

TEXTE

12/2013

Ermittlung des Standes der Technik der Geräusch- emissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärmminde- rungspotenziale mit Darstel- lung von Best-Practice- Beispielen

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 3709 54 145
UBA-FB 001700

Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenzial mit Darstellung von Best-Practice- Beispielen

von

**Stefan Lutzenberger
Christian Gutmann
Müller-BBM**

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.uba.de/uba-info-medien/4441.html>
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Durchführung der Studie:	Müller-BBM Robert-Koch-Str. 11 82152 Planegg
Abschlussdatum:	November 2012
Herausgeber:	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 E-Mail: info@umweltbundesamt.de Internet: http://www.umweltbundesamt.de http://fuer-mensch-und-umwelt.de/
Redaktion:	Fachgebiet I 3.3 Lärminderung im Verkehr Urs Reichart

Dessau-Roßlau, März 2013

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB ☐	2.	3.
4. Titel des Berichts Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotentiale mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Lutzenberger, Stefan Gutmann, Christian	8. Abschlussdatum 15.01.2013	9. Veröffentlichungsdatum
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Müller-BBM GmbH Robert-Koch-Str. 11 82152 Planegg	10. UFOPLAN-Nr. 3709 54 145	11. Seitenzahl 216
	7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau	
	12. Literaturangaben 157	13. Tabellen und Diagramme 63
14. Abbildungen 46		
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Die relevanten Mechanismen der Schallemission von Schienenfahrzeugen werden zusammenfassend dargestellt. Zahlreiche Lärminderungstechniken, welche in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht wurden, werden im Rahmen einer Literaturstudie zusammengestellt und bewertet. Die Schallemission von Schienenfahrzeugen bei Zulassung nach TSI-Lärm wird im Rahmen einer Umfrage bei Benannten Stellen, Herstellern, Betreibern und Messinstituten erfasst und bewertet. Es werden Statistiken über die Schallemission europäischer Schienenfahrzeuge erstellt. Aufbauend auf den erhobenen Daten wird der Stand der Technik der Schallemission europäischer Schienenfahrzeuge ermittelt. Es zeigt sich, dass für alle Fahrzeugkategorien zum Teil erhebliche Lärminderungspotentiale bestehen. Vorschläge für Grenzwerte nach dem Stand der Technik werden erarbeitet. Es werden zweistufige Grenzwerte mit dem Zeithorizont einer kurzfristigen / mittelfristigen Umsetzung vorgeschlagen. Vorbildliche akustische Fahrzeuge werden als Best-Practice Fahrzeuge dargestellt.		
17. Schlagwörter Stand der Technik, Schallemission, Schienenfahrzeuge		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Noise emission of European railway cars and their noise reduction potential: data collection, evaluation and examples of Best-Practice railway cars		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Lutzenberger, Stefan Gutmann, Christian		8. Report Date 15.01.2013
6. Performing Organisation (Name, Address) Müller-BBM GmbH Robert-Koch-Str. 11 82152 Planegg		9. Publication Date
		10. UFOPLAN-Ref. No. 3709 54 145
		11. No. of Pages 216
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau		12. No. of Reference 157
		13. No. of Tables, Diagrams 63
		14. No. of Figures 46
15. Supplementary Notes		
16. Abstract The most relevant mechanisms causing noise emission of railway cars are summarised. As a lot of different noise reduction techniques exist they have been studied within research projects. The effects of these measures are summarised and evaluated. Noise emission data of railway cars that were homologated under the scope of the TSI-Noise is collected within a survey conducted at notified bodies, manufacturers, railway operators and measuring institutes. A statistical evaluation of the data is done. Based on the collected data, the state of the art of noise emission of railway cars is determined. It shows that a significant noise reduction potential exists for all railcar categories. Proposals for limit values, based on the state of the art are developed. We propose double-stage limit values to come into force in short term / mid term. Vehicles with an excellent acoustic behaviour are introduced as Best-Practice vehicles.		
17. Keywords State of the art, noise emission, railway cars		
18. Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

