken und Viadukten wird differenziert betrachtet. Korrekturwerte werden für fünf unterschiedliche Brücken-/ Viaduktarten entsprechend deren Konstruktion (Stahl-, Betonbrücken) und Schienenauflagerung (direkt, Schwellengleis im Schotterbett und Feste Fahrbahn) angegeben. Die Korrektur erfolgt als Summenpegel und beinhaltet die erhöhte Schallabstrahlung und Lästigkeitswirkung durch die tieffrequente (in der Regel $f < 100$ Hz) Schallemission. Neben der Korrektur für die erhöhte Schallemission werden auch Korrekturen für Minderungsmaßnahmen angegeben.

Mangels aussagefähiger Daten für den Einfluss von Brücken und Viadukten bei Straßenbahnen werden die für die Eisenbahn ermittelten Werte ohne eine weitere Korrektur übernommen. Im Zuge einer weiteren Überarbeitung der Schall 03 sollten jedoch die für Straßenbahnen zutreffenden Werte ermittelt und in die Berechnung angesetzt werden. Dies kann auch im Rahmen der im Abschnitt 9 der Schall 03 festgelegten Vorgehensweise zur Berücksichtigung schalltechnischer Innovationen erfolgen.

zu 6. Schallausbreitung

In der Schall 03 [1990] wurde bei der Schallausbreitung die Schallabschirmung und Schallreflexion innerhalb von bebauten Gebieten nur im unmittelbaren Nahbereich (erste Hausreihe) der Verkehrswege betrachtet. Nunmehr wurde das Berechnungsverfahren so gewählt, dass auch in größeren Entfernungen vom Verkehrsweg die Schallausbreitung unter Berücksichtigung aller vorhandenen Hindernisse berechnet wird. Das angewendete Verfahren orientiert sich an den eingeführten Methoden, wie sie bei der Schallausbreitung von Gewerbe- und Industrieanlagen verwendet werden. Dadurch ist gewährleistet, dass z.B. die Schallreflexionen an transparenten Schallschutzwänden und an Felswänden oder über Wasserflächen berücksichtigt werden.

zu 6.1 Einflussgrößen auf den Ausbreitungsweg

Die Einflussgrößen auf dem Ausbreitungsweg entsprechen der Vorgehensweise der der DIN ISO 9613-2 [9] angewendet

zu 6.2 Geometrische Ausbreitung

Die geometrische Schallausbreitung wurde gemäß der DIN ISO 9613-2 [9] angewendet.

zu 6.3 Luftabsorption

Die Luftabsorption wurde spektral nach DIN ISO 9613-2 [9] für eine mittlere Temperatur von 10 Grad Celsius und eine relative Luftfeuchtigkeit von 70 Prozent angesetzt.

zu 6.4 Bodeneinfluss

Zur Berücksichtigung des Bodeneinflusses wurde das vereinfachte Verfahren nach DIN ISO 9613-2 [9] angewendet. Bei Ansatz des spektralen Verfahrens wäre eine Unterscheidung in schallharte und poröse Bodenarten erforderlich und damit verbunden eine genaue örtliche Festlegung dieser Bodenarten. Aufgrund dessen wurde auf diese Unterscheidung verzichtet. Um jedoch die Besonderheiten der Schallausbreitung über Wasserflächen angemessen berücksichtigen zu können, wurden bei der Schallausbreitung über Wasser die dabei auftretenden Reflexionen mit einem Anteil von bis zu + 3 dB berücksichtigt.

zu 6.5 Abschirmung durch Hindernisse

Die Abschirmung durch Hindernisse folgt den Vorgaben der DIN ISO 9613-2 [9], wobei ergänzend bei der Beugung über Hindernisse die sog. Gummibandmethode eingeführt wurde. Durch diese Definitionen, die sich bei parallelen und nicht parallelen Beugungskanten unterscheiden, wird eine eindeutige Umsetzung der geometrischen Relationen in Softwareprogramme ermöglicht. Im Allgemeinen ist bei der Schallausbreitung von nicht parallelen Beugungskanten auszugehen, so dass zur Bestimmung des Schallumweges Gl. 26 zu verwenden ist.

