



Andreas Meier

Forschungsvorhaben Schallschutz gegen Außenlärm

Anforderungen zum baulichen Schallschutz gegen Außenlärm nach DIN 4109 unter Berücksichtigung des derzeitigen Stands der Technik als Grundlage für bauaufsichtliche Regelungen

Andreas Meier

Forschungsvorhaben Schallschutz gegen Außenlärm

Anforderungen zum baulichen Schallschutz gegen Außenlärm nach DIN 4109 unter Berücksichtigung des derzeitigen Stands der Technik als Grundlage für bauaufsichtliche Regelungen

T 3383

T 3383

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2021

ISBN 978-3-7388-0623-6

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Müller-BBM GmbH
Helmut-A.-Müller-Straße 1 - 5
82152 Planegg bei München

Telefon +49(89)85602 0
Telefax +49(89)85602 111

www.MuellerBBM.de

Dr.-Ing. Andreas Meier
Telefon +49(89)85602 325
Andreas.Meier@mbbm.com

04. Februar 2021
M143131/02 Version 5 MR/HCK

Forschungsvorhaben Schallschutz gegen Außenlärm

**Anforderungen zum baulichen Schallschutz gegen Außenlärm nach DIN 4109 unter Berücksichtigung des derzeitigen Stands der Technik als Grundlage für bauaufsichtliche Regelungen
P 52-5-5.125-2036/19
Fassung 01/2021**

Bericht Nr. M143131/02

Forschungsgeber:	DIBt Deutsches Institut für Bautechnik Kolonnenstraße 30 B 10829 Berlin
Forschende Stelle:	Müller-BBM GmbH Helmut-A.-Müller-Straße 1 - 5 82152 Planegg b. München
Bearbeitet von:	Dr.-Ing. Andreas Meier
Berichtsumfang:	Insgesamt 136 Seiten, davon 80 Seiten Textteil, 34 Seiten Anhang A, 15 Seiten Anhang B und 7 Seiten Anhang C.

Müller-BBM GmbH
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk,
Dr. Alexander Ropertz,
Stefan Schierer, Elmar Schröder

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass und Ziel des Forschungsvorhabens	4
2	Grundlagenentwicklung und Aufbereitung der Historie des Schallschutzes gegen Außenlärm	5
2.1	Historie der DIN 4109 und VDI 2719	5
2.2	DIN 4109:1989-11	13
2.3	DIN 4109:2016-07	17
2.4	DIN 4109:2018-01	18
3	Nachweisführung zum Schallschutz gegen Außenlärm	23
3.1	Allgemeines	23
3.2	Exemplarische Nachweisführung mit Außenbauteilen nach DIN 4109-2:2018-01	25
3.3	Randbedingungen für eine frequenzabhängige Nachweisführung	27
3.4	Einbindung von Spektrum-Anpassungswerten C und C_r	29
3.5	Fazit	30
4	Systematik bei der Überprüfung von Korrektursummanden von Außenlärmarten	31
4.1	Allgemeines	31
4.2	Vorgehen bei der Auswertung von Korrektursummanden	34
5	Auswertung Straßenverkehrslärm	36
5.1	Allgemeines	36
5.2	Auswertung CNOSSOS-EU	37
5.3	Messungen Müller-BBM im Auftrag des UBA	39
5.4	Messungen Fischer, Stuttgart	41
5.5	Messungen Gierens, München	42
5.6	Messungen Akustik-Ingenieurbüro Moll, Berlin	43
5.7	Messungen Weinzierl, ifb Sorge, Nürnberg	44
5.8	Zusammenfassung zur Auswertung Straßenverkehrslärm	45

6	Auswertung Schienenverkehrslärm	46
6.1	Allgemeines	46
6.2	Auswertung Schall 03	46
6.3	Messungen vom LfULG, LUBW und UBA	47
6.4	Messungen Leupoldt, Fachhochschule Rosenheim	48
6.5	Messungen Graf, München	49
6.6	Messungen Moll	50
6.7	Messungen Ritterstaedt	51
6.8	Messungen Güterverkehr Kurz+Fischer	52
6.9	Messungen Trambahn Maurer, München	53
6.10	Zusammenfassung zur Auswertung Schienenverkehrslärm	54
7	Auswertung Wasserverkehr	54
8	Auswertung Flugverkehr	54
9	Auswertung Gewerbe- und Industrieanlagen	55
10	Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse	57
10.1	Allgemeines	57
10.2	Straßenverkehr	59
10.3	Schienenverkehr	60
10.4	Luftverkehr	62
10.5	Gewerbe- und Industrieanlagen	62
10.6	Lärmschutzeinrichtungen	63
11	Experten-Workshop	64
11.1	Allgemeines	64
11.2	Mittlere Außenlärmspektren	64
11.3	Auswirkung auf Schalldämmungsverläufe mit Einbrüchen	68
12	Normungsvorschlag für DIN 4109	72
12.1	Vorbemerkungen	72
12.2	Vorschlag	73
12.3	Vergleichsrechnung	75
13	Weitere Handlungsempfehlungen	76
Anhang A	Schienenverkehr - Auswertung der Spektren beispielhafter Zugarten gemäß Schall 03 aus 16. BImSchV	
Anhang B	Recherche Lärmschutzwand	
Anhang C	Vergleichsrechnungen gemäß Abschnitt 12.3	

1 Anlass und Ziel des Forschungsvorhabens

Aus bauaufsichtlicher Sicht besteht die Notwendigkeit, bei Außenlärmwirkung Anforderungen an die Schalldämmung von Gebäudehüllen zu stellen. Hierdurch sollen für die Nutzer innerhalb der Gebäude entsprechend der EU-Verordnung 305/2011 gesunde Arbeits- und Wohnverhältnisse sichergestellt werden. Entsprechende Regelungen befinden sich in DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“, deren Neufassung aus dem Jahr 2016 bzw. 2018 auch für den Schallschutz gegen Außenlärm überarbeitet wurde.

Die Regelungen rund um den Schallschutz gegen Außenlärm werden derzeit von Anwendern als auch Betroffenen stark und kontrovers diskutiert. Hierzu zählt insbesondere die pauschale Regelung für Schienenverkehr aufgrund der Frequenzabhängigkeit von Außenlärm und Schalldämmung, zudem die Regelungen rund um Maximalpegelkriterien. Es ist zu prüfen, ob weitere Anpassungen erforderlich sind.

Die zugrunde liegenden Untersuchungen sind bereits vor über 30 Jahren durchgeführt worden. Es ist nicht sicher nachweisbar, ob die seinerzeit ermittelten Ansätze für Außenlärm heute noch gültig sind. Des Weiteren kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich der Außenlärm und die Bauweisen von Gebäudehüllen derart verändert haben, dass Auswirkungen auf die Regelungen für den Schallschutz gegen Außenlärm resultieren. Aus diesem Grunde bestand dringender Forschungsbedarf.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen zu einer Bewertung der derzeitigen Anforderungen und der Nachweisführung führen und eine Grundlage für die Entscheidung zum weiteren Vorgehen der Bauaufsicht darstellen. Sofern das bisherige Vorgehen in der Norm überarbeitungsbedürftig erscheint, werden Empfehlungen für eine Überarbeitung der Norm ausgearbeitet.

In Abschnitt 2 wird die historische Entwicklung zum Schallschutz gegen Außenlärm in DIN 4109 aufgearbeitet, wobei parallel die Entwicklung der VDI 2719 verfolgt wird, da diese Richtlinie die Norm beeinflusste.

Die für diese Arbeit relevanten Grundzüge bzw. Überlegungen zur Nachweisführung und erste Schlussfolgerungen sind in Abschnitt 3 zusammengefasst.

Hieraus ergibt sich, dass die Überprüfung von Korrektursummanden für Außenlärmarten erforderlich ist. Die Systematik zu diesen Untersuchungen ist in Abschnitt 4 beschrieben. Für den Straßen- und Schienenverkehr sind die zugehörigen Ergebnisse in den Abschnitten 5 sowie 6 zusammengefasst. Angaben zu weiteren Lärmarten finden sich in den Abschnitten 7, 8 und 9.

Die gewonnenen Erkenntnisse sind in Abschnitt 10 zusammengefasst. Angaben zum durchgeführten Experten-Workshop und die in diesem Zusammenhang durchgeführten Untersuchungen finden sich in Abschnitt 11. Auf dieser Grundlage ist ein Normungsvorschlag entstanden, der in Abschnitt 12 beschrieben ist. Hinweise auf offene Punkte oder weiteren Untersuchungsbedarf finden sich abschließend in Abschnitt 13.

2 Grundlagenentwicklung und Aufbereitung der Historie des Schallschutzes gegen Außenlärm

Die nachfolgenden Ausführungen zur Historie basieren auf der Ausarbeitung in [43].

2.1 Historie der DIN 4109 und VDI 2719

Um das aktuelle Vorgehen zum Schallschutz gegen Außenlärm einzuordnen, ist die Kenntnis der historischen Entwicklung der Regelwerke zum Schallschutz gegen Außenlärm hilfreich. Diese wird nachfolgend dargestellt.

Die **1962/63er Fassung der DIN 4109** [3] kann als Beginn des genormten Schallschutzes gegen Außenlärm betrachtet werden. Seit Mitte der 1950er Jahre stieg das Verkehrsaufkommen aufgrund steigender Einkommen, geringer PKW-Preise und dem stetigen Ausbau des städtischen und überörtlichen Straßennetzes sprunghaft an. Der *PKW-Bestand stieg allein innerhalb der 1950er Jahren von 0,4 auf 4,5 Millionen* [26].

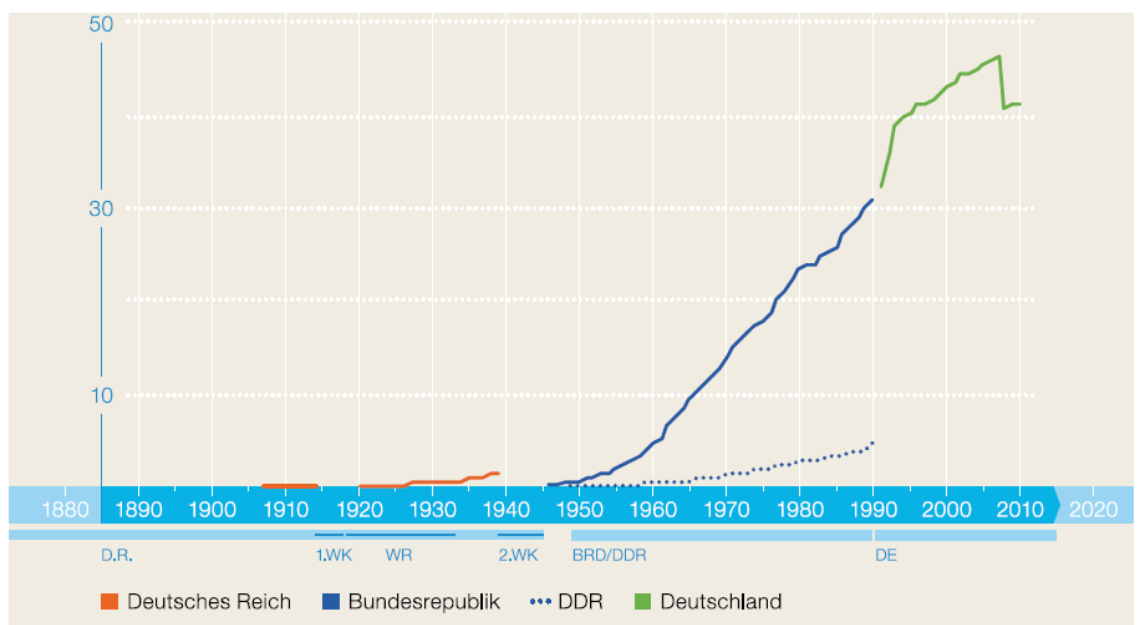


Abbildung 1. Anzahl der Personenkraftwagen (PKW) in Millionen.

DIN 4109:1962-09 Blatt 2 [4] reagierte auf den zunehmenden Verkehrslärm noch vage mit einer Empfehlung im Absatz 5.3. Fenster:

„Bei starkem Außenlärm (z. B. in Straßen mit hoher Verkehrsdichte) sollen die dem Lärm zugewandten Wohn-, Schlaf- und Arbeitsräume sowie Vortragsräume, Versammlungsräume, Schulräume, Krankenzimmer und dergleichen dichtschießende Fenster mit erhöhter Luftschalldämmung erhalten (Hinweis siehe Blatt 5 Abschnitt 2.4.4).“ [4]

Ergänzend hierzu finden sich in **DIN 4109 Blatt 5 von April 1963** unter Abs. 2.4.4. „Türen und Fenster“ einige qualitative Hinweise zur Ausführung schalldämmender Fenster. Hier werden die positiven Einflüsse von hoher Masse, Zweischaligkeit, schallschluckender Bedämpfung des Hohlraumes und Dichtheit auf die Schalldämmung von Fenstern beschrieben. Ferner werden in der Tabelle 3 mittlere Schalldämm-Maße R von zu der Zeit üblichen Fensterkonstruktionen (Einfachfenster, Verbundfenster und Kastenfenster), genannt, die ohne und mit zusätzlicher Dichtung in etwa erreicht werden.

Tabelle 1. Schalldämmmaße R von Fenstern, aus DIN 4109 Blatt 5 von April 1963, dort Tabelle 3.

Fensterart	Mittleres Schalldämmmaß R	
	Ohne zusätzliche Dichtung	Mit zusätzlicher Dichtung
Einfachfenster	~ 20 dB	bis 25 dB
Verbundfenster	~ 25 dB	bis 30 dB
Kastendoppelfenster	~ 30 dB	bis 40 dB

Konkrete Anforderungen an die Schalldämmung von Außenbauteilen werden zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht definiert. Erst 9 Jahre später wird diese Lücke von der im **Oktober 1973** erschienene **VDI-Richtlinie 2719 Schalldämmung von Fenstern** [7] geschlossen. Einer der Verfasser der Richtlinie schieb hierzu 1974 in einem Kommentar zur VDI 2719 in der Zeitschrift „Kampf dem Lärm“:

„Die Lücke, die es nun zu schließen galt, war also der zwar kurze aber auch schwierige Weg von außen nach innen, wobei das Fenster die technisch anspruchsvollste und im Regelfall auch am wenigsten dämmende Teilfläche ist, so daß hier zuerst die zahlreichen Einzelerkenntnisse gesammelt und zu einer Richtlinie aufbereitet werden mußten.“ [27]

Die VDI 2719 kann zurecht als „Mutter des Schallschutzes gegen Außenlärm“ betrachtet werden, finden sich doch ihre Inhalte in den folgenden 45 Jahren in allen weiteren Normen, Richtlinien und gesetzlichen Verordnungen, die sich diesem Thema widmen, zumindest in Grundzügen wieder.

Erstmals konnten mit dieser Richtlinie die Anforderungen an Fenster konkret in Abhängigkeit vom vorhandenen oder zu erwartenden Außenlärmpegel und dem angestrebten Innenschallpegel berechnet werden (Kapitel 7. Bestimmung der erforderlichen Dämmung). Zudem enthielt die Richtlinie Konstruktions- und Verarbeitungsmerkmale von Fenstern und deren Einflüsse auf die Schalldämmung (Kapitel 4. Einflüsse auf die Schalldämmung von Fenstern), sowie Hinweise zur Verbesserung vorhandener Fenster (Kapitel 6. Verbesserung vorhandener Fenster). Hierdurch sollten auch *„schalltechnisch nicht sachverständigen Handwerkern eine Fülle wertvoller Hinweise“* [7] gegeben werden, auf deren Grundlage beurteilt und entschieden werden konnte, ob das vorhandene Fenster wirkungsvoll verbessert werden konnte oder ob es durch ein neues ersetzt werden sollte.

Herzstück dieser 15 Seiten knappen ersten Fassung der VDI 2719 war – und ist es noch heute – das Kapitel zu „Bestimmung der erforderlichen Dämmung“ (Kapitel 7), welches neben einer Formel zur Abschätzung der erforderlichen Luftschalldämmung von Fenstern auch eine Tabelle mit Anhaltswerten für Innengeräuschpegel (Tafel 5) enthielt.

Tabelle 2. Anhaltswerte für Innengeräuschpegel (gültig nur für von außen in Aufenthaltsräume eindringenden Schall); Auszug aus VDI-Richtlinie 2719 Schalldämmung von Fenstern von Oktober 1973, dort Tafel 3.

Raumart		Mittelungspegel L_m *) Δ) dB(A)	Mittlere Maximalpegel (L_1) dB(A)
1	Schlafräume nachts \square		
1.1	in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus, Kurgebiet	25 bis 30	35 bis 40
1.2	in allen übrigen Gebieten	30 bis 35	45 bis 50
2	Wohnräume tagsüber \square		
2.1	in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus, Kurgebiet	30 bis 35	40 bis 45
2.2	in allen übrigen Gebieten	35 bis 40	45 bis 50
3	Kommunikations- und Arbeitsräume, tagsüber		
3.1	Unterrichtsräume, ruhebedürftige Einzelbüros, wissenschaftliche Arbeitsräume, Bibliotheken, Konferenz- und Vortragsräume, Arztpraxen, Operationsräume, Kirchen, Aulen	30 bis 40	40 bis 50
3.2	Büros für mehrerer Personen	35 bis 45	45 bis 55
3.3	Großraumbüros, Gaststätten, Schalterräume, Läden	40 bis 50	50 bis 60

*) Für Flugverkehrsgeräusche äquivalenter Dauerschallpegel

Δ) Ist $L_m < L_1 - 10$ dB, so ist bei der Ermittlung der Schallschutzklasse von L_1 auszugehen.

\square) Hierbei ist von der lautesten Nachtstunde zwischen 22.00 Uhr und 6.00 Uhr auszugehen, sie ist weitgehend von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. Da in der lautesten Nachtstunde erfahrungsgemäß der Mittelungspegel um etwa 5 dB unter dem am Tage herrschenden Wert liegt, sind die Anforderungen (Schallschutzklassen) für die Raumarten 1 und 2 gleich.

In dem Kommentar zu der Richtlinie heißt es hierzu:

„In den Werten dieser Tabelle (Tafel 5) stecken nun die lärmtechnisch relevanten Erkenntnisse der medizinischen Forschung und die Frage, welche Schallpegel der verschiedenen Geräusche nun tatsächlich bei verschiedenen Tätigkeitsmerkmalen stören, kann nicht der Akustik-Ingenieur, sondern nur der Mediziner beantworten. Prof. Klosterkötter hat sich in der Schlußphase der Richtlinienarbeit dieser Tabelle besonders angenommen. Sie wird sicher richtungweisend für die ganze akustische Normungsarbeit sein.“

In dieser ersten Fassung der VDI 2719 [7] konnte nach der Formel

$$R_{w,erf} = L_{Aa} - L_{ai} + 10 \lg S/A + 5 \quad \text{in dB}$$

das erforderliche bewertete Schalldämm-Maß des Fensters $R_{w,erf}$ berechnet werden. In den späteren Fassungen der Richtlinie bezieht sich diese Formel auf das Schalldämm-Maß der gesamten Außenfläche $R'_{w,res}$.

In die Formel gingen folgende Eingangsgrößen ein:

- der zu erwartende Außenlärmpegel L_{Aa} ,
- der angestrebte Innenpegel L_{ai} gem. Tafel 5,
- die Fensteröffnung S (in den späteren Fassungen ersetzt durch die Gesamtaußenfläche S_g),
- die äquivalente Schallabsorptionsfläche A des betreffenden Raumes,
- sowie ein Summand von pauschal 5 dB.

Der Summand von +5 dB verfolgte seinerzeit vermutlich noch nicht den Zweck einer spektralen Korrektur für Verkehrslärm, wie es die K-Summanden in den späteren Ausgaben der Richtlinie in Abhängigkeit von der Lärmart taten. Vielmehr war er wohl als Vorhaltemaß/Sicherheitsbeiwert zu verstehen.

In einer Fußnote zu dem Summanden heißt es *„Nach K. Gösele beträgt der letzte Summand 2 dB (9). Es wird jedoch empfohlen aus Sicherheitsgründen mit 5 dB zu rechnen.“*

Der Literaturverweis (9) bezieht sich dabei auf eine Veröffentlichung von K. Gösele zur „Bestimmung der Luftschalldämmung von Bauteilen nach einem Kurzverfahren“ [24].

Aus heutiger Sicht ist aus den Unterlagen nicht klar erkennbar, ob der Summand von 5 dB bereits als spektraler Korrekturwert oder als allgemeiner Sicherheitsbeiwert aufgrund der Messunsicherheit anzusehen ist.

Erst in dem Entwurf der VDI 2719 von 1983 wird den unterschiedlichen Verkehrslärmspektren Rechnung getragen, indem erstmals Korrektursummanden in Abhängigkeit von der Lärmart auftauchen.

Alternativ zu der Berechnung der erforderlichen Dämmung enthielt die Richtlinie eine Tabelle zur Bestimmung der erforderlichen Fensterschalldämmung („Tafel 4b. Zuordnung von Lärmsituationen und Schallschutzklassen nach Raumarten“) anhand derer die erforderlichen Anforderungen in Form von „Fensterschallschutzklassen“ in Abhängigkeit der „Raumart“ und der „Lärmsituation“ abgelesen werden konnten.

Tabelle 3. Zuordnung von Lärmsituationen und Schallschutzklassen nach Raumarten, Auszug aus dem Entwurf der VDI 2719 von 1983, dort Tafel 4b.

Mittelungspegel L_m	Lärm-situation	Fensterschallschutzklassen für Raumarten gemäß Tafel 5				
		1.1	1.2	2.1	2.2	3.1 bis 3.3
> 75	VI	6 ^{*)}	5 ^{*)}	5 ^{*)}	4	Für diese Raumarten können wegen der großen Streubreite der Immissions-Richtwerte und der Korrekturgröße 10 lg S/A keine allgemeingültigen Empfehlungen angegeben werden.
71 bis 75	V	5 ^{*)}	4	4	3	
66 bis 70	IV	4	3	3	2	
61 bis 65	III	3	2	2	1	
56 bis 60	II	2	1	1	0	
51 bis 55	I	1	0	0	0□	
≤ 50	0	0	0□	0□	0□	

*) Bei Anwendung der Schallschutzklassen 5 und 6 ist darauf zu achten, dass die Wanddämmung $R_w \geq 55$ dB ist.

□) In diesen Fällen können die Immissions-Richtwerte bereits eingehalten werden, wenn die Fenster teilweise geöffnet sind (Lüftungsstellung).

Hier tauchen also erstmals die vor allem aus der späteren DIN 4109 bekannten Lärmpegelbereiche (hier noch als „Lärmsituation“ benannt) und eine Tabelle zur Bestimmung der erforderlichen Fensterschalldämmung („Tafel 4b. Zuordnung von Lärmsituationen und Schallschutzklassen nach Raumarten“) in ihren Grundzügen auf.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Richtlinie war die Tafel 3 „Schallschutzklassen von Fenstern“, die eine Unterteilung verschiedener Fensterkonstruktionen in 7 Klassen (Klasse 0 bis 6) vornimmt, wobei die Spanne der Fensterschalldämmung innerhalb der Klassen jeweils 5 dB beträgt.

Tabelle 4. Schallschutzklassen von Fenstern, Auszug aus dem Entwurf der VDI 2719 von 1983, dort Tafel 3.

Schallschutzklasse	Bewertetes Schalldämmmaß R_w dB	Orientierende Hinweise auf Konstruktionsmerkmale von Fenstern ohne Lüftungseinrichtungen
6	≥ 50	Kastenfenster mit getrennten Blendrahmen, besonderer Dichtung, sehr großem Scheibenabstand und Verglasung aus Dickglas
5	45 bis 49	Kastenfenster mit besonderer Dichtung, großem Scheibenabstand und Verglasung aus Dickglas; Verbundfenster mit akustisch entkoppelten Flügelrahmen, Scheibenabstand über ca. 100 mm und Verglasung aus Dickglas
4	40 bis 44	Kastenfenster mit zusätzlicher Dichtung und MD-Verglasung; Verbundfenster mit besonderer Dichtung, Scheibenabstand über ca. 60 mm und Verglasung aus Dickglas
3	35 bis 39	Kastenfenster ohne zusätzliche Dichtung und mit MD-Glas Verbundfenster mit zusätzlicher Dichtung, 40 bis 50 mm Scheibenabstand und Verglasung aus Dickglas; Isolierverglasung in schwerer mehrschichtiger Ausführung; 12 mm-Glas fest eingebaut oder in dichten Fenstern
2	30 bis 34	Verbundfenster mit zusätzlicher Dichtung und mit MD-Verglasung, dicke Isolierverglasung, fest eingebaut oder in dichten Fenstern; 6 mm-Glas, fest eingebaut oder in dichten Fenstern
1	25 bis 29	Verbundfenster ohne zusätzliche Dichtung und MD-Verglasung, dünne Isolierverglasung in Fenstern ohne zusätzliche Dichtung
0	≤ 24	Undichte Fenster mit Einfach- oder Isolierverglasung

„Die Abstufung von 5 dB geht von den unvermeidlichen Unsicherheiten bei der Vorausbestimmung der erforderlichen Dämmung aus“ heißt es hierzu in der Richtlinie. Der Kommentar zur VDI 2719 erläutert hierzu ergänzend:

„Die Methode zur Vorausbestimmung der erforderlichen Fensterschalldämmung sind naturgemäß mit Unsicherheiten behaftet. Es ist daher auch physikalisch unsinnig, die erforderliche Dämmung auf 1 dB genau anzugeben. Der mögliche Dämmbereich vom schlechtesten bis zum besten Fenster ist daher in sieben Schallschutzklassen eingeteilt, die wiederum eine Breite von 5 dB aufweisen.“ [7]

Auch unterschied die VDI 2719 von Anfang an zwischen den Anforderungen tags und nachts und berücksichtigte das Maximalpegelkriterium. Das Maximalpegelkriterium wurde angewendet, indem bei einer Differenz zwischen dem mittleren Maximalpegel L_1 und dem Mittelungspegel L_m von mehr als 10 dB, die Auslegung der Schalldämmung nach dem mittleren Maximalpegel L_1 abzgl. 10 dB erfolgen sollte - ein Ansatz, der bis heute in VDI 2719 und DIN 4109 Bestand hat.

Die mit Hilfe der VDI 2719 bestimmten Schalldämm-Maße der Fenster hatten jedoch lediglich empfehlenden Charakter. Da der Schutz vor Außenlärm aufgrund des stetig steigenden Verkehrsaufkommens aber eine immer wichtigere Rolle besonders bei der Planung von neuem Wohnraum spielte, war es notwendig, bauordnungsrechtlich verbindliche Mindestanforderungen festzulegen.

Da eine Eingliederung in die DIN-4109-Reihe kurzfristig nicht möglich war, wurde im **September 1975** zunächst die „**Richtlinie für bauliche Maßnahmen zum Schutz gegen Außenlärm – Ergänzende Bestimmungen zu DIN 4109 Teil 1 bis 4 (09-1962) und Teil 5 (04-1963)**“ veröffentlicht, die die in der bisherigen DIN 4109 noch vorhandene Lücke der verbindlichen Mindestanforderungen an Außenbauteile schloss. Da im Sinne der DIN 4109-Systematik konkrete Zahlenwerte gefordert waren, entstand die Tabelle 2, mit der es dem Anwender möglich war, je nach Höhe des Außenlärmpegels tags und der Raumnutzung („Raumarten“), die erforderlichen „Mindestwerte der Luftschalldämmung von Außenwandbauteilen“ getrennt für die Außenwand und das Fenster abzulesen.

Tabelle 5. Mindestwerte der Luftschalldämmung von Außenbauteilen, Auszug aus den ergänzenden Bestimmungen zu DIN 4109, Fassung 09-1975.

Spalte	1	2	3	4	5	6	7
Lärmpegelbereich	Maßgeblicher Außenlärmpegel in dB(A) ¹⁾	Raumarten					
		Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien		Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Hotels, Unterrichtsräume		Büroräume ²⁾	
		Bewertetes Schalldämmmaß R'_w (für Außenwände) bzw. R_w (für Fenster) in dB ³⁾					
		Außenwand ⁴⁾	Fenster ⁵⁾	Außenwand ⁴⁾	Fenster ⁵⁾	Außenwand ⁴⁾	Fenster ⁵⁾
0	≤ 50	30	25 ⁶⁾	30	25 ⁶⁾	30	25 ⁶⁾
I	51 bis 55	35	30 ⁷⁾	30	25 ⁶⁾	30	25 ⁶⁾
II	56 bis 60	40	35	35	30 ⁷⁾	30	25 ⁶⁾
III	61 bis 65	45	40	40	35	30	30 ⁷⁾
IV	66 bis 70	50	45	45	40	35	35
V	> 70	55	50	50	45	40	40

- 1) Maßgeblicher Außenlärmpegel siehe Abschnitt 1.3; Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels siehe Anhang.
- 2) In Einzelfällen kann es wegen der unterschiedlichen Raumgrößen, Tätigkeiten und Innenraumpegel bei Büroräumen zweckmäßig oder notwendig sein, die Schalldämmung der Außenwände und Fenster gesondert festzulegen.
- 3) Die Mindestwerte der Schalldämmung gelten für Außenbauteile, gemessen in Prüfräumen nach DIN 52210 Teil 2 (siehe Fußnote 4 auf Seite 2). Beim Gütenachweis am Bau nach Abschnitt 4 dieser Richtlinien dürfen die sich aus der Tabelle für die Außenwand und Fenster ergebenden Mindestwerte der Gesamtschalldämmung (nach DIN 4109 Teil 5, Ausgabe April 1963, Abschnitt 2.1.4, zu ermitteln) um 5 dB unterschritten zu werden.
- 4) Für Decken von Aufenthaltsräumen, die zugleich den oberen Gebäudeabschluß bilden, sowie für Dächer und Dachschrägen von ausgebauten Dachgeschossen gelten die Mindestwerte für Außenwände. Bei Decken unter nicht ausgebautem Dachgeschoß und bei Kriechböden sind die Anforderungen durch Dach und Decke gemeinsam zu erfüllen. Die Anforderungen gelten als erfüllt, wenn das Schalldämmmaß der Decke allein um nicht mehr als 10 dB unter dem geforderten Wert liegt. Ausführungsbeispiele für Außenwände siehe Tabelle 3a bis 3c, für Dächer siehe Tabelle 4a und 4b.
- 5) Wenn die Fensterfläche an der zu betrachtenden Außenwand eines Raumes mehr als 60 % der Außenwandfläche beträgt, sind an die Fenster die gleichen Anforderungen wie an Außenwände zu stellen. Ausführungsbeispiele für Fenster siehe Tabelle 5a.
- 6) Bei einem $R_{w\text{erf}}$ von 25 dB werden nach Tabelle 5a keine besonderen Anforderungen an Fensterart, Scheibenabstand und -dicken gestellt.
- 7) Bei einem $R_{w\text{erf}}$ von 30 dB genügen nach Tabelle 5a die üblichen Fensterausführungen, wenn eine zusätzliche Falzdichtung nach Tabelle 5a, Spalte 5, vorhanden ist.

Bemerkenswert ist, dass die Anforderungen nun ausschließlich auf Grundlage des Außenlärmpegels tags bestimmt werden und die nächtlichen Außenlärmpegel – im Gegensatz zur VDI 2719 – nicht mehr konkret berücksichtigt werden. Diese Systematik soll sich bei der DIN 4109 für die nächsten 41 Jahre (!) bis zur 2016er Fassung fortsetzen.

Im **Oktober 1984** erschien der **Entwurf DIN 4109 Teil 6 „Schallschutz im Hochbau; Bauliche Maßnahmen zum Schutz gegen Außenlärm“** mit dem das Thema Schutz gegen Außenlärm einen eigenen Teil in der Normenreihe der DIN 4109 erhielt. Hier wurde die Tabelle 2 aus der Richtlinie für bauliche Maßnahmen zum Schutz gegen Außenlärm von 1975 mit kleineren Anpassungen übernommen. Der Lärmpegelbereich 0 wurde aus der Tabelle gestrichen, dafür wurde die Tabelle nach oben hin um die Lärmpegelbereiche VI (76 bis 80 dB(A)) und VII (> 80 dB(A)) erweitert. Des Weiteren wurden Anforderungen an die Außenwand und die Fenster oder alternativ an das Gesamtaußenbauteil angegeben.

Im **September 1983** erschien der **Entwurf** zur Überarbeitung der **VDI 2719** [6]. Gegenüber der ersten und zu dem Zeitpunkt noch aktuellen Ausgabe von 1973 wurden nun die Anforderungen nicht mehr allein für die Fenster berechnet, sondern für das gesamte Außenbauteil. Zudem tauchen in diesem Entwurf erstmals Korrektursummanden auf, die das Frequenzspektrum des Außenlärms berücksichtigen. Unterschieden wurde in:

- Schienenlärm, Fluglärm: $K = 0$ dB
- Straßenverkehrslärm: $K = + 5$ dB
- Industrielärm: $K = + 5$ dB

Im Jahr 1985 befasste sich ein Forschungsvorhaben vom UBA mit der „Beurteilung des Schallschutzes durch Außenbauteile; Meßtechnische Untersuchung der Relation zwischen bewertetem Bau-Schalldämm-Maß und A-Schallpegeldifferenz“. In diesem Rahmen wurden zahlreiche Messungen von den drei Außenlärmquellen Flug-, Schienen- und Straßenverkehr sowie Messungen der Schalldämmung der zum damaligen Zeitpunkt üblichen Fensterkonstruktionen (Kastenfenster, Verbundfenster, Einfachfenster) durchgeführt und ausgewertet. Als Ergebnis wurden aus den gemessenen Verkehrslärm-Spektren und Schalldämm-Spektren der Fenster fünf maßgebliche Korrektursummanden extrahiert, deren Übernahme in die neue VDI 2719 empfohlen wurde.

Der Weißdruck der überarbeiteten **VDI 2719** erschien im **August 1987** [5]. Die Korrektursummanden aus dem UBA-Forschungsvorhaben von 1985 wurden weitestgehend unverändert in die Tabelle 7 übernommen:

Tabelle 6. Auszug aus VDI 2719 vom August 1987, dort Tabelle 7.

Immissionsorte an	K in dB
– Bahnstrecken mit überwiegendem Personenverkehr	0
– übrigen Bahnstrecken	3
– innerstädtischen Straßen	6
– anderen Straßen	3
– Verkehrsflughäfen *)	6

*) Bei anderen Luftfahrzeuggeräuschen kann, solange keine entsprechenden Untersuchungsergebnisse vorliegen, mit $K = 6$ dB gerechnet werden.

Dies ist bis heute die aktuelle Fassung dieser Richtlinie.

2.2 DIN 4109:1989-11

Währenddessen wurden in der **1989-Fassung der DIN 4109** [2] – die 27 Jahre Bestand hatte – die Anforderungen an den Schutz gegen Außenlärm dahingehend überarbeitet, dass die Anforderungen an die Schalldämmung nun nicht mehr separat für Wand und Fenster aufgeführt sind, sondern in der Tabelle 8 als resultierendes Schalldämm-Maß $R'_{w,res}$ für das gesamte Außenbauteil. Nach wie vor werden die Anforderungen ausschließlich auf Grundlage des Außenlärmpegels tags bestimmt.

Tabelle 7. Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen; Auszug aus der Fassung der DIN 4109 von 1989, dort Tabelle 8.

Spalte	1	2	3	4	5
Zeile	Lärmpegelbereich	Maßgeblicher Außenlärmpegel in dB(A) ¹⁾	Raumarten		
			Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien	Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches	Büroräume ¹⁾ und Ähnliches
			erf. $R'_{w,res}$ des Außenbauteils in dB		
1	I	Bis 55	35	30	–
2	II	55 bis 60	35	30	30
3	III	61 bis 65	40	35	30
4	IV	66 bis 70	45	40	35
5	V	71 bis 75	50	45	40
6	VI	76 bis 80	2)	50	45
7	VII	> 80	2)	2)	50

- 1) An Außenbauteile von Räumen, bei denen der eindringende Außenlärm aufgrund der in den Räumen ausgeübten Tätigkeiten nur einen untergeordneten Beitrag zum Innenraumpegel leistet, werden keine Anforderungen gestellt.
- 2) Die Anforderungen sind hier aufgrund der örtlichen Gegebenheiten festzulegen.

Gegenüber der Normvorlage von 1980 wurde eine Tabelle mit Korrekturwerten (Tabelle 9) eingeführt, mit der die Schalldämm-Maße aus Tabelle 8 in Abhängigkeit vom Verhältnis der gesamten Außenfläche eines Raumes zur Grundfläche des Raumes erhöht bzw. gemindert werden.

Tabelle 8. Korrekturwerte für das erforderliche resultierende Schalldämmmaß nach Tabelle 8 in Abhängigkeit vom Verhältnis $S_{(W+F)}/S_G$; Auszug aus der Fassung der DIN 4109 von 1989, dort Tabelle 9.

Spalte/Zeile	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$S_{(W+F)}/S_G$	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
2	Korrektur	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

- 1) $S_{(W+F)}$: Gesamtfläche des Außenbauteils eines Aufenthaltsraumes in m²
- 2) S_G : Grundfläche eines Aufenthaltsraumes in m²

Die Tabelle reagiert damit auf den Sachverhalt, dass bei Räumen mit großer Außenwandfläche aber geringer Raumtiefe die Schalldämmung der Außenbauteile höher ausfallen muss als bei einem tiefen Raum mit vergleichsweise kleiner Außenwandfläche, um einen gleichbleibenden Schallschutz – unabhängig von der Raumgeometrie und Größe des Außenbauteils – zu gewährleisten. Hieran wird deutlich, dass es den Autoren der DIN 4109 bei den Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen – im Gegensatz zu den Anforderungen an die Luft- und Trittschalldämmung der anderen Bauteile (Wände, Decken, Türen etc.) – tatsächlich um einen gleichbleibenden Schallschutz – unabhängig von der Raumgeometrie und der Größe des Trennbauteils – ging.

In der Tabelle 10 konnten – unter Voraussetzung bestimmter räumlicher Randbedingungen – die erforderlichen Schalldämm-Maße separat für die Wände und Fenster in Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil abgelesen werden.

Tabelle 9. Erforderliche Schalldämmmaße erf. $R'_{w,ges}$ von Kombinationen von Außenwänden und Fenstern, aus der Fassung der DIN 4109 von 1989, dort Tabelle 10.

Spalte	1	2	3	4	5	6	7
Zeile	erf. $R'_{w,ges}$ in dB nach Tabelle 8	Schalldämmmaße für Wand/Fenster in ... dB/ ... dB bei folgenden Fensterflächenanteilen in %					
		10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %
1	30	30/25	30/25	35/25	35/25	50/25	30/30
2	35	35/30 40/25	35/30	35/32 40/30	40/30	40/32 50/30	45/32
3	40	40/32	40/35	45/35	45/35	40/37 60/35	40/37
4	45	45/37 50/35	45/40 50/37	50/40	50/40	50/42 60/40	60/42
5	50	55/40	55/42	55/45	55/45	60/45	–

Diese Tabelle gilt nur für Wohngebäude mit üblicher Raumhöhe von etwa 2,5 m und Raumtiefe von etwas 4,5 m oder mehr, unter Berücksichtigung der Anforderungen an das resultierende Schalldämmmaß erf. $R'_{w,ges}$ des Außenbauteiles nach Tabelle 8 und der Korrektur von –2 dB nach Tabelle 9, Zeile 2.

Das nachfolgende Dokument zeigt den Vorschlag von W. MOLL für die spätere Tabelle 8 (damals noch Tabelle 2).

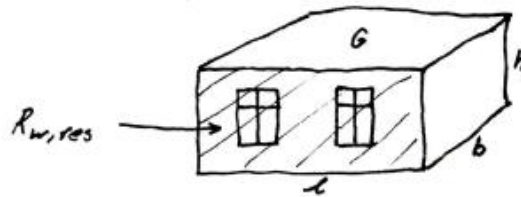
DIN 4109, Teil 6

- Moll -

Vorschlag Moll für Tabelle 2:

Zeile	LPB	MAP dB(A)	$R'_{w, res, erf.}$ in dB für Aufenthaltsräume
1	II	56-60	30
2	III	61-65	35
3	IV	66-70	40
4	V	71-75	45
5	VI	76-80	50
6	VII	>80	gesondert festlegen

Begründung:



$$R_{w, res, erf} \sim L_a - L_i + 10 \lg \frac{S}{A} + 5 \text{ dB}$$

$$A \sim 0,8 \times G = 0,8 \cdot l \cdot b$$

$$S = l \cdot h$$

$$10 \lg \frac{S}{A} = 10 \lg \frac{l \cdot h}{0,8 \cdot l \cdot b} = 10 \lg \frac{h}{0,8 \cdot b} \sim 10 \lg 1 = 0$$

Vertretbar: $L_i = 35 \text{ dB(A)}$ bei stärkster
Lärmentwicklung, also bei MAP.

Daher:

$$R_{w, res, erf} \sim L_a - 35 + 5$$

$$R_{w, res, erf} \sim L_a - 30 \quad \checkmark$$

Für L_a wird oberer LPB-Wert eingesetzt (s. Tabelle),
daher $L_i < 35 \text{ dB(A)}$ für mittleren oder unteren
Wert im LPB.

Abbildung 2. Vorschlag von W. Moll für die spätere Tabelle 8 der DIN 4109 (damals noch Tabelle 2).

Hieran wird erkennbar, dass den Anforderungen der Tabelle die Formel der VDI 2719 zugrunde liegt. Als Eingangsgröße wurde

- für L_a : der obere Wert der Lärmpegelbereiche,
- für L_i in Aufenthaltsräumen von Wohnungen: 35 dB(A) tags
- und für K : 5 dB

angesetzt.

Ein besonderes Augenmerk verdient dabei der Summand von pauschal +5 dB. Führt man sich vor Augen, dass zu dieser Zeit die VDI 2719 für Schienenlärm $K = 0$ dB und für Straßenverkehrslärm $K = +5$ dB vorsah und die Diskussionen zum Schienenbonus von -5 dB gemäß der späteren Schall 03 (der den Schienenlärm zukünftig pauschal um 5 dB mindern sollte) schon im vollem Gange waren, hat DIN 4109 mit der pauschalen Berücksichtigung eines Summanden von +5 dB den späteren Schienenbonus von -5 dB (bewusst oder unbewusst sei an dieser Stelle dahingestellt) ausgeglichen.

2.3 DIN 4109:2016-07

Die Anforderungen der 1989er Fassung der DIN 4109 hatten 27 Jahre Bestand, bis im **Juni 2016 die grundlegend überarbeitete DIN 4109** erschien. Die Tabelle für die Anforderungen an die Luftschalldämmung an Außenbauteile (vormals Tabelle 8, nun Tabelle 7) hat sich dabei gegenüber der Vorgängerfassung nicht verändert.

Tabelle 10. Anforderung an die Luftschalldämmung zwischen Außen und Räumen in Gebäuden, grundlegend überarbeitete DIN 4109 vom Juni 2016, dort Tabelle 7.

Spalte	1	2	3	4	5
Zeile	Lärmpegelbereich	Maßgeblicher Außenlärmpegel dB	Raumarten		
			Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien	Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches	Büroräume ^{a)} und Ähnliches
			$R'_{w,ges.}$ des Außenbauteils		
1	I	bis 55	35	30	–
2	II	56 bis 60	35	30	30
3	III	61 bis 65	40	35	30
4	IV	66 bis 70	45	40	35
5	V	71 bis 75	50	45	40
6	V	76 bis 80	b)	50	45
7	VII	> 80	b)	b)	50

a) An Außenbauteile von Räumen, bei denen der eindringende Außenlärm aufgrund der in den Räumen ausgeführten Tätigkeiten nur einen untergeordneten Beitrag zum Innenraumpegel leistet, werden keine Anforderungen gestellt.

b) Die Anforderungen sind hier aufgrund der örtlichen Gegebenheiten festzulegen.