1	Erläuterungen der Abkürzungen, Maßeinheiten und Symbole	8
1.1	Abkürzungen	8
1.2	Akustische Messgrößen	9
1.3	Statistische Größen	10
1.4	Begriffe	11
2	Zusammenfassung	12
3	Einführung	20
3.1	Motivation	20
3.2	Leitlinien	21
3.3	Methodische Vorgehensweise zur Ermittlung des Standes der Technik und des Geräuscheminderungspotentials	23
4	Stand und Entwicklung der Technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI)	25
4.1	Vergleich ursprünglicher und revidierter TSI	25
4.1.1	TSI-Lärm	25
4.1.2	TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr	29
5	Prinzipielle Mechanismen der Schallemission von Schienenfahrzeugen und deren Minderung	30
5.1	Vorbeifahrtgeräusch	30
5.2	Minderung des Vorbeifahrtgeräusches	32
5.3	Stillstand- und Anfahrtgeräusch	35
6	Literatur	37
6.1	Grundlegende Untersuchungen zur Formulierung der TSI Emissionsgrenzwerte	37
6.1.1	Geräuschemissionen von Schienenfahrzeugen, UBA-Vorhaben 105 05 806/7 ([32], [33])	37
6.1.2	A study of European Priorities and Strategies for Railway Noise Abatement [40]	39
6.1.3	Entwicklung einer Prüfstrecke für die Geräuschprüfung von Schienenfahrzeugen, Vorbeifahrtpegel, HGV und konventionelle Eisenbahnen (UFOPLAN) 203 54 115 [34]	42
6.1.4	NOEMIE – Noise Emission Measurement campaign concerning noise from existing high-speed Interoperability in Europe ([36] – [39])	42
6.1.5	“Kleine” Revision der TSI ([9], [10] und [11])	44
6.1.6	Große Revision der TSI-Lärm ([69], [70] und [71])	45

6.2	Forschungsprojekte	45
6.2.1	Maßnahmen zur Reduzierung des Rollgeräusches ([133] – [139])	45
6.2.2	OFWHAT ([44], [45] und [53])	46
6.2.3	Wheel optimization RONA ([45])	47
6.2.4	Silent freight ([46] – [51])	47
6.2.5	Stiller Treinverkeer (Leiser Zugverkehr) ([52], [57])	49
6.2.6	High performance wheelset (HIPERWHEEL) ([55] und [56])	49
6.2.7	Eurosabot ([45], [54])	49
6.2.8	Geräuschmessung von in Betrieb stehenden Eisenbahngüterwagen [41]	50
6.2.9	Low Emission Bogie LEMBO [43]	51
6.2.10	Leises und lärmarmes Güterwagendrehgestell LEILA-DG ([79], [80] und [81])	52
6.2.11	Forschungsverbund leiser Verkehr [82]	52
6.2.12	Leiser Zug auf realem Gleis (L Zar G)[84] [85] und [86]	52
6.2.13	Stardamp ([87], [88] und [89])	54
6.2.14	Low Noise train (LNT) ([91] - [95])	55
6.2.15	„Whispering train“, Dolomit-Shuttle ([101] - [104])	55
6.2.16	Silence ([128] und [129])	56
6.2.17	Europe Train [130]	57
6.2.18	STAIRRS (Strategies and Tools to Assess and Implement noise Reducing measures for Railway Systems) ([131], [132])	57
6.3	Fahrzeugentwicklung	58
6.3.1	Lok 2000 [77]	58
6.3.2	Umbau Blue Tiger [119]	58
6.4	Einzelmaßnahmen an Fahrzeugen und Komponenten	58
6.4.1	Räder	58
6.4.2	Bremsen	59
6.4.3	Schürzen	59
6.5	Maßnahmen am Fahrweg	60
6.5.1	Schienenschleifen MONA [45]	60
6.5.2	Optimiertes Gleis VONA [45]	60
6.5.3	Silent track [45]	60
6.6	Untersuchung von Schallminderungsmaßnahmen am Gleis im Rahmen des Konjunkturpakets II in Deutschland	61