Die seitliche Beugung um Hindernisse wird nach den Randbedingungen der ISO DIN 9613-2 [9] zusätzlich berücksichtigt, wobei dann die Berücksichtigung von K_{met} entfallen kann.

Der Abschirmfaktor $C_2 = 40$ wurde eingeführt, da Schallmessungen und Berechnungen zu dem Schluss kamen, dass durch die Verwendung von $C_2 = 40$ eine bessere Annäherung an die Messergebnisse erreicht wird, als durch Verwendung von $C_2 = 20$. Nach der ISO DIN 9613-2 [9] ist auch dieser Abschirmfaktor grundsätzlich zulässig.

Die Abschirmwirkung von niedrigen Schallschutzwänden wird nach den Algorithmen der ISO DIN 9613-2 [9] nicht richtig abgebildet, da die vereinfachte Festlegung der Schallabstrahlung von Rad und Schiene auf Höhe der Schienenoberkante zu einer Überbewertung der Abschirmung der Schallabstrahlung des Rades führen würde. Durch den Vergleich von Messergebnissen an niedrigen Schallschutzwänden mit Berechnungen konnte festgestellt werden, dass zur Berechnung der Abschirmwirkung niedriger Schallschutzwände hinsichtlich des nächstgelegenen Gleises die wirksame Höhe um 30 % unter der tatsächlichen Höhe der niedrigen Schallschutzwand liegt; diese Festlegung gilt nur für das zur niedrigen Schallschutzwand nächstgelegene Gleis. Niedrige Schallschutzwände sind als Schallschutzmaßnahme dann geeignet, wenn die Eisenbahn gegenüber der zu schützenden Bebauung in Dammlage liegt. Sie sind bei zweigleisigen Strecken weniger wirksam, da die Abschirmwirkung gegenüber dem entfernteren Gleis stark nachlässt und die Anordnung einer niedrigen Schallschutzwand zwischen den Gleisen meist aufgrund der erforderlichen Mindestabstände nicht möglich ist. Beim Einsatz von niedrigen Schallschutzwänden sind die einschlägigen Bestimmungen für den Arbeits- und Katastrophenschutz zu beachten.

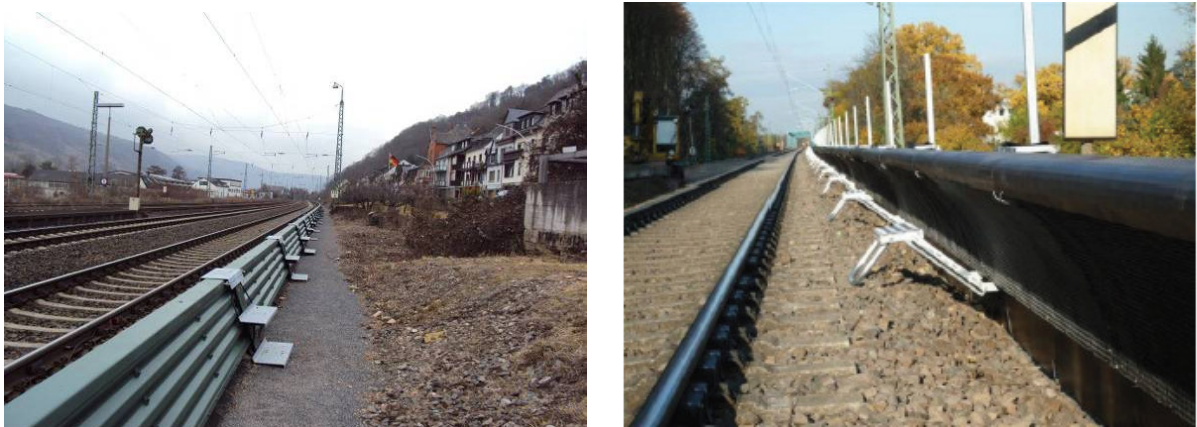


Bild 20: Beispiel für niedrige Schallschutzwand

Die Abschirmwirkung von schienenseitig reflektierenden Schallschutzwänden kann sich durch Reflexionen zwischen Schallschutzwand und Wagenkasten (siehe Bild 21) um bis zu 3 dB(A) reduzieren. Eine Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Wagenaufbauten (z.B. Rungenwagen) wurde aus Vereinfachungsgründen nicht vorgenommen. Daher ist für reflektierende Schallschutzwände die Abschirmwirkung von Schallschutzwänden mit einem Abstand von weniger als 5 m zur Gleisachse im Verhältnis der reflektierenden Höhe zur Ge-

samthöhe der Schallschutzwand nach Gl. 20 zu vermindern. Zusätzlich sind die Reflexionen dieser Schallschutzwände nach Abschnitt 6.6. zu berücksichtigen.