Im Gegensatz zur Vorgängerfassung ergibt sich jedoch insofern ein wesentlicher Unterschied, als dass die 2016er Fassung nun auch erstmals in der Geschichte der DIN 4109 die nächtliche Lärmbelastung explizit berücksichtigt. Da eine separate Tabelle für die Anforderungen nachts keinen Konsens im Normungsausschuss fand, behalf man sich mit einem „Kunstgriff“: Sobald die Differenz zwischen dem Außenlärmpegel nachts und dem Außenlärmpegel tags < 10 dB beträgt, ist der Außenlärmpegel nachts für die Bestimmung der Anforderungen maßgeblich und wird pauschal mit +10 dB beaufschlagt. Mit diesem Wert wird dann die erforderliche Schalldämmung der Außenbauteile aus der Tabelle 7 abgelesen.

Die Berücksichtigung der nächtlichen Außenlärmbelastung hatte in vielen Fällen eine mitunter deutliche Erhöhung der Anforderungen an die Außenbauteile gegenüber der 1989er Fassung zur Folge.

2.4 DIN 4109:2018-01

Im **Januar 2018** erschien eine Neufassung der Teile DIN 4109-1 und DIN 4109-2 [1].

Nachdem über 15 Jahre an der neuen DIN 4109 gearbeitet wurde, ist es für viele Anwender unverständlich, dass bereits sechs Monate nach Erscheinen der Norm Änderungen erforderlich sind, die im Wesentlichen den Schallschutz gegen Außenlärm betreffen.

Hierzu gab es einen maßgebenden Grund: Der Fokus der Aufmerksamkeit lag vor allem auf dem Anforderungsniveau für den Schallschutz innerhalb des Gebäudes. Hierauf und auf das rechnerische Nachweisverfahren konzentrierten sich dann auch die Einsprüche zur Entwurfsfassung aus dem Jahr 2013. Ende 2014 wurden die Berechnungsverfahren Schall 03 für Schienenverkehr überarbeitet und in der 16. BImSchV implementiert. Eine wesentliche Änderung war, dass der Schienenbonus von 5 dB entfiel. Demzufolge lagen in dieser Sache keine Einsprüche vor. Nachdem dann z.B. in Bebauungsplanverfahren im Jahr 2015 erste Anwendungen der Entwurfsfassung der DIN 4109 erfolgten, wurde recht schnell klar, dass die ursprünglich austarierten Verhältnisse zwischen den Regelwerken zur Berechnung des Außenlärms und den Anforderungen nach der Entwurfsfassung nicht mehr stimmten. Der Zug in Richtung Herausgabe der DIN 4109 sollte nicht mehr aufgehalten werden. Man beschloss, das Thema in einem separaten Arbeitskreis zu behandeln und erforderliche Änderungen nachzuführen, was mit der Ausgabe Januar 2018 erfolgte.

In der aktuellen Fassung der DIN 4109:2018-01 wurden gegenüber der 2016er Ausgabe hinsichtlich des Außenlärms folgende wesentliche Änderungen vorgenommen:

- Entfall der Tabelle 7 im Anforderungsteil DIN 4109-1 und damit der stufenweisen Anforderungen in 5 dB-Schritten in Abhängigkeit von Lärmpegelbereichen zugunsten einer linearen Berechnung der Anforderungen
- Berücksichtigung eines spektral begründeten Abschlages bei Schienenlärm von pauschal 5 dB im Berechnungsteil zur Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels in DIN 4109-2

Insbesondere der pauschale Abschlag von 5 dB beim Schienenlärm rief eine Welle der Entrüstung und Diskussionen hervor, da dieser Abschlag nicht hinreichend erläutert wurde.

Für die Umsetzung der linearisierten Anforderungen in DIN 4109-1:2018-01 wird ein Wert für die Schutzbedürftigkeit der Raumart vom ermittelten maßgeblichen Außenlärmpegel L_a abgezogen, um die Anforderung an das Gesamt-Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ des Außenbauteils zu bestimmen:

$$R'_{w,ges} = L_a - K_{Raumart}$$

Mit $K_{Raumart}$ gleich

- 25 dB für Krankenhäuser und Sanatorien
- 30 dB für Wohngebäude, Übernachtungsräume in Hotels und Schulräume
- 35 dB für Büroräume

Der Mindestwert für die Schalldämmung der Gebäudehülle unabhängig von der Außenlärmbelastung bleibt weiterhin bestehen, z.B. $R'_{w,ges} \geq 30$ dB für Wohngebäude oder Büros.

Der maßgebliche Außenlärmpegel L_a wird aus dem um 3 dB erhöhten Freifeld-Beurteilungspegel L_r gebildet. Dieser wird sowohl für den Tag $L_{r,T}$ als auch die Nacht $L_{r,N}$ durch Immissionsberechnungen oder -messungen für die jeweiligen Lärmarten bestimmt. Um den höheren Anspruch auf Ruhe in der Nacht zu berücksichtigen, erhält der Nachtpegel für Räume, die überwiegend zum Schlafen genutzt werden, einen Zuschlag von 10 dB. Aus den beiden Werten wird der Maximalwert ausgewählt.

$$L_a = \text{Max} (L_{r,T} + 3 \text{ dB}; L_{r,N} + 10 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$$

Für Schienenverkehr ist der so gebildete L_a um 5 dB zu mindern, um das günstigere Frequenzspektrum dieser Verkehrsgeräusche zu berücksichtigen. Bei mehreren Lärmquellen berechnet sich der resultierende Außenlärmpegel $L_{a,res}$ als Maximalwert aus der energetischen Summe der einzelnen maßgeblichen Außenlärmpegeln $L_{a,i}$, getrennt für Tag und Nacht.

Zur vergleichenden Darstellung der resultierenden Anforderungen zwischen der DIN 4109:1989-11 und DIN 4109-1:2018-01, ist in der Abbildung 4, Abbildung 5 und Abbildung 6 für verschiedene Außenlärmszenarien das erforderliche Gesamt-Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ in Abhängigkeit des maßgeblichen Außenlärmpegels aufgetragen. Zu erkennen ist, dass bei Anwendung der neuen DIN 4109-1 keine 5 dB-Stufungen vorhanden sind. In Abhängigkeit der Außenlärmpegel in der Nacht, kann eine Erhöhung der maßgeblichen Außenlärmpegel auftreten, siehe Abbildung 6.

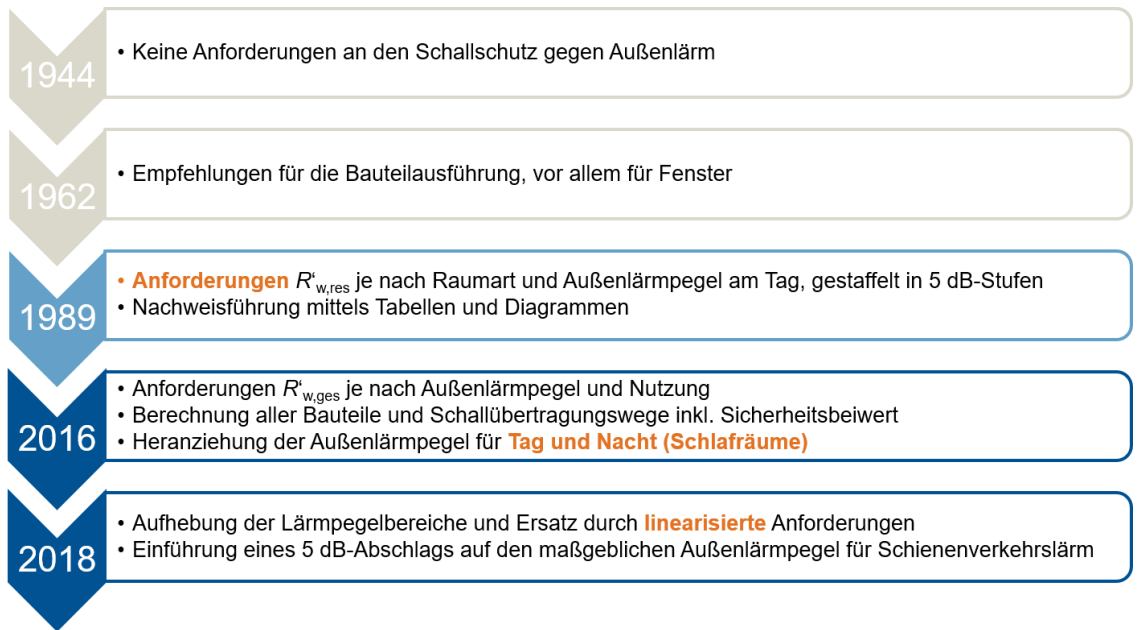


Abbildung 3. Neuerungen der verabschiedeten Fassungen der DIN 4109 zum Schallschutz gegen Außenlärm [28].

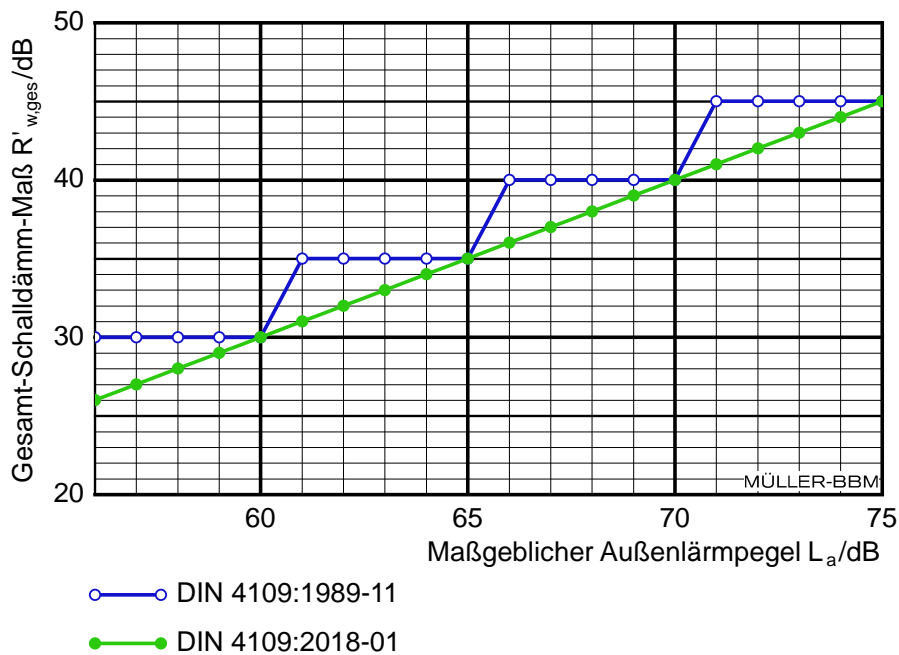


Abbildung 4. Vergleich der Anforderungen am Beispiel von Wohngebäuden, Hotels und Schulen.

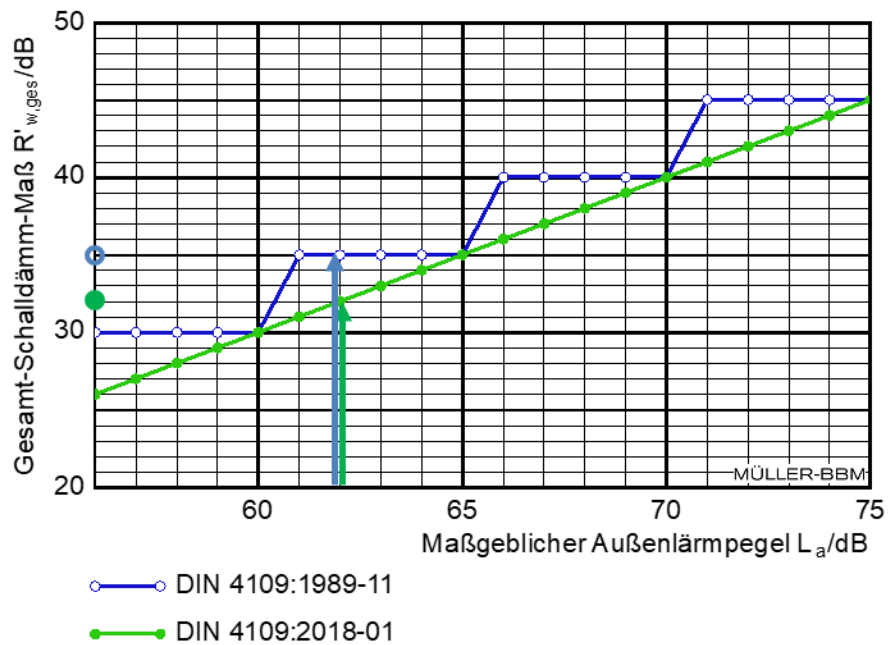


Abbildung 5. Exemplarischer Vergleich der Anforderungen am Beispiel von Schlafräumen, bei denen der Außenlärmpegel nachts um mindestens 10 dB sinkt, hier: Beurteilungspegel tags/nachts 59/49 dB(A) zzgl. 3 dB, ergibt $L_a = 59 + 3$ dB(A) = 62 dB(A). Hierdurch erfolgt kein Zuschlag auf den Maßgeblichen Außenlärmpegel. DIN 4109:1989-11: $R'_{w,ges} = 35$ dB / DIN 4109-1:2018-01: $R'_{w,ges} = 32$ dB.

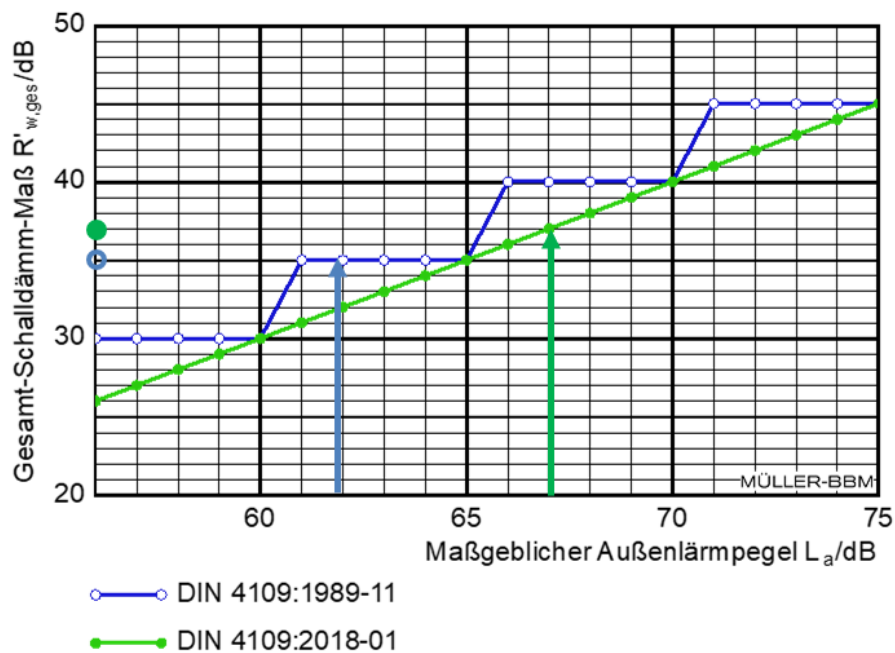


Abbildung 6. Exemplarischer Vergleich der Anforderungen am Beispiel von Schlafräumen, bei denen der Außenlärmpegel nachts lediglich um 5 dB sinkt, hier: Beurteilungspegel tags/nachts 59/54 dB(A) zzgl. 3 dB, ergibt $L_a = 54 + 10 + 3 \text{ dB(A)} = 67 \text{ dB(A)}$. Durch den Zuschlag von 10 dB auf den Nachtwert erfolgt nach DIN 4109-1:2018-01 effektiv eine Zunahme des maßgeblichen Außenlärmpegel von 5 dB und eine entsprechende Erhöhung der Anforderung an das Schalldämm-Maß. DIN 4109:1989-11: $R'_{w,ges} = 35 \text{ dB}$ / DIN 4109-1:2018-01: $R'_{w,ges} = 37 \text{ dB}$.

3 Nachweisführung zum Schallschutz gegen Außenlärm

3.1 Allgemeines

Für den Nachweis zum Schallschutz gegen Außenlärm nach DIN 4109 sind in der Regel folgende Schritte durchzuführen:

- Ermittlung der Schallemission relevanter Außengeräuschquelle (Straßen-, Schienen-, Wasser- und Flugverkehr, Gewerbe- und Industrieanlagen); für Straßen- und Schienenverkehr nach der 16. BImSchV [8].
- Zur Bestimmung des Beurteilungspegels erfolgt eine Schallausbreitungsrechnung bis vor die Außenbauteile des betreffenden Gebäudes; für Straßen- und Schienenverkehr nach dem jeweiligen Verfahren aus 16. BImSchV; bei Gewerbe- und Industrieanlagen gemäß TA Lärm nach dem Verfahren aus DIN ISO 9613-2:1999-10 [14]. Alternativ können Messungen gemäß DIN 4109-4 Anhang C vorgenommen werden
- Berechnung des maßgebliche Außenlärmpegels nach DIN 4109-2:2018-01 aus den Beurteilungspegeln, alternativ sofern relevante Pegelschwankungen bzw. Pegelspitzen vorliegen, Ermittlung auf Grundlage von DIN 4109-4 Anhang C. Sofern Schlafräume vorhanden sind, erfolgt eine Betrachtung der Beurteilungspegel getrennt für Tag und Nacht. Ggf. wird der maßgebliche Außenlärmpegel aus dem um 10 dB erhöhten Nachtwert gebildet, um das nächtliche Ruhebedürfnis für den Schlaf zu berücksichtigen. Ein 3 dB-Zuschlag ist jeweils obligatorisch, um diffusen Schalleinfall auf die Außenbauteile nachzubilden.
- Ermittlung des erforderlichen bewerteten Schalldämm-Maßes des Gesamtaußenbauteils in Abhängigkeit der vorhandenen Raumarten (z.B. Wohnraum, Unterrichtsraum) für schutzbedürftige Aufenthaltsräume nach DIN 4109-1:2018-01.

Als Schutzziel für den Innenraum bei geschlossenen Außenbauteilen können für die Mindestanforderungen der DIN 4109-1 folgende Werte für den mittleren A-bewerteten Innenschallpegel genannt werden.

Raumart	tags [dB(A)]	nachts (Schlafräume) [dB(A)]
Büro	40	–
Aufenthaltsräumen in Wohnung, Übernachtungsräume in Hotels, Unterrichtsräume	35	25
Krankenhaus und Sanatorium	30	20

Abbildung 7. Innenschallpegel in schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen, der durch Außenlärm hervorgerufen wird.

Die Werte für den Innenschallpegel entsprechen einem langzeitgemittelten A-bewerteten Schalldruckpegel bei geschlossenen Außenbauteilen, in einem üblich möblierten Aufenthaltsraum, für den Prognosehorizont der Außenlärmentwicklung.

Die Mindestanforderungen beziehen sich auf die Überprüfung des Tagzeitraums (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) als üblichen Nutzungszeitraum. Lediglich im Fall von Räumen, die bestimmungsgemäß zum Schlaf genutzt werden können (Schlafräume), erfolgt die Überprüfung zusätzlich für den Nachtzeitraum (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr). In Schlafräumen ist sicherzustellen, dass aufgrund des größeren Schutzbedürfnisses in der Nacht, die Anhaltswerte gegenüber dem Tagzeitraum um 10 dB abgesenkt sind.

Das Resultat der Nachweisführung zum Schallschutz gegen Außenlärm ist das bewertete Gesamt-Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ des Außenbauteils, das in der Regel aus Einzelbauteilen wie z.B. Fenster, Außenwand oder Dach zusammengesetzt ist. Sofern die am Bau erzielte schalltechnische Qualität angezweifelt wird, ist eine Güteprüfung des bewerteten Gesamt-Schalldämm-Maßes des Außenbauteils erforderlich und nicht die Überprüfung des Innenschallpegels.

3.2 Exemplarische Nachweisführung mit Außenbauteilen nach DIN 4109-2:2018-01

Die Nachweisführung der DIN 4109-2:2018-01 erlaubt die Handhabung von Eckräumen mit unterschiedlicher Außenlärmbelastung und verwendet eindeutige Rechenvorschriften für bewertete Schalldämm-Maße R_w und Element-Schallpegeldifferenzen $D_{n,e,w}$, jeweils als Laborwerte. In der Berechnung sind bei Anforderungen über 40 dB auch die flankierenden Bauteile innerhalb des Gebäudes berücksichtigt, sodass ungünstige Einflüsse durch eine Flankenübertragung erkennbar werden. Durch die Einführung eines Sicherheitsbeiwertes wird die Genauigkeit des Verfahrens separat deklariert. Der erweiterte Bauteilkatalog der DIN 4109-Reihe erlaubt die Verwendung von abgesicherten Daten sowohl für Fenster als auch für die opake Fassadenkonstruktion z.B. aus monolithischen Baustoffen. Es besteht die Möglichkeit System- oder Zulassungsbaustoffe mit ihren jeweiligen schalltechnischen Kennwerten aus Prüfstandmessungen in den Nachweis zu integrieren.

Nachfolgend ist ein exemplarischer Nachweis für eine Außenlärmrechnung angegeben. Der Eckraum ist dabei zwei unterschiedlichen Außenlärmpegeln ausgesetzt. Für die geplanten Außenbauteile (Wand, Fenster, Lüfter, Rolllädenkasten) werden deren Prüfwerte, d.h. das bewertete Schalldämm-Maß R_w und für kleine Elemente $\leq 1 \text{ m}^2$ die bewertete Element-Schallpegeldifferenz $D_{n,e,w}$ eingesetzt und daraus in Abhängigkeit der Geometrie das Gesamt-Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ berechnet.

Untersuchungsobjekt:		Außenlärmpegel (In dB):		Bauteile		
BV	Musterhaus	Orientierung	maßgeblicher AL-Pegel in dB	Bezeichnung		
Haus Nr.	MFH	Nord	65	Wand	R _w	50 dB
Wohnung Nr.	Musterwohnung	Ost	68	Fenster	R _w	37 dB
Etage	DG			Lüfter	D _{n,e,w}	45 dB
Raumnutzung	Schlafen			Fenstertür	R _w	35 dB
				Rolllädenkasten	D _{n,e,w}	48 dB
				Dach	R _w	-
				Dachflächenfenster	R _w	-

Raumart:	
<input type="radio"/>	Betriebsräume in Werkhäusern und Sanatorien
<input checked="" type="radio"/>	Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsbetrieben, Unterrichtsäume und Ähnliches
<input type="radio"/>	Bürosräume und Ähnliches

Grundfläche Raum:	
	17,5 m ²

Nr.	Orientierung	Bauteil	Länge (in m)	Hohe (in m)	Fläche brutto (in m ²)	abziehen von	Fläche netto (in m ²)	R _w /D _{n,e,w} (in dB)	K _{flank} (in dB)	R _{flank} (in dB)	I _{lab} in m für D _{n,e,w}
1	Ost	Wand	3,69	2,48	9,14		6,37	50	0	55,2	
2	Ost	Fenster	1,64	1,35	2,21	1	2,21	37	0	46,8	
3	Ost	Rolllädenkasten	1,84	0,30	0,55	1	0,55	46	0	49,5	1,25
4	Ost	Lüfter						45	0	48,2	
5	Nord	Wand	4,77	2,48	11,83		9,90	50	3	56,3	
6	Nord	Fenster	1,14	1,35	1,53	5	1,53	37	3	51,4	
7	Nord	Rolllädenkasten	1,34	0,30	0,40	5	0,40	48	3	53,9	1,25
							20,97 m ²				

K _{AL}	1,8 dB
R _{w,gesamt}	30 dB
erforderliches R' _{w,gesamt}	38,0 dB
R' _{w,gesamt}	41,9 dB

Nachweis:	R' _{w,gesamt} - 2 dB	erf. R' _{w,gesamt} + K _{AL}
	39,9 dB	39,8 dB
	erfüllt	

Abbildung 8. Exemplarische Berechnung zum Nachweis des Schallschutzes gegen Außenlärm für vorgegebene maßgebliche Außenlärmpegel.

Das um den Sicherheitsbeiwert von 2 dB verminderte Gesamt-Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ muss dann mindestens der raumbezogenen Anforderung entsprechen. Die Anforderung ergibt sich aus dem maßgeblichen Außenlärmpegel an der lautesten Fassade abzüglich der Raumart $K_{Raumart}$ (hier: 30 dB für Wohnräume) zuzüglich der Raumkorrektur K_{AL} zur Berücksichtigung der Raumgeometrie. Wenn der Nachweis erfüllt ist, wird für den maßgeblichen Außenlärm sichergestellt, dass eine ausreichende Gesamtschalldämmung vorhanden ist, sodass die hinter den Anforderungen stehenden Anhaltswerte an den Innenschallpegel nicht überschritten werden.

3.3 Randbedingungen für eine frequenzabhängige Nachweisführung

Die erforderliche Schalldämmung des Außenbauteils wäre sowohl vom Außenlärm als auch von der indirekten Zielsetzung an einen Innenschallpegel abhängig. Sowohl die Schallemission der Außenlärmquelle als auch die Schallausbreitungsrechnung weist unterschiedliche Frequenzabhängigkeiten auf. Der Außenlärm wird durch Außenbauteile vermindert, die ebenfalls eine frequenzabhängige Schalldämmung zeigen. Insofern besteht die Fragestellung, ob für den Nachweis zum Schallschutz gegen Außenlärm durchgängig frequenzabhängig gerechnet werden kann, statt bislang vereinfacht auf der Grundlage von A-bewerteten Schalldruckpegeln und dem bewerteten Schalldämm-Maß R'_w als bauakustische Einzahlangabe in Kombination mit Korrektursummanden zu arbeiten.

Die für den Schallschutznachweis relevanten Regelwerke wurden durchgesehen und geprüft, ob eine Anwendung für ein frequenzabhängiges Berechnungsverfahren möglich ist.

Nachfolgende Regelwerke basieren auf einem frequenzabhängigen Berechnungsverfahren in Oktavbändern:

- *Straßen-, Schienen- und Flugverkehr:*
CNOSSOS-EU [36] als Grundlage für die Lärmaktionsplanung
- *Schieneverkehr:*
Schall 03 in Anlage 2 zur 16. BImSchV [8]
- *Flugverkehr:*
DIN 45684-1 für Landeplätze [15]
- *Industrie- und Gewerbe:*
TA Lärm unter Berücksichtigung der detaillierten Prognose nach Anhang A.2.3 [16]
- *Ausbreitungsrechnung:*
Berechnungsverfahren für die Schallausbreitung im Freien nach DIN ISO 9613-2 [14]

Folgende Regelwerke basieren auf der Berechnung ausschließlich mit A-bewerteten Schallpegeln und erlauben keine frequenzabhängige Berechnung:

- *Straßenverkehr:* RLS 19 (ebenso wie die derzeit noch eingeführte RLS 90 nach Anlage 1 zur 16. BImSchV) [17]

Hieraus ergibt sich folgende Schlussfolgerung:

- Mit Ausnahme des Straßenverkehrs kann für relevante Außenlärmarten eine frequenzabhängige Ermittlung des Beurteilungspegels auf Oktavbasis an den Außenbauteilen durchgeführt werden. Der Einschnitt zu Straßenverkehr als eine der wesentlichen Außenlärmarten ist jedoch so empfindlich, dass es derzeit nicht sinnvoll erscheint, eine frequenzabhängige Nachweisführung für den Schallschutz gegen Außenlärm weiter zu verfolgen.
- Im Hinblick auf frequenzabhängige Anforderungen ist darüber hinaus festzustellen, dass die DIN 4109 in der aktuellen Fassung ebenfalls auf der Grundlage des vereinfachten Verfahrens auf der DIN EN ISO 12354 basiert. Hierbei wird mit bauakustischen Einzahlangaben nach DIN EN ISO 717-1 [18] gerechnet, d.h. für Außenbauteile mit dem bewerteten Schalldämm-Maß R'_w .

3.4 Einbindung von Spektrum-Anpassungswerten C und C_{tr}

Die Kennzeichnung der Schalldämmung von Außenbauteilen durch Einzahlangaben nach DIN EN ISO 717-1 [18] erfolgt unter anderem auch mit der Zusatzangabe von Spektrum-Anpassungswerten C bzw. C_{tr}. Hierzu sind in der Norm zugehörige Geräuschquellen angegeben.

Spektrum-Anpassungswerte wurden mit der Fortschreibung der DIN EN ISO 717 erstmals im Jahr 1997 eingeführt. Im Fall der Luftschalldämmung sind dies der C- und der C_{tr}-Wert. Sie beziehen sich auf jeweils ein exemplarisches relatives Spektrum.

Art der Geräuschquelle	Entsprechender Spektrum-Anpassungswert
Wohnaktivitäten (Unterhaltung, Musik, Radio, TV) Spielende Kinder Schienenverkehr bei mittlerer und hoher Geschwindigkeit ^a Autobahnverkehr > 80 km/h ^a Düsenflugzeug in geringem Abstand Betriebe, die überwiegend mittel- und hochfrequente Geräusche abstrahlen	C (Spektrum Nr 1)
Städtischer Straßenverkehr Schienenverkehr bei geringer Geschwindigkeit ^a Propellerflugzeug Düsenflugzeug in großem Abstand Discomusik Betriebe, die überwiegend nieder- und mittelfrequente Geräusche abstrahlen	C _{tr} (Spektrum Nr 2)

Abbildung 9. Zuordnung der Art der Geräuschquelle zu den beiden Spektrums-Anpassungswerten (Auszug aus DIN EN ISO 717-1, Tabelle A.1).

Die Spektrum-Anpassungswerte sollen die schalldämmende Wirkung von Bauteilen unter Berücksichtigung der Geräuschcharakteristik der angegebenen Geräuschquelle präziser beschreiben [25]. Insbesondere der Spektrum-Anpassungswert C_{tr} steht hier im Fokus, da dieser Wert im Rahmen von Einsprüchen zur DIN 4109 wiederholt genannt wurde. Das zu diesem Wert gehörige Spektrum entspricht dem standardisierten Straßenverkehrsspektrum aus DIN EN 1793-3:1997-11 [11].

Die Untersuchungen z.B. in den Masterarbeiten [29] [30] zeigte jedoch anhand üblicher Fensterkonstruktionen (Einfach-, Verbund- und Kastenfenster) nicht durchgängig den erhofften Vorteil. Anhand der nachfolgenden Abbildung ist zu erkennen, dass das mit dem C_{tr}-Wert Spektrum Nr. 2, nicht zu den erfassten Außenlärm-spektren für Straßen- und Schienenverkehr passt und deutlich zu tiefenbetont ist.

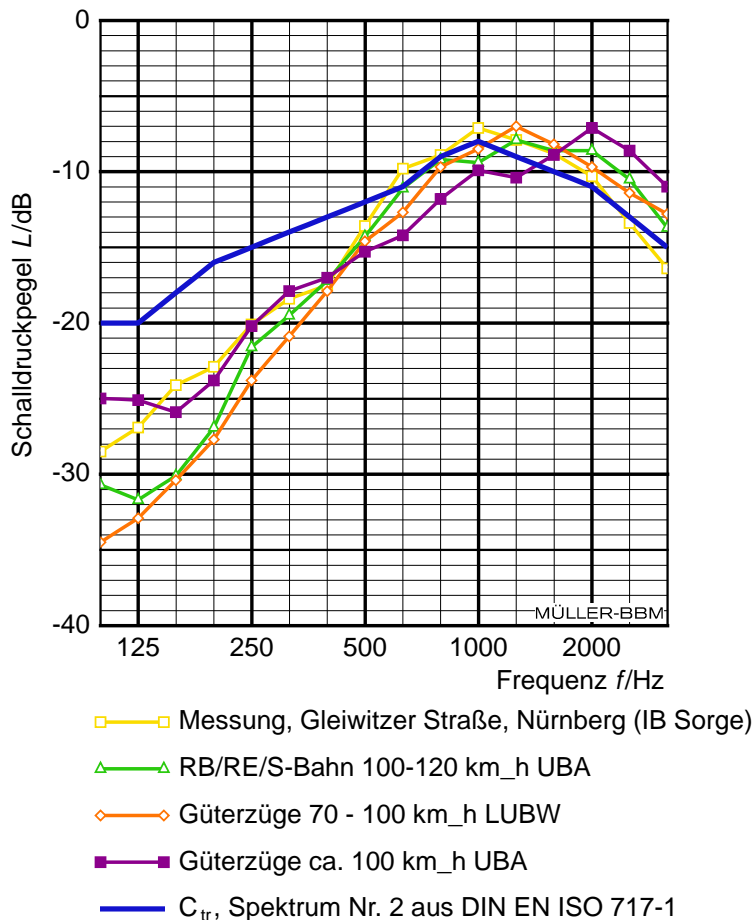


Abbildung 10. Vergleich des Spektrum Nr. 2 zu C_{tr} mit exemplarischen Außenlärmspektren.

Die Abweichung ist mit der Herkunft zu erklären. So basiert das relative Spektrum für C_{tr} auf Messungen, die vor 35 Jahren Mitte der 1980er Jahren in Skandinavien durchgeführt wurden. Das Spektrum entspricht dem Referenzspektrum A1 einer Nordtest-Methode aus 1987, das durch 18 Messungen an innerstädtischen Straßen in Kopenhagen und Göteborg bei 50 km/h und ca. 10% Schwerlastanteil ermittelt wurde [13]. Zu weiteren Hintergründen sei auf [25] verwiesen. Die Abweichungen können durch außergewöhnlich hohen Schwerlastanteil und vermutlich regelmäßig aufgetretene Beschleunigungsvorgänge im innerstädtischen Bereich bei einer aus heutiger Sicht veralteten Fahrzeugflotte erklärt werden.

3.5 Fazit

Die frequenzabhängige Nachweisführung für den Schallschutznachweis gegen Außenlärm erscheint aus heutiger Sicht aufgrund fehlender spektraler Berechnungsmöglichkeiten für den Straßenverkehr als derzeit nicht geeignet. Die Eignung der 1997 eingeführten Spektrum-Anpassungswerte bedarf einer genaueren Überprüfung im Hinblick auf die unterschiedlichen Außenlärmsituationen.

4 Systematik bei der Überprüfung von Korrektursummanden von Außenlärmarten

4.1 Allgemeines

Derzeit werden in der Praxis vor allem die heranzuziehenden Korrektursummanden kontrovers diskutiert. Diese werden in den Regelwerken üblicherweise transparent und klar angegeben. Im Fall der DIN 4109 ist ein Wert von 5 dB zur Vereinfachung ohne gesonderte Deklaration im Term K_{Raumart} enthalten.

Korrektursummanden sind erforderlich, da das bewertete Schalldämm-Maß R'_w nicht der A-Schallpegeldifferenz entspricht. Typischerweise sind Bauteile im unteren bauakustischen Frequenzbereich weniger schalldämmend als im oberen Frequenzbereich. Insofern werden Geräusche mit hohem tieffrequenten Pegelanteil weniger gut gedämmt. Cremer sowie Gösele sind in den 1960er-Jahren analog zur mittleren ungünstigen Abweichung der Bezugskurve nach DIN EN ISO 717-1 [18] von einem 2 dB Abschlag auf das bewertete Schalldämm-Maß R'_w ausgegangen [21] [22] [23]. Die Abbildung 11 zeigt diesen Zusammenhang für ein Rosa Rauschen, das A-bewertet ist und einem Summenpegel von $L_{a,\text{sum}} = 80$ dB(A) entspricht. Als Schalldämm-Maße wurde vereinfacht die Bezugskurve der ISO 717-1 herangezogen, deren bewertetes Schalldämm-Maß bei der erforderlichen mittleren Abweichung von 2 dB nach DIN EN ISO 717-1 hier $R'_w = 54$ dB entspricht. Die Differenz des Schalldämm-Maßes vom Summenpegels beträgt 80 dB(A) – 54 dB = 26 dB(A). Die frequenzabhängige Berechnung führt hingegen zu einem Wert von 28 dB(A). In diesem Fall beträgt der Korrektursummand 2 dB, der auf die Differenz der Einzulangaben aufzuschlagen ist, um das Ergebnis der frequenzabhängigen Berechnung nachzubilden. Dieser Abschlag ist gültig, wenn von einem Rosa Rauschen zwischen 100 Hz bis 3.150 Hz ausgegangen wird, da sich die Bewertungskurve aus ISO 717-1 an der A-Bewertungskurve orientiert.

Im Fall des Außenlärms mit unterschiedlichen Schallspektren aufgrund unterschiedlicher Quellen z.B. durch Verbrennungsmotoren, Reifen-Fahrbahn-Geräuschen, Flugzeugturbinen oder Schiene-Rad-Quelle von Schienenfahrzeugen gelingt die vereinfachte Arithmetik mit einem bewerteten Schalldämm-Maß zur Berechnung eines Innenpegels nur eingeschränkt. Im Prinzip werden Kategorien für Außenlärmarten mit unterschiedlichen Korrektursummanden angewendet, die jeweils vergleichbare Frequenzverteilungen aufweisen.

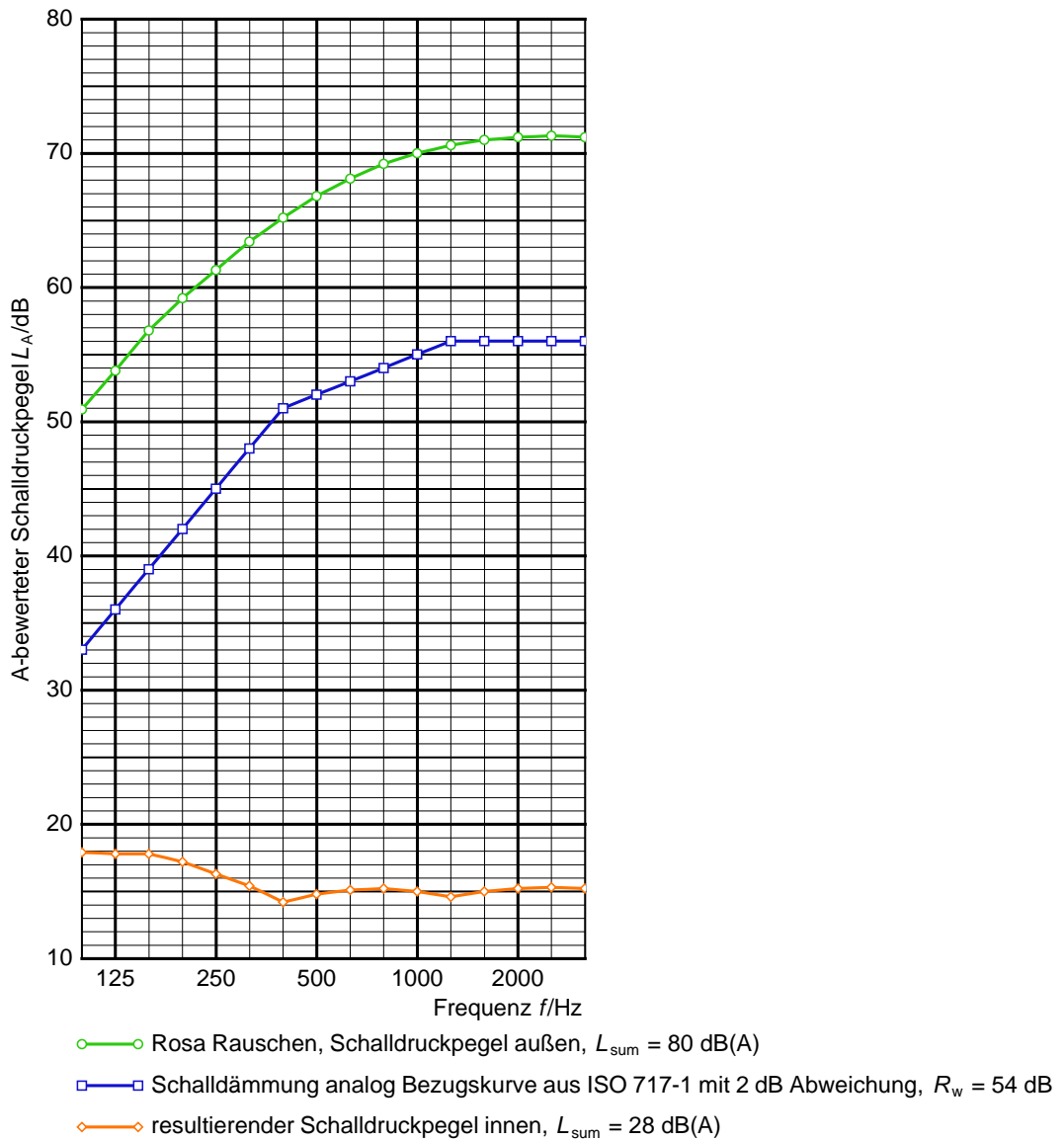


Abbildung 11. Ein Rosa Rauschen führt mit der Bewertungskurve nach ISO 717-1 als *Referenzschalldämm-Maß* zu einem Korrektursummanden von 2 dB, der auf die Pegeldifferenz aufgeschlagen werden muss, um das bewertete Schalldämm-Maß zu erhalten.

Entsprechende Korrektursummanden sind zum Beispiel in der VDI 2719 sowie in der 24. BImSchV [8] zu finden, die auf den Beurteilungspegel aufgeschlagen werden.

Tabelle 11. Exemplarische Korrektursummanden für Verkehrswege nach 24. BImSchV [8].

Verkehrswege	E in dB
Straßen im Außerortsbereich	3
Innerstädtische Straßen	6
Schienenwege von Eisenbahnen allgemein	0
Schienenwege von Eisenbahnen, bei denen im Beurteilungszeitraum mehr als 60 % der Züge klotzgebremste Güterzüge sind, sowie Verkehrswege der Magnetschwebebahnen	2
Schienenwege von Eisenbahnen, auf denen in erheblichem Umfang Güterzüge gebildet oder zerlegt werden	4
Schienenwege von Straßenbahnen nach § 4 PBefG	3

4.2 Vorgehen bei der Auswertung von Korrektursummanden

Für die Auswertung der Korrektursummanden wird wie folgt vorgegangen:

- Vorzugsweise werden Außenlärmspektren aus Regelwerken verwendet. Ergänzend werden Spektren für exemplarische Außenlärmsituationen durch verfügbare Messungen ermittelt.
- Aufgrund der Vielfalt von Außenbauteilen, wird zum einen die Bezugskurve nach DIN EN ISO 717-1 als „Bezugs-Schalldämmkurve“ herangezogen und zum anderen ein Schalldämm-Spektrum mit einem Einbruch bei hohen Frequenzen und ein weiteres Schalldämm-Spektrum mit einem Einbruch der Schalldämmung bei tiefen Frequenzen verwendet. Hierdurch soll ein großer Teil der Bandbreite von in der Praxis auftretenden Außenbauteile abgebildet werden:

Einbruch oben:

Entspricht z.B. einem Fenster, das einen Koinzidenzeinbruch bei hohen Frequenzen aufweist, oder Außenbauteile mit Undichtigkeiten durch Lüftungseinrichtungen bzw. Fensterlüfter, auch sog. „Hafency-Fenster“

Einbruch unten:

Entspricht einem Außenbauteil mit ausgeprägter Masse-Feder-Masse-Resonanz bei tiefen Frequenzen. Somit werden z.B. Steildachkonstruktionen, leichte zweischalige Außenwände oder Wände mit WDVS abgebildet.