6.7	Kombination der Maßnahmen am Fahrzeug und am Gleis	61
6.8	Methoden zur monetären Bewertung von Lärminderungsmaßnahmen	62
6.9	Zusammenfassung und Bewertung von Schallminderungsmaßnahmen für das Vorbeifahrtgeräusch	63
7	Erstellung einer Datenbasis der Schallemission von Schienenfahrzeugen (Ist-Zustand)	64
7.1	Zielstellung	64
7.2	Methodische Vorgehensweise	64
7.3	Datenerhebungsbögen	65
7.3.1	Konzeption der Fragebögen	65
7.4	Erhebung der Daten	67
7.4.1	Datensammlung bei den Schienenfahrzeughersteller	68
7.4.2	Datensammlung bei den Schienenfahrzeugbetreiber	68
7.4.3	Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declaration (EPD))	70
7.5	Prüfung der Daten	71
7.6	Ergebnis der Datenerhebung	72
8	Methodische Beschreibung des Stands der Technik und Ermittlung von Grenzwertvorschlägen	74
8.1	Stand der Technik	74
8.2	Methodische Vorgehensweise zur Ermittlung des Standes der Technik und von Grenzwertvorschlägen	75
8.3	Messunsicherheit, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit bahnakustischer Messungen, Gleiseinfluss	78
8.3.1	Vorgehensweise zur Bestimmung der Messunsicherheit [144]	78
8.3.2	Gleiseinfluss	80
8.3.3	Weitere Einflussgrößen auf die Messgenauigkeit	83
8.3.4	Messunsicherheit	83
8.4	Ermittlung von Grenzwertvorschlägen	84
9	Ergebnisse und Bewertung der Datenbasis (Ist-Zustand) und Ermittlung des Standes der Technik	85
9.1	Standgeräusch	86
9.1.1	Diesellokomotiven	86
9.1.2	Elektrolokomotiven	88
9.1.3	Dieselstriebzüge	91

9.1.4	Elektrotriebzüge	93
9.1.5	Reisezugwagen	95
9.2	Anfahrgeräusch	96
9.2.1	Diesellokomotiven	96
9.2.2	Elektrolokomotiven	101
9.2.3	Dieseltriebzüge	104
9.2.4	Elektrotriebzüge	106
9.3	Fahrgeräusch	108
9.3.1	Diesellokomotiven	108
9.3.2	Elektrolokomotiven	110
9.3.3	Dieseltriebzüge	112
9.3.4	Elektrotriebzüge	115
9.3.5	Reisezugwagen	117
9.3.6	Güterwagen	118
10	Ermittlung von Best-Practice-Fahrzeugen	126
10.1	Elektrolok: LOK 2000 ([77], [152])	126
10.2	ETZ Elektrischer Niederflurtriebzug FLIRT Algier [90]	129
10.3	Reisezugwagen Niederflur-Doppelstockwagen (NDW) ([154]-[156])	131
10.4	Güterwagen Low Noise Train LNT ([91] - [100])	134
11	Akustische Gesichtspunkte für die Neufassung der TSI-Lärm	139
11.1	Parkstellung	139
11.2	Referenzgleis	140
11.3	Schallemissionen von in Betrieb stehenden Fahrzeugen	141
12	Literaturverzeichnis	142

Anhang A	Übersicht der TSI-Anforderungen
Anhang B	Fragebögen zur Datenerhebung (deutsche Fassung)
Anhang C	Zeitliche Entwicklung der gemessenen Schalldruckpegel für alle erfassten Schienenfahrzeugkategorien

1 Erläuterungen der Abkürzungen, Maßeinheiten und Symbole

1.1 Abkürzungen

APL	Achsen pro Längeneinheit (axles per length)
DAGA	Tagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik
DG Tren	Directorat-General Energy and Transport
EN	Europäische Norm
EBA	Eisenbahn Bundesamt
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
ERRI	European Rail Research Institute
ERA	European Railway Agency
HGV	Hochgeschwindigkeitsverkehr
HS	High Speed
IWRN	International Workshop on Railway Noise and Vibration
ISO	International Organization for Standardization
LCC	Life-Cycle-Costs
ÖBB	Österreichische Bundesbahn
SEL	Schallexpositionspegel, siehe 1.2
SOK	Schienenoberkante
TEIV	Transeuropäische-Eisenbahn-Interoperabilitäts-Verordnung
TEL	Vorbeifahrtexpositionspegel, siehe 1.2
TSI	Technische Spezifikation für Interoperabilität
SBB	Schweizerische Bundesbahn
SNCF	Société nationale des chemins de fer français
UBA	Umweltbundesamt

1.2 Akustische Messgrößen

L_p Schalldruckpegel:
Der durch folgende Gleichung gegebene Pegel:

$$L_p = 10 \lg \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 \quad (1)$$

Dabei ist

L_p der Schalldruckpegel, in Dezibel (dB);

$p(t)$ der Effektivwert des Schalldrucks, in Pascal (Pa);

p_0 der Bezugsschalldruck; $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$.