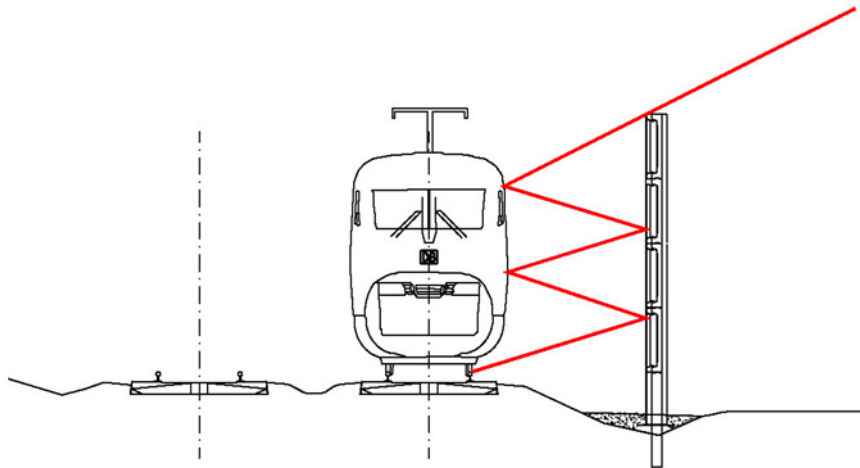


Bild 21: Reflexionen zwischen Schallschutzwand und Wagenkasten

Der Nachweis über die schalldämmende und schallabsorbierende Wirkung von Schallschutzwänden erfolgt über die DS 804.5501 der DB Netze AG [26] vom 01.01.2013; darin sind die akustischen Anforderungen für die Schalldämmung und die Schallabsorption von Schallschutzwänden beschrieben

zu 6.6 Pegelerhöhung durch Reflexionen

Reflexionen sind nur zu berücksichtigen, wenn die 3 aufgeführten Bedingungen erfüllt sind. Die Bedingung, dass der Schallreflexionsgrad größer $\rho = 0,2$ (entsprechend einem Absorptionsverlust von $D_p = 7$ dB) sein muss, bedeutet, dass Reflexionen von hochabsorbierenden Wänden nicht zu berücksichtigen sind, da diese einen Absorptionsverlust von 8 dB aufweisen. Bei der Planung von Schallschutzwänden ist daher darauf zu achten, dass es durch Reflexionen an Schallschutzwänden zu keiner Erhöhung der Beurteilungspegel an der der Schallschutzwand gegenüber liegenden Bebauung kommt. In diesem Fall ist darauf zu achten, dass die Schallschutzwände schienenseitig hochabsorbierend nach Tabelle 18 der Schall 03 ausgeführt werden.

Aufgrund des hohen Anspruchs an die Genauigkeit der Ergebnisse von Einzelpunktberechnungen im Rahmen von Lärmgutachten für Planrechtsverfahren ist die Berücksichtigung von Reflexionen bis zur 3. Ordnung erforderlich, da andernfalls insbesondere in Innenhofsituationen die Schallsituation zu gering errechnet wird.

Bei Gleichung 28 ist zu berücksichtigen, dass – außer bei ebenen und harten Wänden – Schalleistung durch Absorption verloren geht.

zu 7. Berechnung der Schallimmission

Die Ermittlung der Schallimmission als Dauerschalldruckpegel, bezogen auf eine volle Stunde, erfolgt durch die energetische Addition aller Beiträge in den Oktavbändern über alle Höhenbereiche (0 m, 4 m, 5 m), über alle Teilstücke und Teilflächen sowie über alle Ausbreitungswege (über Hindernisse und seitlich von Hindernissen) am jeweiligen Immissionsort. Dabei ist zu beachten, dass das Richtwirkungsmaß und das Raumwinkelmaß entsprechend der Gleichungen 8 und 9 berücksichtigt werden.