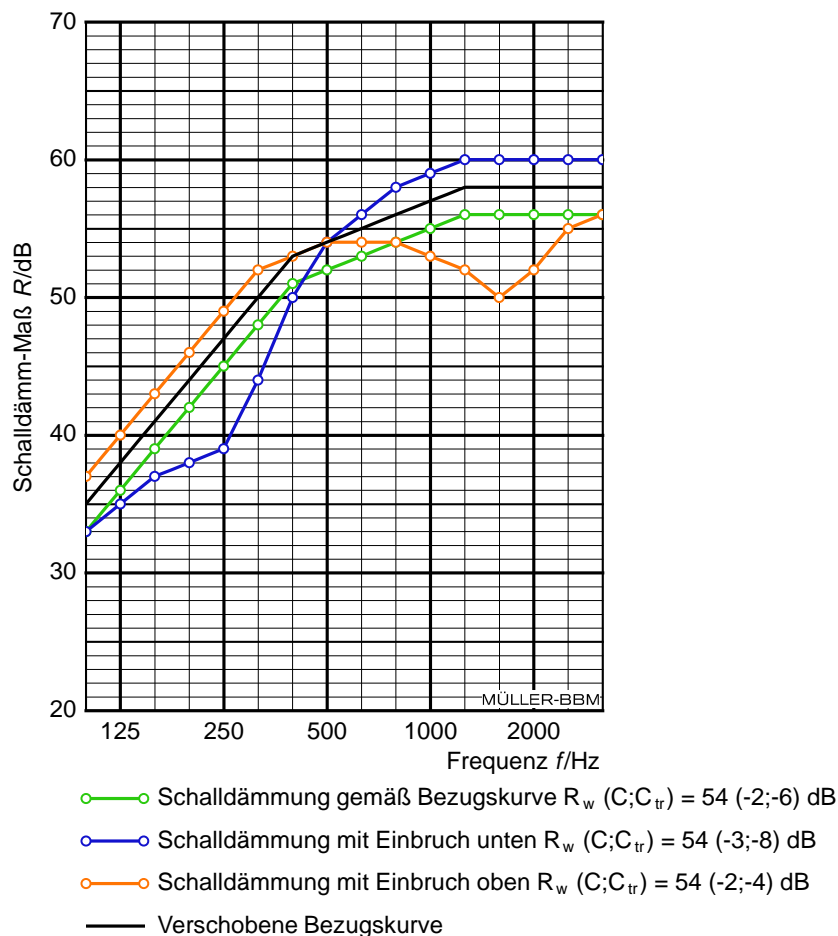


Abbildung 12. Herangezogene Referenzschalldämmkurven zur Bestimmung der Korrektursummanden.

- Der Korrektursummand K wird dann aus den Einzelangaben L_a , L_i , R'_w und den frequenzabhängigen Pegeln $L_a(f)$, $L_i(f)$ und Schalldämm-Maßen $R'(f)$ mit folgender Formel bestimmt:

$$K = L_i - \sum L_i(f) = L_a - R'_w - \sum L_i(f) = L_a - R'_w - (\sum [L_a(f) - R'(f)])$$

Die Auswertung erfolgte für den bauakustischen Frequenzbereich nach DIN 4109 zwischen 100 Hz und 3.150 Hz.

5 Auswertung Straßenverkehrslärm

5.1 Allgemeines

Zur Untersuchung der Auswirkung von Straßenverkehrslärm auf den Innenpegel in Abhängigkeit des bewerteten Schalldämm-Maßes der Außenbauteile, werden nachfolgend folgende prinzipielle messtechnische Untersuchungen bzw. Angaben zu Geräuschspektren herangezogen:

- Geräuschspektren aus dem europäischen Prognosemodell zu Straßenverkehr „Common Noise Assessment Methods in Europe“, Appendix III-A, kurz: CNOSSOS-EU, herausgegeben 2012 [36].
- Messungen Müller-BBM im Auftrag des Umweltbundesamtes, durchgeführt im Jahr 2013 [33].
- Messungen Isabel Fischer, Stuttgart, durchgeführt im Rahmen einer Masterarbeit im Jahr 2018 [30].
- Messungen Martin Gierens, München, durchgeführt im Rahmen einer Masterarbeit im Jahr 2019 [28].
- Messungen von Akustik-Ingenieurbüro Moll, Berlin, durchgeführt im Jahr 2019 [40].
- Messungen Weinzierl, durchgeführt im Rahmen einer Bachelorarbeit im Jahr 2019 [34].

Die Ergebnisse der Auswertungen sind nachfolgend zusammengestellt.

5.2 Auswertung CNOSSOS-EU

5.2.1 Herkunft der Daten

Die Daten stammen aus dem europäischen Prognosemodell für Straßenverkehrslärm CNOSSOS-EU. Sie wurden vom Umweltbundesamt als Oktavspektren nach Appendix III-A aus [36] ermittelt und bereitgestellt. Hierbei wird hinsichtlich der Straßen unterschieden zwischen Asphaltbeton und einem offenporigen Asphalt. Die Fahrzeuge werden in drei Kategorien eingeordnet.

5.2.2 Auswertung

Tabelle 12. Korrektursummanden in dB, Asphaltbeton, Datenquelle CNOSSOS-EU.

Außenlärmsituation Passenger Cars	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
≤ 30 km/h	1,4	2,1	1,8
≤ 40 km/h	0,7	0,7	1,7
≤ 50 km/h	0,3	-0,1	1,6
≤ 60 km/h	0,1	-0,6	1,6
≤ 70 km/h	-0,1	-1,1	1,5
≤ 80 km/h	-0,2	-1,2	1,6
≤ 90 km/h	-0,2	-1,3	1,6
≤ 100 km/h	-0,2	-1,3	1,6
≥ 101 km/h	-0,2	-1,3	1,6

Tabelle 13. Korrektursummanden in dB, Asphaltbeton, Datenquelle CNOSSOS-EU.

Außenlärmsituation Medium heavy vehicles	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
≤ 30 km/h	2,5	4,6	2,0
≤ 40 km/h	2,1	3,8	1,7
≤ 50 km/h	1,7	3,0	1,6
≤ 60 km/h	1,4	2,5	1,5
≤ 70 km/h	1,2	2,1	1,4
≤ 80 km/h	1,1	1,9	1,4
≤ 90 km/h	1,1	1,7	1,4

Tabelle 14. Korrektursummanden in dB, Asphaltbeton, Datenquelle CNOSSOS-EU.

Außenlärmsituation Heavy duty vehicles	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
≤ 30 km/h	3,2	5,1	2,0
≤ 40 km/h	2,7	4,4	1,8
≤ 50 km/h	2,3	3,7	1,7
≤ 60 km/h	2,0	3,2	1,6
≤ 70 km/h	1,5	2,3	1,4
≤ 80 km/h	1,2	1,7	1,4
≤ 90 km/h	1,0	1,3	1,4

Tabelle 15. Korrektursummanden in dB, offenporiger Asphalt, Datenquelle CNOSSOS-EU

Außenlärmsituation Passenger Cars	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
≤ 70 km/h	1,3	1,7	1,6
≤ 80 km/h	1,3	1,6	1,7
≤ 90 km/h	1,3	1,6	1,7
≤ 100 km/h	1,3	1,6	1,7
≥ 101 km/h	1,3	1,7	1,7

Tabelle 16. Korrektursummanden in dB, offenporiger Asphalt, Datenquelle CNOSSOS-EU.

Außenlärmsituation Medium heavy vehicles	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
≤ 70 km/h	2,7	4,9	1,8
≤ 80 km/h	2,8	5,0	1,8
≤ 90 km/h	2,9	5,2	1,8

Tabelle 17. Korrektursummanden in dB, offenporiger Asphalt, Datenquelle CNOSSOS-EU.

Außenlärmsituation Heavy duty vehicles	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
≤ 70 km/h	3,1	5,1	1,8
≤ 80 km/h	2,9	4,8	1,7
≤ 90 km/h	2,8	4,7	1,7

\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\143\M143131\143131_02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021

5.3 Messungen Müller-BBM im Auftrag des UBA

5.3.1 Herkunft der Daten

Die Schallpegelmessungen bei Vorbeifahrt von Kfz wurden im Jahr 2013 im Rahmen eines Forschungsvorhabens durch Müller-BBM im Auftrag des Umweltbundesamtes ermittelt. Die Messungen wurden an insgesamt 30 Messpunkten für jeweils mind. 1.000 Fahrzeuge durchgeführt. Insgesamt wurden also ca. 30.000 Fahrzeuge (Pkw, Lkw, Motorräder) gemessen. Da der Einfluss von Fahrzeugeigenschaften auf die Vorbeifahrgeräusche im Fokus stand, wurden die Messungen durchwegs auf nicht beschädigten oder geräuschmindernden Fahrbahnbelägen durchgeführt, die zum Zeitpunkt der Messungen dem Stand der Technik entsprachen. Die Messpunkte unterschieden sich hinsichtlich Steigung, zulässiger Höchstgeschwindigkeit und Fahrverhalten (Konstantfahrt, beschleunigte Vorbeifahrt). Zusätzlich zur akustischen Messung wurden die meteorologischen Randbedingungen, die Fahrzeuggeschwindigkeit, der Abstand zum Messmikrofon (bei Motorrädern) und das amtliche Kennzeichen des Fahrzeuges aufgezeichnet. Über die amtlichen Kennzeichen und einer Datenabfrage beim Kraftfahrt-Bundesamt konnte zu jeder gemessenen Vorbeifahrt, die technischen Daten des Fahrzeugs ermittelt werden. Weitere detailliertere Angaben und die ermittelten Schallpegel-Spektren sind im entsprechenden Forschungsbericht [33] enthalten.

5.3.2 Auswertung

Tabelle 18. Korrektursummanden für Außenlärmsituationen des Straßenverkehrs.

Außenlärmsituation	Bezugsschall- dämm- Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
20 – 30 km/h konstant	2,2	3,5	2,2
30 – 40 km/h konstant	1,4	2,2	2,0
40 – 50 Km/h konstant	0,6	0,4	1,8
50 – 60 km/h konstant	-0,1	-1,2	1,7
60 – 70 km/h konstant	-0,4	-2,0	1,7
70 – 80 km/h konstant	-0,5	-2,2	1,8
90 – 100 km/h konstant	-0,5	-2,1	1,9
110 – 120 km/h konstant	-0,5	-2,0	2,0
120 – 130 km/h konstant	-0,4	-1,6	2,1

Außenlärmsituation	Bezugsschall- dämm- Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
130 – 140 km/h konstant	-0,3	-1,5	2,1
140 – 150 km/h konstant	-0,1	-0,9	2,1
20 – 30 km/h beschleunigt	2,9	4,4	2,6
30 – 40 km/h beschleunigt	2,4	3,6	2,4
40 – 50 km/h beschleunigt	1,8	2,6	2,2
50 – 60 km/h beschleunigt	1,1	1,4	2,0
60 – 70 km/h beschleunigt	0,9	0,9	2,0
Beschleunigung (30 – 50 km/h) Lkw ≤ 3,5 t	2,2	3,3	2,3
Konstantfahrt (80 – 100 km/h) Lkw ≤ 3,5 t	0,0	-1,1	1,9
Konstantfahrt (100 – 130 km/h) Lkw ≤ 3,5 t	0,0	-1,0	1,9
Beschleunigung (30 – 50 km/h) 3,5 t < Lkw ≤ 12 t	4,0	5,7	2,9
Konstantfahrt (80 – 100 km/h) 3,5 t < Lkw ≤ 12 t	0,5	-0,4	1,6
Beschleunigung (30 – 50 km/h) Lkw > 12 t	4,3	5,9	2,9
Konstantfahrt (80 – 100 km/h) Lkw > 12 t	0,2	-1,4	1,2

5.4 Messungen Fischer, Stuttgart

5.4.1 Herkunft der Daten

Die Straßenverkehrslärm-Spektren wurden im Rahmen einer Masterarbeit von Frau Isabel Fischer im Jahr 2018 an exemplarischen inner- und außerstädtischen Straßen im Großraum Stuttgart ermittelt. Die Messpositionen sind im Abschnitt 5 der Masterarbeit [79] dokumentiert.

5.4.2 Auswertung

Die Korrektursummanden für die messtechnisch ermittelten Außenlärm-Spektren und die drei Referenzschalldämm-Spektren sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 19. Korrektursummanden in dB für exemplarische Außenlärmsituationen des Straßenverkehrs.

Außenlärmsituation	Bezugsschalldämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm-Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm-Spektrum hochfrequenter Einbruch
Stadtstraße 30 km/h 2 Fahrstreifen	5,4	6,6	3,7
Stadtstraße 30 km/h 2 Fahrstreifen Kreuzung	6,1	7,6	3,9
Stadtstraße 50 km/h 2 Fahrstreifen	3,8	4,9	2,9
Stadtstraße 50 km/h 4 Fahrstreifen	2,2	3,0	2,2
Landstraße 100 km/h 2 Fahrstreifen	1,0	1,1	2,1
Bundesstraße 120 km/h 4 Fahrstreifen	1,7	1,7	2,3
Autobahn keine Geschwindigkeitsbegrenzung 6 Fahrstreifen	0,3	-0,4	2,0
Autobahn 120 km/h 6 Fahrstreifen, OPA	3,7	4,8	2,1

5.5 Messungen Gierens, München

5.5.1 Herkunft der Daten

Die Messdaten wurden im Rahmen der Durchführung einer Masterarbeit ermittelt [78]. Die Messungen erfolgten sowohl an innerstädtischen als auch an außerstädtischen Straßen im Großraum München. Die Messungen wurden im Februar 2019 durchgeführt.

5.5.2 Auswertung

Tabelle 20. Korrektursummanden für exemplarische Außenlärmsituationen des Straßenverkehrs.

Außenlärmsituation	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
Autobahn	0,6	0,1	2,0
Schnellstraße	0,5	0,0	2,1
Stadtstraße	1,3	1,5	2,2

Allgemeine Feststellung in der Masterarbeit Gierens:

- Gleichmäßig fließender Straßenverkehr für im Allgemeinen zu niedrigen K -Werten. Verzögerter bzw. beschleunigter Straßenverkehr, z. B. im Bereich von Kreuzungen mit Ampelanlagen, führt im Vergleich zu gleichmäßigem Verkehr zu ansteigenden Korrektursummanden.

5.6 Messungen Akustik-Ingenieurbüro Moll, Berlin

5.6.1 Herkunft der Daten

Die Messungen wurden im Mai – Juli 2019 im Großraum Berlin durch Mitarbeiter des Akustik-Ingenieurbüros Moll durchgeführt. Für Straßenverkehrslärm wurden an insgesamt 18 Messpositionen Messungen durchgeführt. Detaillierte Angaben zu den Messpositionen und Messergebnissen sind in [39] enthalten. Hieraus wurden drei Kategorien gebildet, die nachfolgend ausgewertet wurden.

5.6.2 Auswertung

Tabelle 21. Korrektursummanden für exemplarische Außenlärmsituationen des Straßenverkehrs.

Außenlärmsituation	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
Straße 30 km/h	5,9	7,7	3,8
Straße 50 km/h	3,7	4,8	2,8
Autobahn	1,3	1,1	2,2

Weitere Feststellung:

Im Zuge der Messungen im Großraum Berlin wurden auch Messpositionen untersucht, die seinerzeit bei den Untersuchungen im Jahre 1985 gemessen wurden. Hierbei zeigt sich, dass die ausgewerteten Korrektursummanden gegenüber der Situation von 1985 sich im Mittel um 2,2 dB vermindert haben. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im normierten Schallpegel-Spektrum von Straßenverkehrslärm der Pegelanteil im tieffrequenten Frequenzbereich abgenommen hat.

5.7 Messungen Weinzierl, ifb Sorge, Nürnberg

5.7.1 Herkunft der Daten

Die Schallpegelspektren wurden im Zeitraum Mai – Juli 2019 an stark befahrenen Straßen in Nürnberg ermittelt [34]. Die Messungen erfolgten im Rahmen der Bachelorarbeit von Herrn Weinzierl an der Hochschule Mittweida und der Betreuung von Mitarbeitern des Ingenieurbüros für Bauphysik Wolfgang Sorge. Sämtliche untersuchten Straßen waren für eine höchst zulässige Geschwindigkeit von 50 km/h zugelassen. Neben zweispurigen Straßen wurden vierspurige Straßen einbezogen.

5.7.2 Auswertung

Tabelle 22. Korrektursummanden für exemplarische Außenlärmsituationen des Straßenverkehrs.

Außenlärmsituation	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
Frankenstraße, Nürnberg, 50 km/h 4 Streifen	6,5	8,0	4,2
Fürther Straße, Nürnberg, 50 km/h 2 Streifen	4,7	5,6	3,4
Gleiwitzer Straße, Nürnberg, 50 km/h 2 Streifen	1,7	2,1	2,1
Leyher Straße, Nürnberg, 50 km/h 4 Streifen	3,2	3,9	2,7
Nordring, Nürnberg, 50 km/h 4 Streifen	0,6	-0,2	2,1
Nürnbergerstraße, Stein, 50 km/h 4 Streifen	1,7	2,4	2,1
Passauerstraße, Nürnberg, 50 km/h 4 Streifen	2,9	4,1	2,6

5.8 Zusammenfassung zur Auswertung Straßenverkehrslärm

Aus den exemplarisch ermittelten Korrektursummanden wurden jeweils die Mittelwerte ermittelt und die vorhandene Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe berechnet. Diese Werte sind nachfolgend zusammengefasst.

Tabelle 23. Zusammenfassung der Korrektursummanden für Straßenverkehr.

Datensatz	Auswertung Bezugsschall- dämm- Spektrum ISO 717-1 Mittelwert/ Standard- abweichung	Auswertung Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Auswertung Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch	Auswertung der drei angegebenen Schalldämm- Spektren Mittelwert/ Standard- abweichung
CNOSSOS- EU Asphaltbeton 1)	1,2 dB ($\sigma=1,0$ dB)	1,6 dB ($\sigma=2,1$ dB)	1,6 dB ($\sigma=0,2$ dB)	1,5 dB ($\sigma=1,3$ dB)
CNOSSOS- EU offenporiger Asphalt 1)	2,2 dB ($\sigma=0,8$ dB)	3,4 dB ($\sigma=1,7$ dB)	1,7 dB ($\sigma=0,1$ dB)	2,4 dB ($\sigma=1,3$ dB)
UBA 1)	0,9 dB ($\sigma=1,5$ dB)	0,7 dB ($\sigma=2,6$ dB)	2,1 dB ($\sigma=0,4$ dB)	1,2 dB ($\sigma=1,8$ dB)
Fischer	3,0 dB ($\sigma=2,1$ dB)	3,7 dB ($\sigma=2,8$ dB)	2,7 dB ($\sigma=0,8$ dB)	3,1 dB ($\sigma=2,0$ dB)
Gierens	0,8 dB ($\sigma=0,4$ dB)	0,5 dB ($\sigma=0,8$ dB)	2,1 dB ($\sigma=0,1$ dB)	1,1 dB ($\sigma=0,9$ dB)
Büro Moll	3,6 dB ($\sigma=2,3$ dB)	4,5 dB ($\sigma=3,3$ dB)	2,9 dB ($\sigma=0,8$ dB)	3,7 dB ($\sigma=2,2$ dB)
Weinzierl	3,0 dB ($\sigma=2,0$ dB)	3,7 dB ($\sigma=2,6$ dB)	2,7 dB ($\sigma=0,8$ dB)	3,2 dB ($\sigma=1,9$ dB)

1) Die Mittelwertbildung wurde ohne Gewichtung der Verkehrszusammensetzung bezüglich Fahrzeuggattungen vorgenommen.

6 Auswertung Schienenverkehrslärm

6.1 Allgemeines

Zur Untersuchung der Innenpegel bei Schienenverkehrslärm in Abhängigkeit des bewerteten Schalldämm-Maßes der Außenbauteile, werden die nachfolgend angegebenen Quellen für Geräuschspektren herangezogen:

- Geräuschspektren aus dem Berechnungsverfahren nach Anhang 2 der 16. BImSchV („Schall 03“) [8].
- Messungen, die durch das UBA im Jahr 2019 durchgeführt wurden sowie Messungen des LfULG sowie LUBW, die über das UBA zur Verfügung gestellt wurden [42].
- Messungen Patrick Leupoldt, Rosenheim, durchgeführt im Rahmen einer Bachelorarbeit im Jahr 2017 [32].
- Messungen Julia Graf, München, durchgeführt im Rahmen einer Masterarbeit im Jahr 2019 [29].
- Messungen von Akustik-Ingenieurbüro Moll, Berlin, durchgeführt im Jahr 2019 [39].
- Messungen Ritterstaedt, durchgeführt im Jahr 2017 [40].
- Messungen Kurz + Fischer, durchgeführt im Jahr 2019 [41].
- Messungen Maurer, Müller-BBM, durchgeführt im Jahr 2019 [38].

Die Ergebnisse der Auswertungen sind nachfolgend zusammengestellt.

6.2 Auswertung Schall 03

Für diese Auswertung wurden Geräuschspektren aus dem Berechnungsverfahren nach Anhang 2 („Schall 03“) der 16. BImSchV, der Verkehrslärmschutzverordnung, herangezogen. Dieses Berechnungsverfahren ist für Schienenverkehrslärm die zentrale Grundlage für die Ermittlung von Beurteilungspegeln auf der Grundlage von Datensätzen der Deutschen Bahn zu Zugzahlen und Zuggattungen von Bahnstrecken. Es rechnet frequenzabhängig in Oktaven.

Die Verkehrslärmschutzverordnung wurde aufgrund der Ermächtigung durch § 43 Abs. 1 BImSchG von der Bundesregierung erlassen. Das Berechnungsverfahren wird daher regelmäßig für Gutachten zu Bebauungsplänen und Genehmigungsverfahren eingesetzt.

Die Zusammenhänge zur Ermittlung der Geräuschspektren sind im Anhang A dargestellt. Dort finden sich auch die Ergebnisse der K-Summanden.

6.3 Messungen vom LfULG, LUBW und UBA

6.3.1 Herkunft der Daten

Die Daten wurden durch das UBA bereitgestellt wobei neben eigenen Messungen des UBA aus den Jahren 2018 und 2019 auch Messungen des sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie LfULG (2018) sowie der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg LUBW (2017) hinzugefügt wurden [42]. Bei den vorgelegten Messungen handelt es sich um Messpositionen, die im Wesentlichen nicht durch umgebende Bebauungen beeinflusst waren.

6.3.2 Auswertung

Tabelle 24. Messdaten des LfULG zum Schienenverkehr.

Außenlärmart	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
Güterzüge	2,1	3,0	1,6

Tabelle 25. Messdaten des LUBW zum Schienenverkehr.

Außenlärmarten	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
Güterzüge 70...100 km/h	-0,1	-1,0	1,8
ICE 200...250 km/h	2,3	2,7	2,3
IC 200 km/h	0,6	0,1	1,9
TGV 220...250 km/h	1,3	1,8	1,8
RB-RE 110...140 km/h	1,2	1,5	2,0

Tabelle 26. Schienenverkehrspegel des UBA.

Außenlärmarten	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
Güterzüge ca. 100 km/h	-0,6	-2,5	1,7
ICE ca. 200 km/h	1,9	2,2	2,4
RB/RE/S-Bahn 100...120 km/h	0,5	0,1	1,8

6.4 Messungen Leupoldt, Fachhochschule Rosenheim

6.4.1 Herkunft der Daten

Die Messdaten aus der Bachelorarbeit von Herrn Patrick Leupoldt wurden im Zeitraum Oktober bis Dezember 2016 an insgesamt 10 Messpositionen im Großraum München-Rosenheim ermittelt. In der Arbeit werden insgesamt 13 verschiedene Lärmgattungen für Schienenverkehrslärm gebildet, für die jeweils ein mittleres Spektrum angegeben wird [35]. Sämtliche Messdaten wurden in ca. 25 m Abstand zur Gleismitte und 4 m Mikrofonhöhe ermittelt. Es lagen weitgehend Freifeldbedingungen vor, da relevante Bebauungen mit signifikantem Abstand vorhanden waren.

6.4.2 Auswertung

Tabelle 27. Korrektursummanden für exemplarische Außenlärmsituationen des Schienenverkehrs.

Außenlärmsituation	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
Personenzüge < 90 km/h	1,5	1,9	2,0
Personenzüge 90 – 120 km/h	0,6	0,3	2,2
Personenzüge > 120 km/h	-0,4	-1,9	2,2
S-Bahn < 90 km/h	0,5	-0,2	1,7
S-Bahn > 90 km/h	-0,3	-2,0	2,0
Regionalverkehr, elektrisch < 90 km/h	0,7	0,2	1,7
Regionalverkehr, elektrisch > 90 km/h	1,5	1,3	2,4
Regionalverkehr Diesellok ≤ 90 km/h	1,1	0,5	1,8
Regionalverkehr Diesellok ≥ 90 km/h	-0,1	-1,6	2,1
Regionalverkehr Diesel < 90 km/h	2,5	3,6	2,2
Regionalverkehr > 90 km/h	-0,2	-1,2	2,2
Güterzüge < 90 km/h	0,3	-0,5	1,9
Güterzüge > 90 km/h	-0,7	-2,8	2,2

6.5 Messungen Graf, München

6.5.1 Herkunft der Daten

Die Messungen von Frau Julia Graf wurden im Rahmen einer Masterarbeit an der Hochschule Mittweida, die durch Müller-BBM betreut wurde, ermittelt. Die Messungen wurden jeweils unmittelbar vor Gebäudefassaden durchgeführt, die an stark befahrenen Bahnstrecken liegen. Zwei Messpunkte liegen im innerstädtischen Bereich von München. Ein Messpunkt außerhalb von München. Die Messungen erfolgten im ersten Halbjahr 2019 und sind in der zugehörigen Masterarbeit dokumentiert [29].

6.5.2 Auswertung

Tabelle 28. Korrektursummanden für exemplarische Außenlärmsituationen des Schienenverkehrs.

Außenlärmsituation	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
Meridian	2,3	3,4	2,3
Regionalzug Südostbayern	2,4	3,7	2,4
Güterzug	3,2	6,0	2,0
Railjet	1,9	3,2	2,3
ÖBB	2,5	4,3	2,5
S-Bahn	1,9	3,7	2,5
IC	0,6	1,2	2,2

Allgemeine Feststellung:

Im Gegensatz zu den bislang dargestellten Messergebnissen, wurden die vorliegenden Messungen mit einem Mikrofon unmittelbar vor der Verglasung eines Außenfensters durchgeführt. Diese Messposition wird üblicherweise auch zur Ermittlung der Schalldämm-Maße von Außenbauteilen herangezogen. Zu erkennen ist, dass im Vergleich zu den sonstigen Spektren von Schienenverkehr, tieffrequent erhöhte Pegelanteile auftreten. Offensichtlich entsteht bei mittleren und hohen Frequenzen eine gegenüber tiefen Frequenzen geringere Pegelerhöhung, die z. B. durch die abschirmende Wirkung des Mikrofons erklärt werden könnte.

6.6 Messungen Moll

6.6.1 Herkunft der Daten

Die Messungen an exemplarischen Trambahn- und S-Bahnstrecken in Berlin wurden im Juli 2019 durch das Akustik-Ingenieurbüro Moll durchgeführt [39].

6.6.2 Auswertung

Tabelle 29. Korrektursummanden für exemplarische Außenlärmsituationen des Schienenverkehrs.

Außenlärmsituation	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
Fahrzeug GT6N, Sportpromenade Nr. 17 - 21, 12527 Berlin	7,7	8,8	4,4
Fahrzeug GT6N, Landsberger Allee/Altenhofer Straße, Berlin	3,2	2,3	2,7
Flexity, Landsberger Allee/Altenhofer Straße, Berlin	1,8	5,7	2,8
Fahrzeug GT6N, Bernhard-Weiß- Straße 6, Berlin	8,1	9,4	5,3
Flexity, Bernhard- Weiß-Straße 6, Berlin	8,4	9,4	5,2
S-Bahn, Mexikoplatz, Slatdorpweg, Berlin	3,4	4,4	2,7
Nahverkehr zwischen Südkreuz und Yorckstraße, Alfred-Lion-Steg (Brücke), Berlin	4,2	6,1	2,7

6.7 Messungen Ritterstaedt

6.7.1 Herkunft der Daten

Die Messdaten zum Schienenverkehrslärm wurden von Herrn Ritterstaedt bereitgestellt [40]. Sie wurden im Oktober bis November 2017 an einer Messposition 10 m neben einem Gleis in 1,2 m Höhe ermittelt. Die genaue Messposition sowie weitere Angaben sind nicht bekannt.

6.7.2 Auswertung

Tabelle 30. Korrektursummanden für exemplarische Außenlärmsituationen des Schienenverkehrs.

Außenlärmsituation	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
RE Doppelstock, 140 km/h	-0,7	-2,7	1,8
Flirt Triebzug elektrisch, 140 km/h	-0,5	-2,8	1,7
Gemischter Güterzug, 90 km/h	1,6	2,8	1,5
IC lokbespannt, 140 km/h	-1,5	-4,4	1,8
ICE1 Langzug, 140 km/h	-1,1	-3,2	2,0
ICE3 Kurzzug, 300 km/h	3,3	4,4	2,4
Güterzug Kesselwagen, 90 km/h	2,4	4,3	1,6
S-Bahn Rhein/Ruhr, 70 km/h	-0,1	-1,9	1,8
S-Bahn Berlin, 60 km/h	1,6	2,6	1,4
Regionalbahn Talent (Diesel, Kurzzug), 70 km/h	5,7	7,7	3,6

6.8 Messungen Güterverkehr Kurz+Fischer

6.8.1 Herkunft der Daten

Vom Büro Kurz+Fischer wurden exemplarische Schallpegelmessungen an einer Güterverkehrsstrecke zur Verfügung gestellt [41]. Die Messungen erfolgten im Bereich der Pfaudlerstraße in Schwetzingen am 11./12.09.2019. Insgesamt wurden im Nachtzeitraum ca. 70 Gütervorbeifahrten automatisiert erfasst und ausgewertet. Die Messposition lag 8 m über Grund in ca. 50 m Abstand zur mittleren Trasse.

6.8.2 Auswertung

Tabelle 31. Korrektursummanden für exemplarische Außenlärmsituationen des Schienenverkehrs.

Außenlärmsituation	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
Güterverkehr MP1	1,8	3,4	2,1
Güterverkehr MP2	2,2	3,8	2,0

6.9 Messungen Trambahn Maurer, München

6.9.1 Herkunft der Daten

Die Messungen zu Trambahnen erfolgten in München im Jahr 2019 durch einen Werkstudenten von Müller-BBM [38].

Bei den Messungen in der Romanstraße und Barer Straße mit Asphaltuntergrund und angrenzenden Straßenspuren wurde sichergestellt, dass keine Überlagerung mit Straßenverkehr stattfand. Bei der Messsituation in der Parkstadt Schwabing war ein Rasengleis ohne Straßenverkehr vorhanden.

6.9.2 Auswertung

Tabelle 32. Korrektursummanden für exemplarische Außenlärmsituationen mit Trambahnverkehr.

Außenlärmsituation	Bezugsschall- dämm-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
Tram Typ R2 Barer Straße	2,6	2,8	2,0
Tram Typ R2 Parkstadt Schwabing	2,8	3,9	2,0
Tram Typ T1-Avenio Barer Straße	6,0	8,2	3,8
Tram Typ TZ-Avenio Romanstraße	4,5	7,2	2,8

6.10 Zusammenfassung zur Auswertung Schienenverkehrslärm

Tabelle 33. Zusammenfassung der Korrektursummanden für Schienenverkehr.

Datensatz	Auswertung Bezugsschall- dämm- Spektrum ISO 717-1 Mittelwert/ Standard- abweichung	Auswertung Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Auswertung Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch	Auswertung der drei angegebenen Schalldämm- Spektren Mittelwert/ Standard- abweichung
Schall 03	0,7 dB ($\sigma=0,8$ dB)	--	--	--
LfULG/LUBW/ UBA	1,0 dB ($\sigma=1,0$ dB)	0,9 dB ($\sigma=1,8$ dB)	1,9 dB ($\sigma=0,3$ dB)	1,3 dB ($\sigma=1,3$ dB)
Leupoldt	0,5 dB ($\sigma=0,9$ dB)	-0,2 dB ($\sigma=1,8$ dB)	2,0 dB ($\sigma=0,2$ dB)	0,8 dB ($\sigma=1,5$ dB)
Graf (Nahfeld)	2,1 dB ($\sigma=0,8$ dB)	3,6 dB ($\sigma=1,4$ dB)	2,3 dB ($\sigma=0,2$ dB)	2,7 dB ($\sigma=1,1$ dB)
Moll (Straßenbahn)	5,3 dB ($\sigma=2,7$ dB)	6,6 dB ($\sigma=2,7$ dB)	3,7 dB ($\sigma=1,2$ dB)	5,2 dB ($\sigma=2,5$ dB)
Ritterstaedt	1,1 dB ($\sigma=2,3$ dB)	0,7 dB ($\sigma=4,2$ dB)	2,0 dB ($\sigma=0,6$ dB)	1,2 dB ($\sigma=2,7$ dB)
Kurz+Fischer	2,0 dB ($\sigma=0,3$ dB)	3,6 dB ($\sigma=0,3$ dB)	2,1 dB ($\sigma=0,1$ dB)	2,6 dB ($\sigma=0,8$ dB)
Maurer (Straßenbahn)	4,0 dB ($\sigma=1,6$ dB)	5,5 dB ($\sigma=2,6$ dB)	2,7 dB ($\sigma=0,9$ dB)	4,1 dB ($\sigma=2,1$ dB)

7 Auswertung Wasserverkehr

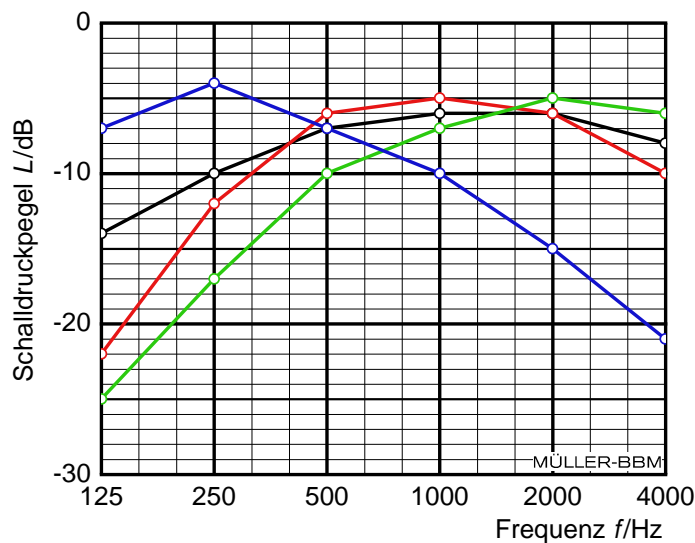
Auswertungen zum Wasserverkehr wurden im Rahmen dieser Untersuchungen nicht vorgenommen.

8 Auswertung Flugverkehr

Auswertungen zum Flugverkehr wurden im Rahmen dieser Untersuchungen nicht vorgenommen.

9 Auswertung Gewerbe- und Industrieanlagen

Zur Überprüfung von Industrie- und Gewerbelärm wurde auf die Spektrendatenbank *Prima* im Hause Müller-BBM zurückgegriffen. Diese Datenbank enthält über 400 Geräuschkennlinien von industriellen oder gewerblichen Quellen. Durch eine ungewichtete Mittelung über alle dort vorhandenen Quellen wurde ein mittleres relatives Frequenzspektrum gebildet. Darüber hinaus sind drei weitere Spektren angegeben, die bei Müller-BBM als Referenzspektren im industriellen Bereich mit Schwerpunkt im tiefen, mittleren und hochfrequenten Bereich angesetzt werden.



○—○	-14,0	-10,0	-7,0	-6,0	-6,0	-8,0
○—○	-22,0	-12,0	-6,0	-5,0	-6,0	-10,0
○—○	-25,0	-17,0	-10,0	-7,0	-5,0	-6,0
○—○	-7,0	-4,0	-7,0	-10,0	-15,0	-21,0

- Relatives Spektrum für Gewerbe- und Industrieanlagen, Mittelwert aus ca. 400 Quellen
- Spektrum Mittel
- Spektrum Hoch
- Spektrum Tief

Abbildung 13. Referenzspektren aus der Müller-BBM Datenbank *Prima*.

Die Korrektursummanden für diese Spektren sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 34. Korrektursummanden für industrielle bzw. gewerbliche Außenlärmspektren.

Außenlärmart	Bezugsschalldäm- m-Spektrum ISO 717-1	Schalldämm- Spektrum tieffrequenter Einbruch	Schalldämm- Spektrum hochfrequenter Einbruch
Industrie / Gewerbe Mittelwert aus 400 Quellen	6,7	9,0	4,2
Referenz Mittel	2,8	5,2	2,0
Referenz Hoch	1,4	2,5	1,9
Referenz Tief	12,4	14,9	8,5

Der Mittelwert der angegebenen Korrektursummanden beträgt 6,0 dB ($\sigma=4,4$ dB).

10 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Die auf Grundlage der durchgeführten Messungen und Untersuchungen gewonnenen Feststellungen und Erkenntnisse sind nachfolgend zusammengefasst.

In DIN 4109 ist – wie in Abschnitt 2 dargestellt – aufgrund der historischen Entwicklung in den Anforderungen für alle Lärmarten ein pauschaler Korrektursummand von 5 dB enthalten. Sofern nachfolgend Korrektursummanden angegeben sind, ist zu beachten, dass sich diese auf eine Situation ohne einen voreingestellten Korrektursummand beziehen.

10.1 Allgemeines

- Frequenzabhängige Berechnung vs. Berechnung mit Einzulangaben*
Für nahezu sämtliche Außenlärmarten, einschließlich der Schallausbreitungsrechnung, bestehen Verfahren, die eine frequenzabhängige Ermittlung des Beurteilungspegels auf Oktavbasis erlauben, vgl. Abs. 3.3. Die Ausnahme bildet der Straßenverkehrslärm, für den ausschließlich mit A-bewerteten Schallpegeln gerechnet wird (sowohl in RLS-90 als auch in RLS-19). Diese Einschränkung ist wesentlich, so dass es derzeit nicht sinnvoll erscheint, eine frequenzabhängige Nachweisführung für den Schallschutz gegen Außenlärm weiter zu verfolgen.
- Bauakustischer Frequenzbereich 100 Hz – 3.150 Hz ausreichend*
Die Einbeziehung des erweiterten bauakustischen Frequenzbereichs, d.h. Pegel unter 100 Hz oder über 3.150 Hz, d.h. Frequenzbereiche außerhalb des Bezugskurvenverfahren nach DIN EN ISO 717-1, führt für Straßen- und Schienenverkehr gemäß [29][30] nicht zu einer signifikanten Änderung der Korrektursummanden, was exemplarisch anhand von Fenstern unterschiedlicher Schallschutzklassen und Schalldämmverläufe (auch Kastenfenster) untersucht wurde. Offensichtlich liegen die wesentlichen Schallpegelanteile für übliche Lärmarten innerhalb des klassischen bauakustischen Frequenzbereichs (100 Hz – 3.150 Hz), weshalb auf Basis der vorliegenden Beobachtungen keine dringende Notwendigkeit besteht, einen erweiterten Frequenzbereich zu betrachten.
- Spektraler Verlauf der Schalldämmung*
Der spektrale Verlauf der Schalldämmung des Außenbauteils hat nach Auswertung der drei exemplarisch untersuchten Verläufe für Verkehrslärm einen geringen Einfluss auf den Mittelwert des Korrektursummanden und dessen Standardabweichung, was aus der Tabelle 23 und Tabelle 33 hervorgeht. Die exemplarische Auswertung für Gewerbelärm mit extremen, tieffrequenten Anteilen lässt einen Einfluss erwarten. Ob diese Feststellung auch für andere Spektren mit deutlich abweichenden Frequenzverläufen zutreffend ist, wird im weiteren Verlauf eingehender untersucht. Hierzu sind Außenbauteile untersucht, die extremere Schalldämmungseinbrüche zeigen, wie das z. T. bei der zweischaligen, leichten Holzständerbauweise mit C_{tr} -Werten kleiner -8 dB der Fall sein kann.

- *Ausschließliche Anwendung des Spektrum-Anpassungswerts C_{tr} nicht vorteilhaft*

Das Referenzspektrum Nr. 2 zu C_{tr} aus der DIN EN ISO 717-1 bzw. DIN 1793-3 wurde in den 1980er Jahren durch Messungen in skandinavischen Ländern gewonnen. Es entspricht dem Referenzspektrum A1 einer Nordtest-Methode aus 1987, das durch 18 Messungen an innerstädtischen Straßen in Kopenhagen und Göteborg bei 50 km/h und ca. 10 % Schwerlastanteil ermittelt wurde. Der Vergleich mit den aktuell durchgeführten Messungen von Straßen- und Schienenverkehr zeigt in Übereinstimmung mit den Erkenntnissen in [37], dass durch das relative Referenzspektrum der Bereich zwischen 100 Hz und 500 Hz zu hohe Pegelwerte und der Bereich oberhalb 1.000 Hz zu niedrige Pegelwerte ausweist. Insofern kann es als veraltet angesehen werden. Die durchgängige und alleinige Verwendung des Spektrum-Anpassungswerts C_{tr} führt im Nachweis für den Schallschutz gegen Außenlärm nicht zu einer pauschal vereinfachten Handhabung. Hinweis: In der nachfolgend angegebenen Untersuchung und im Normungsvorschlag wird ein Verfahren mit Anwendung sowohl des C- als auch C_{tr} -Spektrum-Anpassungswert angegeben.

- *Freifeldpegel vs. Messungen in bebauten Umgebungen*

Auffällig ist, dass Messungen bei denen Reflexionen an schallharten, ebenen Flächen (z.B. an Hausfassaden in bebauter Umgebung) auftreten, im Vergleich zu Messungen aus nahezu idealen Halbfreifeldbedingungen im Frequenzbereich unter ca. 500 Hz höhere Pegel aufweisen. Die Pegelerhöhung durch Reflexionen erscheint also frequenzabhängig. Dieser Sachverhalt sollte genauer untersucht werden, insbesondere vor dem Hintergrund des 3 dB-Zuschlags zur Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels. Die Eingangsdaten für den Nachweis des Schallschutzes gegen Außenlärm beruhen im engen Sinne auf Freifeldpegel, weshalb die Verwendung von Messungen im Bereich bebauter Umgebungen kritisch zu hinterfragen ist. In diesem Zusammenhang ist auch auf die Vermutung nach [37] zu verweisen, nach der in innerstädtischen Situationen diffuse Schallfelder vermutet werden.

10.2 Straßenverkehr

Die Auswertung der durchgeführten Messungen und Untersuchungen zeigt unter Berücksichtigung der angesetzten Schalldämmungsverläufe folgende Ergebnisse:

- *Gleichmäßig fließender Straßenverkehr* führt zu einem mittleren Korrektursummanden von 0,6 dB ($\sigma = 1,4$ dB). Bei höheren Geschwindigkeiten werden die niedrigsten Werte erreicht, da hier anscheinend die höherfrequenten aerodynamischen Strömungsgeräusche an der Karosserie und Reifen-Fahrbahngeräusche das Schallpegelspektrum dominieren.
- *Unregelmäßig fließender Verkehr* bzw. Verkehr mit Beschleunigungsvorgängen führt zu einem mittleren Korrektursummanden von 3,1 dB ($\sigma = 1,6$ dB). Bei Beschleunigungsvorgängen insbesondere in Kombination mit niedrigen Geschwindigkeiten, d.h. geringen aerodynamischen Geräuschanteilen, steigt der Anteil von tieffrequenten Geräuschen, offensichtlich Motorgeräuschen, an.
- *Straßendeckschicht: Ausnahme „Flüsterasphalt“*
Wesentliche Unterschiede der spektralen Verläufe wurden für Straßendeckschichten mit offenporigen Asphaltbelägen beobachtet. Die Wirkung von offenporigen Asphaltbelägen („Flüsterasphalt“) ist bei hohen Frequenzen höher als bei tiefen Frequenzen. Hieraus ergibt sich eine Verlagerung des relativen Frequenzspektrums hin zu tiefen Frequenzen. Offenporige Asphaltbeläge können aus diesem Grund einen Einfluss auf den Korrektursummanden nehmen. Die entsprechenden Auswirkungen auf den Korrektursummanden können anhand der Oktavspektren nach CNOSSOS-EU aus dem Vergleich der Angaben mit offenporigen Asphalt (Tabelle 15 bis Tabelle 17) mit den Angaben für Asphaltbeton (Tabelle 12 bis Tabelle 14) ermittelt werden. In der Regel ergibt sich eine Erhöhung der Korrektursummanden, welche besonders deutlich bei Bauteilen mit tieffrequenten Schalldämmungseinbrüchen festzustellen ist.