L_{pA} A-bewerteter Schalldruckpegel:
Schalldruckpegel, der bei Anwendung der Frequenzbewertung A gegeben ist.

$L_{pAeq,T}$ A-bewerteter äquivalenter Dauerschalldruckpegel nach folgender Gleichung:

$$L_{pAeq,T} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (2)$$

$L_{pAeq,T}$ der A-bewertete äquivalente Dauerschalldruckpegel, in Dezibel (dB);

T die Messdauer, in Sekunden (s);

$p_A(t)$ der A-bewertete momentane Schalldruck, in Pascal (Pa);

p_0 der Bezugsschalldruck; $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$.

L_{pAFmax} AF-bewerteter maximaler Schalldruckpegel: Maximalwert des A-bewerteten Schalldruckpegels, der während der Messdauer T bei Anwendung der Zeitbewertung F (fast) bestimmt wird.

$L_{pAeq,Tp}$ A-bewerteter äquivalenter Dauerschalldruckpegel während der Vorbeifahrtzeit nach folgender Gleichung:

$$L_{pAeq,Tp} = 10 \lg \left(\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (3)$$

Dabei ist

$L_{pAeq,Tp}$ der A-bewertete äquivalente Dauerschalldruckpegel während der Vorbeifahrtzeit, in Dezibel (dB);

$T_p = T_2 - T_1$ die Messdauer während der Vorbeifahrt, beginnend bei T_1 und endend bei T_2 , in Sekunden (s)

$p_A(t)$ der A-bewertete momentane Schalldruck, in Pascal (Pa);

p_0 der Bezugsschalldruck; $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$.

SEL^1 A-bewerteter Schallpegel eines während der Dauer T gemessenen und auf $T_0 = 1$ s normierten Einzelereignisses.

$$SEL = 10 \lg \left(\frac{1}{T_0} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (4)$$

Dabei ist

SEL der A-bewertete Schall-expositionspegel, in Dezibel (dB);

$T_0 = 1$ s die Bezugsdauer

T die Messdauer in Sekunden (s)

$p_A(t)$ der A-bewertete momentane Schalldruck, in Pascal (Pa);

p_0 der Bezugsschalldruck; $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$.

TEL^1 A-bewerteter Schallpegel einer während der Dauer T gemessenen und auf die Vorbeifahrtdauer T_p normierten einzelnen Zugvorbeifahrt.

$$TEL = 10 \lg \left(\frac{1}{T_p} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (5)$$

Dabei ist

TEL der A-bewertete Vorbeifahrt-expositionspegel, in Dezibel (dB);

T die Messdauer in Sekunden (s)

T_p die Vorbeifahrtdauer des Zuges, die der Gesamtlänge des Zuges geteilt durch die Zuggeschwindigkeit entspricht, in Sekunden (s)

$p_A(t)$ der A-bewertete momentane Schalldruck, in Pascal (Pa);

p_0 der Bezugsschalldruck; $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$.

1.3 Statistische Größen

Median

Wird auch als „Zentralwert“ bezeichnet. Der Median einer Anzahl von Werten ist die Zahl, welche an der mittleren Stelle steht, wenn man die Werte der Größe nach sortiert. Bei einer geraden Anzahl an Werten ist der Median der Mittelwert der beiden Werte in der Mitte.

Unteres Quartil

Ausgehend von einer Anzahl an Werten, die der Größe nach sortiert sind, ist das untere Quartil der Wert, der an der $(n+1)/4$. Stelle liegt. Es handelt sich um den Wert, welcher größer als 25 % und kleiner als 75 % aller Werte ist.

Ist die ermittelte Stelle keine ganze Zahl, so wird der Bruchteil des Abstands zwischen den beiden Werten zum unteren Wert addiert um das untere Quartil zu erhalten.