Die Ermittlung der Schallimmissionen aus Rangieranlagen erfolgt getrennt von der Ermittlung von Eisenbahnen und Straßenbahnen.

zu 8. Beurteilungspegel

Für die Bildung des Beurteilungspegel wird der in Abschnitt 7 gebildete Schallimmissionspegel bezogen auf eine Stunde auf die Beurteilungszeiträume Tag (6 bis 22 Uhr) und Nacht (22 bis 6 Uhr) entsprechend der Verkehrszusammensetzung und der Betriebsbedingungen in diesen Zeiträumen ermittelt. Die Bildung des äquivalenten Dauerschallpegels kann durch energetische Addition der stündlich ermittelten Schallimmissionspegel in den o.a. Zeiträumen erfolgen, wenn hierfür differenzierte Daten vorliegen. Sofern die mittleren Verkehrsmengenbelastungen in den o.a. Zeiträumen vorliegen, kann der Dauerschallpegel für die o.a. Beurteilungszeiträume auch direkt bestimmt werden.

Bei der Bildung des maßgeblichen Beurteilungspegels, der für den Vergleich mit den Immissionsgrenzwerten nach § 2 der 16. BImSchV herangezogen werden muss, ist ggf. die Pegelkorrektur Straße – Schiene von – 5 dB (sog. Schienenbonus) zu berücksichtigen. Dabei ist § 43 Absatz 1 Satz 2 und 3 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – BImSchG zu beachten:

„Der in den Rechtsverordnungen auf Grund des Satzes 1 zur Berücksichtigung der Besonderheiten des Schienenverkehrs vorgesehene Abschlag von 5 Dezibel (A) ist ab dem 1. Januar 2015 und für Schienenbahnen, die ausschließlich der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen vom 11. Dezember 1987 (BGBl. I S. 2648) unterliegen, ab dem 1. Januar 2019 nicht mehr anzuwenden, soweit zu diesem Zeitpunkt für den jeweiligen Abschnitt eines Vorhabens das Planfeststellungsverfahren noch nicht eröffnet ist und die Auslegung des Plans noch nicht öffentlich bekannt gemacht wurde. Von der Anwendung des in Satz 2 genannten Abschlags kann bereits vor dem 1. Januar 2015 abgesehen werden, wenn die damit verbundenen Mehrkosten vom Vorhabenträger oder dem Bund getragen werden.“

zu 9. Berücksichtigung von abweichender Bahntechnik und von schalltechnischen Innovationen

zu 9.1 Messtechnische Ermittlung der Emissionsdaten von abweichender Bahntechnik und von schalltechnischen Innovationen

Seit Verabschiedung der 16. BImSchV im Jahre 1990 konnten technische Entwicklungen von weiteren Schallminderungsmaßnahmen bei Fahrzeugen und Fahrbahnarten über den Sternchenvermerk der Tabelle A und der Tabelle C der Anlage 2 berücksichtigt werden. Auf dieser Grundlage wurde für den Bereich der Eisenbahnen u. a. 1998 das "besonders überwachte Gleis" (büG) durch eine Verfügung des Eisenbahn-Bundesamtes eingeführt. Von 2009 bis 2011 wurden im Rahmen des Konjunkturprogramms II der Bundesregierung innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg von Eisenbahnen erprobt. Die Ergebnisse des Konjunkturprogramms II sind teilweise in die Schall 03 eingeflossen. Teilweise konnten Messergebnisse direkt übernommen werden, teilweise mussten zur Einführung in die Systematik der Schall 03 weitere Auswertungen vorgenommen werden. In den Berichten 101-3429 „Erstellung einer Datenbank zu den Nachweismessungen im Konjunkturprogramm II“ [27] und 101-3389-2 „Einführung der Messergebnisse aus dem KP II“ in die Schall 03 [2012]“ [28] ist das Vorgehen erläutert.

Die Festlegung akustischer Kennwerte für neue Technologien ist in § 5 der 16. BImSchV und in Kapitel 9 der Anlage 2 geregelt. Es ist zu unterscheiden zwischen abweichender Bahntechnik und schalltechnischen Innovationen.