Sofern Störwirkungszuschläge in Berechnungsverfahren vorhanden sind, stellt dies bereits eine Bewertung der ermittelten Beurteilungspegel dar. Dies muss dann wiederum bei der Beurteilung mit Anforderungen berücksichtigt werden. Die Überprüfung des zentralen Regelwerkes für Straßenverkehrsgeräusch, der RLS-90 in der 16. BImSchV bzw. der neuen RLS-19, die perspektivisch in der 16. BImSchV aufgenommen wird, zeigt folgende Ergebnisse:

- *Störwirkungszuschläge in RLS-90 und RLS-19*
In der RLS-90 sind neben den Verfahren zur Berechnung der auftretenden Schalldruckpegel auch Störwirkungszuschläge eingearbeitet. Exemplarisch kann hier der Zuschlag für die erhöhte Störwirkung von lichtzeichengeregelten Kreuzungen und Einmündungen nach RLS-90 bzw. die Knotenpunktkorrektur in der überarbeiteten RLS-19 genannt werden. Der in einem Bereich von 120 m abstandsabhängige Zuschlag in RLS-19 weist Werte von bis zu 2 dB an Kreisverkehren und bis zu 3 dB an lichtzeichengeregelten Knotenpunkten auf.

10.3 Schienenverkehr

Für Schienenverkehr kann in der derzeitigen Fassung der DIN 4109 ein Abschlag von 5 dB angesetzt werden. In der hier dargestellten Weise ist dies gleichzusetzen mit einem Korrektursummanden von 0 dB.

Die Auswertung der durchgeführten Messungen und Untersuchungen zeigt folgende Ergebnisse:

- *Personen- und Güterverkehr*
Die Korrektursummanden liegen im Mittel für Personen- und Güterverkehr auf der Grundlage der Schall 03-Auswertung bei 0,7 dB ($\sigma=0,8$ dB). Die vorgelegten Messungen bestätigen im Wesentlichen diese Angabe. Eine Ausnahme bilden Straßenbahnen, siehe unten. Es wurden keine signifikanten Unterschiede der Korrektursummanden zwischen Personen- und Güterverkehr vorgefunden.
- *„Flüsterbremse“*
Die schalltechnische optimale Bremsentechnologie (Verbundstoffbremse, Scheibenbremse) bei Güterverkehr, welche keine erhöhte Rauheit der Räder von Schienenfahrzeugen verursacht, verringert die auftretenden Schalldruckpegel in erheblicher Weise. Diese Technologie hat aber keine erkennbare Auswirkung auf das relative Schallpegelspektrum, wie aus der Auswertung der Spektren in Schall 03 hervorgeht, vgl. Auswertung im Anhang. Durch die schalltechnisch optimierte Bremsentechnologie werden daher keine geänderten Korrektursummanden festgestellt.
- *Straßenbahnen*
Die Schallpegelspektren von Straßenbahnen in Berlin und München zeigen im Vergleich zu sonstigem Schienenverkehr einen erhöhten Pegelanteil im Bereich zwischen 100 Hz – 500 Hz auf, was zu höheren Korrektursummanden führt. Das ist vermutlich mit den allgemein langsameren Fahrgeschwindigkeiten bzw. erhöhtem bzw. unrunder Radverschleiß durch enge Kurvenradien und der damit verbundenen Schallabstrahlung zu erklären. Die Korrektursummanden betragen im Mittelwert 4,8 dB ($\sigma=2,4$ dB). Zu beachten ist, dass diese Messungen in der Regel in bebauten Umgebungen stattfanden, für die im Allgemeinen eine Anhebung der Pegel im Frequenzbereich unter ca. 1.000 Hz festgestellt wurde.

- *Berücksichtigung von Pegelspitzen zur Kennzeichnung einer erhöhten Störwirkung*

MÖHLER beschreibt im Zuge einer Zuarbeit, dass ein alternatives Verfahren auf der Grundlage von lärmbedingten Aufwachreaktionen vorgeschlagen wurde, jedoch mit einer zeitnahen ingenieurmäßigen Anwendung nicht zu rechnen ist. Gemäß Abschnitt 5 in [19] schlägt MÖHLER zwischenzeitig folgende Schritte vor:

- Entscheidung über grundsätzliche Berücksichtigung des Maximalpegels beim Schienenverkehrslärm und Festlegung eines geeigneten Verfahrens
- Ergänzung von DIN 4109-2, 4.4.5.1 und 4.5.5.3 um Maximalpegelkriterien für Schienenverkehrslärm; ggf. Überführung der Maximalpegelkriterien aus Anhang C2 der DIN 4109-4
- Einführung von Diagrammen zur Abschätzung der Differenz zwischen Beurteilungspegel und Maximalpegel in Abhängigkeit von der Vorbeifahrthäufigkeit und vom Abstand
- Berücksichtigung des Maximalpegels durch Zuschläge, abgeleitet aus Diagrammen in [19]

Im Zuge der Bearbeitung der Anpassungsvorschläge von MÖHLER wäre zu klären, inwieweit in DIN 4109 Anforderungen zum Schutz vor der Störwirkung klar erkennbar von den physikalisch zu berechnenden und messbaren Außenlärmeigenschaften zu trennen sind.

Unabhängig davon erscheint die Anwendung von Anforderungszuschlägen bei geringen Gleisabständen und geringer Vorbeifahrthäufigkeit ein sinnvoller Weg, um die messtechnische Feststellung von Pegelspitzen mit erhöhter Störwirkung nach Anhang C2 der DIN 4109-4 zu ergänzen.

Analog zu Straßen wurde die Berechnungsvorschrift für Schienenwege, die 16. BImSchV (Verkehrslärmschutzverordnung), auf Störwirkungszuschläge überprüft, da diese bereits eine Bewertung der ermittelten Beurteilungspegel darstellen.

- *Störwirkungszuschläge in Schall 03*

Das in der Schall 03 beschriebene Verfahren zur Berechnung der Beurteilungspegel von Schienenverkehr enthält ebenfalls Störwirkungszuschläge. Exemplarisch kann hier der Zuschlag für die erhöhte Störwirkung beim Befahren von Brücken oder für Auffälligkeit von Geräuschen (z.B. Kurvenfahrgeräusch, Gleisbremsgeräusch) nach Tabelle 8 in Schall 03 genannt werden. Für Brücken werden nach Schall 03 Zuschläge zur Ermittlung des Beurteilungspegels zwischen 3 bis zu 12 dB vergeben. Lärmsanierte Brücken werden wiederum mit verminderten Zuschlägen goutiert. In der Anmerkung der Schall 03 steht hierzu ergänzend in Anhang 2, Abschnitt 2.2.6 zum Korrektursummanden für Brücken:

Anmerkung 1: Diese Pegelkorrektur beinhaltet auch die Störwirkung von tieffrequenten Geräuschanteilen, die durch die A-Bewertung des Schallpegels nicht angemessen berücksichtigt wird.

D.h., in der Berechnungsvorschrift Schall 03 zu Brücken sind, neben dem physikalisch erforderlichen Zuschlag auf den Schalldruckpegel, noch Störwirkungszuschläge unbekannter Höhe vorhanden.

10.4 Luftverkehr

In der vorliegenden Ausarbeitung wurden keine neuen Auswertungen zu Korrektursummanden von Luftverkehr vorgenommen. In den Abschlussarbeiten von Leupoldt werden Korrektursummanden in der Größenordnung von ca. 4 bis 8 dB genannt. In der Abschlussarbeit von Fischer ist ein Wert von 7 dB (Einfachfenster) bzw. 8 dB (Kastenfenster) ermittelt worden.

10.5 Gewerbe- und Industrieanlagen

Die ausgewerteten Korrektursummanden für exemplarische Gewerbe- und Industrieanlagen schwanken sehr stark in Abhängigkeit des angesetzten Außenlärmspektrums und der Außenbauteildämmung. Die Schwankungsbreite beträgt +1,4 dB bis +14,9 dB. Der Mittelwert wurde zu +6,0 dB ($\sigma=4,4$ dB) bestimmt, vgl. Abschnitt 9.

10.6 Lärmschutzeinrichtungen

Die Berechnung des Einflusses von Lärmschutzeinrichtungen, wie z. B. Lärmschutzwände nach ZTV-Lsw 06 oder Lärmschutzwällen erfolgt auf Grundlage von DIN ISO 9613-2:1999-10 [14]. Die abschirmende Wirkung ist frequenzabhängig und im Bereich der unterbrochenen Sichtlinien zwischen Außenbauteil und Quelle aufgrund von Beugungseffekten im tieffrequenten Bereich geringer als im höherfrequenten Bereich. Exemplarische Berechnungen finden sich im Anhang zu diesem Bericht.

Das heranzuziehende Rechenverfahren für Lärmschutzeinrichtungen ist für die unterschiedlichen Lärmarten jeweils einheitlich und seit Jahren unverändert. Für Schienenverkehr nach Schall 03 wird es frequenzabhängig angewendet. Für Straßenverkehr wird weiterhin eine vereinfachte Berechnung auf der Grundlage von A-bewerteten Schalldruckpegeln angewendet.

Aufgrund von Beugungseffekten schirmen Lärmschutzeinrichtungen, wie Wände oder Wälle, bei unterbrochener Sichtverbindung auf die Schallquelle höherfrequenten Schall besser ab als tieffrequenten Schall. Hierdurch verändert sich das relative Schallspektrum im Bereich von Immissionsorten im Schallschatten einer Lärmschutzeinrichtung. Durch die Verschiebung der Schallpegelanteile in den tiefen Frequenzbereich erhöhen sich die Korrektursummanden.

Bei vorhandener Sichtverbindung kehrt sich dieser Effekt um. Jedoch ist die abschirmende Wirkung wesentlich geringer als im Bereich der unterbrochenen Sichtverbindung.

Die Untersuchungen wurden auf Basis der Angaben aus CNOSSO-EU für Straßenverkehr und Schall 03 für Schienenverkehr durchgeführt. Es ergeben sich im Mittel folgende Werte in Abhängigkeit der Lage des Immissionsortes im Schallschatten:

- Straßenverkehr: bis zu +3,6 dB
- Schienenverkehr: bis zu +5,1 dB

Festzustellen ist, dass die Korrektursummanden stark von der individuellen Wirkung der Lärmschutzwand am Immissionsort abhängen.

11 Experten-Workshop

11.1 Allgemeines

Am 08.09.2020 wurde beim DIBt ein ganztägiger Experten-Workshop mit 20 Teilnehmenden durchgeführt, siehe Protokoll. Hieraus ergaben sich für das vorliegende Vorhaben folgende zu bearbeitenden Themen:

- Es ist zu untersuchen, welche Auswirkung ein scharfer Resonanzeinbruch im Schalldämpfungsverlauf auf den Einzahlwert hat.
- Ausarbeitung exemplarischer, mittlerer Relativspektren für die wesentlichen Verkehrslärmarten Straße/Schiene.
- Einbeziehung der standardisierten Lärmspektren für Straßen- und Schienenverkehr gemäß EN 1793-3:1997 [11] bzw. EN 16272-3-1:2012 [12] in die Untersuchung.

Hinweis: Die standardisierten Lärmspektren stimmen im Wesentlichen mit den Spektren Nr. 1 „C“ und Nr. 2 „C_{tr}“ aus der DIN EN ISO 717-1 [18] überein. Eine geringfügige Abweichung tritt lediglich für Schienenverkehr in den beiden Terzen 100 Hz und 125 Hz auf. Im Weiteren wird jeweils Bezug auf die Referenzspektren der DIN EN ISO 717-1 genommen, die auch zur Kennzeichnung der Schalldämmung verwendet werden.

11.2 Mittlere Außenlärmspektren

Nachfolgend sind auf Basis der Auswertungen in Abschnitt 6 mittlere Außenlärmspektren für die Verkehrslärmarten Straße/Schiene und deren Standardabweichung angegeben. In den Diagrammen sind zusätzlich die standardisierten Lärmspektren Nr. 1 „C“ und Nr. 2 „C_{tr}“ aus DIN EN ISO 717-1 eingetragen.

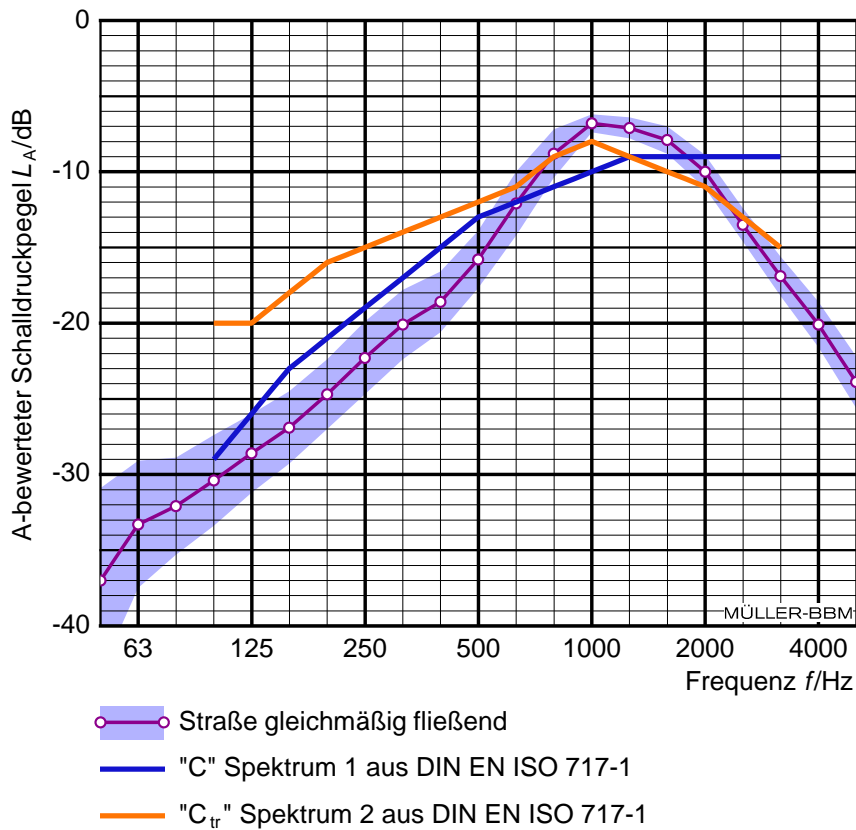


Abbildung 14. Relatives Pegelspektrum für gleichmäßig fließenden Straßenverkehr.

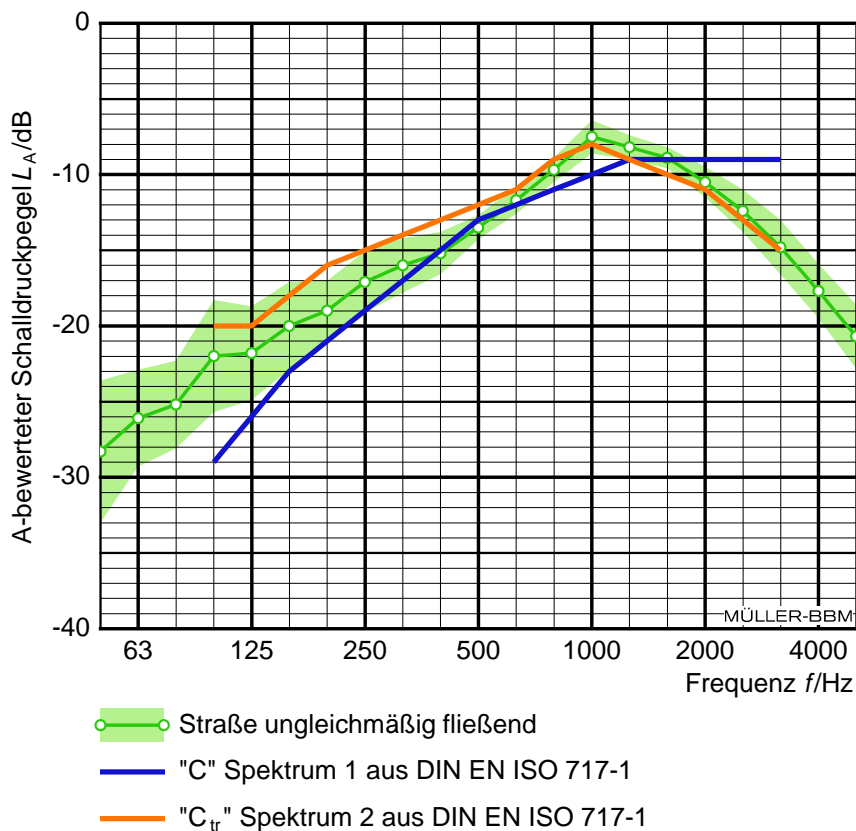


Abbildung 15. Relatives Pegelspektrum für ungleichmäßig fließenden Straßenverkehr.

\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\143\M143131\M143131_02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021

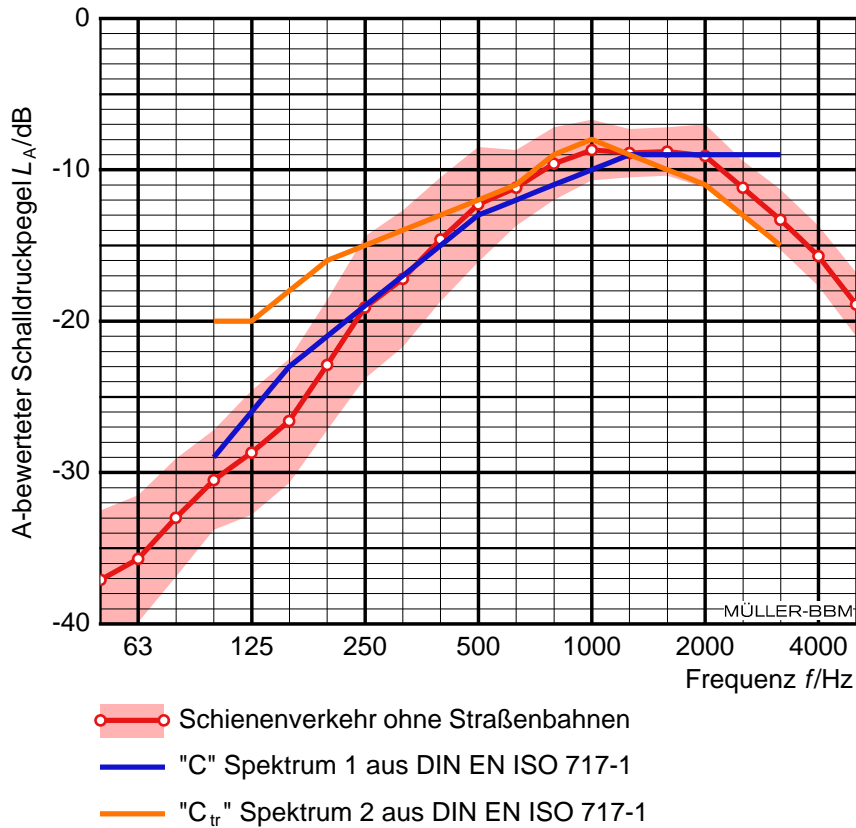


Abbildung 16. Relatives Pegelspektrum für Schienenverkehr (ohne Straßenbahnen).

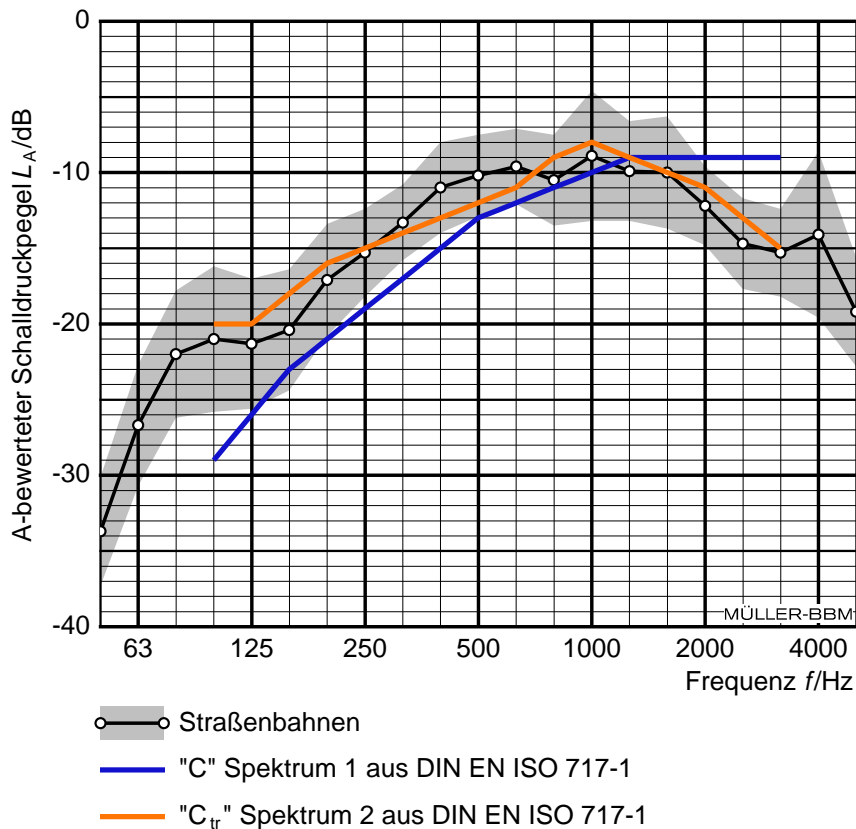


Abbildung 17. Relatives Pegelspektrum für Straßenbahnen.

Der Vergleich der relativen Außenlärmspektren mit den Referenzspektren lässt folgende Zuordnung für geeignet erscheinen:

Tabelle 35. Zuordnung der Außenlärmarten zu Referenzspektren.

Außenlärmart	Referenzspektrum gemäß DIN EN ISO 717-1
Straßenverkehr gleichmäßig fließend	C-Spektrum Nr. 1
Straßenverkehr ungleichmäßig fließend	C _{ir} -Spektrum Nr. 2
Schienenverkehr (ohne Straßenbahnen)	C-Spektrum Nr. 1
Straßenbahnen	C _{ir} -Spektrum Nr. 2

Tabelle 36. Relativspektren der Außenlärmarten aus Abbildung 14 bis Abbildung 17.

Frequenz / Hz	Schienenverkehr	Trambahn	Straßenverkehr gleichmäßig	Straßenverkehr ungleichmäßig
50	-37,1	-33,7	-37,0	-28,3
63	-35,7	-26,7	-33,3	-26,1
80	-33,0	-22,0	-32,1	-25,2
100	-30,5	-21,0	-30,4	-22,0
125	-28,7	-21,3	-28,6	-21,8
160	-26,6	-20,4	-26,9	-20,0
200	-22,9	-17,1	-24,7	-19,0
250	-19,1	-15,3	-22,3	-17,1
315	-17,2	-13,3	-20,1	-16,0
400	-14,6	-11,0	-18,6	-15,2
500	-12,3	-10,2	-15,8	-13,5
630	-11,2	-9,6	-12,1	-11,7
800	-9,6	-10,5	-8,8	-9,7
1000	-8,7	-8,9	-6,8	-7,5
1250	-8,9	-9,9	-7,1	-8,2
1600	-8,8	-10,0	-7,9	-8,9
2000	-9,1	-12,2	-10,0	-10,5
2500	-11,2	-14,7	-13,5	-12,4
3150	-13,3	-15,3	-16,9	-14,8
4000	-15,7	-14,1	-20,1	-17,7
5000	-18,9	-19,2	-23,9	-20,7

\\S-muc-fs01\allefirmen\WP\Proj\143\M143131\M143131_02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021

11.3 Auswirkung auf Schalldämpfungsverläufe mit Einbrüchen

In einem ersten Schritt wurden Korrektursummanden auf der Grundlage von drei Schalldämpfungsverläufen ermittelt, siehe Abbildung 12. Im Rahmen des Experten-Workshops wurde angemerkt, auch Schalldämpfungsverläufe in die Untersuchung einzubeziehen, die deutlich stärkere Einbrüche im Schalldämpfungsverlauf aufweisen.

Für diese Untersuchung wurde die Referenzkurve (Bezugskurve) herangezogen und einerseits mit einem 8 dB und andererseits mit einem 16 dB Einbruch an sämtlichen Terzen versehen. Durch diesen Einbruch sinkt das bewertete Schalldämpfungsmaß um 1 dB ab und es führt zu Abminderungen der Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} . Eine exemplarische Abminderung um 8 dB bei 125 Hz sowie um 16 dB bei 500 Hz im Vergleich zur Referenzkurve ist in Abbildung 18 dargestellt.

Neben der Referenzkurve werden damit 16 weitere Verläufe mit 8 dB Einbruch und 16 Verläufe mit 16 dB Einbruch herangezogen.

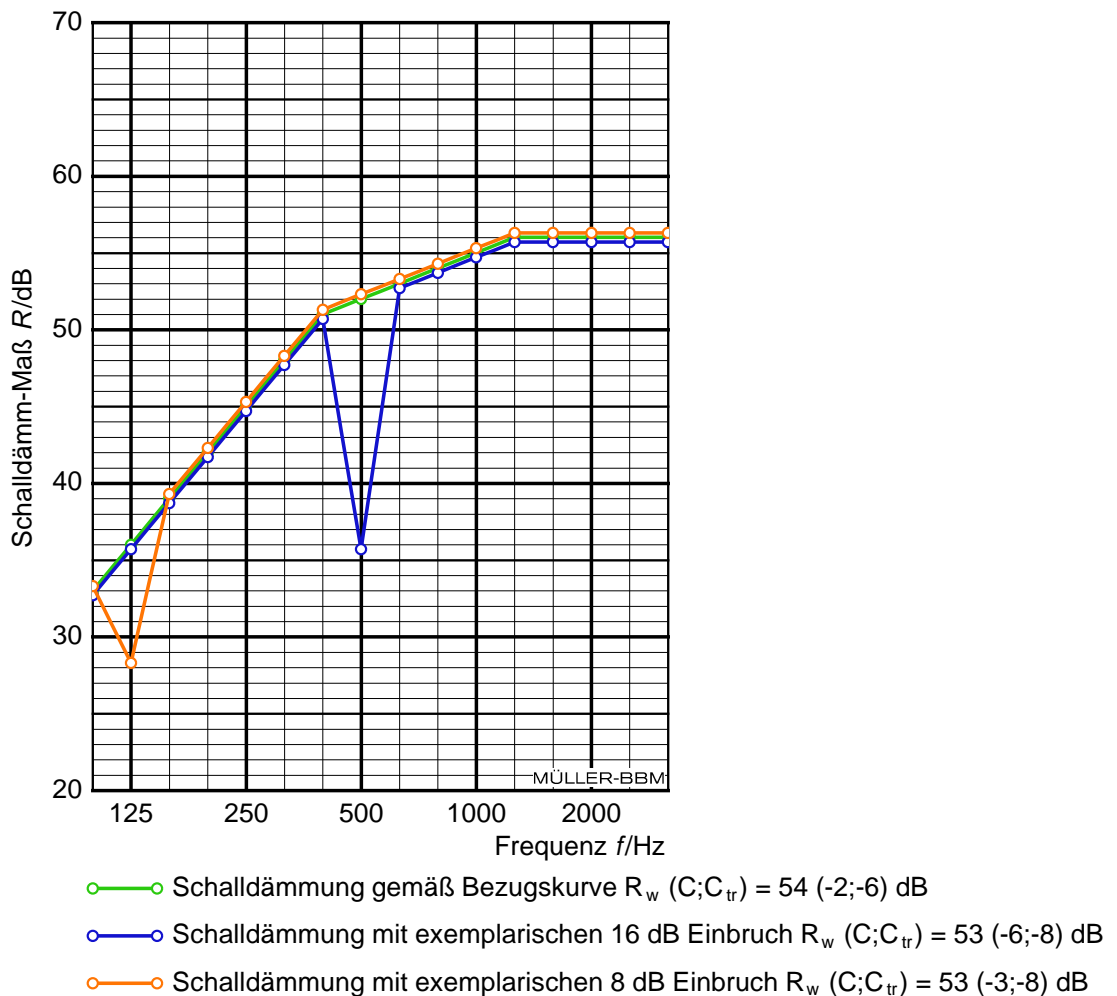


Abbildung 18. Exemplarische Schalldämpfungsverläufe mit Einbrüchen von 8 dB sowie 16 dB.

Für jede dieser 33 Schalldämpfungsverläufe wurden Korrektursummanden ermittelt und diese entsprechend der Zuordnung aus Tabelle 35 vergleichend mit den C - bzw. C_{tr} -Werten dargestellt, siehe nachfolgende Abbildungen.

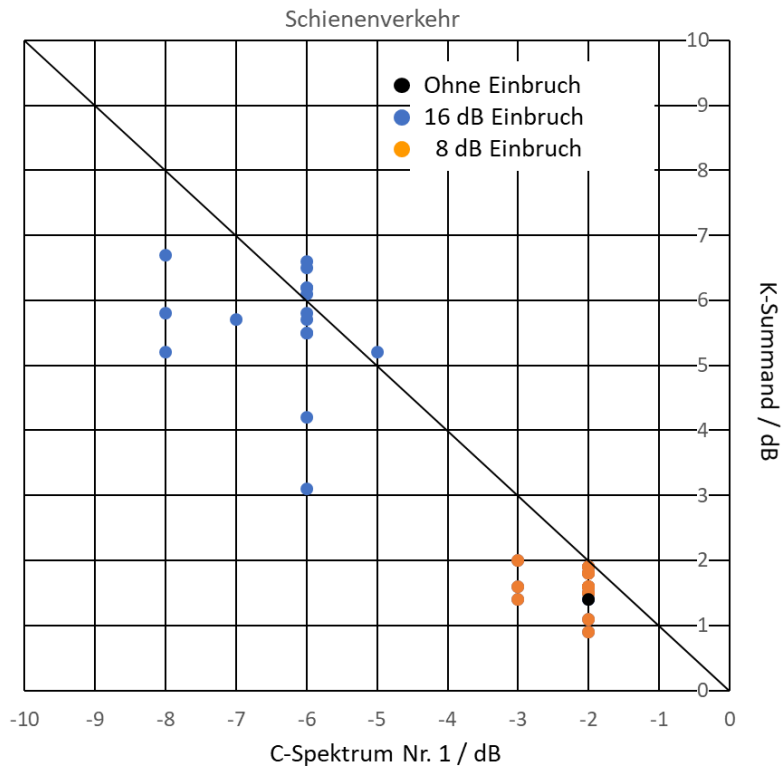


Abbildung 19. Schienenverkehr - Korrektursummanden vs. Spektrum-Anpassungswert.

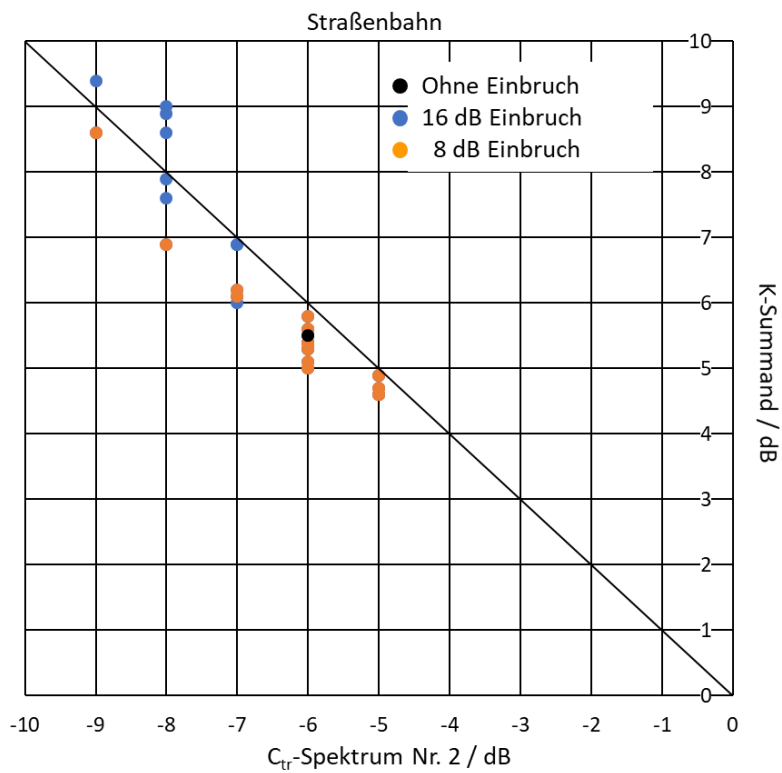


Abbildung 20. Straßenbahnverkehr - Korrektursummanden vs. Spektrum-Anpassungswert.

\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\143\M143131\M143131_02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021

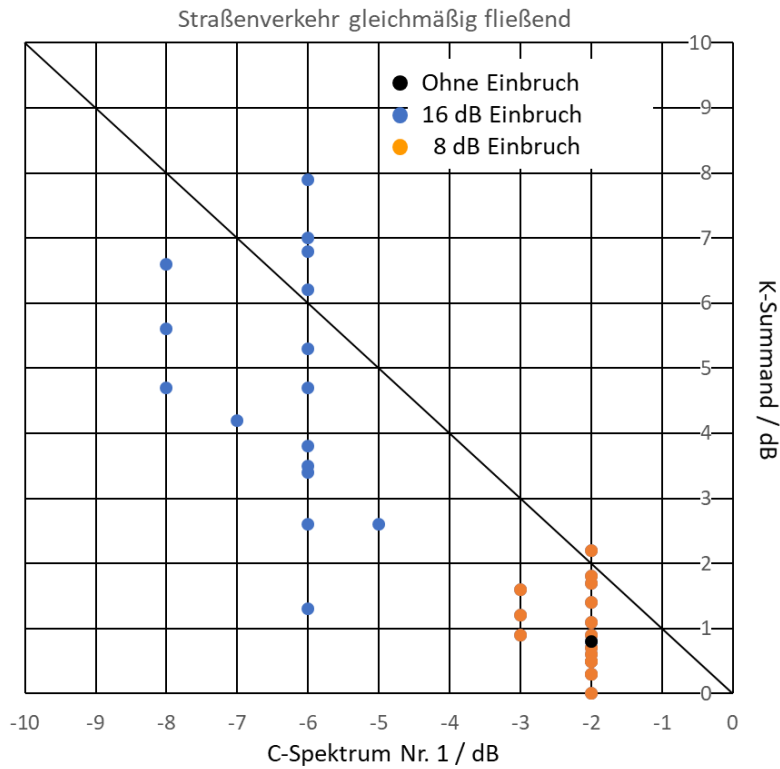


Abbildung 21. Straßenverkehr gleichmäßig – Korrektursummanden vs. Spektrum-Anpassungswert.

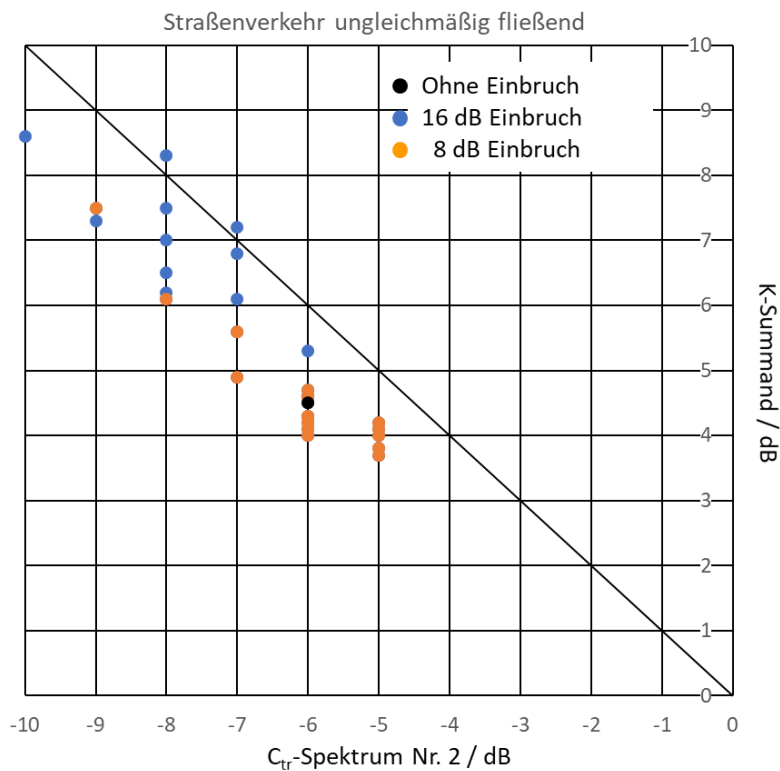


Abbildung 22. Straßenverkehr ungleichmäßig – Korrektursummanden vs. Spektrum-Anpassungswert.

\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\143\M143131\M143131_02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021

Anhand der vier vorstehenden Abbildungen ist zu erkennen, dass tendenziell ein linearer Zusammenhang zwischen Spektrum-Anpassungswert C bzw. C_r und dem jeweiligen Korrektursummand erkennbar ist. Insbesondere bei Straßenbahnen und ungleichmäßig fließendem Straßenverkehr ist eine gute Übereinstimmung zu erkennen, was darauf zurückgeführt ist, dass sich die zugrunde liegenden spektralen Verläufe in einem hohen Maße gleichen, vgl. Abbildung 20 und Abbildung 22.

Aber auch die Zusammenhänge für Schienen- und gleichmäßig fließenden Straßenverkehr können noch als zufriedenstellend bezeichnet werden. Eine Berücksichtigung der Spektrum-Anpassungswerte liegt dabei tendenziell auf der schallschutztechnisch sicheren Seite. Die maximal auftretende ungünstige Abweichung bei Verwendung von Spektrum-Anpassungswerten beträgt 2 dB im Fall von gleichmäßig fließendem Straßenverkehr und spektralen Einbrüchen im Schalldämpfungsverlauf von 16 dB, vgl. Wertestreuung bei $C = -6$ dB in Abbildung 21.

12 Normungsvorschlag für DIN 4109

12.1 Vorbemerkungen

In einem ersten Schritt wurde im 1. Halbjahr 2020 ein Entwurf für einen Normvorschlag auf Basis differenzierter Korrektursummanden für einzelne Außenlärmarten und Situationen zur Beeinflussung des maßgeblichen Außenlärmpegels erstellt. Nach diesem Vorschlag wird die spektrale Eigenschaft der jeweiligen Außenbauteile als im Wesentlichen einheitlich und gleichartig angesehen, was im Rahmen des Expertenworkshops infrage gestellt wurde.

Die erneute Detailauswertung und Gruppierung der Außenlärmspektren im Nachgang zu dem Expertenworkshop im 2. Halbjahr 2020 zeigte, dass es gelingt, die auftretenden Außenlärmspektren den Referenzspektren der Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} zuzuordnen. Insofern wurde der Normvorschlag überarbeitet. Statt einer Anforderungen $R'_{w,ges}$ unter Einbeziehung von festen Korrektursummanden für den maßgeblichen Außenlärmpegel wird die Anforderung je nach Zuordnung der Außenlärmart stattdessen auf der Grundlage $R'_{w,ges} + C$ bzw. $R'_{w,ges} + C_{tr}$ ermittelt. Das Außenbauteil legt durch seine Kennzeichnung der schalldämmenden Eigenschaften den Korrekturwert gegenüber Außenlärm quasi selber fest.

Die Kennzeichnung der Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} ist seit der 1997-Ausgabe der DIN EN ISO 717-1 bereits seit 24 Jahren bei Prüfstands- und Baumeasuren obligatorisch, weshalb von einer guten Verfügbarkeit der zugehörigen Werte ausgegangen wird.

12.2 Vorschlag

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchung wird vorgeschlagen, die Anforderung und den Nachweis des Schallschutzes gegen Außenlärm auf Basis der Spektrum-Anpassungswerte aus DIN EN ISO 717-1 [18] zu regeln.

Erforderliche Änderung in DIN 4109-1 im Abschnitt 7.1:

Die Anforderung an die gesamten bewerteten Bau-Schalldämm-Maße $R'_{w,ges} + C$ bzw. $R'_{w,ges} + C_{tr}$ der Außenbauteile von schutzbedürftigen Räumen ergibt sich in Abhängigkeit der Raumnutzung und der Außenlärmart:

Anforderung an das Außenbauteil	Räume mit Schlafnutzung	Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien	Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches	Büroräume und Ähnliches
Außenlärm durch Straßenverkehr außerhalb geschlossener Ortschaften, Autobahnen, Bundes-, Landes- oder Kreisstraßen oder sonstige Vorfahrtsstraßen innerhalb geschlossener Ortschaften ohne Knotenpunktkorrektur nach RLS 19 und Schienenverkehr (ohne Straßenbahnen)				
$R'_{w,ges} + C$	$L_{a,N} - 25 \text{ dB}$	$L_{a,T} - 30 \text{ dB}$	$L_{a,T} - 35 \text{ dB}$	$L_{a,T} - 40 \text{ dB}$
Außenlärm durch Straßenverkehr auf alle anderen Straßen innerhalb geschlossener Ortschaften sowie Straßen mit offenporigem Asphalt gemäß Tab. 4a aus RLS 19, Straßenbahnverkehr nach § 4 PbefG, Flugverkehr und Gewerbe				
$R'_{w,ges} + C_{tr}$	$L_{a,N} - 25 \text{ dB}$	$L_{a,T} - 30 \text{ dB}$	$L_{a,T} - 35 \text{ dB}$	$L_{a,T} - 40 \text{ dB}$

mit:

$L_{a,T}$ Maßgeblicher Außenlärmpegel gemäß DIN 4109-2 für den Tagzeitraum

$L_{a,N}$ Maßgeblicher Außenlärmpegel gemäß DIN 4109-2 für den Nachtzeitraum

Für Räume mit Schlafnutzung ist sowohl der Tag- als auch Nachtzeitraum zu überprüfen.

Bei Überlagerung unterschiedlicher Lärmarten erfolgt die Zuordnung der Anforderung an das Außenbauteil durch die pegelbestimmende Lärmart.

Sofern Lärmschutzeinrichtungen wie Lärmschutzwände und -wälle im Schallausbreitungsweg vorhanden sind, ist für Außenbauteile im Schallschatten, d. h. bei Schirmwerten $z \geq 0,5 \text{ m}$ nach DIN ISO 9613-2:1999-10 [14], unabhängig von der Lärmart als Anforderung $R'_{w,ges} + C_{tr}$ heranzuziehen.

\\S-muc-fs01\allefirmen\WP\Proj\143\M143131\143131_02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021

Mindestens einzuhalten sind:

$R'_{w,ges} = 35$ dB für Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien;

$R'_{w,ges} = 30$ dB für Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume, Büroräume und Ähnliches.

Weiterer Hinweis zu DIN 4109-1:

- Der angegebene Text ersetzt den Text in Abschnitt 7.1 bis einschließlich des Absatzes: „Für gesamte bewertete Bau-Schalldämm-Maße von $R'_{w,ges} > 50$ dB sind die Anforderungen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten festzulegen.“ Dieser Satz kann entfallen, da die in der Ausgabe von 1989 enthaltene Tabelle durch eine Formel ersetzt wird, welche auch höhere Anforderungen abbildet.
- Es wird vorgeschlagen, die Tabelle 7 mit den Lärmpegelbereichen und den vorangestellten einleitenden Absatz ersatzlos zu streichen. Begründung: Die Lärmpegelbereiche wurden in der Vergangenheit lediglich auf Basis der Tagwerte berechnet. Zudem erfolgte bei einer Einordnung vor 2014 im Fall von Schienenverkehr noch die Einbeziehung des zwischenzeitig abgeschafften Schienenbonus. Insofern besteht Verwechslungsgefahr.