¹ In der Normung und den TSI werden die Messgrößen L_{pAFmax} für das Anfahrgeräusch, $L_{pAeq,Tp}$ für das Vorbeifahrtgeräusch und $L_{pAeq,T}$ für das Standgeräusch benutzt. Die Messgrößen TEL und SEL kommen derzeit praktisch nicht mehr zur Anwendung.

Oberes Quartil

Ausgehend von einer Anzahl an Werten, die der Größe nach sortiert sind, ist das obere Quartil der Wert, der an der $3 \cdot (n+1)/4$. Stelle liegt. Es handelt sich um den Wert, welcher größer als 75 % und kleiner als 25 % aller Werte ist.

Ist die ermittelte Stelle keine ganze Zahl, so wird der Bruchteil des Abstands zwischen den beiden Werten zum unteren Wert addiert, um das obere Quartil zu erhalten.

y	Messgröße (Messergebnis, der am Messgerät abgelesene Wert bzw. berechnete Wert)
x_i	Arithmetischer Mittelwert eines Datensatzes
$u(x_i)$	Standardabweichung. Die Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Werte eines Merkmals um den arithmetischen Mittelwert. Sie gibt die durchschnittliche Entfernung der Ausprägungen eines Merkmals vom Durchschnitt an.
$u_c(y)$	Kombinierte Standardunsicherheit eines Messergebnisses
k	Erweiterungsfaktor: Zahlenwert, benutzt als Multiplikator für die kombinierte Standardunsicherheit, um die erweiterte Unsicherheit zu errechnen. Für k wird in der Regel ein Wert von 2 oder 3 gewählt, sodass das Intervall $[y - U; y + U]$ ein Vertrauensniveau von annähernd 95 % bzw. 99 % erreicht.
U	Erweiterte Unsicherheit: Größe, die ein Intervall um das Messergebnis festlegt, von dem erwartet werden kann, dass es einen großen Teil der Verteilung der Werte umfasst, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden können

1.4 Begriffe**Benannte Stelle (Notified body)**

In verschiedenen EU—Richtlinien sind Konformitätsbewertungen für Produkte vorgesehen. Benannte Stellen erbringen die hierfür nötigen Dienstleistungen und erstellen eine Prüfbescheinigung. Fahrzeughersteller können auf Basis dieser Prüfbescheinigung die Konformität mit den Anforderungen der EU erklären.

2 Zusammenfassung

Zur Harmonisierung des europäischen Schienenverkehrs, aber auch zur Reduktion des Schienenverkehrslärms wurden die Technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI), die TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr:2002 [6] und die TSI-Lärm:2006 [7] für den konventionellen Schienenverkehr eingeführt. Diese legen erstmalig europaweit einheitliche Geräuschgrenzwerte für die Zulassung neuer Züge oder für umgebaute oder modernisierte Fahrzeuge fest und tragen so aktiv zum Schutz vor Lärmbelastung bei.

Im Bereich konventioneller Fahrzeuge wurde dazu die TSI-Lärm:2006 (2006/66/EG) eingeführt und überarbeitet (TSI-Lärm:2011 (2011/229/EU)).

Nach wie vor stellt jedoch die Belastung der Bevölkerung durch Schienenverkehrslärm ein großes Umweltproblem dar. Der Schienenverkehrslärm ist die Achillesferse des ansonsten umweltfreundlichen Bahnverkehrs. Allerdings steht die Eisenbahn in Konkurrenz zu anderen Verkehrsträgern wie Straße oder Luft. Signifikante Zusatzkosten nur für den Bahnsektor reduzieren die Konkurrenzfähigkeit der Bahnen und führen nicht unbedingt zu einer geringeren Umweltbelastung.

Verschiedene Argumente sprechen für und gegen die Reduktion von Grenzwerten. Insgesamt ist es aber unumstritten, dass insbesondere laute Fahrzeuge, welche nicht dem Stand der Technik entsprechen, Umwelt und Anwohner über Gebühr Lärmemissionen aussetzen. Zur Minderung der Schallemission sollte daher eine, an den Stand der Technik angepasste Reduktion der Schallemission von Schienenfahrzeugen erfolgen. Dies stellt sicher, dass

- die lautesten Fahrzeuge, welche nicht dem Stand der Technik entsprechen, nicht mehr zulassungsfähig sind und nach und nach vom Markt verschwinden.
- die neuen Grenzwerte technisch erreichbar sind (durch die Orientierung am Stand der Technik).
- die neuen Grenzwerte auch unter Wettbewerbsbedingungen realisiert werden können.