„Abweichende Bahntechnik“ ist nicht in der Schall 03 aufgeführte Technik, welche einem der in § 5 Absatz 1 Satz 2 der 16. BImSchV genannten Bereiche zugeordnet ist. Dies können z.B. Pflegemaßnahmen an Straßenbahngleisen oder besondere Aufsätze für Lärmschutzwände sein. „Schalltechnische Innovationen“ sind dagegen Neu- und Weiterentwicklungen zu bereits in der Schall 03 beschriebenen Bahntechniken. Die Berücksichtigung von abweichender Bahntechnik und von schalltechnischen Innovationen muss technologiebezogen und nicht unter Bezugnahme auf ein Produkt erfolgen. Dafür zuständig ist für die Eisenbahnen des Bundes das Eisenbahn-Bundesamt und für sonstige Bahnen (z.B. Straßenbahnen) die nach Landesrecht zuständige Behörde. Es wird empfohlen, rollgeräuschrelevante Daten für Fahrzeuge und ihre Komponenten auf akustisch sehr guten und definierten Testgleisen zu gewinnen. In die Emissionsdatentabellen dürfen nur diejenigen Emissionen eingestellt werden, die dauerhaft sichergestellt sind.

zu 9.1.8 Anerkannte Messstelle

Der Antragsteller hat die Nachweismessungen nach Nummer 9.1.1 bis 9.1.7 durch eine anerkannte Messstelle durchführen zu lassen. Anerkannte Messstellen sind die nach § 29b BImSchG in Verbindung mit der Einundvierzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes – Immissionsschutzgesetzes (Bekanntgabeverordnung - 41. BImSchV) [29] bekanntgegebenen Messstellen, die eine Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025 [30] Allgemeine

Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, Ausgabe August 2005, auf dem Gebiet der Schallmessung nach DIN EN ISO 3095:2014-7 [31], aufweisen.

zu 9.2 Bewertung der Messergebnisse für abweichende Bahntechnik und für schalltechnische Innovationen

Die Einführung neuer schalltechnischer Korrekturwerte für weitergehende dauerhafte Lärm-minderungen war gemäß der bisherigen Anlage 2 der 16. BImSchV nur für Fahrzeuge und Fahrbahnarten möglich. Ein Anerkennungsverfahren war nicht geregelt. Um zukünftige schalltechnische Innovationen auf dem Gebiet der Bahntechnik und der Lärm-minderungsmaßnahmen, neben den herkömmlichen Lärmschutzmaßnahmen, möglichst zeitnah nach ihrer Entwicklung berücksichtigen zu können, sieht die 16. BImSchV nun ein Anerkennungsverfahren für neue Technologien vor. Die Einführung wird davon abhängig gemacht, dass der Lärm-minderungseffekt messtechnisch nachgewiesen wird und dieser für eine Teilquelle mindestens 2 dB beträgt. Beim messtechnischen Nachweis ist besonders auf den Schienenzustand im Bereich der Test- und Referenzstrecke zu achten, da der Schienenzustand die Messwerte erheblich beeinflusst. Daher ist bei diesen Messungen der Schienenzustand durch Ermittlung der Rauigkeit vor und nach der Messung zu ermitteln; näheres hierzu siehe DIN EN ISO 3095:2014-7 [31].

Weitere Hinweise und Erläuterungen zur Berücksichtigung von abweichender Bahntechnik und schalltechnischen Innovationen sowie zur Festlegung akustischer Kennwerte wird das Eisenbahn-Bundesamt für die Eisenbahnen des Bundes auf seiner Website (www.eisenbahn-bundesamt.de) veröffentlichen.

Für sonstige Bahnen bleibt es den jeweils nach Landesrecht zuständigen Behörden überlassen, ob und wie sie Hinweise zum Verfahren der Festlegung akustischer Kennwerte veröffentlichen.