Erforderliche Änderung in DIN 4109-2:

- Der maßgebliche Außenlärmpegel wird für den Tagzeitraum und im Fall von Räumen mit Schlafnutzung zusätzlich für den Nachtzeitraum ermittelt. Die Erhöhung des maßgeblichen Außenlärmpegel für die Schutzbedürftigkeit von Schlafräumen in der Nacht von 10 dB kann hierdurch ersatzlos gestrichen werden.
- Der 5 dB-Abschlag für Schienenverkehr wird ersatzlos gestrichen.

Weitere Angaben

- Aufgrund der Umstellung auf einen Nachweis unter Einbeziehung des Spektrum-Anpassungswertes ist der Teil 2 und der Bauteilkatalog in Teil 31-36 der DIN 4109 durcharbeiten. Es wird kein großer Änderungsbedarf erwartet. Jedoch ist zu überprüfen und klarzustellen, dass in den angegebenen Gleichungen neben R'_w jeweils auch $R'_{w,ges} + C$ bzw. $R'_{w,ges} + C_{tr}$ eingesetzt werden kann.
- Für den überwiegenden Anteil der Bauteilangaben in den Bauteilkatalogen sind in DIN 4109 Spektrum-Anpassungswerte angegeben. Lediglich für Angaben, die aus dem früheren Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989-11 stammen, fehlen die Spektrum-Anpassungswerte für Außenbauteile, was im Zuge der Überarbeitung anzupassen wäre.
- Bei einer Überlagerung von unterschiedlichen Lärmquellen wird weiterhin jeweils getrennt für Tag und Nacht die energetische Summe der Beurteilungspegel berechnet und abschließend der 3 dB-Zuschlag zur Bestimmung von $L_{a,T}$ und $L_{a,N}$ vergeben.
- Zu klären ist, wie mit den Vorschlägen von MÖHLER zu Messungen und Maximalpegelkriterien von Schienenverkehrslärm gemäß Abschnitt 5 in [19] umzugehen ist, vgl. Abschnitt 10.3.

12.3 Vergleichsrechnung

Zur Überprüfung der Auswirkung des Regelungsvorschlags wurden exemplarische Berechnungen durchgeführt:

- Regelungsvorschlag auf der Grundlage von Spektrum-Anpassungswerten, siehe vorhergehender Abschnitt
- Regelung gemäß DIN 4109-1 bzw. -2:2018-01
- Regelung gemäß DIN 4109:1989-11

Als exemplarische Spektrum-Anpassungswerte wurden $C = -2$ dB und $C_{tr} = -6$ dB herangezogen, was z. B. einer Holzaußenwand (Tabelle 6, DIN 4109-33) oder einer Dachkonstruktion (Zeile 1 in Tabelle 9, DIN 4109-33) entsprechen könnte.

Der Vergleich zu DIN 4109-1 bzw. -2:2018-01 erfolgt zusätzlich mit Spektrum-Anpassungswerten $C = -1$ dB und $C_{tr} = -4$ dB, die z. B. Einfachfenster nach Tabelle 1 in DIN 4109-35 repräsentieren können.

Zur Darstellung wurden die Ergebnisse jeweils in Diagramme nach dem maßgeblichen Außenlärmpegel am Tag aufgetragen. Diese sind im Anhang C angegeben.

13 Weitere Handlungsempfehlungen

Folgende offene Fragestellungen erfordern eine Diskussion bzw. weitere Bearbeitung und wurden daher im Rahmen dieser Ausarbeitung nicht abschließend behandelt:

- *Störwirkungszuschläge*
Die Durchsicht der zugrunde liegenden Regelwerke zur Bestimmung der Beurteilungspegel zeigte, dass teilweise Störwirkungszuschläge mit den Berechnungsverfahren für Beurteilungspegel vermischt werden, z. B. Knotenpunktzuschläge in der RLS-19 oder Brückenzuschläge für Schienenverkehr in der 16. BImSchV. Zukünftig sollte darauf hingewirkt werden, dass Störwirkungszuschläge klar von Beurteilungspegel getrennt werden. Der angegebene Normenvorschlag kompensiert diese Störwirkungszuschläge nicht.
- *Pegelerhöhung in bebautem Umfeld*
Überprüfung und Klärung der beobachteten, spektral ungleichmäßigen Pegelerhöhung im Bereich von Bebauungen im Vergleich zu Freifeldpegelmessungen. In diesem Zusammenhang Aufklärung, ob ein solcher Effekt zu gesonderten Auswirkungen auf den 3 dB-Zuschlag für den maßgeblichen Außenlärmpegel führt.



Dr.-Ing. Andreas Meier

Literaturverzeichnis*Normen, Verordnungen, Richtlinien*

- [1] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau
 Teil 1: Mindestanforderungen. 2018 01
 Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen.
 2018-01
 Teil 31 - 36: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes.
 2016-07
 Teil 4: Bauakustische Prüfungen. 2016-07
- [2] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise, mit
 Beiblättern 1 und 2, November 1989, Beiblatt 3, Juni 1996; Änderung A1 zu
 DIN 4109, 2001-01, Änderung A1 zu Beiblatt 1, 2003-09 (zurückgezogen)
- [3] Richtlinien für bauliche Maßnahmen zum Schutz gegen Außenlärm. Ergän-
 zende Bestimmungen zu DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ Teil 1 bis 4
 (Ausgaben September 1962) und Teil 5 (Ausgabe April 1963). Aufgestellt von
 der Arbeitsgruppe Einheitliche Technische Baubestimmungen des Fachnormen-
 ausschusses Bauwesen (FNBau) im DIN, Herausgeber: DIN Deutsches Institut
 für Normung e. V. (zurückgezogen)
- [4] DIN 4109 Blatt 2: Schallschutz im Hochbau – Anforderungen, September 1962
 (zurückgezogen)
- [5] VDI 2719: Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen,
 1987-08
- [6] Entwurf VDI 2719: Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatz-
 einrichtungen, 1983-09
- [7] VDI 2719: Schalldämmung von Fenstern, 1973-10 (zurückgezogen)
- [8] 16. BImSchV, 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutz-
 gesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV), 2014-12
- [9] 24. BImSchV: 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutz-
 gesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung - 24. BImSchV),
 1997-02
- [10] Abschnitt 5.4.1.6 im Taschenbuch der Technischen Akustik. 2. Auflage, hrsg.
 Von M. Heckl; H.A. Müller; hier: Dieter Gottlob und Ralf Kürer, Kapitel 5, Beur-
 teilung von Geräuschimmissionen (Vorschriften – Normen – Richtlinien),
 Springer, 1994
- [11] DIN EN 1793-3: Lärmschutzeinrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur
 Bestimmung der akustischen Eigenschaften. Teil 3: Standardisiertes Verkehrs-
 lärmpektrum. 1997-11
- [12] DIN EN 16272-3-1: Bahnanwendungen - Oberbau - Lärmschutzwände und ver-
 wandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung - Prüf-
 verfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 3-1: Standar-
 disiertes Schienenverkehrslärmpektrum und Einzahl-Angaben für diffuse
 Schallfelder; Deutsche Fassung EN 16272-3-1:2012, 2013-01

- [13] Nordtest NT ACOU 061. Windows: Traffic noise reduction indices. 1987-06.
- [14] ISO 9613-2: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien – Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren. 1999-10
- [15] DIN 45684-1: Akustik - Ermittlung von Fluggeräuschimmissionen an Landeplätzen - Teil 1: Berechnungsverfahren. 2013-07
- [16] TA Lärm, Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm)
- [17] RLS-19 Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (ersetzt zukünftig RLS-90): Am 31. Oktober 2019 hat die Bundesregierung die neuen Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-19) im Verkehrsblatt, Heft 20 unter der lfd. Nr. 139 amtlich bekannt gemacht. Damit die RLS-19 verbindlich für die Lärmvorsorge angewendet werden, ist eine Änderung der 16. BImSchV notwendig. Die Änderung wird derzeit innerhalb der Bundesregierung abgestimmt.
- [18] DIN EN ISO 717-1: Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung. 2013-06

Weitere Quellen, wie Veröffentlichungen, Abschlussarbeiten, Berichte, Messdaten

- [19] Möhler, U.: Stellungnahme zur Berücksichtigung des Maximalpegels von Schienenverkehrslärm in der DIN 4109, Schallschutz im Hochbau. 2019-12-02
- [20] A. Rabold, J. Hessinger: Schallschutz von Außenbauteilen – Vorgehensweise nach der neuen DIN 4109, in: Holzbau 3/2018
- [21] L. Cremer, Der Sinn der Sollkurven, in: Schallschutz von Bauteilen, Berlin 1961
- [22] K. Gösele, Zur Bewertung der Schalldämmung von Bauteilen nach Sollkurven, in: Acustica 15(1965), 264
- [23] S. Koch, R. Kürer, Umweltbundesamt Berlin, Bewertetes Bauschalldämm-Maß und A-Schallpegeldifferenz von Umfassungsbauteilen bei Verkehrslärm. DAGA 1976
- [24] Gösele, K.; Koch, S.: Bestimmung der Luftschalldämmung von Bauteilen nach einem Kurzverfahren. In: Heft 68 der Schriftenreihe Berichte aus der Bauforschung 1970, S. 85
- [25] Weber, L.; Koch, S.: Anwendung von Spektrum-Anpassungswerten, Teil 1: Luftschalldämmung. In: Bauphysik 21(1999), H. 4, S. 167–170
- [26] Bundeszentrale für Politische Bildung, online-Artikel auf www.bpb.de „Der Durchbruch des motorisierten Straßenverkehrs“, Christopher Kopper, 28.01.2016
- [27] Moll, W.; Dämmung des Außenlärms durch Fenster, Kommentar zur Richtlinie VDI 2719. Kampf dem Lärm, 21 (1974), Heft 5
- [28] Martin Gierens: Vergleichende Untersuchung durch Messungen und Berechnungen zum Schallschutz gegen Außenlärm durch Straßenverkehr zur Überprüfung der Regelung nach DIN 4109. Masterarbeit, Lehrstuhl für Bauphysik, Technische Universität München, 2019

- [29] Julia Graf: Untersuchung der Dämmwirkung von Gebäudefassaden zum Schallschutz gegen Schienenverkehrslärm auf der Grundlage von exemplarischen Bausituationen und normativen Berechnungsverfahren. Masterarbeit, Hochschule Mittweida und Hochschule München, 2019
- [30] Isabel Fischer, Andreas Meier, Bernhard Kübler: Ermittlung und Vergleich von Verkehrslärmspektren zur Überprüfung der Korrektursummanden der VDI 2719 hinsichtlich des Schallschutzes von Fenstern. Bauphysik 41 (2019), Heft 3, S. 151-154
- [31] Kübler, B., Schedl, K.: Untersuchung des Bemessungsansatzes der VDI 2719 für den Schallschutz von Fenstern unter Berücksichtigung unterschiedlicher Außenlärmspektren. Bauphysik 39 (2017) Heft 4, S. 224-233
- [32] Kübler, B., Leupoldt, P.: Ermittlung und Vergleich von Außenlärmspektren zur Überprüfung der Korrektursummanden der VDI 2719 hinsichtlich des Schallschutzes von Fenstern unter Berücksichtigung aktueller Außenlärmspektren des Bahn- und Fluglärms. Bauphysik 39 (2017) Heft 5, S. 306-315
- [33] Forschungsbericht „Ermittlung der Geräuschmissionen von Kfz mittels statistischer Vorbeifahrtmessung zur Fortschreibung einer langjährigen Zeitreihe“ Müller-BBM GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes, Juni 2013
- [34] Jan Weinzierl: Untersuchung der Regelwerke für den passiven Schallschutz unter Berücksichtigung aktueller Straßenverkehrslärm-Spektren. Bachelorarbeit, Hochschule Mittweida, 30.09.2019
- [35] Patrick Leupoldt: Ermittlung und Vergleich von Außenlärmspektren zur Überprüfung der Korrektursummanden der VDI 2719 hinsichtlich des Schallschutzes von Fenstern. Bachelorarbeit, Hochschule Rosenheim, 02.03.2017
- [36] Stylianos Kephelopoulos, Marco Paviotti, Fabienne Anfosso-Lédée (2012) Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU) EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012, 180 pp.
- [37] Gerhard Steger: Der maßgebliche Außenlärmpegel, Bindeglied zwischen Außen und Innen, Tagungsband des 24. Bauphysikertreffens 2010, Stuttgart
- [38] Messdokumentation des M-BBM Werkstudenten Michael Maurer zu Trambahnmessungen in München vom 12.06.2019
- [39] Bericht Nr. 1685-1 „Messung von Verkehrslärm“ vom Akustik-Ingenieurbüro Moll vom 21.02.2020
- [40] Messdaten von Schienenverkehrslärm, bereitgestellt durch das Ingenieurbüro für Schallschutz, Herrn Ritterstaedt am 28. und 31.12.2019
- [41] Messdaten von zwei Dauermessstationen vom September 2019 an einer Güterbahnstrecke, bereitgestellt durch das Ingenieurbüro Kurz+Fischer am 03.12.2019

- [42] Messdaten des Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW), des Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen (LfULG) und des Umweltbundesamtes (UBA) sowie Straßenverkehrsspektren aus CNOSSOS-EU, bereitgestellt durch das Umweltbundesamt am 19.12.2019
- [43] Moll, A., Meier, A.: Schallschutz gegen Außenlärm, Bauphysik-Kalender 2020: Bau- und Raumakustik. Herausgegeben von Nabil A. Fouad. 2020
Ernst & Sohn GmbH & Co. KG

Anhang A

**Schienenverkehr - Auswertung der Spektren beispielhafter Zugarten
gemäß Schall 03 aus 16. BImSchV**

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\143\M143131\M143131_02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021

Abkürzungsverzeichnis

WSB	Wellenscheibenbremse
RSB	Radscheibenbremse
GG-Bremse	Graugussklotzbremse
RoLa	Rollende Landstraße

1 Berechnung des längenbezogenen Schalleistungsspektrums gemäß Schall 03

Der abgestrahlte Schallpegel durch Schienenverkehr setzt sich aus verschiedenen Einzelquellen zusammen, die insbesondere vom Typ des Schienenfahrzeugs, dem Gleis und der Fahrgeschwindigkeit abhängen. Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht, welche Geräuschquellen in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit dominieren.

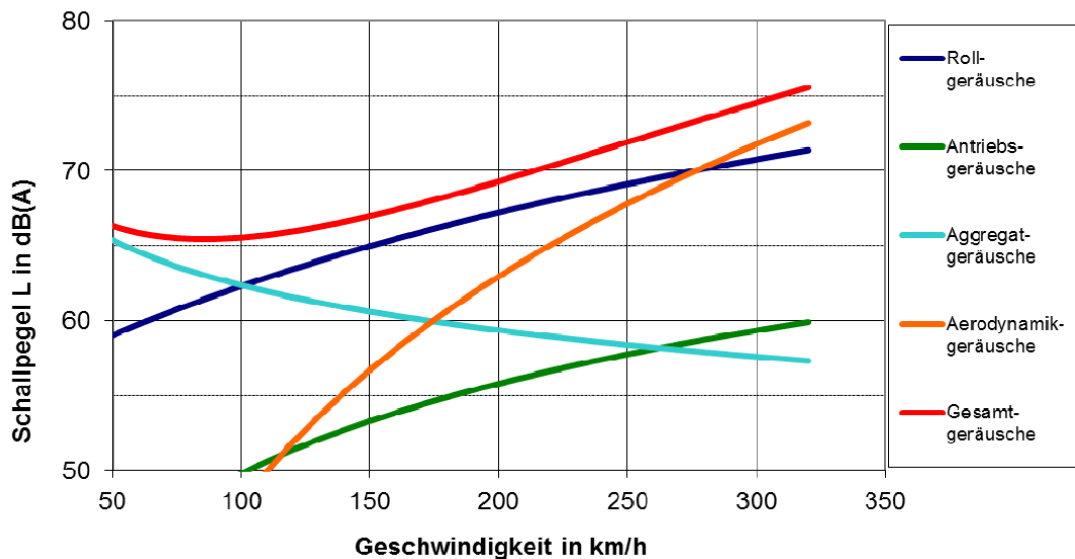


Abbildung A.1. Längenbezogene Schalleistungspegel eines HGV-Triebzuges in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, getrennt nach den Schallquellenarten nach Tab. 5 der Schall 03 (Auszug aus [2]).

Während bei Geschwindigkeiten unter 100 km/h die Aggregatgeräusche dominieren, bestimmen die Rollgeräusche oberhalb dieser Geschwindigkeit den Pegel. Erst bei sehr hohen Geschwindigkeiten dominieren die Aerodynamikgeräusche den resultierenden Gesamtpegel.

Gemäß der „Verkehrslärmverordnung – 16. BImSchV – Anlage 2: Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03)“ wird beim Schienenverkehr der Pegel der längenbezogenen Schalleistung $L_{W'A,f,h,m,Fz}$ für eine bestimmte Fahrzeug-einheit bei einer bestimmten Geschwindigkeit für verschiedene Höhenbereiche über einen Strecken- oder Fahrbahnabschnitt mit bestimmten Fahrbahneigenschaften und Fahrflächenzuständen für einzelne Frequenzbänder nach folgender Gleichung (Gl. 1) berechnet:

$$L_{W'A,f,h,m,Fz} = a_{A,h,m,Fz} + \Delta a_{f,h,m,Fz} + 10 \lg \frac{n_Q}{n_{Q,0}} \text{ dB} + b_{f,h,m} \lg \left(\frac{v_{Fz}}{v_0} \right) \text{ dB} + \sum_c (c1_{f,h,m,c} + c2_{f,h,m,c}) + \sum_k K_k$$

Dabei bezeichnet:

$\alpha_{A,h,m,Fz}$	A-bewerteter Gesamtpegel der längenbezogenen Schalleistung bei der Bezugsgeschwindigkeit $v_0 = 100$ km/h auf Schwellengleis mit durchschnittlichem Fahrflächenzustand, nach Beiblatt 1 und 2, in dB
$\Delta\alpha_{f,h,m,Fz}$	Pegeldifferenz im Oktavband f , nach Beiblatt 1 und 2, in dB
n_Q	Anzahl der Schallquellen der Fahrzeugeinheit
$n_{Q,0}$	Bezugsanzahl der Schallquellen der Fahrzeugeinheit
$b_{f,h,m}$	Geschwindigkeitsfaktor
v_{Fz}	Geschwindigkeit in km/h
v_0	Bezugsgeschwindigkeit, $v_0 = 100$ km/h
$\sum_c (c1_{f,h,m,c} + c2_{f,h,m,c})$	Summe der c Pegelkorrekturen für Fahrbahnart ($c1$) Fahrfläche ($c2$) in dB
$\sum_k K_k$	Summe der k Pegelkorrekturen für Brücken und die Auffälligkeit von Geräuschen in dB

Eine Fahrzeugeinheit ist hierbei definiert als:

„Kleinster im Fahrbetrieb nicht zerlegbarer Teil eines Eisenbahnzuges bzw. ein Straßenbahnfahrzeug“ [1; S.11].

Zu beurteilende Strecken werden in Abschnitte mit gleichmäßiger Schallemission nach gewissen Kriterien aufgeteilt (u. a. Verkehrszusammensetzung, Geschwindigkeitsklassen, Fahrbahnart) [1; S.18].

Zusammenfassend spielen in Gl. 1 somit folgende mögliche Randbedingungen mit ein, welche u. U. eine Anwendung von Korrekturwerten in Gl. 1 erfordern:

- Fahrzeugart
 - Evtl. Korrektur für im Vergleich zur Bezugsanzahl der Achsen geänderte Achsenanzahl
- Geschwindigkeit des Zuges
 - Relation der realen Geschwindigkeit und der Bezugsgeschwindigkeit $v_0 = 100$ km/h
 - Geschwindigkeitsfaktor
- Fahrbahnart, Bahnübergänge
 - Schwellengleise
 - Feste Fahrbahn
 - Feste Fahrbahn mit Absorber
 - Bahnübergang

- Fahrflächenzustand
 - durchschnittlicher Fahrflächenzustand und ohne besondere akustische Maßnahmen an der Schiene → für die akustischen Kennwerte in Beiblatt 1 angenommen
 - besonders überwachtetes Gleis (büG)
 - Schienenstegdämpfer
 - Schienenstegabschirmung
- Brücken (Unterscheidung zwischen fünf Brücken- und Oberbautypen)
- Rangier- und Umschlagbahnhöfe
- Auffälligkeit von Eisenbahngeräuschen
 - Kurvenfahrgeräusche
 - Gleisbremsengeräusche

In Beiblatt 1 dieser Anlage 2 sind die auf einer Länge von 100 km bezogenen A-bewerteten Schalleistungspegel $a_{A,h,m,Fz}$ sowie die Pegeldifferenz $\Delta a_{f,h,m,Fz}$ der verschiedenen Oktavbänder f bei der Bezugsgeschwindigkeit $v_0 = 100 \text{ km/h}$ auf **Schwellengleis** mit **durchschnittlichem Fahrflächenzustand** von 10 verschiedenen Fahrzeugarten zusammengestellt [1; S.26 & S.48].

Tabelle A.1. Auszug aus Beiblatt 1 Datenblätter Eisenbahnen – Festlegungen [1; Beiblatt 1].

Fz-Kategorie 1: HGV-Triebkopf ($n_{Achs,0} = 4$)

Spalte	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Zeile		Teilquelle m	f_m [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	a_A [dB]
1	Rollgeräusche											
2	Schienenrauheit	1	Δa_f [dB]	-50	-40	-24	-8	-3	-6	-11	-30	62
3	Radrauheit	2	Δa_f [dB]	-50	-40	-25	-9	-4	-4	-11	-23	51
4												
5	Aerodynamische Geräusche											
6	Quellhöhe 5 m	5	Δa_f [dB]	-30	-21	-13	-9	-6	-4	-9	-17	43
7	Quellhöhe 4 m	6	Δa_f [dB]	-28	-21	-12	-9	-6	-4	-9	-17	46
8	Quellhöhe 0 m	7	Δa_f [dB]	-15	-8	-6	-6	-8	-14	-21	-32	35
9												
10	Aggregatgeräusche											
11	Quellhöhe 4 m	8	Δa_f [dB]	-35	-24	-10	-5	-5	-8	-15	-26	62
12	Quellhöhe 0 m	9	Δa_f [dB]	-30	-22	-5	-4	-7	-11	-17	-26	54
13												
14	Antriebsgeräusche											
15		11	Δa_f [dB]	-32	-24	-5	-4	-8	-12	-18	-29	50

Bei den Fahrzeugarten wird unterschieden zwischen:

Tabelle A.2. Fahrzeugarten, Fz-Kategorien und Bezugsanzahl der Achsen für Eisenbahnen (Auszug aus [1; S.26]).

Spalte	A	B	C
Zeile	Fahrzeugart	Fahrzeug-Kategorie Fz	Bezugsanzahl der Achsen $n_{Achs,0}$
1	HGV-Triebkopf	1	4
2	HGV-Mittel-/Steuerwagen, nicht angetrieben	2	4
3	HGV-Triebzug	3	32
4	HGV-Neigezug	4	28
5	E-Triebzug und S-Bahn (ET)	5	10
6	V-Triebzug (VT)	6	6
7	Elektrolok (E-Lok)	7	4
8	Diesellok (V-Lok)	8	4
9	Reisezugwagen	9	4
10	Güterwagen	10	4

Für jede Fahrzeugart wird ein Index (Fahrzeugkategorie Fz) sowie eine Bezugsanzahl der Achsen festgelegt, wobei die Schalleistung des Rollgeräusches mit der Anzahl der Achsen zunimmt [1; S. 26].

Je Fahrzeugart werden die Geräusche zunächst aufgeteilt in:

- Rollgeräusche
- Aerodynamische Geräusche
- Aggregatgeräusche
- Antriebsgeräusche

Diese werden noch weiter spezifiziert und Rollgeräusche beispielsweise u. a. in *Schienen-* und *Radrauheit* und die Antriebsgeräusche in *Abgasanlage* und *Motor/Getriebe* aufgeteilt. Diese entsprechen in der Folge den Teilquellen m.

Zusätzlich werden die Geräuschemissionen gemäß Abbildung A.1. auf drei Quellhöhen in Höhe von 0 m, 4 m und 5 m über Schienenoberkante aufgeteilt [1; S. 13].

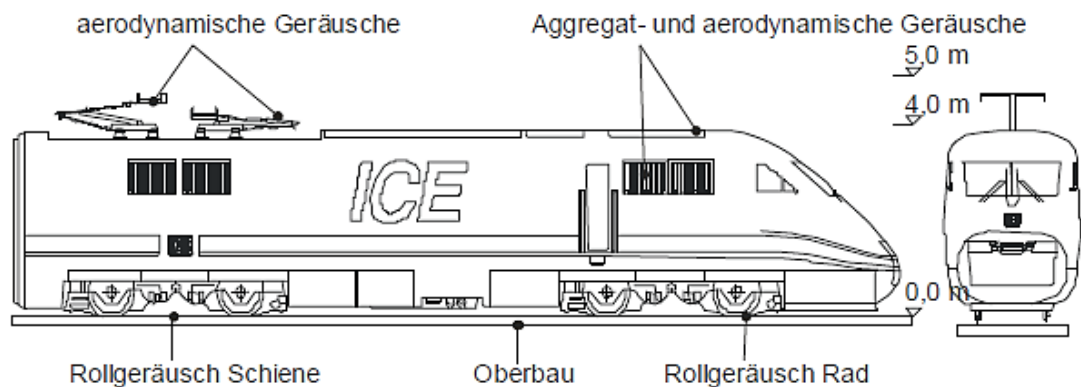


Abbildung A.2. Verteilung der Geräuschquellen am ICE1-Triebkopf [2; S.15].

Bezüglich der zugrunde liegenden Daten lässt sich zusammenfassen:

„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 [2; S.12].

Im Folgenden soll der Frage nach den gemittelten Gesamtschalleistungspegeln in einem einzigen Frequenzspektrum für die jeweiligen Fahrzeugarten nachgegangen werden. In einem nächsten Schritt wird ein Frequenzspektrum für einen kompletten Zug, bestehend aus mehreren Fahrzeugeinheiten, ermittelt. Aus diesen Zugfrequenzspektren sollen wiederum die entsprechenden *K*-Werte bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten bestimmt werden.

2 Spektren der einzelnen Fahrzeugkategorien anhand der Erläuterungen zur Anlage 2 der Schall 03

In dem vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur herausgegebenen Erläuterungsbericht

„Erläuterungen zur Anlage 2 der Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) - Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03)“ (Stand: 19. Dez. 2014)

sind unter Kapitel 2 *Testaufgaben* mehrere Testaufgaben inklusive Lösungen gegeben, mit deren Hilfe Software auf korrekte Umsetzung der in der Schall 03 gegebenen Berechnungsalgorithmen geprüft werden kann. Die Testaufgabe 2.1.1.1 legt hierbei für eine einzelne Fahrzeugeinheit die einfachsten möglichen Bedingungen zugrunde (Vgl. Gl.1), welche damit denselben Randbedingungen wie im Beiblatt 1 der Schall 03 entsprechen:

Testaufgabe 2.1.1.1: Ermittlung des Pegels der längenbezogenen Schalleistung $L_{W'A,f,h,m}$ für eine Einheit der Fahrzeugkategorie Fz

- Zahl der Fahrzeugeinheiten $n_{Fz}=1$
- Geschwindigkeit v entspricht der Bezugsgeschwindigkeit; $v_0 = 100$ km/h
- Anzahl der Achsen entspricht Anzahl der Bezugsachsen; $n_Q = n_{Achs,0}$ (Beiblatt 1)
- Fahrbahnart Schwellengleis im Schotterbett; $c1=0$ (Kap. 4.4)
- keine Schallminderungstechniken am Gleis; $c2=0$ (Kap. 4.5)
- Keine Brücke; $K_{Br}=0$ und $K_{LM}=0$ (Kap. 4.6)
- Keine Auffälligkeiten von Eisenbahngeräuschen; $K_L=0$ (Kap. 4.9)

Abbildung A.3. Ausschnitt aus [2; Testaufgaben S.2].

Als Lösung sind für jede Fahrzeugart die Schalleistungspegel je Oktavbandmittenfrequenz in den drei Höhenbereichen 0 m, 4 m und 5 m gegeben.

Tabelle A.3. Ausschnitt aus Ergebnissen der Testaufgaben - HGV-Triebkopf.

Fahrzeugkategorie Fz	Bezugsanzahl der Achsen $n_{Achs,0}$	Höhenbereich h [m]	Oktavbandmittenfrequenz f_m [Hz]							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
HGV-Triebkopf	4	0	26,35	34,24	50,74	56,10	59,59	56,76	51,54	34,73
		4	27,51	38,21	52,07	57,04	57,09	54,27	47,41	36,79
		5	13,00	22,00	30,00	34,00	37,00	39,00	34,00	26,00

Beim Vergleich dieser Werte mit denen aus dem Beiblatt 1 der Schall 03, lässt sich erkennen, dass hierbei einfach die Schalleistungspegel der einzelnen Höhen aufsummiert wurden.

Beispielhaft folgt die Aufsummierung der Schallleistungspegel auf Quellhöhe 0 m für 63 Hz (vgl. Tabelle A.3 und Tabelle A.4):

$$10 * \log \left(10^{\frac{62-50}{10}} + 10^{\frac{51-50}{10}} + 10^{\frac{35-15}{10}} + 10^{\frac{54-30}{10}} + 10^{\frac{50-32}{10}} \right) \text{ dB} = 26,35 \text{ dB}$$

Tabelle A.4. Ausschnitt aus Schall 03, Beiblatt 1 - HGV-Triebkopf.

Fz-Kategorie 1: HGV-Triebkopf ($n_{\text{Achse},0} = 4$)

Spalte	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Zeile		Teilquelle m	f_m [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	a_A [dB]
1	Rollgeräusche											
2	Schienenrauheit	1	Δa_f [dB]	-50	-40	-24	-8	-3	-6	-11	-30	62
3	Radrauheit	2	Δa_f [dB]	-50	-40	-25	-9	-4	-4	-11	-23	51
4												
5	Aerodynamische Geräusche											
6	Quellhöhe 5 m	5	Δa_f [dB]	-30	-21	-13	-9	-6	-4	-9	-17	43
7	Quellhöhe 4 m	6	Δa_f [dB]	-28	-21	-12	-9	-6	-4	-9	-17	46
8	Quellhöhe 0 m	7	Δa_f [dB]	-15	-8	-6	-6	-8	-14	-21	-32	35
9												
10	Aggregatgeräusche											
11	Quellhöhe 4 m	8	Δa_f [dB]	-35	-24	-10	-5	-5	-8	-15	-26	62
12	Quellhöhe 0 m	9	Δa_f [dB]	-30	-22	-5	-4	-7	-11	-17	-26	54
13												
14	Antriebsgeräusche											
15		11	Δa_f [dB]	-32	-24	-5	-4	-8	-12	-18	-29	50

Die Rollgeräusche erfolgen auf der Höhe 0 m und auch die Antriebsgeräusche stammen in diesem Fall aus einer Höhe von 0 m.

Für die anderen Fahrzeugkategorien sind bei den Antriebsgeräuschen jeweils Quellhöhen angegeben (siehe Tabelle A.5 und Tabelle A.6).

Tabelle A.5: Ausschnitt aus Schall 03, Beiblatt 1 - E-Triebzug und S-Bahn.

18	Antriebsgeräusche											
19	Quellhöhe 0 m	11	Δa_f [dB]	-32	-24	-5	-4	-8	-12	-18	-29	45

Tabelle A.6: Ausschnitt aus Schall 03, Beiblatt 1 - V-Triebzug.

14	Antriebsgeräusche											
15	Quellhöhe 4 m	10	Δa_f [dB]	-12	-5	-4	-8	-12	-20	-30	-30	42
16	Quellhöhe 0 m	11	Δa_f [dB]	-25	-16	-9	-5	-5	-8	-12	-20	57

3 Berechnung der Gesamtschalleistungspegel einer Fahrzeugeinheit

Die Gesamtschalleistungspegel der einzelnen Quellhöhen können entweder durch Aufsummierung berechnet oder den Lösungen der Testaufgaben entnommen werden. So hat man für jede Fahrzeugart die Schalleistungspegel in den acht Oktavbändern in drei Höhen. Diese drei Leistungspegel je Frequenz können wiederum gemäß Gl. 2 addiert werden, um den Gesamtleistungspegel einer Fahrzeugeinheit zu erhalten.

$$L_{W',A} = 10 * \log(\sum 10^{\frac{L_{W',A,n}}{10}}) \quad (\text{Gl. 2})$$

4 Schalleistungsspektren von Zügen bestehend aus mehreren Fahrzeug-Einheiten

In Tabelle A.7 sind die Höchstgeschwindigkeiten von Zügen im Regelverkehr und die Anzahl von Fahrzeugeinheiten je Fahrzeugkategorie von häufig eingesetzten Zügen aufgeführt.

In der Schall 03 sind beispielhaft „die Zusammensetzung und die Anzahl von Fahrzeugeinheiten von Zügen“ [1; S.26] gegeben, falls diese für die Berechnung nicht vorgegeben werden.

Tabelle A.7. Zusammensetzung und Anzahl von Fahrzeugeinheiten verschiedener Zugarten [1; S.26/27].

Spalte	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Zeile	Zugart	Höchstgeschwindigkeit im Regelverkehr in km/h	Anzahl der Fahrzeugeinheiten je Fz-Kategorie									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ICE-1-Zug	250	2	12								
2	ICE-2-Halbzug	250	1	7								
3	ICE-2-Vollzug	250	2	14								
4	ICE-3-Halbzug	300			1							
5	ICE-3-Vollzug	300			2							
6	ICE-T	230				1						
7	Thalys-PBKA-Halbzug	300	2	5								
8	Thalys-PBKA-Vollzug	300	4	10								
9	ETR 470 Cisalpino	200				1						
10	IC-Zug (bespannt mit E-Lok)	200							1		12	
11	IC-Zug (bespannt mit V-Lok)	160								1	12	
12	Nahverkehrszug (bespannt mit E-Lok)	160							1		5	
13	Nahverkehrszug (bespannt mit V-Lok)	140								1	5	
14	Nahverkehrszug (ET)	140					1					
15	Nahverkehrszug (VT)	120						1				
16	IC3	180							1			
17	S-Bahn	120					1					
18	Güterzug (bespannt mit E-Lok)	100								1		24
19	Güterzug (bespannt mit V-Lok)	100									1	24

Zur besseren Übersicht wurden die in der Schall 03 genannten Zugarten in 4 Kategorien aufgeteilt:

- Hochgeschwindigkeitszüge (blau)
- Fernverkehrszüge (orange)
- Nahverkehrszüge (grün)
- Güterzüge (gelb)

Da es laut Schall 03 Beiblatt 1 bei manchen Fahrzeugeinheiten unterschiedliche Brems- oder Bahnstromsysteme gibt, gibt es innerhalb einer Zugart oftmals verschiedene Kombinationen von Fahrzeugeinheiten.

Fz-Kategorie 5: E-Triebzug und S-Bahn ($n_{Achse,0} = 10$)

Spalte	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Zeile		Teilquelle m	f_m [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	a_A [dB]
1	Rollgeräusche											
2	Radsätze mit Wellenscheibenbremse (WSB)											
3	Schienenrauheit	1	Δa_r [dB]	-50	-40	-24	-8	-3	-6	-11	-30	71
4	Radrauheit	2	Δa_r [dB]	-50	-40	-25	-9	-4	-4	-11	-23	60
5	Radsätze mit Radscheibenbremse (RSB)											
6	Schienenrauheit	1	Δa_r [dB]	-50	-40	-24	-8	-3	-6	-11	-30	69
7	Radrauheit	2	Δa_r [dB]	-50	-40	-25	-9	-4	-4	-11	-23	58
8												

Abbildung A.4. Auszug aus Schall 03 - beispielhafte unterschiedliche Bremssysteme einer Fahrzeugeinheit.

Fz-Kategorie 3: HGV-Triebzug ($n_{Achse,0} = 32$)

Spalte	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Zeile		Teilquelle m	f_m [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	a_A [dB]
1	Rollgeräusche											
2	Radsätze mit Wellen- und Radscheibenbremse											
3	Schienenrauheit	1	Δa_r [dB]	-50	-40	-24	-8	-3	-6	-11	-30	73
4	Radrauheit	2	Δa_r [dB]	-50	-40	-25	-9	-4	-4	-11	-23	62
5												
6	Aerodynamische Geräusche											
7	Quellhöhe 5 m	5	Δa_r [dB]	-30	-21	-13	-9	-6	-4	-9	-17	41
8	Quellhöhe 4 m											
9	Ein-System-Version	6	Δa_r [dB]	-27	-21	-12	-8	-5	-5	-11	-19	44
10	Zwei-System-Version	6	Δa_r [dB]	-27	-21	-12	-8	-5	-5	-11	-19	46
11	Drei-System-Version	6	Δa_r [dB]	-27	-21	-12	-8	-5	-5	-11	-19	47
12	Quellhöhe 0 m	7	Δa_r [dB]	-16	-9	-7	-7	-7	-9	-12	-19	45
13												

Abbildung A.5. Auszug aus Schall 03 - beispielhafte unterschiedliche Bahnstromsysteme einer Fahrzeugeinheit.

In den folgenden Diagrammen und Tabellen sind die längenbezogenen Schallleistungspegel [dB(A)] der Hochgeschwindigkeitszüge bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten (50 km/h, 100 km/h und der jeweiligen Höchstgeschwindigkeit im Regelverkehr (gemäß Tabelle A.7) dargestellt. Da bei den Güterzügen die Höchstgeschwindigkeit sowieso 100 km/h beträgt, wurde hier die Höchstgeschwindigkeit nicht noch einmal betrachtet.

Bei Geschwindigkeiten, die von der Referenzgeschwindigkeit (100 km/h) abweichen, kommt gemäß Gl. 1 eine Geschwindigkeitskomponente zum Zug, welche frequenzabhängig folgende Werte annimmt:

Spalte	A	B	C							
Zeile	Schallquellenart	Teilquellen <i>m</i>	Geschwindigkeitsfaktor <i>b</i> in der Oktavband-Mittenfrequenz, in Hz							
1			63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
2	Rollgeräusche	1, 2, 3, 4	-5	-5	-5	0	10	25	25	25
3	Aerodynamische Geräusche	5, 6, 7	50							
4	Aggregatgeräusche	8, 9	-10							
5	Antriebsgeräusche	10, 11	20							

Abbildung A.6. Ausschnitt aus der Schall 03 - Geschwindigkeitsfaktor *b* für Eisenbahnen.

5 Hochgeschwindigkeitszüge

Bemerkung:

ICE-3-Halbzug und ICE-3-Vollzug: Die aerodynamischen Geräusche der unterschiedlichen Bahnstromsysteme unterscheiden sich nur um max. 0,1 dB, deswegen wurde in der Folge nur die lauteste Systemversion (= Drei-Systemversion) betrachtet.

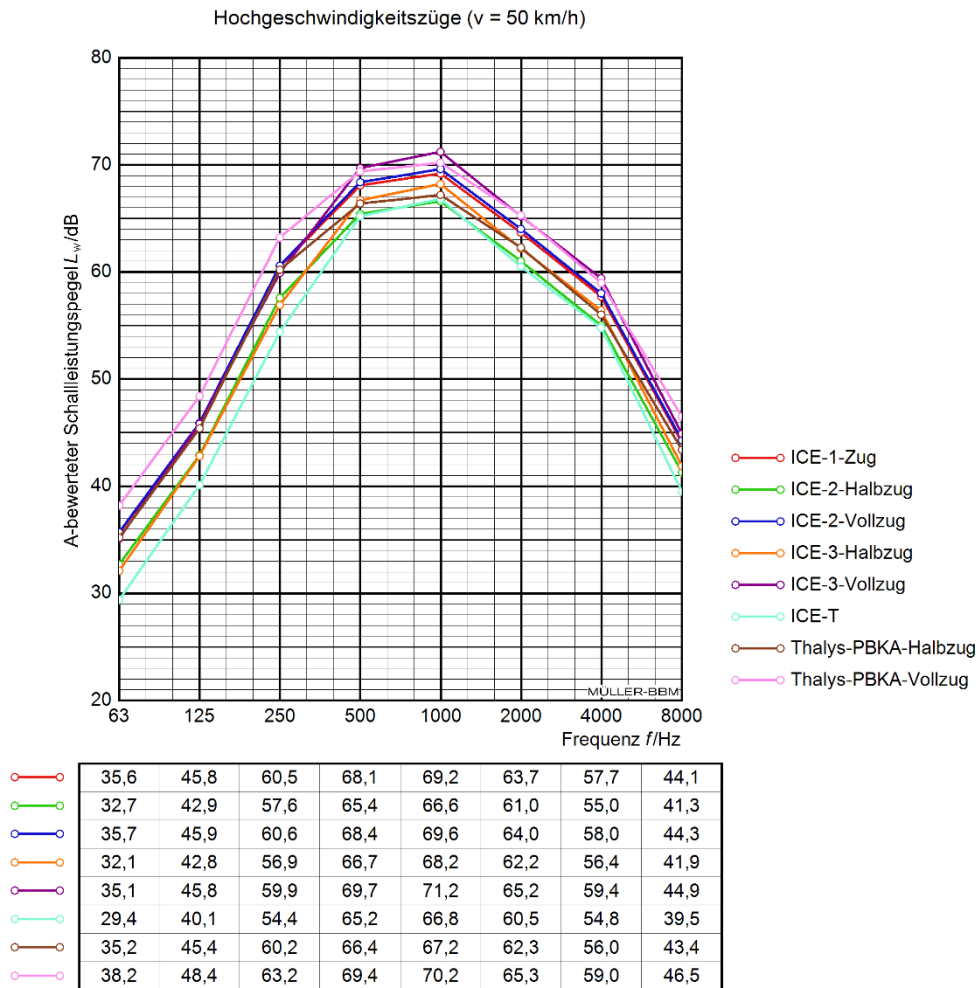


Abbildung A.7. Schalleistungspegel-Spektren - Hochgeschwindigkeitszüge bei v = 50 km/h.

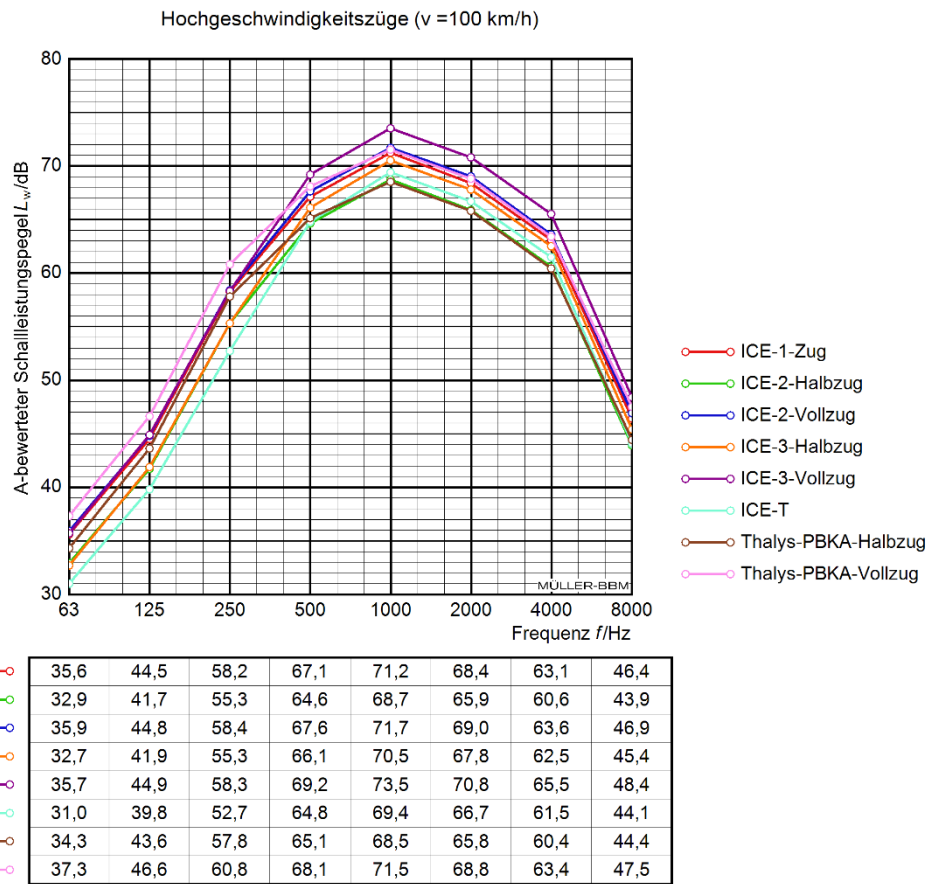


Abbildung A.8. Schalleistungspegel-Spektren - Hochgeschwindigkeitszüge bei v = 100 km/h.