Das vorliegende Forschungsvorhaben beschäftigte sich mit der Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge. Deren Schallemissionen werden erfasst, die Lärmminderungspotentiale ermittelt und anhand von Best-Practice-Fahrzeugen verdeutlicht.

Schallemissionen von Schienenfahrzeugen können in Rollgeräusche (relevant für den Vorbeifahrtpegel) und Aggregatgeräusche (relevant für den Stillstand- und Anfahrpegel) unterschieden werden. Für hohe Geschwindigkeiten ($v > 300$ km/h) können zusätzlich aerodynamische Geräusche relevant werden.

Beim Rollgeräusch ist das komplexe Zusammenwirken von Rad und Gleis mit Oberbau von Bedeutung. Die Rauheit der Radlaufläche und der Schienenoberfläche regen Rad und Schiene zu Schwingungen an. Dies bedingt Schwingungen von Rad und Schiene. Die Größe der Schwingungen hängt dabei von den mechanischen Eigenschaften beider Systeme ab. Einen großen Einfluss haben die dynamischen Steifigkeiten (z. B. Impedanzen) der Teilsysteme und deren Dämpfungen. Die Schwingungen werden schließlich als Schall abgestrahlt.

Die Verteilung der Schallabstrahlung auf die Teilsysteme Rad und Schiene hängt von der Konstruktion von Rad und Gleis ab, häufig ist die Schallabstrahlung von Rad und Schiene in etwa gleich groß. Hinsichtlich der Wirksamkeit von Minderungsmaßnahmen, die in der Regel nur ein Teilsystem beeinflussen, bedeutet dies, dass deren Wirkung begrenzt ist.

Zur Bewertung der Wirksamkeit von Schallminderungsmaßnahmen wurde eine Literaturstudie über Forschungs- und Praxisprojekte durchgeführt. Um für die TSI-Messungen vergleichbare Bedingungen sicherzustellen, wurde darauf geachtet, dass die Tests auf Referenzgleisen durchgeführt wurden, oder dass zumindest die Schienenrauheiten und Abklingraten mit erfasst werden und akustisch gute Eigenschaften aufweisen. Weiter werden nur Ergebnisse für im Betrieb erprobte Schallminderungssysteme angegeben.

Aufgrund des komplexen Zusammenwirkens von Fahrzeug und Gleis sind die ermittelten Schallminderungen neben der technischen Minderungswirkung des angewandten Produktes auch von der Höhe des Radanteils und des Schienenanteils (abhängig z. B. von Steifigkeit der Zwischenlage, ggf. Temperatur, Oberbaukonstruktion, Zugtyp usw.) an der Gesamtschallemission abhängig. Die Schallminderungswirkung kann an einer anderen Stelle oder bei einem anderen Zug unterschiedlich ausfallen. Die meisten der an unterschiedlichen Stellen durchgeführten Untersuchungen kommen jedoch zu vergleichbaren Ergebnissen.

Erprobte und praxistaugliche Minderungsmaßnahmen für konventionelle Schienenfahrzeuge und deren Minderungen sind:

- Optimierung der Radgeometrie Minderung ca. 0 – 1 dB
- Radschallabsorber Minderung ca. 1 – 2 dB
- Schürzen Minderung ca. 1 dB

Eine Reduktion des Rollgeräusches ist praxisgerecht mit erprobten Technologien erreichbar, die erreichbaren Schallminderungen liegen zwischen 2 dB und 4 dB.

Anders als beim Rollgeräusch dominieren im Stand und beim Anfahren die Schallemissionen der Fahrzeugaggregate. Abhängig vom Fahrzeugtyp und dem Betriebszustand (Anfahren oder Stillstand) können unterschiedliche Fahrzeugaggregate relevant für die Schallemission sein. Die Aggregatgeräusche können mit akustischen Maßnahmen, welche in der Regel im Rahmen eines in einer frühen Konstruktionsphase begonnenen und projektbegleitend durchgeführten, Akustikmanagements deutlich gemindert werden. Dazu existieren zahlreiche erprobte Maßnahmen.