Literaturhinweise

- [1] SCHALL 03 [1990], Akustik 03: Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen (Schall 03), Ausgabe 1990
- [2] DIN 820-2 2011-04 Normungsarbeit - Teil 2: Gestaltung von Dokumenten (ISO/IEC-Direktiven - Teil 2:2004
- [3] DIN 45687: 2006, Akustik - Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Schallimmission im Freien - Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen
- [4] 24. BImSchV, Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes - Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege - Schallschutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV)
- [5] 34. BImSchV, Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung – 34. BImSchV)
- [6] Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen (VBUSch), 10.05.2006
- [7] 2002/49/EG (EU - Umgebungslärmrichtlinie) - Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm
- [8] CNOSSOS EU: Common Noise Assessment Methods in Europe, JRC Reference Reports by Kephelopoulous/Paviotti/Anfosso-Lédédé, 2012
- [9] AKUSTIK 04 [1990], Akustik 04: Richtlinie für schalltechnische Untersuchungen bei der Planung von Rangier- und Umschlagbahnhöfen, Ausgabe 1990
- [10] DIN ISO 9613-2:1999 - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren
- [11] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm), 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503)
- [12] Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotentiale mit Darstellung von Best – Practice - Beispielen“, UBA, FKZ: 3709 54 145 im Rahmen des UFOPLANs 2009
- [13] TSI-HS RST – 2008 - TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr: Entscheidung der Kommission 2002/735/EG vom 30. Mai 2002 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems "Fahrzeuge" des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems nach Artikel 6 Absatz 1 der Richtlinie 96/48/EG (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2002) 1952), Amtsblatt L245 vom 12. September 2002, S. 402 – aktuelle Ausgabe 2008 (2008/232/EG)

- [14] TSI-CR NOI – 2011: 2011/229/EU, Technische Spezifikation für die Interoperabilität zum Teilsystem „Fahrzeuge - Lärm“ des konventionellen transeuropäischen Bahnsystems, 04.04.2011
- [15] Schlussbericht zum KP II: Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg - Schlussbericht, DB Netz AG – I.N , 15.06.2012
- [16] Nr. 853.1002A01, 07.2012: Richtlinie der DB AG, Infrastrukturseitige Behandlung der Mikrodruckwellen-Thematik
- [17] VDI 2571 Schallabstrahlung von Industriebauten, August 1976
- [18] Personenbeförderungsgesetz (PBefG) vom 21. März 1961, letzte Änderung 7. August 2013
- [19] Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen, Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BOStrab) vom 11.12.1987, letzte Änderung vom 8.11.2007
- [20] VDV-Schrift 154 Geräusche von Schienenfahrzeugen des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV), 10/2011
- [21] VDV-Schrift 611 Geräusche in Gleisbögen des schienengebundenen ÖPNV - Handlungsempfehlungen zu ihrer Verminderung, 11/2011
- [22] Krüger, F. (Hrsg.): Kurvengeräusche – Messung, Bewertung und Minderungsmaßnahmen, Verkehr und Technik, Band 97, 2013
- [23] Krüger, F. u.a.: Schall- und Erschütterungsschutz im Schienenverkehr. 2. überarbeitete Auflage 2006. Expert-Verlag, Band 565
- [24] Girnau, G./ Krüger, F. u.a.: Fahrwege der Bahnen im Nah- und Regionalverkehr in Deutschland; VDV und VDV-Förderkreis (Herausgeber); Alba-Fachverlag, Düsseldorf, 2007
- [25] NN: Handbuch Gleisbegrünung. Planung - Ausführung – Pflege, Hrsg.: Grüngleis Netzwerk, Eurailpress (2014)
- [26] DS 804.5501 der DB Netze AG: Richtlinie 804- Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke)-3 Aktualisierung- Inkraftsetzung des Moduls 804.5501-Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken- vom 01.11.2007
- [27] Bericht 101-3429 - Erstellung einer Datenbank zu den Nachweismessungen im Konjunkturprogramm II - Möhler + Partner Ingenieure AG, 27.07.2012
- [28] Bericht 101-3389-2 - Einführung der Messergebnisse aus dem KP II Einführung der Messergebnisse aus dem Konjunkturprogramm II in die Schall 03 [2012] - Möhler + Partner Ingenieure AG, 14.08.2014
- [29] 41. BImSchV - Einundvierzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes – Immissionsschutzgesetzes (Bekanntgabeverordnung - 41. BImSchV)
- [30] DIN EN ISO/IEC 17025: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien; August 2005

- [31] DIN EN ISO 3095, Bahnanwendungen – Akustik – Messung der Geräuschemissionen von spurgebundenen Fahrzeugen, Juli 2014
- [32] Verfügung Pr.1110 Rap/Rau 98 vom 16.03.1998, VkB1. 1998, Heft 7, S. 262, lfd. Nr. 74.