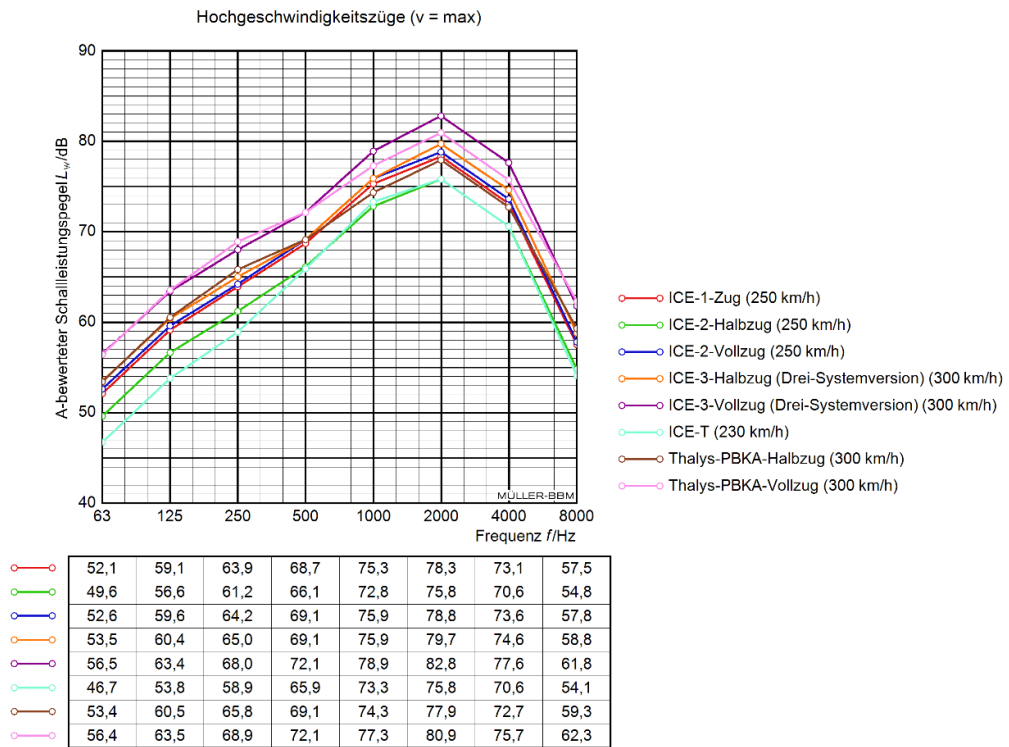


Abbildung A.9. Schalleistungspegel-Spektren - Hochgeschwindigkeitszüge bei $v = v_{max}$.

6 Fernverkehrszüge

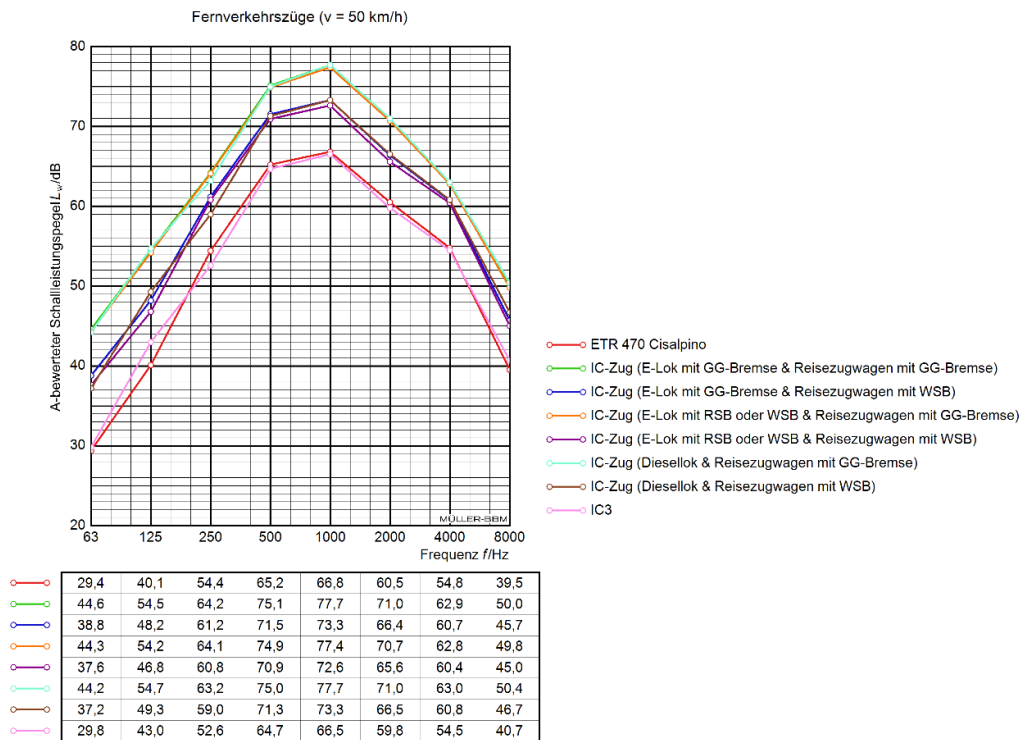


Abbildung A.10. Schalleistungspegel-Spektren - Fernverkehrszüge bei v = 50 km/h.

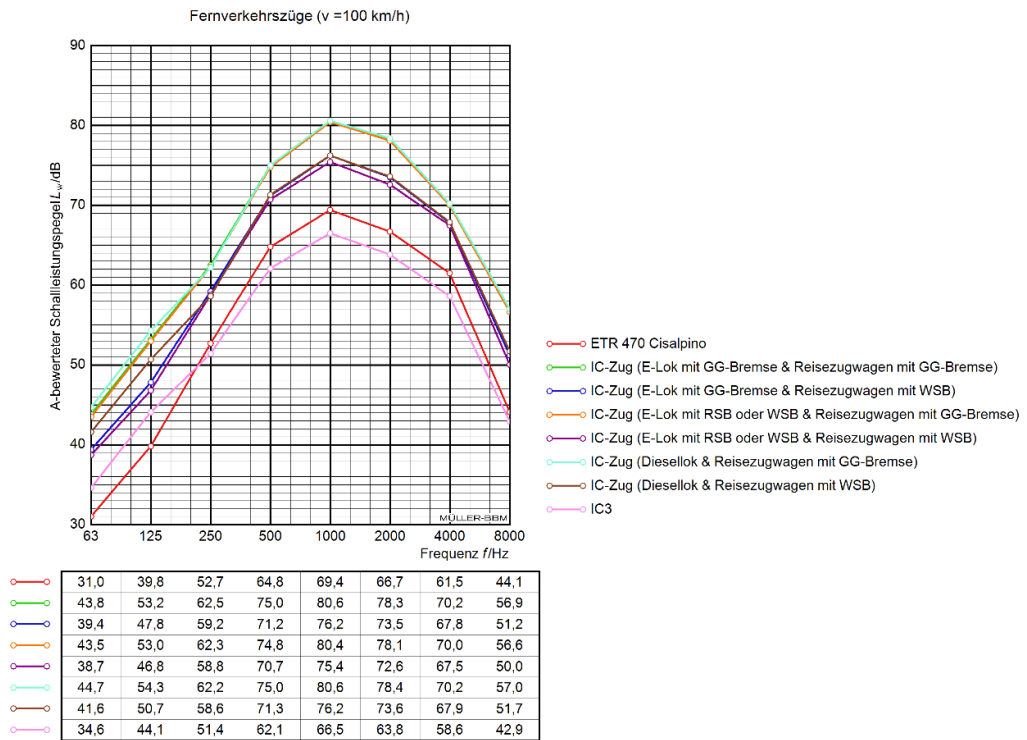


Abbildung A.11. Schallleistungspegel-Spektren - Fernverkehrszüge bei v = 100 km/h.

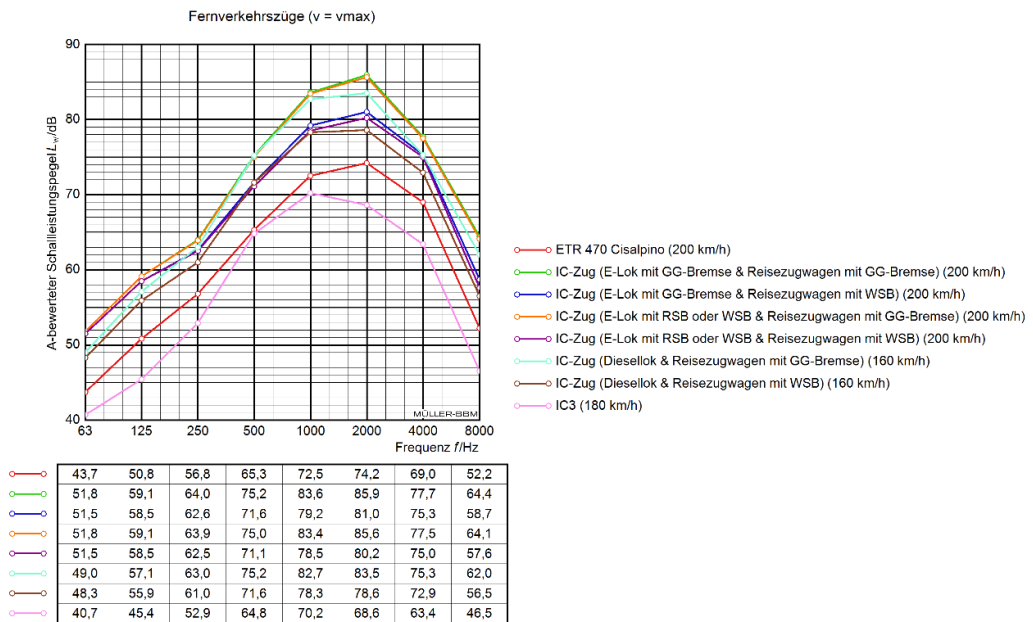


Abbildung A.12. Schallleistungspegel-Spektren - Fernverkehrszüge bei v = v_{max}.

7 Nahverkehrszüge

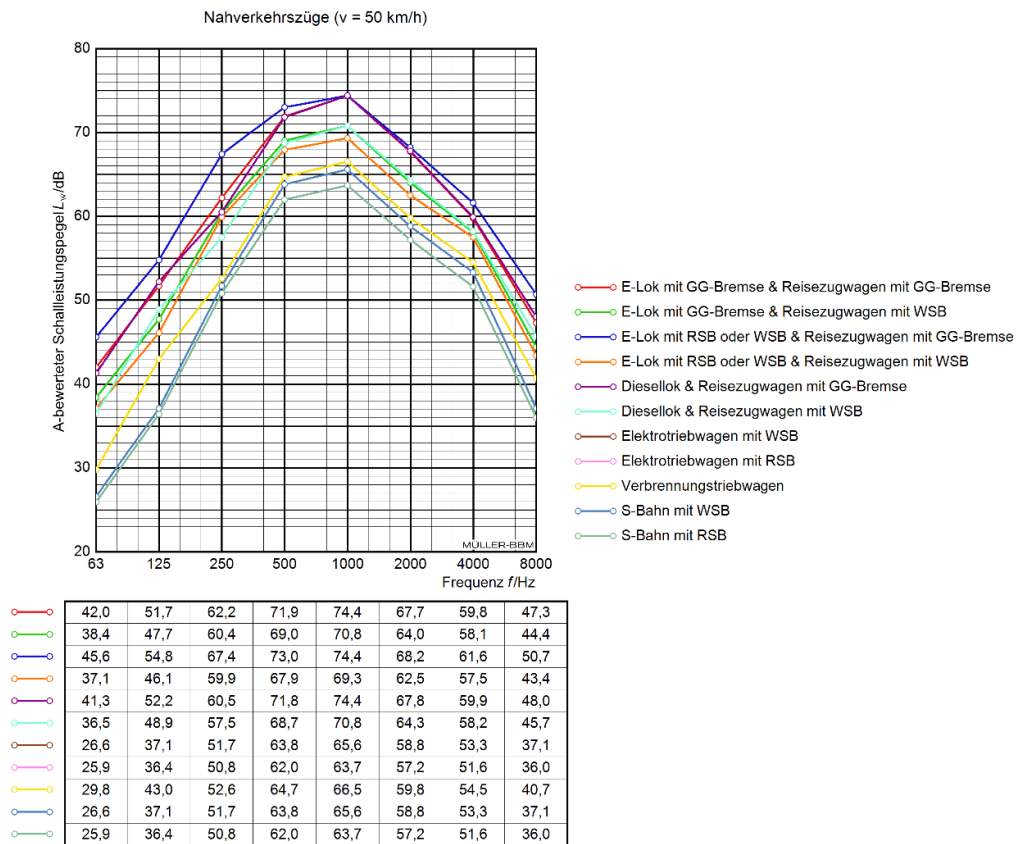


Abbildung A.13. Schalleistungspegel-Spektren - Nahverkehrszüge bei v = 50 km/h.

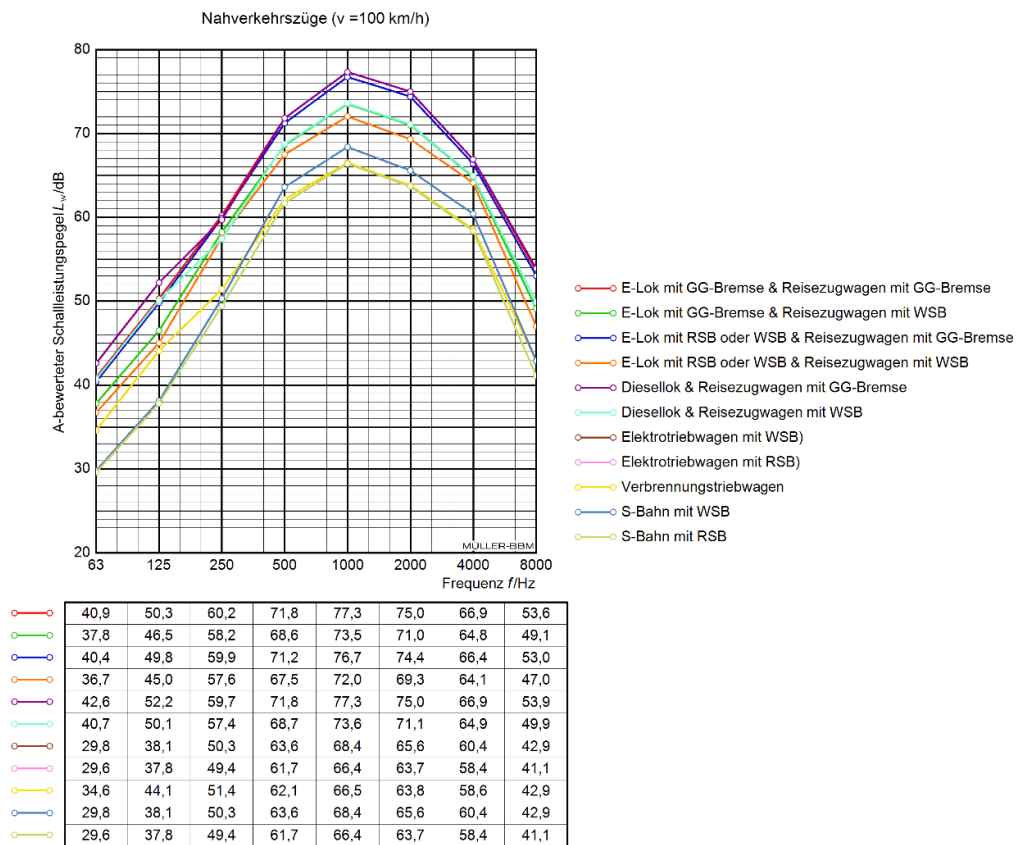


Abbildung A.14. Schalleistungspegel-Spektren - Nahverkehrszüge bei v = 100 km/h.

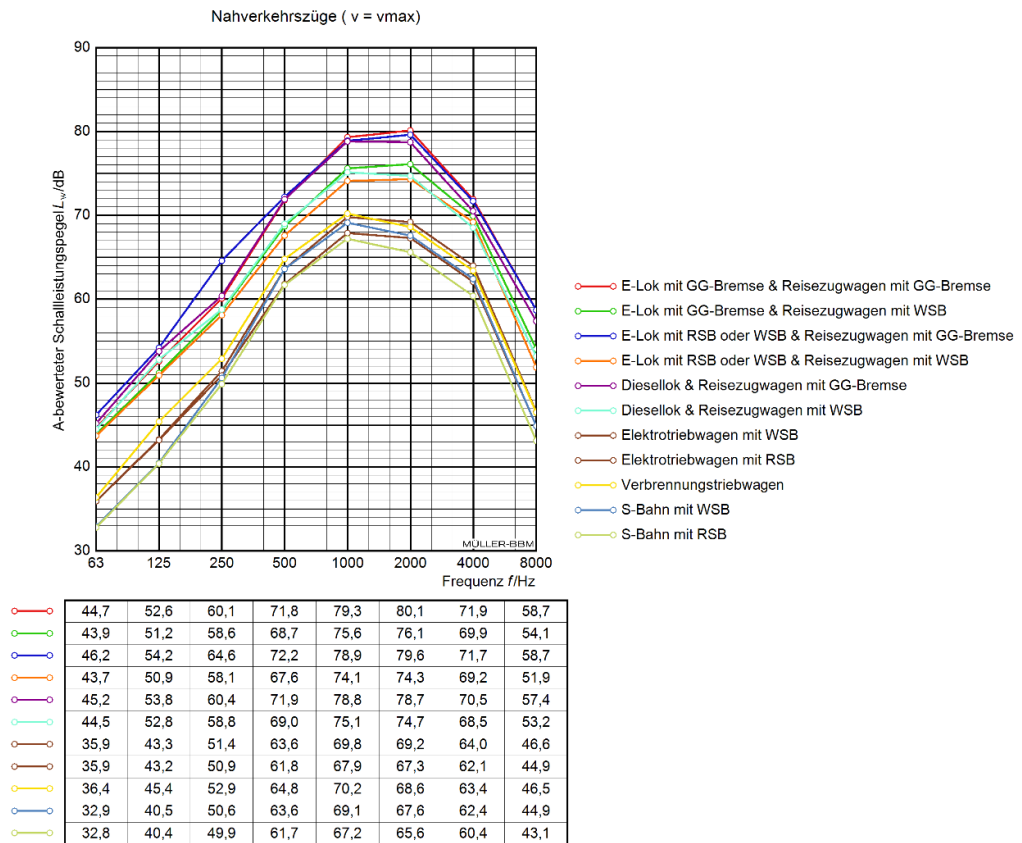


Abbildung A.15. Schalleistungspegel-Spektren - Nahverkehrszüge bei $v = v_{max}$.

8 Güterzüge

Der Übersichtlichkeit halber werden die Güterzüge auch nochmal aufgeteilt in

- E-Lok mit GG-Bremse,
- E-Lok mit RSB oder WSB,
- V-Lok.

Da bei den Güterzügen die Höchstgeschwindigkeit sowieso 100 km/h beträgt, wurde hier die Höchstgeschwindigkeit nicht noch einmal betrachtet.

In der Schall 03 steht bezüglich der Bremssysteme bei Güter- und Kesselwägen folgendes geschrieben:

„Bei Güterzügen kann damit gerechnet werden, dass bis zum Jahr 2020 80 Prozent und bis zum Jahr 2030 100 Prozent der Güterwagen mit **Verbundstoff-Klotzbremsen** ausgestattet sind. Dies betrifft Güterwagen gemäß den Zeilen 5 bis 7 sowie 18 bis 20 von Beiblatt 1, Fahrzeug-Kategorie 10.“ [1; S.27]

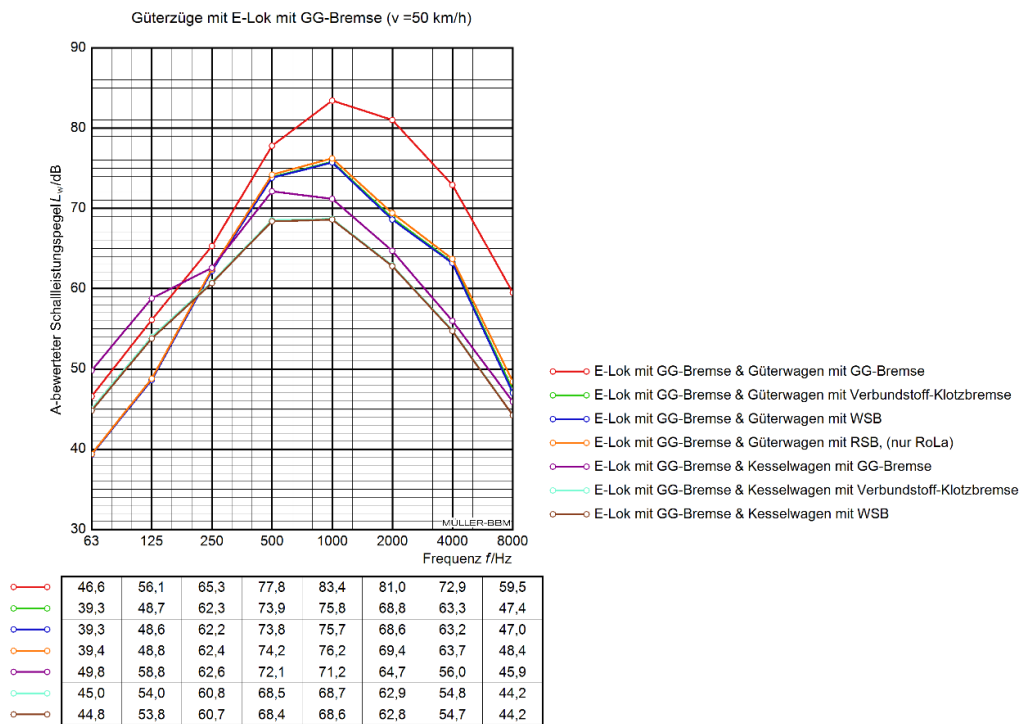


Abbildung A.16. Schalleistungspegel-Spektren - Güterzüge mit E-Lok mit GG-Bremse bei v = 50 km/h (Kesselwagen: Werte aus eigener Berechnung, Bildung der Pegelsummen der jeweiligen Höhe).

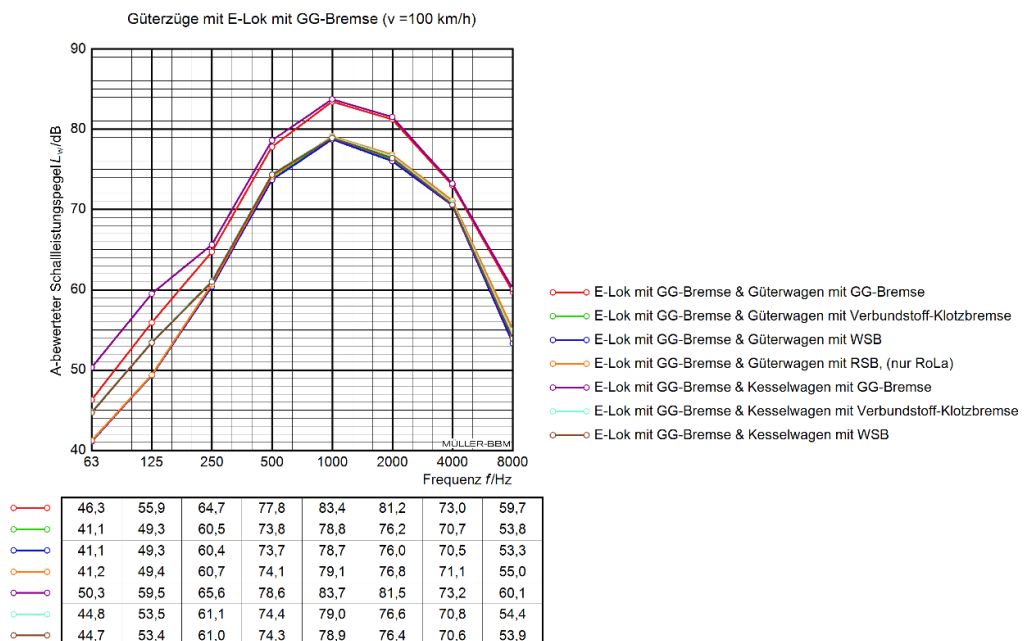


Abbildung A.17. Schalleistungspegel-Spektren - Güterzüge mit E-Lok mit GG-Bremse bei v = 100 km/h ((Kesselwagen: Werte aus [2], genaue Berechnung konnte nicht nachvollzogen werden).

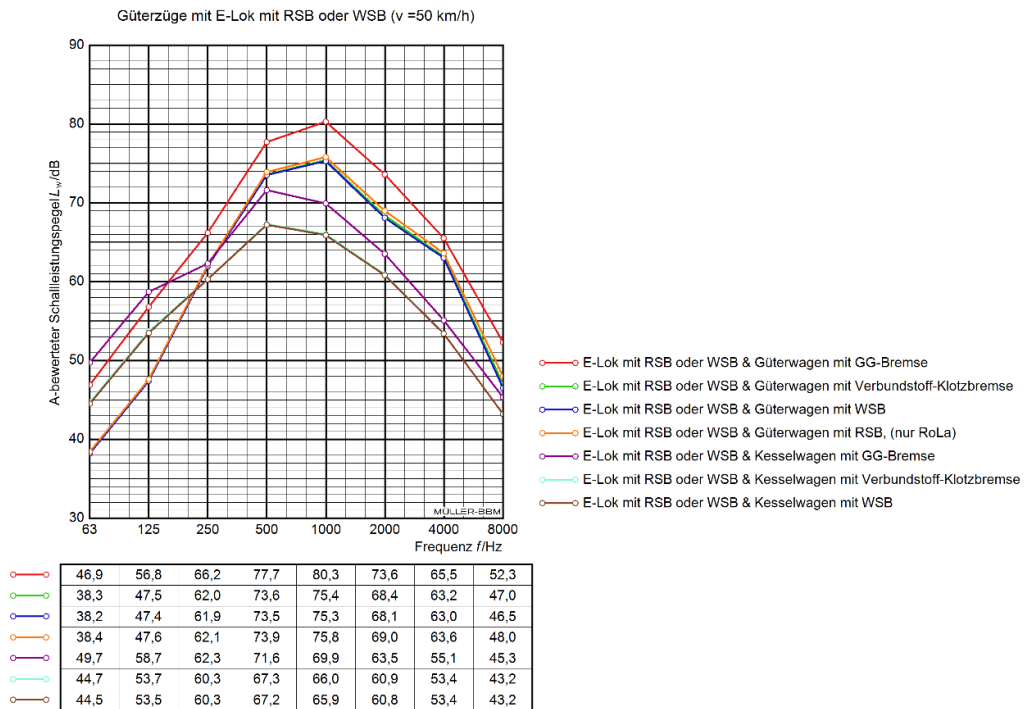


Abbildung A.18. Schalleistungspegel-Spektren - Güterzüge mit E-Lok mit RSB oder WSB bei v = 50 km/h.

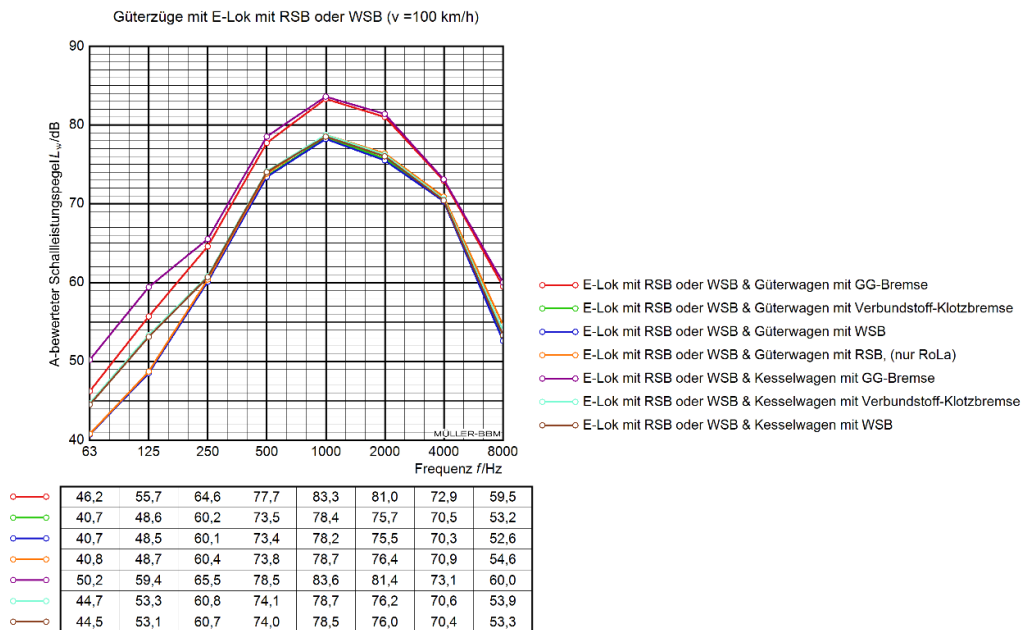


Abbildung A.19. Schalleistungspegel-Spektren - Güterzüge mit E-Lok mit RSB oder WSB bei v = 100 km/h.

\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\143M143131\143131_02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021

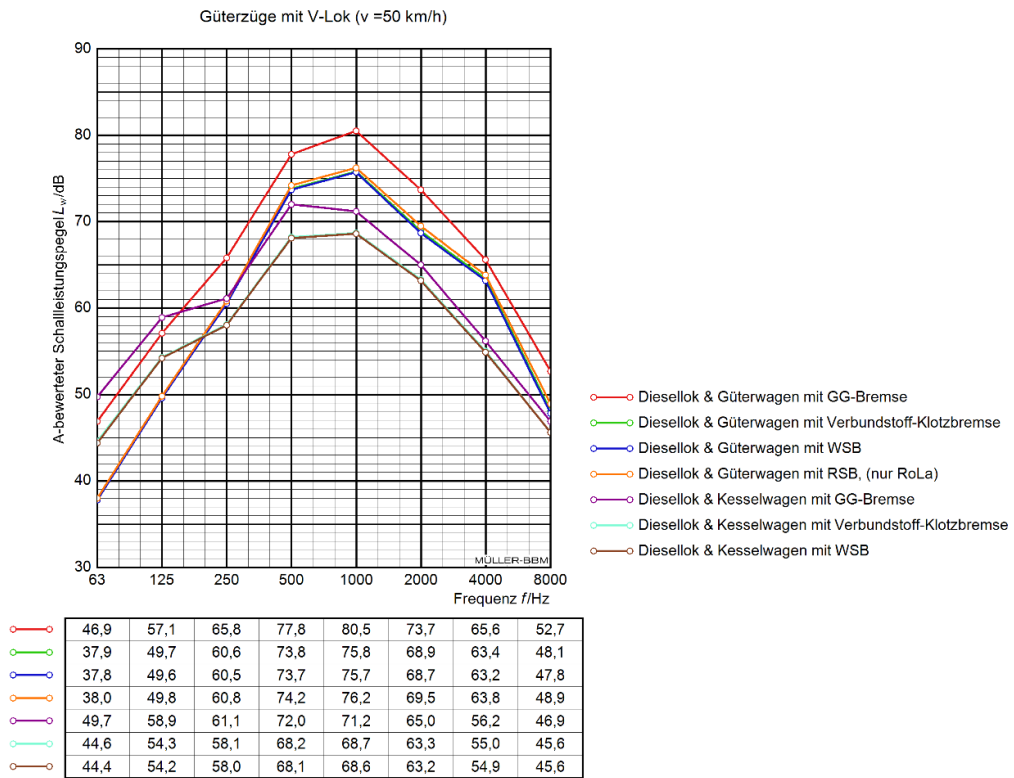


Abbildung A.20. Schallleistungspegel-Spektren - Güterzüge mit Diesellok bei v = 50 km/h.

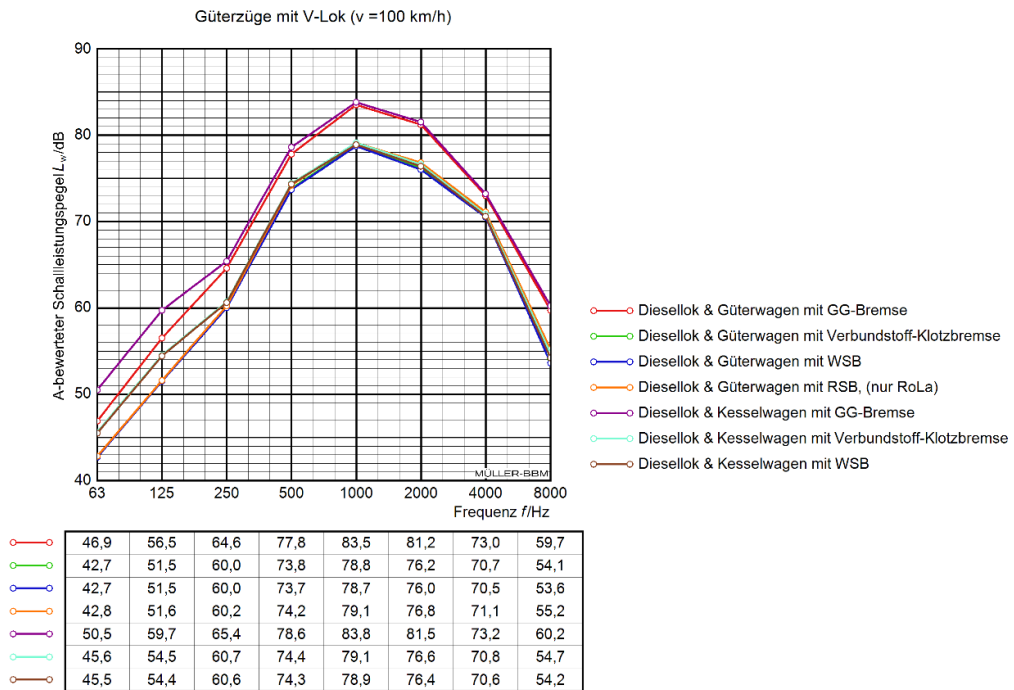


Abbildung A.21. Schallleistungspegel-Spektren - Güterzüge mit Diesellok bei v = 100 km/h.

9 Vergleich der Spektren bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Für jede der Kategorien wurden beispielhaft die Spektren der Schalleistung bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten von jeweils zwei beliebig ausgewählten Zugarten zusammen dargestellt.

Hochgeschwindigkeitszüge - Vergleich unterschiedlicher Geschwindigkeiten

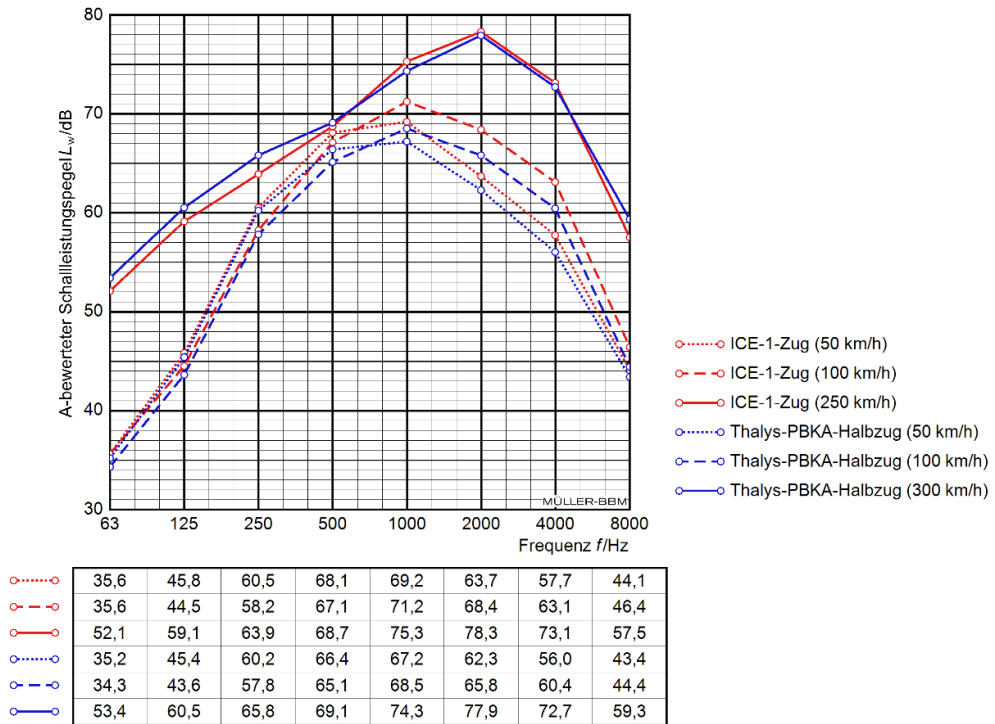


Abbildung A.22. Vergleich der Schalleistungsspektren zweier Zugarten der Kategorie Hochgeschwindigkeitszüge bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

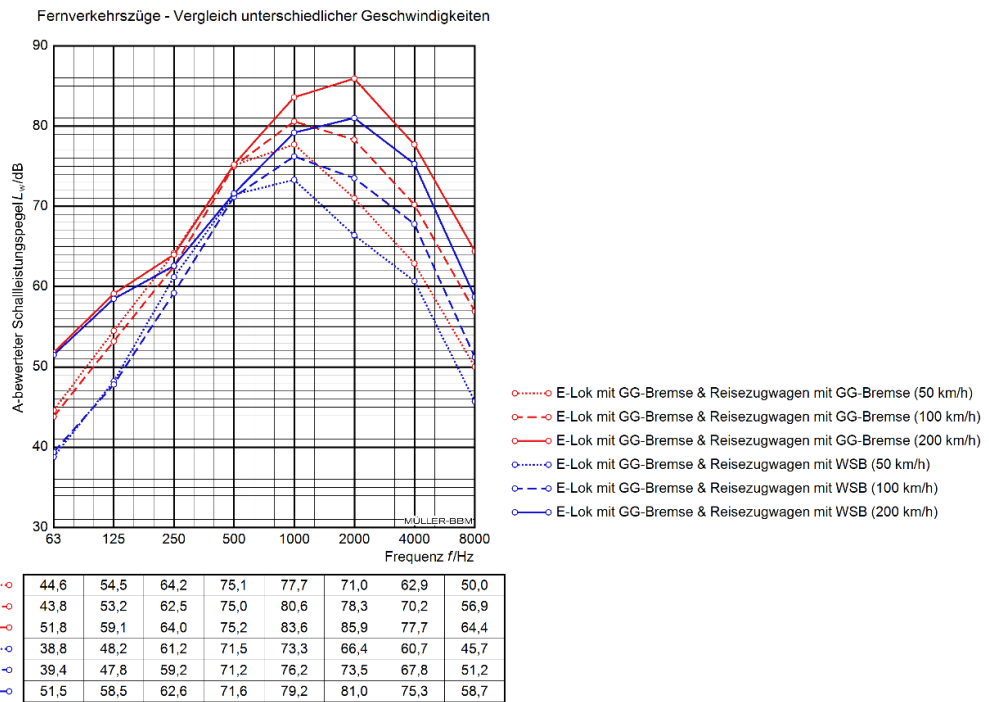


Abbildung A.23. Vergleich der Schalleistungsspektren zweier Zugarten der Kategorie Fernverkehrszüge bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

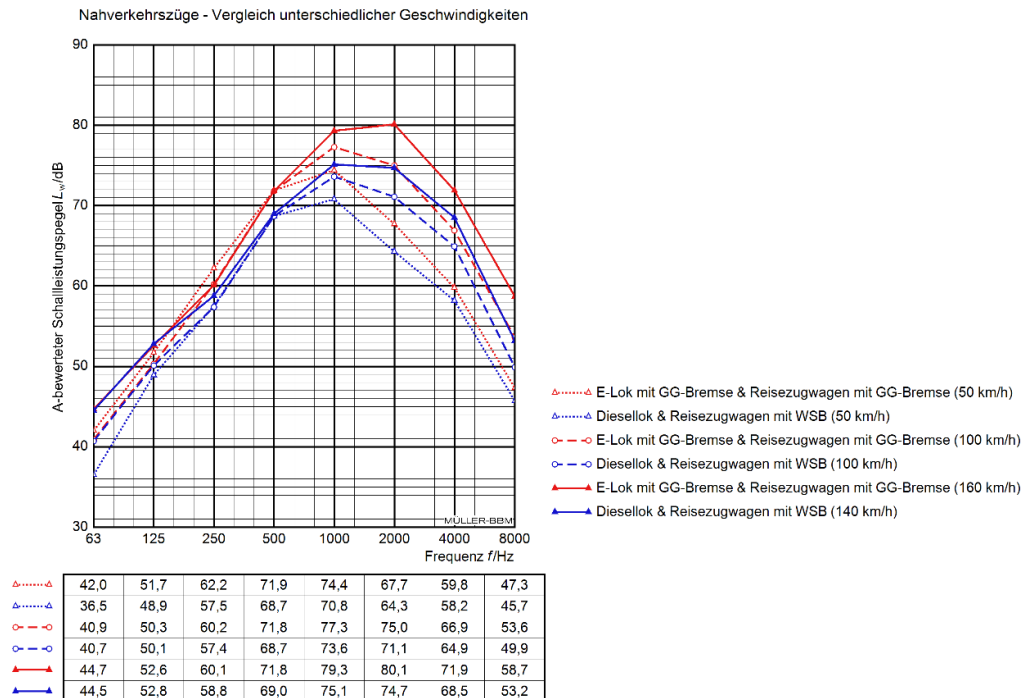


Abbildung A.24. Vergleich der Schalleistungsspektren zweier Zugarten der Kategorie Nahverkehrszüge bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

Bei den Güterzügen entspricht die Höchstgeschwindigkeit der Referenzgeschwindigkeit von 100 km/h. Hierfür gibt es also kein zusätzliches Spektrum. Stattdessen wurde hier die Problematik bezüglich der Kesselwagen genauer betrachtet und das Schalleistungsspektrum bei 100 km/h gemäß [2] sowie der eigenen Berechnung gegenübergestellt. Das Diagramm verdeutlicht auch noch einmal, dass die eigene Berechnung im Falle der Güterwagen mit den Werten aus [2] übereinstimmt. Bei den Kesselwagen ist das wie bereits erwähnt, nicht der Fall.

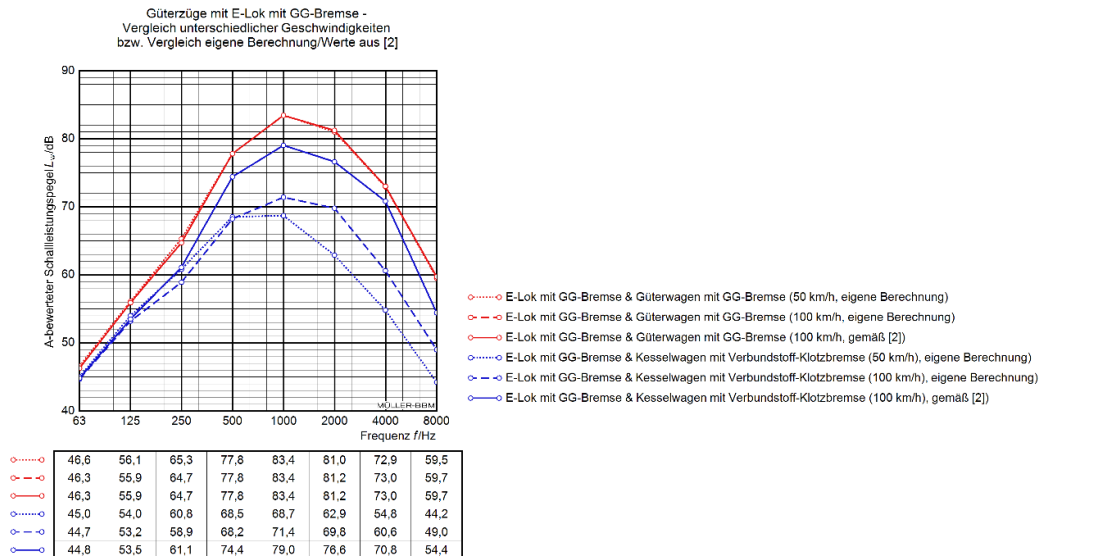


Abbildung A.25. Vergleich der Schalleistungsspektren zweier Zugarten der Kategorie Güterzüge mit E-Lok mit GG-Bremse bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

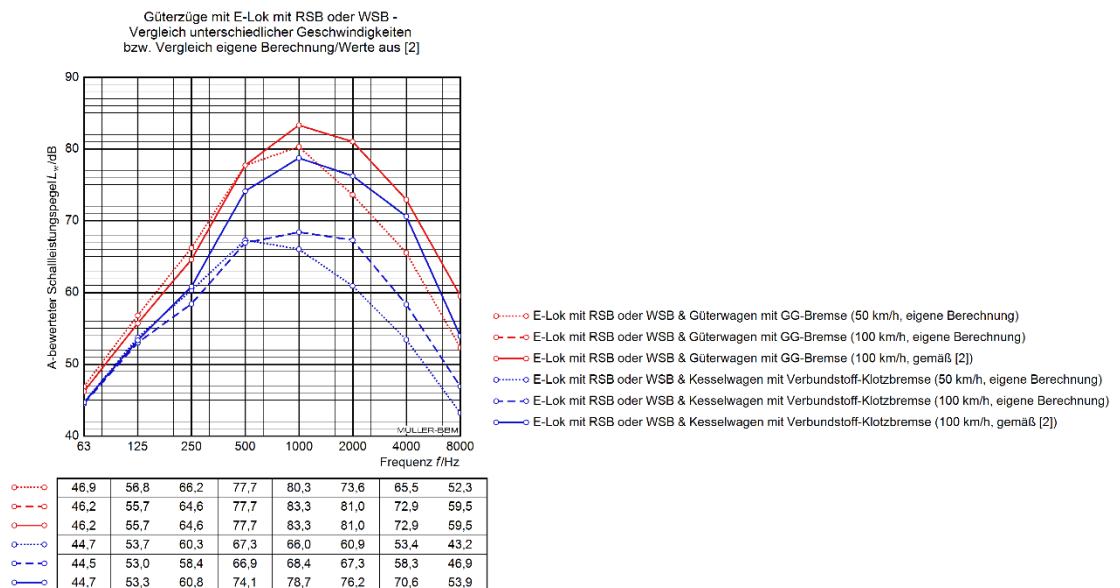


Abbildung A.26. Vergleich der Schalleistungsspektren zweier Zugarten der Kategorie Güterzüge mit E-Lok mit RSB oder WSB bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

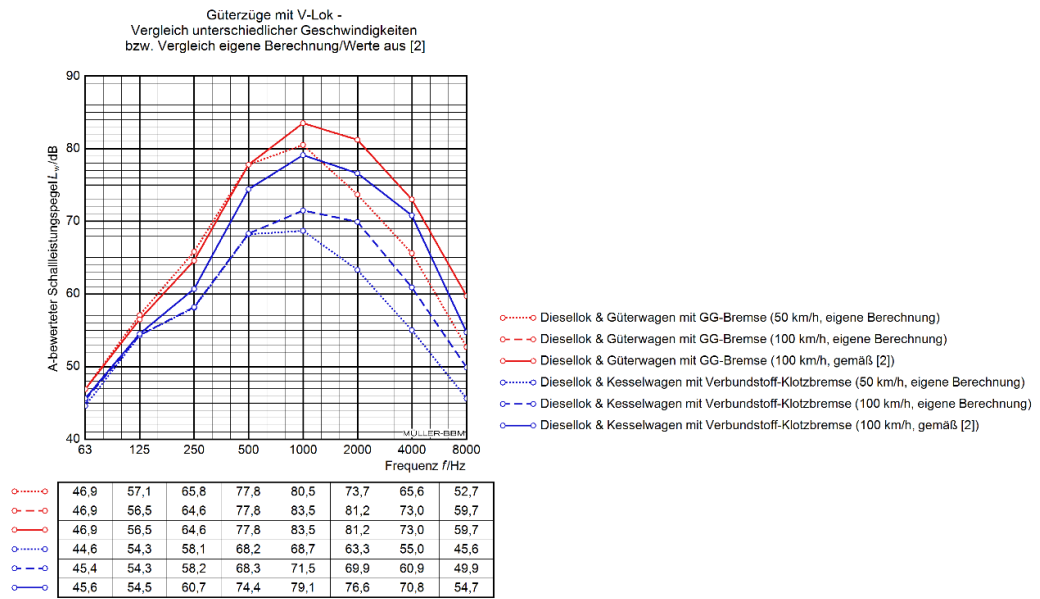


Abbildung A.27. Vergleich der Schalleistungsspektren zweier Zugarten der Kategorie Güterzüge mit V-Lok bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

10 K-Werte von Zügen

Tabelle A.8. Geschwindigkeitsabhängige K-Werte – Hochgeschwindigkeitszüge.

Zugart	Beschreibung	Korrektursummand		
		v = 50 km/h	v = 100 km/h	v = v _{max}
ICE-1-Zug		+2,1	+0,6	+1,3
ICE-2-Halbzug		+2,0	+0,6	+1,3
ICE-2-Vollzug		+2,0	+0,6	+1,3
ICE-3-Halbzug	(Drei-Systemversion)	+1,5	+0,2	+1,3
ICE-3-Vollzug	(Drei-Systemversion)	+1,5	+0,2	+1,3
ICE-T		+1,2	0,0	+0,3
Thalys-PBKA-Halbzug		+2,6	+1,2	+2,3
Thalys-PBKA-Vollzug		+2,6	+1,2	+2,3

Tabelle A.9. Geschwindigkeitsabhängige K-Werte – Fernverkehrszüge.

Zugart	Beschreibung	Korrektursummand		
		v = 50 km/h	v = 100 km/h	v = v _{max}
ETR 470 Cisalpino		+1,2	0,0	0,0
IC-Zug (bespannt mit E-Lok)	(E-Lok mit GG-Bremse & Reisezugwagen mit GG-Bremse)	+1,3	-0,1	-0,7
IC-Zug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit GG-Bremse & Reisezugwagen mit WSB	+1,4	0,0	0,0
IC-Zug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit RSB oder WSB & Reisezugwagen mit GG-Bremse	+1,3	-0,1	-0,7
IC-Zug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit RSB oder WSB & Reisezugwagen mit WSB	+1,4	+0,1	+0,2
IC-Zug (bespannt mit V-Lok)	Diesellok & Reisezugwagen mit GG-Bremse	+1,3	0,0	-0,6
IC-Zug (bespannt mit V-Lok)	Diesellok & Reisezugwagen mit WSB	+1,2	+0,2	0,0
IC3		+1,3	+0,8	+0,1

Tabelle A.10. Geschwindigkeitsabhängige K-Werte – Nahverkehrszüge.

Zugart	Beschreibung	Korrektursummand		
		v = 50 km/h	v = 100 km/h	v = v _{max}
Nahverkehrszug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit GG-Bremse & Reisezugwagen mit GG-Bremse	+1,6	0,0	-0,6
Nahverkehrszug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit GG-Bremse & Reisezugwagen mit WSB	+1,9	+0,2	-0,3
Nahverkehrszug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit RSB oder WSB & Reisezugwagen mit GG-Bremse	+1,6	0,0	-0,6
Nahverkehrszug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit RSB oder WSB & Reisezugwagen mit WSB	+2,0	+0,4	0,0
Nahverkehrszug (bespannt mit V-Lok)	Diesellok & Reisezugwagen mit GG-Bremse	+1,4	+0,1	-0,3
Nahverkehrszug (bespannt mit V-Lok)	Diesellok & Reisezugwagen mit WSB	+1,5	+0,5	+0,3
Nahverkehrszug (ET)	mit WSB	+1,0	-0,1	-0,3
Nahverkehrszug (ET)	mit RSB	+1,1	0,0	-0,1
Nahverkehrszug (VT)		+1,3	+0,8	+0,1
S-Bahn	mit WSB	+1,0	-0,1	-0,3
S-Bahn	mit RSB	+1,1	0,0	-0,1

Tabelle A.11. Geschwindigkeitsabhängige K-Werte – Güterzüge.

Zugart	Beschreibung	Korrektursummand		
		v = 50 km/h	v = 100 km/h	v = v _{max}
Güterzug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit GG-Bremse & Güterwagen mit GG-Bremse	-0,1	-0,1	-- *)
Güterzug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit GG-Bremse & Güterwagen mit Verbundstoff-Klotzbremse	+1,1	-0,1	-- *)
Güterzug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit GG-Bremse & Güterwagen mit WSB	+1,1	-0,1	-- *)
Güterzug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit GG-Bremse & Güterwagen mit RSB, (nur RoLa)	+1,0	-0,2	-- *)
Güterzug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit GG-Bremse & Kesselwagen mit GG-Bremse	+1,9	+0,2	-- *)
Güterzug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit GG-Bremse & Kesselwagen mit Verbundstoff-Klotzbremse	+1,7	+0,2	-- *)
Güterzug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit GG-Bremse & Kesselwagen mit WSB	+1,7	+0,2	-- *)
Güterzug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit RSB oder WSB & Güterwagen mit GG-Bremse	+1,2	-0,1	-- *)
Güterzug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit RSB oder WSB & Güterwagen mit Verbundstoff-Klotzbremse	+1,0	-0,1	-- *)
Güterzug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit RSB oder WSB & Güterwagen mit WSB	+1,1	-0,1	-- *)
Güterzug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit RSB oder WSB & Güterwagen mit RSB, (nur RoLa)	+1,0	-0,2	-- *)
Güterzug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit RSB oder WSB & Kesselwagen mit GG-Bremse	+1,9	+0,2	-- *)
Güterzug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit RSB oder WSB & Kesselwagen mit Verbundstoff-Klotzbremse	+1,7	+0,2	-- *)
Güterzug (bespannt mit E-Lok)	E-Lok mit RSB oder WSB & Kesselwagen mit WSB	+1,7	+0,2	-- *)

Zugart	Beschreibung	Korrektursummand		
		v = 50 km/h	v = 100 km/h	v = v _{max}
Güterzug (bespannt mit V-Lok)	Diesellok & Güterwagen mit GG-Bremse	+1,2	-0,1	-- *)
Güterzug (bespannt mit V-Lok)	Diesellok & Güterwagen mit Verbundstoff- Klotzbremse	+0,9	0,0	-- *)
Güterzug (bespannt mit V-Lok)	Diesellok & Güterwagen mit WSB	+0,9	0,0	-- *)
Güterzug (bespannt mit V-Lok)	Diesellok & Güterwagen mit RSB, (nur RoLa)	+0,9	-0,1	-- *)
Güterzug (bespannt mit V-Lok)	Diesellok & Kesselwagen mit GG-Bremse	+1,9	+0,2	-- *)
Güterzug (bespannt mit V-Lok)	Diesellok & Kesselwagen mit Verbundstoff- Klotzbremse	+1,8	+0,2	-- *)
Güterzug (bespannt mit V-Lok)	Diesellok & Kesselwagen mit WSB	+1,9	+0,2	-- *)

*) Hinweis:

- Bei den Güterzügen entspricht die Höchstgeschwindigkeit 100 km/h. Daher wird für die Spalte Korrektursummand zu v_{max} kein Wert angegeben.

Literaturverzeichnis

- [1] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) – Anlage 2: Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03)
- [2] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: 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 (2014)

Anhang B

Recherche Lärmschutzwand

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\143M\143131\W\143131_02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021

1 Fragestellung

Lärmschutzwände können in ihrem Schallschatten im Allgemeinen eine Schalldruckpegelminderung von bis zu 20 dB erbringen. Dies trifft jedoch hauptsächlich auf hohe Frequenzen zu. Tiefere Frequenzen mit entsprechend größeren Wellenlängen werden an der Schirmkante stärker gebeugt, reichen weiter in den Schallschatten hinein und werden somit weniger stark abgeschwächt. Wie deutlich die Unterschiede zwischen der Pegelminderung hoher und tiefer Frequenzen tatsächlich ist, soll in der Folge herausgearbeitet werden.

Zudem wird betrachtet inwiefern die Höhe der Empfängerposition über dem Boden die Schalldruckpegelminderung (= Abschirmmaß der Lärmschutzwand) im Schallschatten beeinflusst.

2 Lärmschutzwand – Einflussfaktoren und Vereinfachung

Die Wirksamkeit einer Lärmschutzwand als Schallschirm hängt von verschiedenen Faktoren ab.

Unter anderem sind dies:

- Höhe der Lärmschutzwand
- akustische Konzeption der Lärmschutzwand
- Abstand von der Lärmquelle (Emissionsort)
- Abstand vom Immissionsort
- Höhe des Immissionsortes
- Frequenzspektrum des Schalls
- Krümmung der Wand

Um eine allgemeingültige Abschätzung der zu untersuchenden Abhängigkeiten abgeben zu können wird von einer dünnen, senkrechten Lärmschutzwand mit einem Flächengewicht von mind. 10 kg/m² sowie von einer festen Position der Lärmquelle ausgegangen. Die Anordnung der Schallquelle, der Wand und des Empfängers ist in Abbildung B.1 dargestellt.

Einflüsse des Bodens oder der Meteorologie werden nicht beachtet.

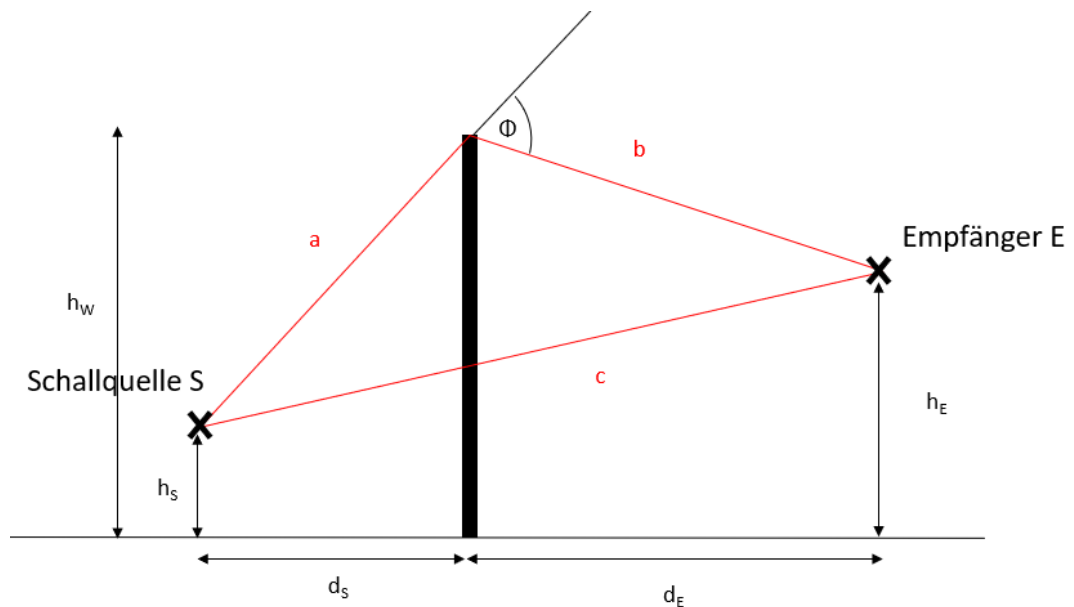


Abbildung B.1. Anordnung Schallquelle, Lärmschutzwand, Empfänger.

3 Lärmschutzwand - Theorie

3.1 Einfügungsdämpfungsmaß D_e

Das Einfügungsdämpfungsmaß D_e eines Schallschirms beschreibt dessen Abschirmwirkung bzw. die Pegelminderung innerhalb des Schallschattens im Vergleich zur selben Situation ohne Schallschirm. Es berücksichtigt auch die Rand- und Umgebungsbedingungen, wie Reflexionen und Streuungen aufgrund von Bewuchs, Bebauung, Boden oder der Meteorologie.

$$D_e = D_z - D_0 + D_m \geq 0 \text{ dB}$$

mit:

D_z = Abschirmmaß des Schallschirmes

D_0 = Zusatzdämpfung durch Bewuchs, Boden, Bebauung (Situation ohne Schirm)

D_m = Zusatzdämpfung durch Bewuchs, Boden, Bebauung (Situation mit Schirm)

Für eine allgemeine Betrachtung der Wirkung von Schallschirmen ist jedoch die reine Abschirmwirkung des Schallschirms von Bedeutung, also lediglich das Abschirmmaß D_z .

3.2 Abschirmmaß D_z

Das Abschirmmaß betrachtet nur die geometrische Situation des Schirmes, der Schallquelle und des Empfängers. Es ist demnach i.d.R. kleiner als das Einfügungsdämpfungsmaß D_e .

Bei Einfachbeugung ist das Abschirmmaß D_z in der Regel nicht größer als 20 dB, bei Mehrfachbeugung nicht größer als 25 dB (VDI 2720, S.9).

In der Literatur sind zwei verschiedene Formeln für das Abschirmmaß zu finden:

Wenn im Falle einer Punktschallquelle der Schall über lediglich eine Schirmkante gebeugt wird, ist folgende Formel zu benutzen (Möser/Müller, Taschenbuch der Technischen Akustik, S. 203). Folglich muss sie sowohl für die zum Boden parallele Schirmkante, als auch für die beiden seitlichen Begrenzungen des Schirmes angewandt werden.

$$D_z = 10 \lg \left(C_1 + \frac{C_2}{\lambda} C_3 z K_w \right) \text{ dB}$$

Mit:

$$C_1 = 3$$

$$C_2 = 20 - 40 \text{ (20 f. Abschätzungen)}$$

$$C_3 = 1 \text{ (Einfachbeugung an dünnen Schirmen)}$$

$$K_w = \text{Korrekturfaktor f. Witterungsverhältnisse} \rightarrow \text{Bei Abständen zw. Schallquelle und Immissionsort von } < 100\text{m kann im Rahmen einer Genauigkeit von } 1 \text{ dB mit } \mathbf{K_w = 1} \text{ gerechnet werden}$$

$$z = \text{Schirmwert} = a + b - c$$

Für eine Punktschallquelle und einem Hindernis, „mit gerader Beugungskante, das quer zur Beugungskante sehr lang ist“, kann folgende Formel für die Berechnung des Abschirmmaßes D_z angewandt werden (Möser/Müller, Taschenbuch der Technischen Akustik, S. 196):

$$D_z = \left(20 * \lg \left(\frac{\sqrt{2 * \pi * N}}{\tan h \sqrt{2 * \pi * N}} \right) + 5 \right) \text{ dB}$$

Mit:

$$N = \text{Fresnel-Zahl} \quad N = \pm \left(\frac{z^2}{\lambda} \right) \quad \text{für } N \geq -0,2$$

$$z = \text{Schirmwert} = a + b - c$$

Eine negative Fresnel-Zahl N bedeutet hierbei eine direkte Sichtverbindung des Empfängers zur Schallquelle, also keine Unterbrechung durch den Schallschirm.

Bei kleinen Schattenwinkeln Φ (siehe Abbildung B.1.) ergeben sich in der Praxis häufig starke Abweichungen von mit Hilfe der Formel errechneten Werten, welche auf Einflüsse des Bodens und des Wetters zurückzuführen sind (Möser/Müller, Taschenbuch der Technischen Akustik, S. 197).

Der Einfachheit halber wird in der Folge letztere Formel zur Berechnung des Abschirmmaßes verwendet und somit von einem ausreichend langen Schallschirm ausgegangen.

4 Berechnungen der Abschirmmaße

Mit Hilfe der Formel

$$Dz = 20 * \lg \left(\frac{\sqrt{2 * \pi * N}}{\tan h \sqrt{2 * \pi * N}} \right) + 5 \text{ dB}$$

wurden für unterschiedliche Höhen des Empfängers h_E die Abschirmmaße bzw. Schallpegelminderungen verschiedener Frequenzen ermittelt. Die betrachteten Höhen (1 m, 2 m, 3 m und 4 m) befinden sich hierbei allesamt **im Schallschatten** der Lärmschutzwand.

Außerdem wird der Abstand des Empfängers zur Wand d_E in 5-m-Schritten von 5 m auf 30 m verändert.

In einem gesonderten Schritt werden die Auswirkungen einer Erhöhung der Wand von 2 m auf 3 m betrachtet.

Die Position der Schallquelle bleibt unverändert ($d_s = 3 \text{ m}$; $h_s = 0,5 \text{ m}$).

Es wird eine Außentemperatur von 10 °C angenommen, dementsprechend liegt die Schallgeschwindigkeit bei **$c = 338 \text{ m/s}$** .

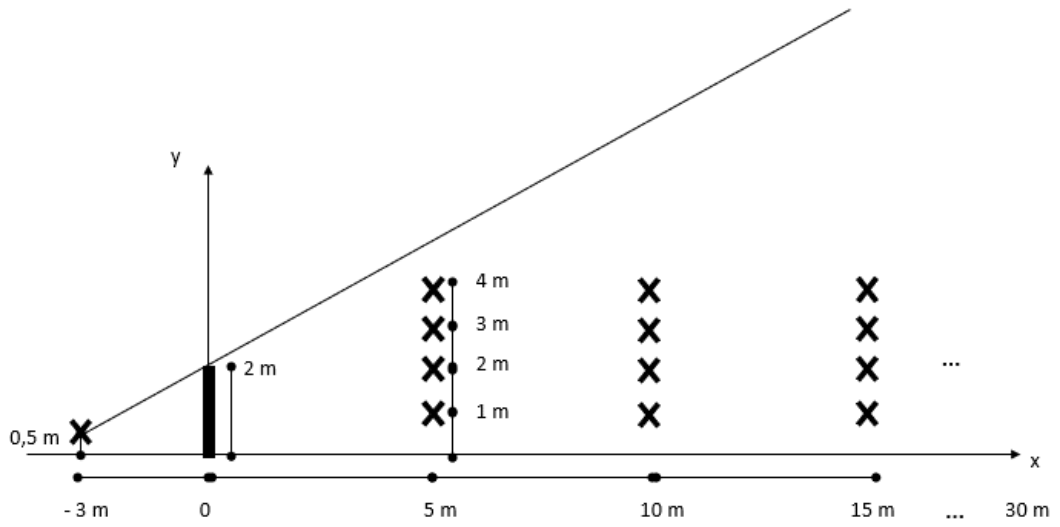


Abbildung B.2. Empfängerorte deren Schallpegelminderung berechnet wird ($hW = 2\text{ m}$).

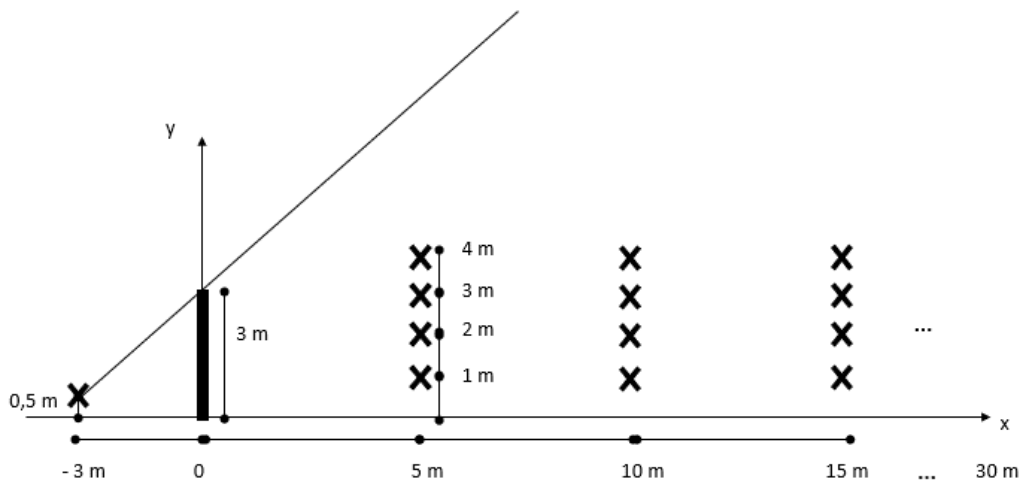


Abbildung B.3. Empfängerorte deren Schallpegelminderung berechnet wird ($hW = 3\text{ m}$).

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\143\M143131\02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021

5 Ergebnisse der Berechnungen

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Berechnungen der Abschirmmaße abhängig von der Frequenz und der Empfängerhöhe enthalten. Direkt unter den Tabellen ist in einem Diagramm jeweils das Abschirmmaß der unterschiedlichen Empfängerhöhen h_E über die Frequenz aufgetragen. Zum besseren Vergleich sind die Ergebnistabellen und Diagramme der unterschiedlichen Abstände zwischen Wand und Empfänger untereinander angeordnet. Zum Vergleich der Auswirkungen unterschiedlicher Schallschutzwandhöhen sind links die Werte und Verläufe des Abschirmmaßes einer 2 m hohen Wand, und rechts jene einer 3 m hohen Wand dargestellt.

Tabelle B.1. Frequenzabhängige Abschirmmaße bei 5 m Abstand Empfänger-Wand.

		Abschirmmaß bei $h_w = 2\text{ m}$ & $d_E = 5\text{ m}$							
		Frequenz [Hz]							
h_E [m]		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
D_z [dB]	1 m	6,3	7,4	9,1	11,4	14,2	17,1	20,1	23,1
	2 m	5,7	6,3	7,4	9,0	11,3	14,1	17,0	20,0
	3 m	5,2	5,5	5,9	6,7	8,0	9,9	12,4	15,3
	4 m	5,0	5,0	5,1	5,2	5,4	5,7	6,4	7,5

		Abschirmmaß bei $h_w = 3\text{ m}$ & $d_E = 5\text{ m}$							
		Frequenz [Hz]							
h_E [m]		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
D_z [dB]	1 m	8,3	10,3	12,9	15,8	18,7	21,8	24,8	27,8
	2 m	7,4	9,1	11,4	14,1	17,1	20,1	23,1	26,1
	3 m	6,6	7,8	9,6	12,1	14,9	17,9	20,9	23,9
	4 m	5,9	6,6	7,9	9,8	12,2	15,1	18,1	21,1

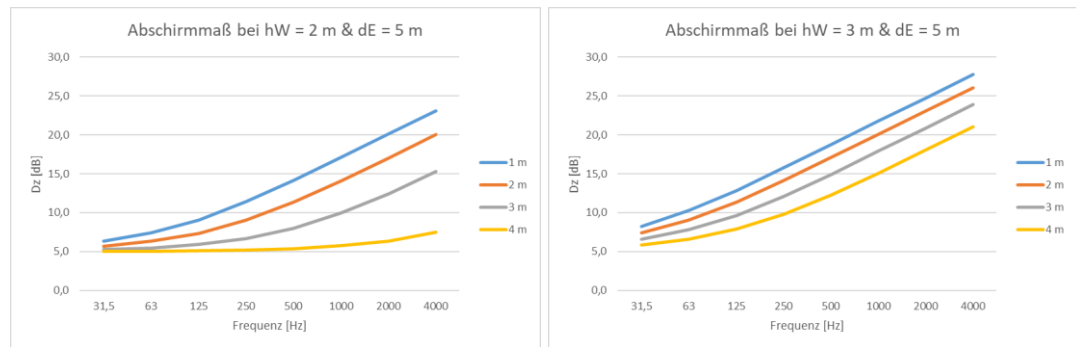


Abbildung B.4. Frequenzabhängige Abschirmmaße bei 5 m Abstand Empfänger-Wand (Schallschatten ca. 5 m Höhe).

Tabelle B.2 Frequenzabhängige Abschirmmaße bei 10 m Abstand Empfänger-Wand.

		Abschirmmaß bei $h_w = 2\text{ m}$ & $d_E = 10\text{ m}$							
		Frequenz [Hz]							
h_E [m]		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
D_z [dB]	1 m	6,2	7,2	8,8	11,0	13,7	16,7	19,7	22,7
	2 m	5,8	6,6	7,8	9,7	12,2	15,0	18,0	21,0
	3 m	5,5	6,0	6,9	8,3	10,4	13,0	15,9	18,9
	4 m	5,3	5,6	6,1	7,0	8,5	10,7	13,3	16,2

		Abschirmmaß bei $h_w = 3\text{ m}$ & $d_E = 10\text{ m}$							
		Frequenz [Hz]							
h_E [m]		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
D_z [dB]	1 m	7,9	9,8	12,3	15,1	18,1	21,1	24,1	27,1
	2 m	7,4	9,1	11,4	14,1	17,1	20,1	23,1	26,1
	3 m	6,9	8,4	10,4	13,0	15,9	18,9	22,0	25,0
	4 m	6,5	7,7	9,4	11,8	14,7	17,6	20,6	23,6

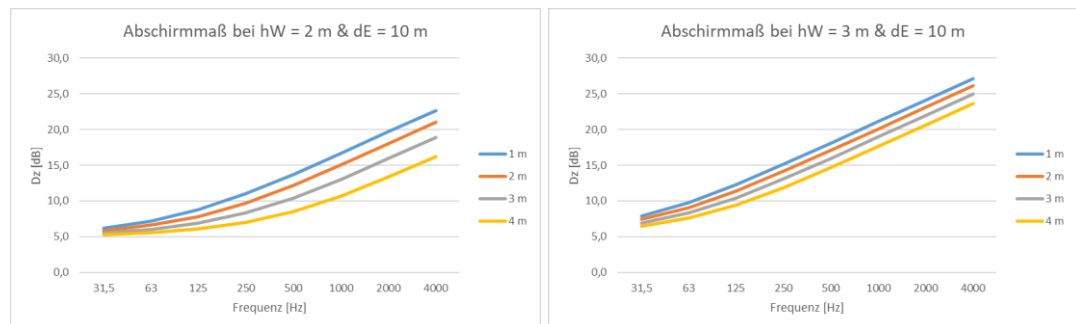


Abbildung B.5. Frequenzabhängige Abschirmmaße bei 10 m Abstand Empfänger-Wand (Schallschatten ca. 7 m Höhe).

Tabelle B.3. Frequenzabhängige Abschirmmaße bei 15 m Abstand Empfänger-Wand.

		Abschirmmaß bei hw = 2 m & dE = 15 m							
		Frequenz [Hz]							
hE [m]		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
Dz [dB]	1 m	6,2	7,1	8,7	10,9	13,6	16,5	19,5	22,5
	2 m	5,9	6,7	8,0	10,0	12,5	15,4	18,4	21,4
	3 m	5,7	6,3	7,4	9,0	11,3	14,1	17,0	20,0
	4 m	5,5	5,9	6,7	8,1	10,1	12,6	15,5	18,5

		Abschirmmaß bei hw = 3 m & dE = 15 m							
		Frequenz [Hz]							
hE [m]		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
Dz [dB]	1 m	7,8	9,6	12,0	14,9	17,8	20,8	23,8	26,9
	2 m	7,4	9,1	11,4	14,2	17,1	20,1	23,1	26,1
	3 m	7,1	8,6	10,8	13,4	16,4	19,4	22,4	25,4
	4 m	6,8	8,1	10,1	12,6	15,5	18,5	21,5	24,5

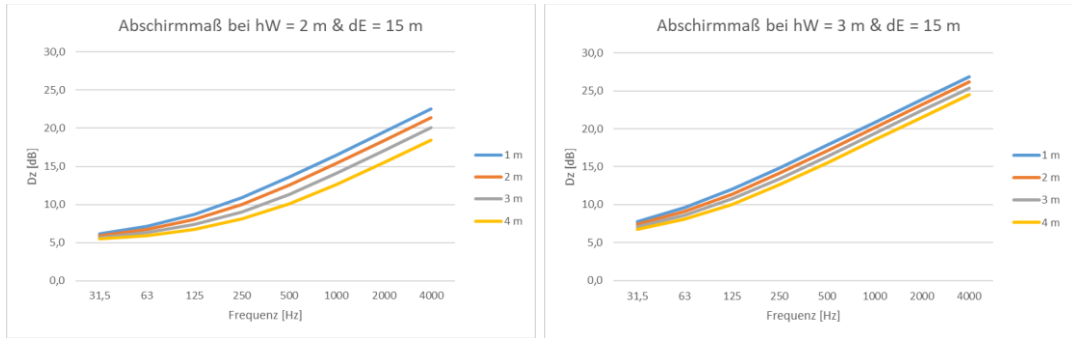


Abbildung B.6. Frequenzabhängige Abschirmmaße bei 15 m Abstand Empfänger-Wand.

Tabelle B.4. Frequenzabhängige Abschirmmaße bei 20 m Abstand Empfänger-Wand.

		Abschirmmaß bei hw = 2 m & dE = 20 m							
		Frequenz [Hz]							
hE [m]		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
Dz [dB]	1 m	6,2	7,1	8,6	10,8	13,5	16,4	19,4	22,4
	2 m	6,0	6,8	8,1	10,1	12,7	15,6	18,6	21,6
	3 m	5,8	6,5	7,6	9,4	11,8	14,6	17,6	20,6
	4 m	5,6	6,2	7,1	8,7	10,9	13,6	16,5	19,5

		Abschirmmaß bei hw = 3 m & dE = 20 m							
		Frequenz [Hz]							
hE [m]		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
Dz [dB]	1 m	7,7	9,5	11,9	14,7	17,7	20,7	23,7	26,7
	2 m	7,4	9,1	11,4	14,2	17,1	20,2	23,2	26,2
	3 m	7,2	8,7	10,9	13,6	16,6	19,6	22,6	25,6
	4 m	6,9	8,4	10,4	13,0	15,9	18,9	21,9	25,0

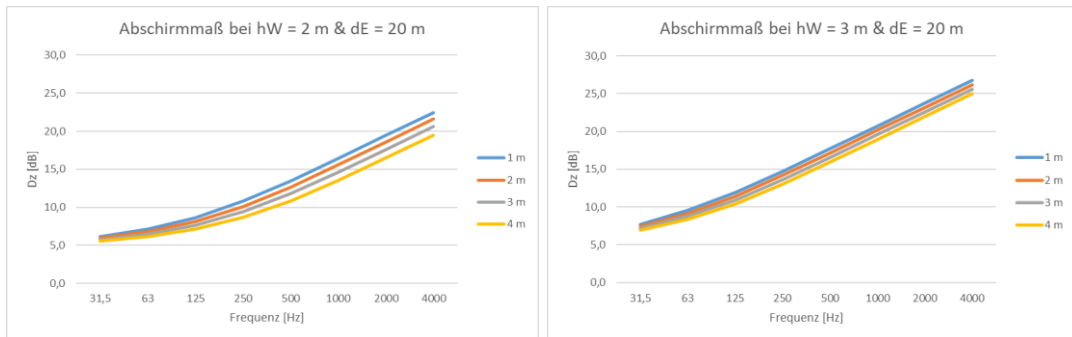


Abbildung B.7. Frequenzabhängige Abschirmmaße bei 20 m Abstand Empfänger-Wand.

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\143M\143131_02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021

Tabelle B.5. Frequenzabhängige Abschirmmaße bei 25 m Abstand Empfänger-Wand.

		Abschirmmaß bei hw = 2 m & dE = 25 m							
		Frequenz [Hz]							
hE [m]		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
Dz [dB]	1 m	6,1	7,1	8,6	10,8	13,5	16,4	19,4	22,4
	2 m	6,0	6,8	8,2	10,2	12,8	15,7	18,7	21,7
	3 m	5,8	6,6	7,8	9,6	12,1	14,9	17,9	20,9
	4 m	5,7	6,3	7,4	9,1	11,4	14,1	17,1	20,1

		Abschirmmaß bei hw = 3 m & dE = 25 m							
		Frequenz [Hz]							
hE [m]		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
Dz [dB]	1 m	7,6	9,5	11,8	14,6	17,6	20,6	23,6	26,6
	2 m	7,4	9,1	11,4	14,2	17,2	20,2	23,2	26,2
	3 m	7,2	8,8	11,0	13,8	16,7	19,7	22,7	25,7
	4 m	7,0	8,5	10,6	13,3	16,2	19,2	22,2	25,2

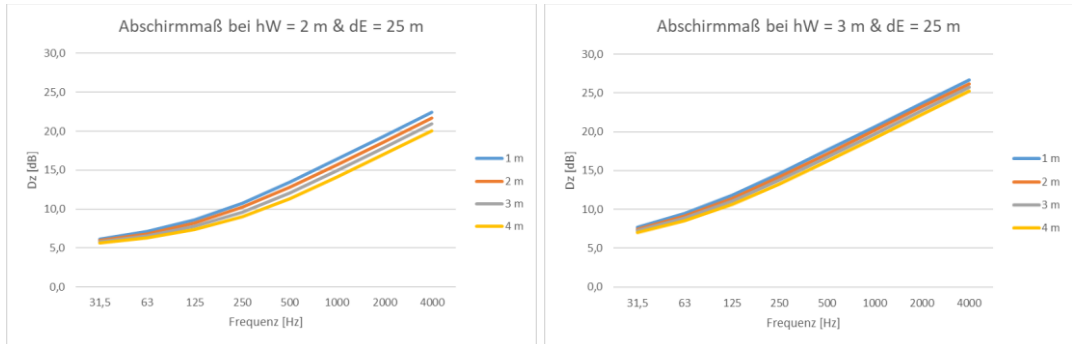


Abbildung B.8. Frequenzabhängige Abschirmmaße bei 25 m Abstand Empfänger-Wand.

Tabelle B.6. Frequenzabhängige Abschirmmaße bei 30 m Abstand Empfänger-Wand.

		Abschirmmaß bei hw = 2 m & dE = 30 m							
		Frequenz [Hz]							
hE [m]		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
Dz [dB]	1 m	6,1	7,1	8,6	10,8	13,4	16,4	19,4	22,4
	2 m	6,0	6,9	8,2	10,3	12,9	15,8	18,8	21,8
	3 m	5,9	6,6	7,9	9,8	12,3	15,1	18,1	21,1
	4 m	5,8	6,4	7,5	9,3	11,7	14,5	17,4	20,4

		Abschirmmaß bei hw = 3 m & dE = 30 m							
		Frequenz [Hz]							
hE [m]		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
Dz [dB]	1 m	7,6	9,4	11,8	14,6	17,6	20,6	23,6	26,6
	2 m	7,4	9,2	11,5	14,2	17,2	20,2	23,2	26,2
	3 m	7,3	8,9	11,1	13,8	16,8	19,8	22,8	25,8
	4 m	7,1	8,6	10,8	13,4	16,4	19,4	22,4	25,4

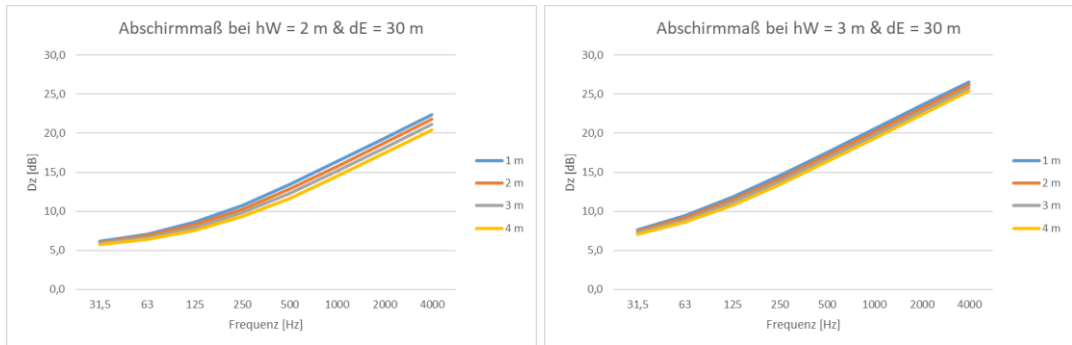


Abbildung B.9. Frequenzabhängige Abschirmmaße bei 30 m Abstand Empfänger-Wand.

Bei der Betrachtung der 2 m hohen Lärmschutzwand zeigt sich zum einen wie erwartet, dass die Wand bei tiefen Frequenzen ein geringeres Abschirmmaß besitzt als bei hohen. Geräusche im 63 Hz-Frequenzband werden in allen betrachteten Fällen um gerade einmal 5 bis 6,3 dB im Vergleich zur Situation ohne Schallschutzwand gemindert. Hohe Frequenzen (4.000 Hz) hingegen um 7,5 bis 23,1 dB.

Zum anderen lässt sich in den Diagrammen erkennen, dass das Abschirmmaß mit zunehmender Empfängerhöhe abnimmt. Bei tiefen Frequenzen wirkt sich die Empfängerhöhe h_E jedoch nur marginal auf das Abschirmmaß aus, die Spreizung in den obigen Abbildungen ist gering. Bei höheren Frequenzen nimmt ihre Auswirkung (und somit die Spreizung) hingegen zu. Je geringer hierbei der Abstand des Empfängers zur Wand ist, desto stärker fällt die Spreizung aus.

Es lässt sich also festhalten, dass mit abnehmender Höhe des Empfängers eine Vergrößerung des Abstandes zur Wand weniger starke Änderungen des Abschirmmaßes hervorruft.

Wird die Schallschutzwand um einen Meter auf insgesamt 3 m erhöht, vergrößert sich ihr Abschirmmaß. Dieser Effekt tritt umso stärker auf, je höher die Frequenz ist und je höher der Empfänger positioniert ist. So wird das Abschirmmaß bei 4 m Empfängerhöhe und 4.000 Hz bei 5 m Abstand zur Wand um 13,6 dB von 7,5 dB auf 21,1 dB erhöht. Bei 30 m Abstand zur Wand immerhin noch um 5 dB von 20,4 dB auf 25,4 dB.

Bei tiefen Frequenzen (31,5 Hz) kann durch eine Erhöhung der Wand nur eine Verbesserung des Abschirmmaßes um generell maximal 2 dB erreicht werden.

Auch bei der höheren Wand ist eine Zunahme der Spreizung mit zunehmendem Abstand des Empfängers zur Wand erkennbar. Es fällt auf, dass sich die Werte des Abschirmmaßes bei hohen Frequenzen etwas angleichen, die Spreizung fällt schwächer aus als bei der niedrigen Wand. Bei tiefen Frequenzen wird sie hingegen leicht stärker.

Die von der Empfängerhöhe abhängigen, unterschiedlichen Differenzen/Spreizungen der Abschirmmaße werden im nächsten Kapitel genauer untersucht.

6 Vergleich der von den Empfängerhöhen abhängigen Abschirmmaßdifferenzen

In Tabelle B.7. und Tabelle B.8. sind die Differenzen zwischen der maximalen (jeweils bei $h_E = 1\text{ m}$) und der minimalen Abschirmmaße (jeweils bei $h_E = 4\text{ m}$), abhängig von der Frequenz und dem Abstand des Empfängers zur Wand d_E , noch einmal gesondert aufgezeigt. Daraus lässt sich schließen, wie stark sich eine Änderung der Höhe h_E bei einem bestimmten Wandabstand d_E und einer bestimmten Frequenz auf das Abschirmmaß auswirkt.

Tabelle B.7. Differenz der Schirmmaße [dB] der min./max. Empfängerhöhe h_E je Abstand Empfänger-Wand d_E ($h_W = 2\text{ m}$).

Schallschutzwandhöhe $h_W = 2\text{ m}$																
Frequenz [Hz]																
31,5		63		125		250		500		1000		2000		4000		
d_E	max ($h_E=1\text{m}$)	Δ	max ($h_E=1\text{m}$)	Δ	max ($h_E=1\text{m}$)	Δ	max ($h_E=1\text{m}$)	Δ	max ($h_E=1\text{m}$)	Δ	max ($h_E=1\text{m}$)	Δ	max ($h_E=1\text{m}$)	Δ	max ($h_E=1\text{m}$)	Δ
	min ($h_E=4\text{m}$)		min ($h_E=4\text{m}$)		min ($h_E=4\text{m}$)		min ($h_E=4\text{m}$)		min ($h_E=4\text{m}$)		min ($h_E=4\text{m}$)		min ($h_E=4\text{m}$)		min ($h_E=4\text{m}$)	
5 m	6,3 5,0	1,3	7,4 5,0	2,4	9,1 5,1	4,0	11,4 5,2	6,2	14,2 5,4	8,8	17,1 5,7	11,4	20,1 6,4	13,8	23,1 7,5	15,6
10 m	6,2 5,3	0,9	7,2 5,6	1,6	8,8 6,1	2,7	11,0 7,0	4,0	13,7 8,5	5,7	16,7 10,7	6,0	19,7 13,3	6,4	22,7 16,2	6,4
15 m	6,2 5,5	0,7	7,1 5,9	1,2	8,7 6,7	2,0	10,9 6,1	2,8	13,6 10,1	3,5	16,5 12,6	3,9	19,5 15,5	4,0	22,5 18,5	4,0
20 m	6,2 5,6	0,5	7,1 6,2	1,0	8,6 7,1	1,5	10,8 8,7	2,1	13,5 10,9	2,6	16,4 13,6	2,9	19,4 16,5	2,9	22,4 19,5	3,0
25 m	6,1 5,7	0,4	7,1 6,3	0,8	8,6 7,4	1,2	10,8 9,1	1,7	13,5 11,4	2,1	16,4 14,1	2,3	19,4 17,1	2,3	22,4 20,1	2,3
30 m	6,1 5,8	0,4	7,1 6,4	0,7	8,6 7,5	1,0	10,8 9,3	1,5	13,4 11,7	1,8	16,4 14,5	1,9	19,4 17,4	1,9	22,4 20,4	1,9

Qualitativ betrachtet lässt sich zusammenfassen, dass die Differenz in Richtung dem in Tabelle B.7. eingezeichneten Pfeil zunimmt. Es wird deutlich, dass die Höhe des Empfängers h_E bei tiefen Frequenzen und einem großen Abstand d_E des Empfängers zur Wand kaum eine Rolle spielt (31,5 Hz & $d_E 30\text{ m} \rightarrow 0,4\text{ dB}$ Differenz). Bei hohen Frequenzen und geringem d_E wirken sich unterschiedliche Höhen h_E hingegen deutlich stärker aus. So beträgt der Unterschied des Abschirmmaßes auf 1 m und 4 m Höhe h_E bei 5 m Entfernung zur Wand und einer Frequenz von 4.000 Hz immerhin 15,6 dB.

Im Allgemeinen hat eine Veränderung der Höhe h_E bei zunehmendem d_E über alle Frequenzen hinweg einen immer geringer werdenden Einfluss.

Tabelle B.8. Differenz der Schirmmaße [dB] der min./max. Empfängerhöhe hE je Abstand Empfänger-Wand dE (hW = 3 m).

Schallschutzwandhöhe hW = 3 m																
Frequenz [Hz]																
31,5		63		125		250		500		1000		2000		4000		
dE	max (hE=1m)	Δ	max (hE=1m)	Δ	max (hE=1m)	Δ	max (hE=1m)	Δ	max (hE=1m)	Δ	max (hE=1m)	Δ	max (hE=1m)	Δ	max (hE=1m)	Δ
	min (hE=4m)		min (hE=4m)		min (hE=4m)		min (hE=4m)		min (hE=4m)		min (hE=4m)		min (hE=4m)		min (hE=4m)	
5 m	8,3	2,4	10,3	3,7	12,9	5,0	15,8	6,0	18,7	6,5	21,8	6,7	24,8	6,7	27,8	6,7
	5,9		6,6		7,9		9,8		12,2		15,1		18,1		21,1	
10 m	7,9	1,4	9,8	2,1	12,3	2,8	15,1	3,3	18,2	3,4	21,1	3,5	24,1	3,5	27,1	3,5
	6,5		7,7		9,4		11,8		14,7		17,6		20,6		23,6	
15 m	7,8	1,0	9,6	1,5	12,0	1,9	14,9	2,2	17,8	2,3	20,8	2,3	23,8	2,3	26,9	2,3
	6,8		8,1		10,1		12,6		15,5		18,5		21,5		24,5	
20 m	7,7	0,8	9,5	1,4	11,9	1,5	14,7	1,7	17,7	1,8	20,7	1,8	23,7	1,8	26,7	1,8
	6,9		8,4		10,4		13,0		15,9		18,9		21,9		25,0	
25 m	7,6	0,6	9,5	1,9	11,8	1,2	14,6	1,4	17,6	1,4	20,6	1,4	23,6	1,4	26,6	1,4
	7,0		8,5		10,6		13,3		16,2		19,2		22,2		25,2	
30 m	7,6	0,5	9,4	0,8	11,8	1,0	14,6	1,1	17,6	1,2	20,6	1,2	23,6	1,2	26,6	1,2
	7,1		8,6		10,8		13,4		16,4		19,4		22,4		25,4	

Bei einer 3 m hohen Lärmschutzwand zeigen sich qualitativ dieselben Tendenzen (Tabelle B.8. blauer Pfeil), jedoch sind nahezu sämtliche Differenzen geringer (siehe auch Abbildung B.10.). Die maximale Abschirmmaßdifferenz (dE = 5 m & f = 4.000 Hz) ist hier deutlich kleiner als bei der 2 m hohen Wand und beträgt nur noch 6,7 dB statt 15,6 dB.

Bei niedrigen Frequenzen zeigt sich ein umgekehrter Effekt: Die Differenzen vergrößern sich im Vergleich zur niedrigeren Wand. Allerdings fällt die Änderung deutlich schwächer aus, die größte Steigerung zeigt sich bei 31,5 Hz und 5 m Abstand zur Wand und zwar lediglich von 1,3 dB auf 2,4 dB. Bei einer höheren Wand wirkt sich demnach die Höhe des Empfängers weniger auf das Abschirmmaß aus, als bei niedrigeren Wänden.

In der folgenden Abbildung B.10. sind die Pegeldifferenzen bei den verschiedenen Frequenzen über die Abstände dE des Empfängers zur Wand dargestellt. Hier ist im Falle der 2 m hohen Wand die große frequenzabhängige Spreizung der Pegeldifferenzen bei kleinen dE noch einmal gut zu erkennen. Bei der 3 m hohen Wand fällt diese Spreizung, wie zuvor festgestellt, geringer aus. Die Differenzen der Abschirmmaße der unterschiedlichen Frequenzen gleichen sich tendenziell an.

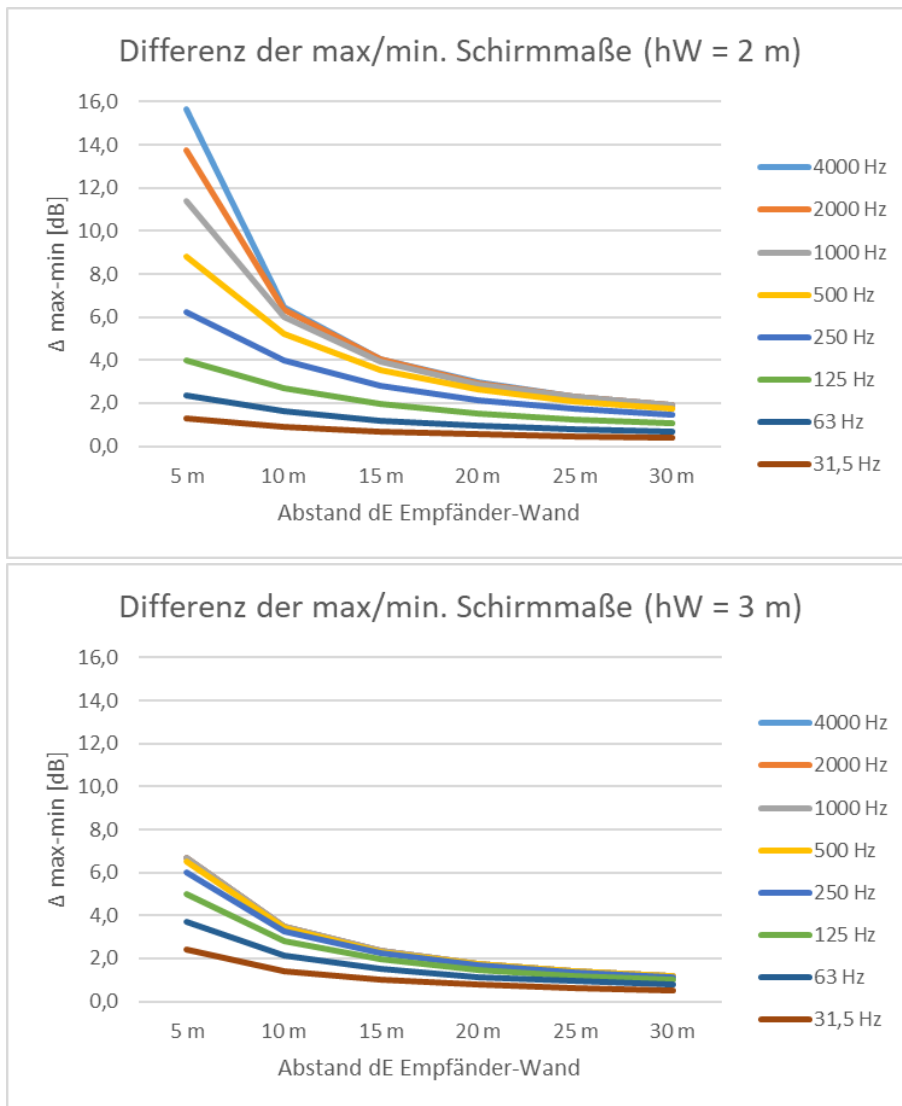


Abbildung B.10. Differenz der Schirmmaße der min./max. Empfängerhöhe hE je Abstand Empfänger-Wand dE (hW = 2 m / 3 m).

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\143\M\143131_02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021

7 Qualitative Zusammenfassung der Ergebnisse

Wie bereits erwartet zeichnen sich folgende grundsätzliche Tendenzen ab

- deutlich geringere Dämpfung tiefer Frequenzen im Vergleich zu hohen
- Abschirmmaß D_z nimmt mit zunehmender Empfängerhöhe ab

Außerdem lässt sich erkennen, dass eine Veränderung der Höhe h_E sich umso weniger auf das Abschirmmaß auswirkt,

- je tiefer die Frequenz;
- je größer der Abstand Empfänger-Wand d_E .

Wird die Wand um einen Meter auf 3 m erhöht, ergibt sich logischerweise generell ein verbessertes Abschirmmaß. Bei hohen Frequenzen nimmt zudem der Unterschied zwischen den Abschirmmaßen unterschiedlicher Empfängerhöhen ab. Die von der Empfängerhöhe abhängigen Abschirmmaße gleichen sich dort also tendenziell an. Bei tiefen Frequenzen nimmt dieser Unterschied hingegen zu, wenn auch nur marginal.

Bei einer höheren Wand wirkt sich demnach die Höhe des Empfängers weniger auf das Abschirmmaß aus, als bei niedrigeren Wänden.

Anhang C

Vergleichsrechnungen gemäß Abschnitt 12.3

Abbildung C.1 bis C.4 sowie C.9 bis C.12:

Außenbauteil mit $C = -2$ und $C_{tr} = -6$, z. B. Holzaußenwand oder Dach

Abbildung C.5 bis C.8:

Außenbauteil mit $C = -1$ und $C_{tr} = -4$, z. B. maßgebendes Fenster

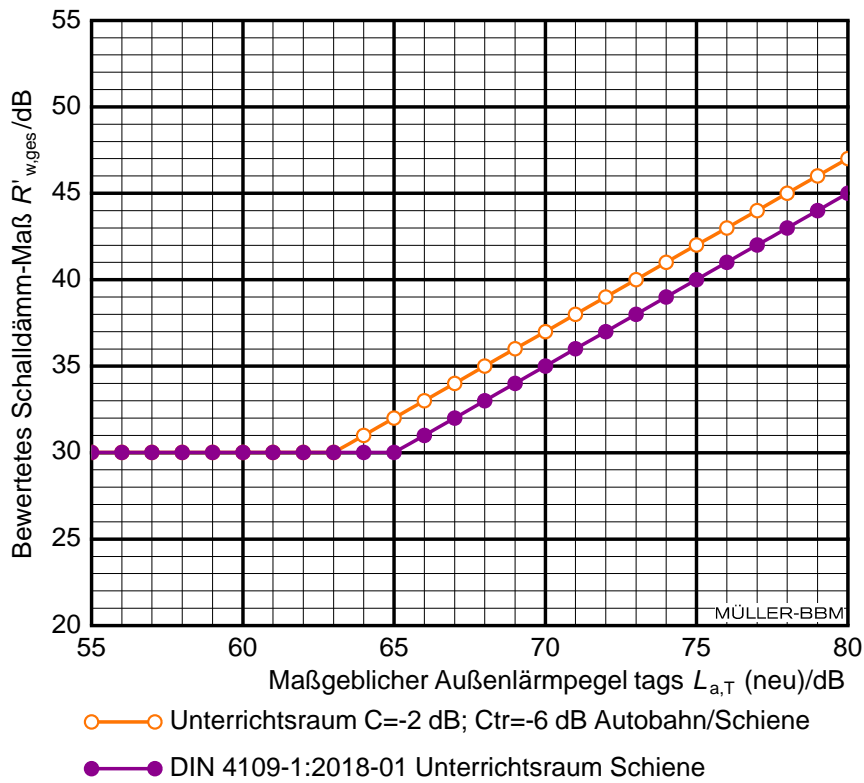


Abbildung C.1. Vergleich Normungsvorschlag zu DIN 4109-1:2018-01.

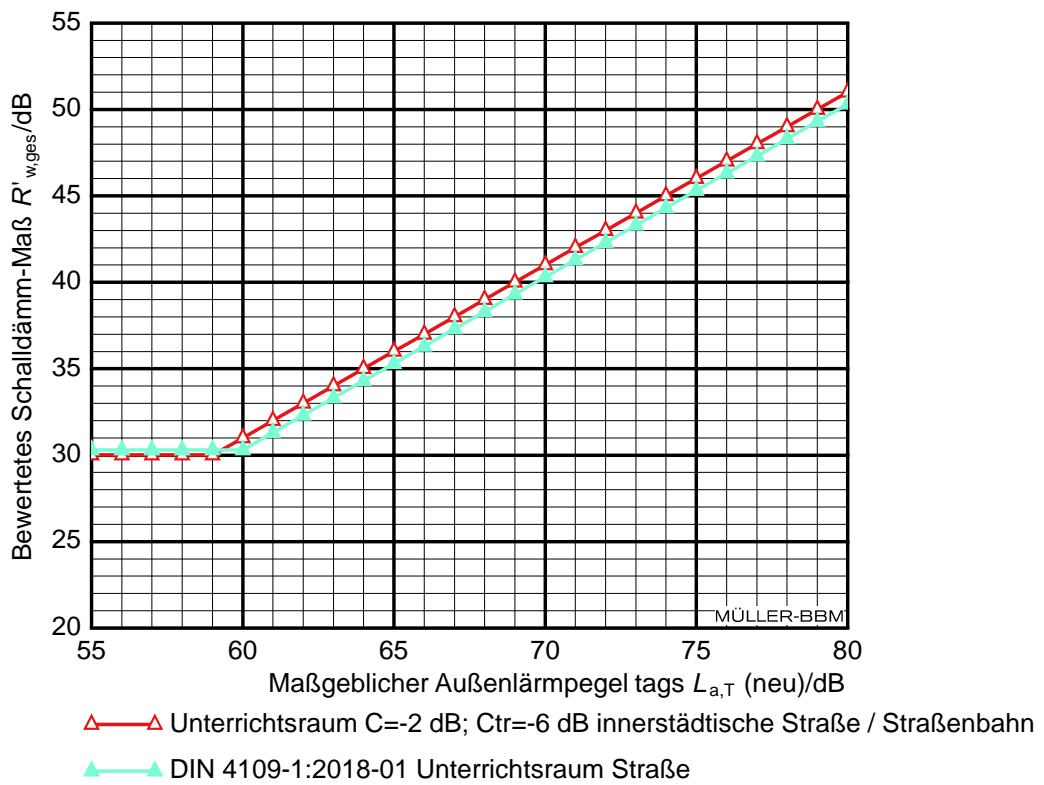


Abbildung C.2. Vergleich Normungsvorschlag zu DIN 4109-1:2018-01.

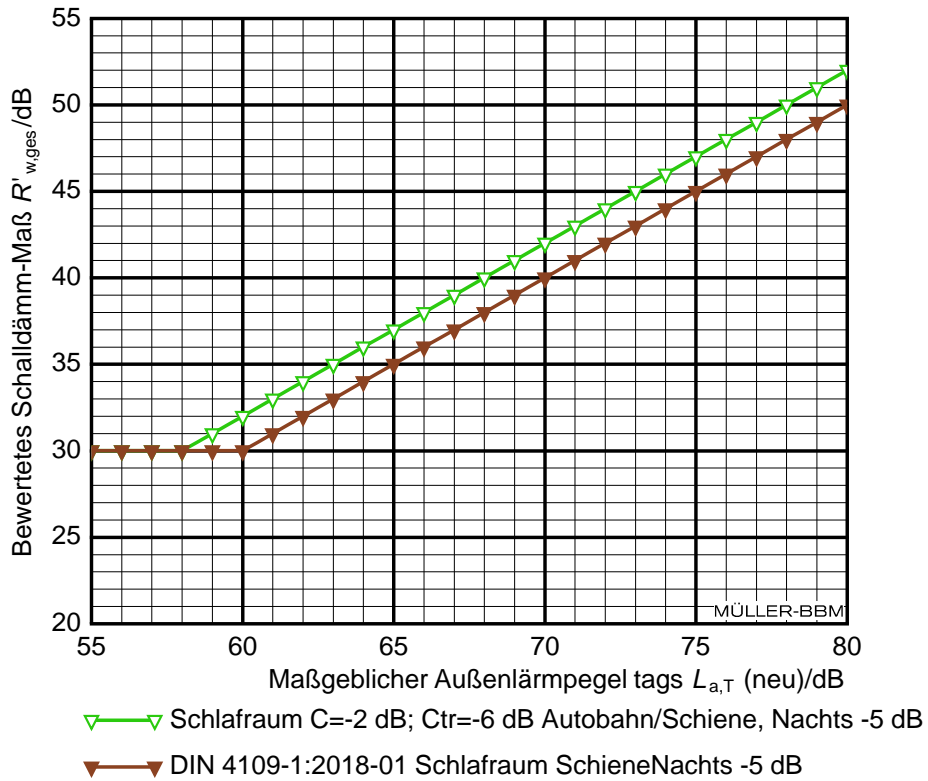


Abbildung C.3. Vergleich Normungsvorschlag zu DIN 4109-1:2018-01.

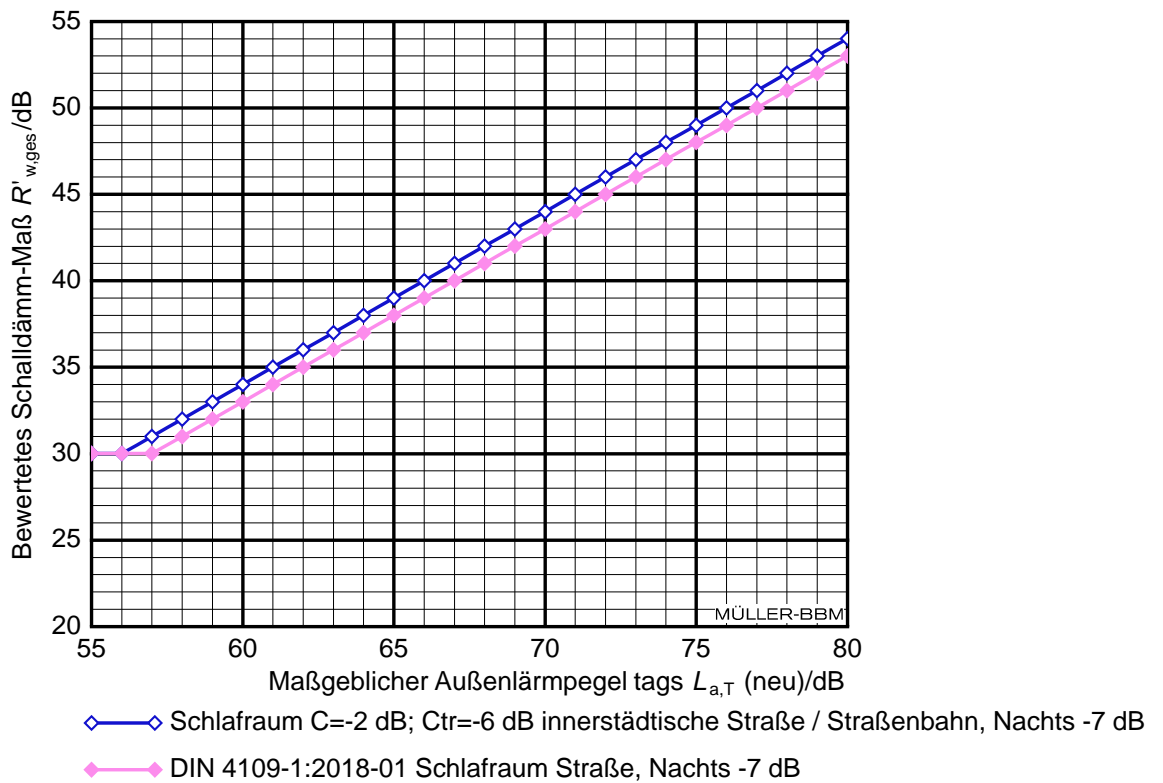


Abbildung C.4. Vergleich Normungsvorschlag zu DIN 4109-1:2018-01.

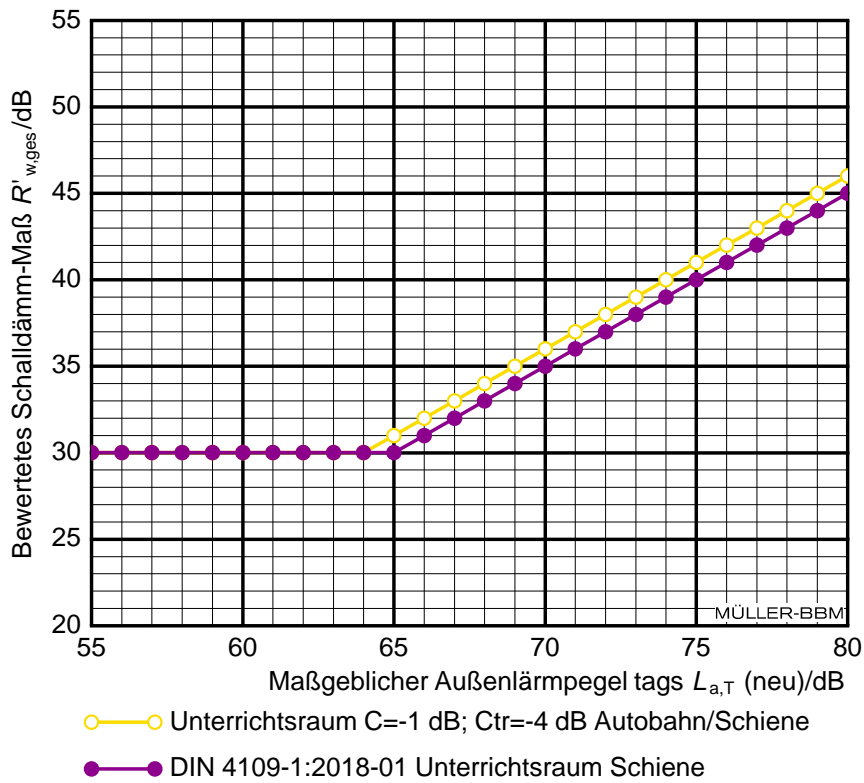


Abbildung C.5. Vergleich Normungsvorschlag zu DIN 4109-1:2018-01.

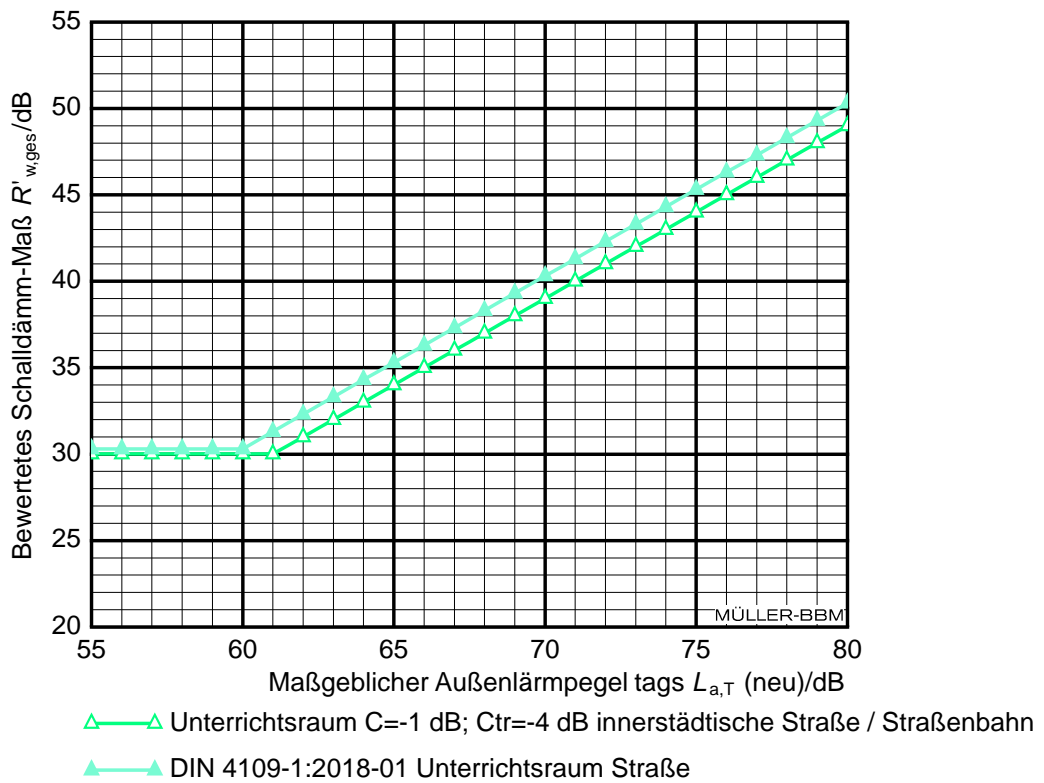


Abbildung C.6. Vergleich Normungsvorschlag zu DIN 4109-1:2018-01.

\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\143\M143131\02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021

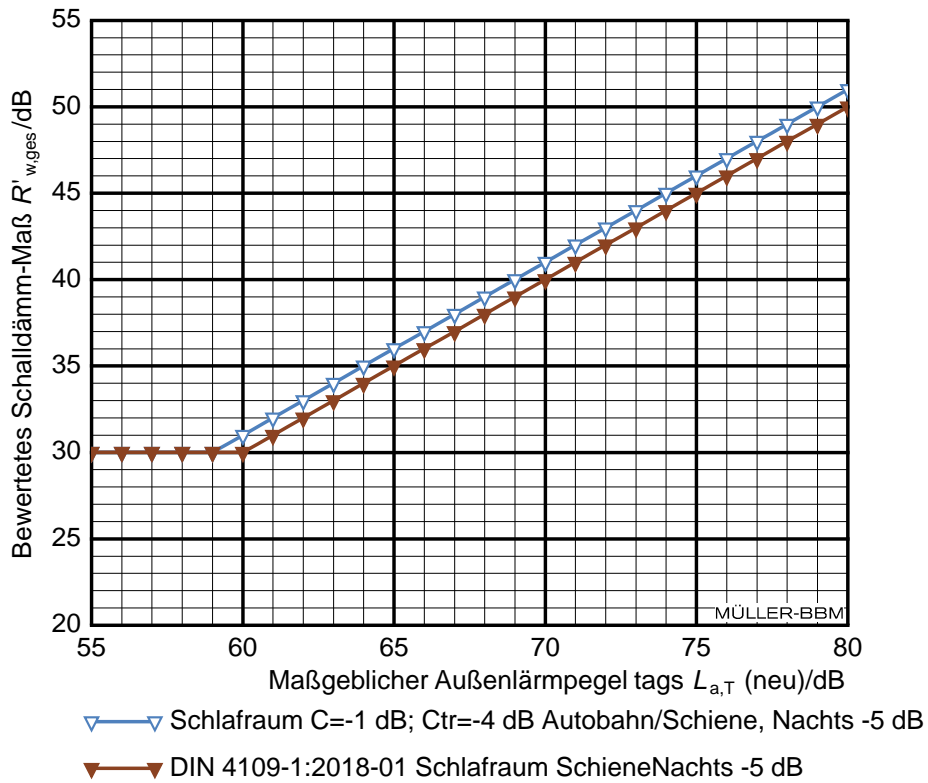


Abbildung C.7. Vergleich Normungsvorschlag zu DIN 4109-1:2018-01.

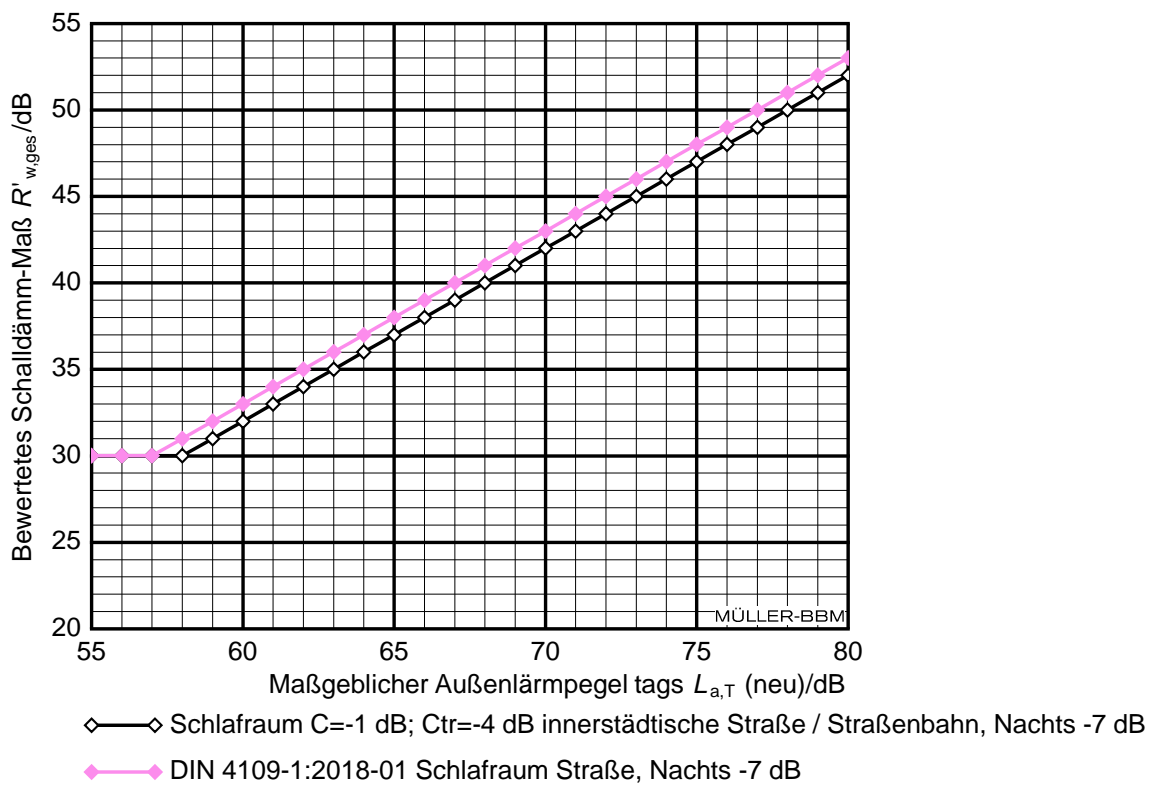


Abbildung C.8. Vergleich Normungsvorschlag zu DIN 4109-1:2018-01.

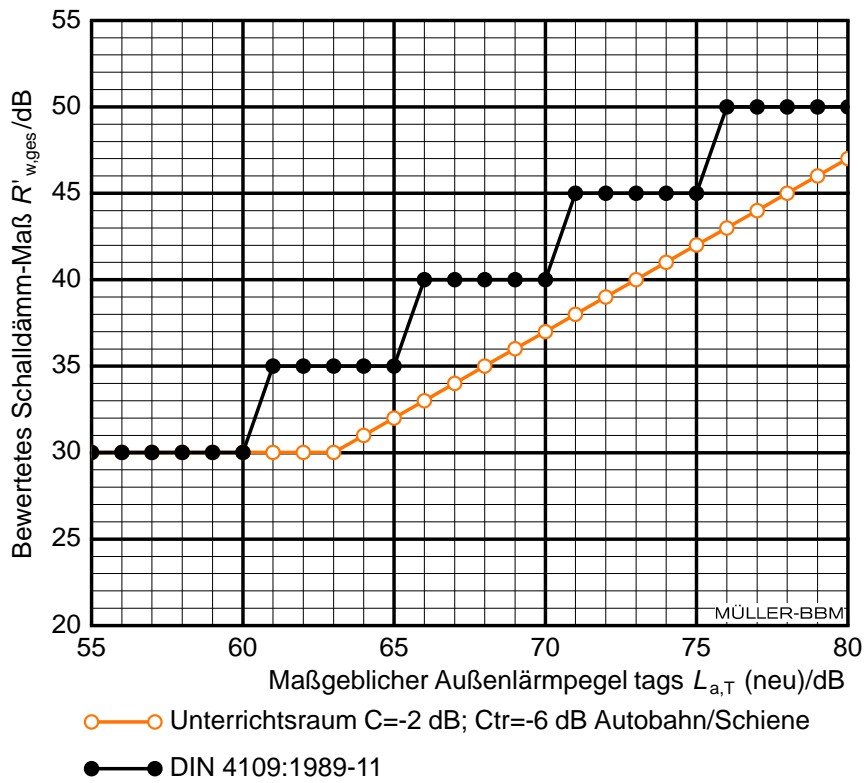


Abbildung C.9. Vergleich Normungsvorschlag zu DIN 4109:1989-11.

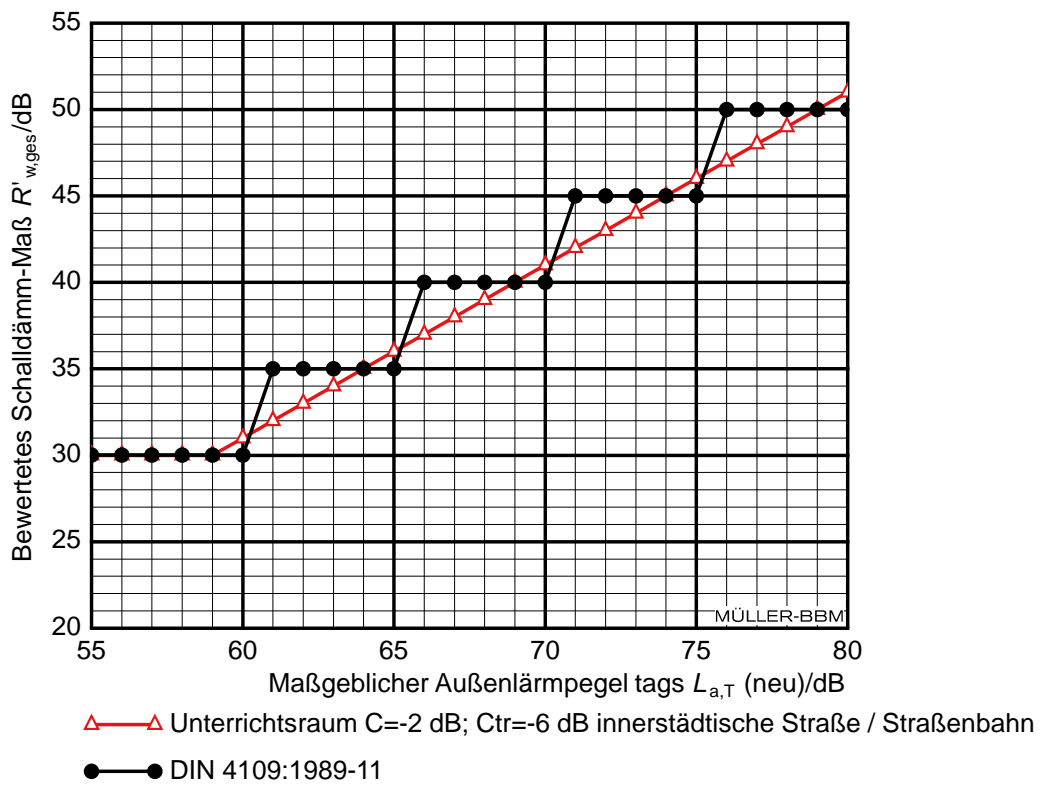


Abbildung C.10. Vergleich Normungsvorschlag zu DIN 4109:1989-11.

\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\143\M143131\143131_02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021

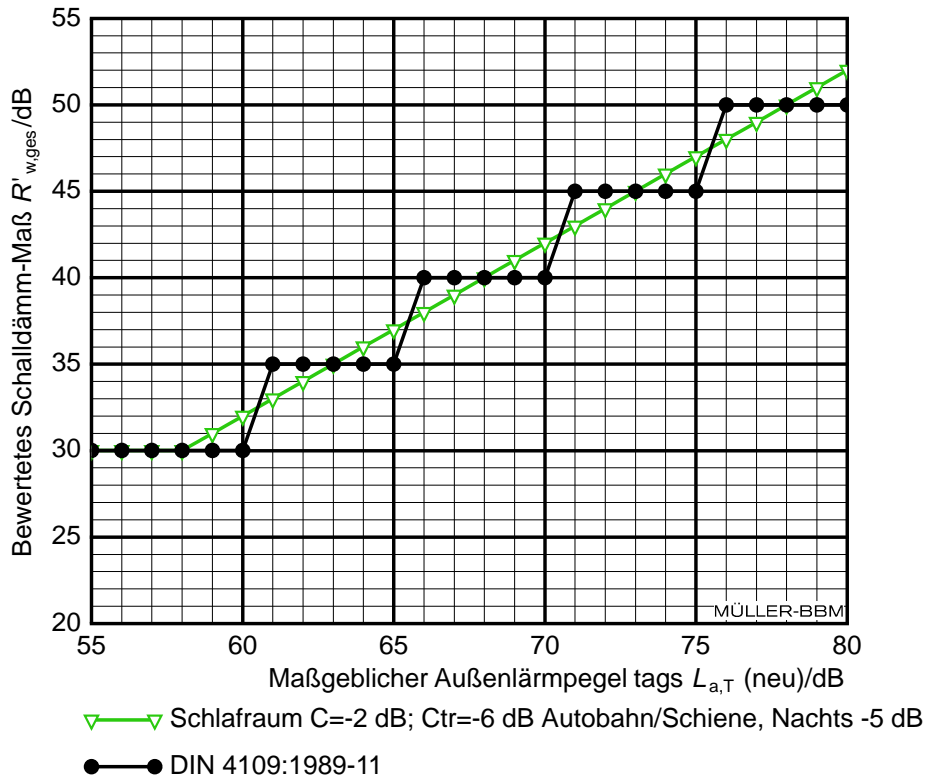


Abbildung C.11. Vergleich Normungsvorschlag zu DIN 4109:1989-11.

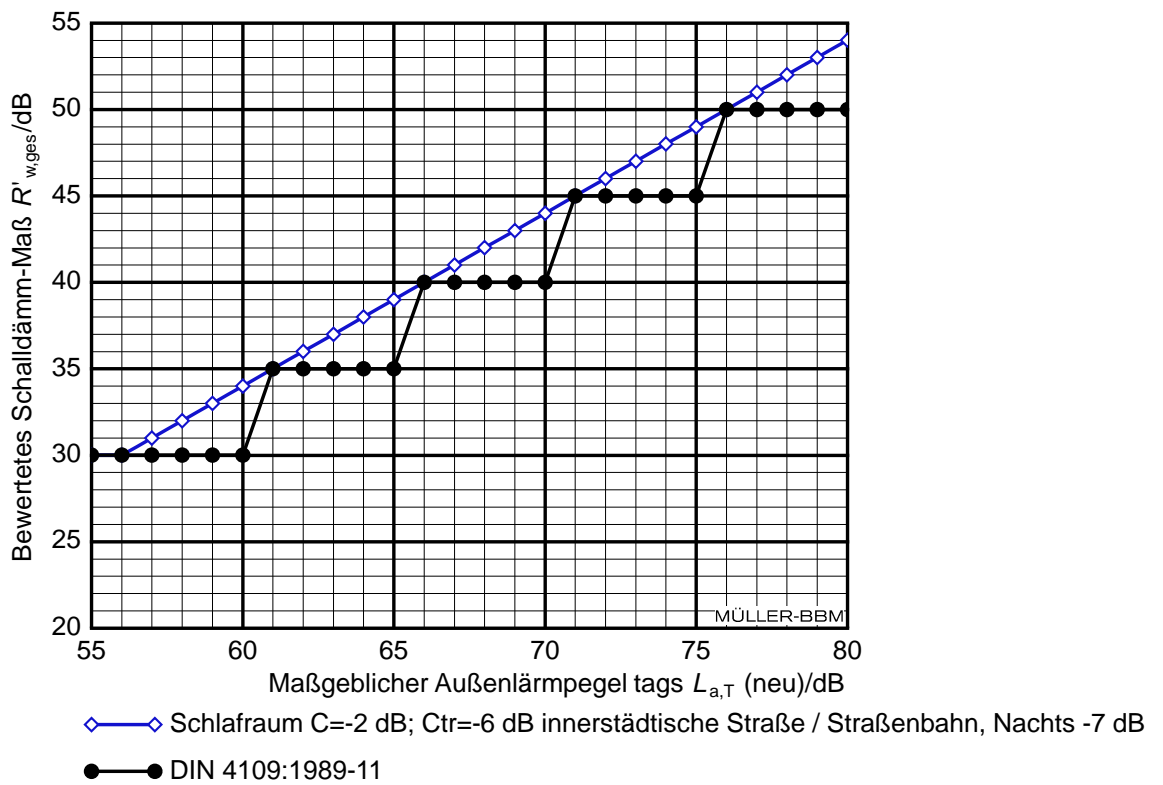


Abbildung C.12. Vergleich Normungsvorschlag zu DIN 4109:1989-11.

\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\143\M143131\M143131_02_Ber_5D.DOCX:08. 03. 2021