Das Standgeräusch und das Anfahrgeräusch von Schienenfahrzeugen können mit den praxistauglichen Konzepten signifikant gemindert werden. Zahlreiche am Markt verfügbare leise Fahrzeuge verdeutlichen dies.

Zentraler Punkt des Vorhabens war die Erstellung einer fundierten Datenbasis des Standes der Technik der Geräuschemission (Außengeräusch) europäischer Schienenfahrzeuge. Dabei wurden akustische Abnahmewerte neu zugelassener Schienenfahrzeuge, welche auf Basis der TSI-Lärm:2006 und auf Basis der TSI-Lärm:2011 erhoben wurden, zusammengestellt.

Zunächst ist eine vergleichende Bewertung der Mess- und Betriebsbedingungen bei den Versionen der TSI-Lärm erforderlich, um zu beurteilen, ob die auf Basis der TSI-Lärm:2006 erhobenen Daten mit denen der auf Basis der TSI-Lärm:2011 erhobenen Daten als vergleichbar eingeschätzt werden können. Dazu wurden beide TSI hinsichtlich Messgrößen, Messbedingungen, Betriebszuständen des Fahrzeugs und Gleisanforderungen verglichen.

Der Vergleich zeigt, dass die nach beiden TSI erhobenen Messwerte weitgehend als vergleichbar eingeschätzt werden können. Bei den Stillstandsgeräuschen sind jedoch, insbesondere bei ETZ und Reisezugwagen, die Änderungen in den Mess- und Betriebsbedingungen zu berücksichtigen (Betrieb des Klimakompressors in TSI-Lärm:2011 vorgeschrieben, in der TSI-Lärm:2006 hingegen nicht).

In den TSIs sind eine Vielzahl an akustischen Grenzwerten für Schienenfahrzeuge genannt. Die Grenzwerte werden in den jeweiligen Spezifikationen:

- TSI-Lärm konventioneller Verkehr,
- TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr

für die einzelnen Schienenfahrzeugkategorien

- Elektrolokomotiven,
- Diesellokomotiven,
- Elektrotriebzüge,
- Dieseltriebzüge,
- Reisezugwagen und
- Güterwagen

angegeben. Dabei ist teilweise hinsichtlich verschiedener fahrzeugspezifischer Parameter (z. B. Leistung an der Welle) zu unterscheiden.

Daneben wird nach den Betriebsmodi

- Stillstand,
- Anfahrt und
- Konstantfahrt bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten

unterschieden.

Grundideen bei der Konzeption der Fragebögen waren:

- Übersichtlichkeit,
- einfaches Ausfüllen,
- Klarheit der Fragestellung.

Um sowohl die Fragebögen einfach und übersichtlich zu halten und auf der anderen Seite aber auch die Anzahl der Fragebögen nicht zu groß werden zu lassen, wurde ein eigener Fragebogen je Schienenfahrzeugkategorie entworfen. In diesem Fragebogen werden die fahrzeugspezifischen Parameter abgefragt. Die bei Abnahmemessungen ermittelten akustischen Kenngrößen können eingetragen werden.

Zusätzlich zu den Fahrzeugdaten werden Angaben zur Schienenrauheit und zur Abklingrate abgefragt.

Die Datenerhebung selbst wurde bei verschiedenen Beteiligten im Zulassungsprozess durchgeführt:

- Schienenfahrzeughersteller,
- Schienenfahrzeugbetreiber,
- Benannte Stellen,
- Messinstitute.

Die Rücklaufquote der Befragung war insgesamt sehr gut. Es konnte eine repräsentative Datenmenge erhoben werden.

Um die Vertraulichkeit sicherzustellen, konnten bei den meisten Beteiligten die Daten nur anonymisiert erfragt werden.

Vor Aufnahme der erhobenen akustischen Abnahmewerte in eine Datenbank erfolgten verschiedene Überprüfungen, um eine hohe Qualität des Datenbestandes sicherzustellen:

1. Die Datensätze wurden auf Dubletten hin geprüft. Sofern von doppelten Datensätzen auszugehen war, wurde dieser nicht in die Datenbasis aufgenommen.
2. Teilweise wurden Mittelwerte bzw. Maximalwerte mehrerer Fahrzeuge übermittelt. Da hier keine Zuordnung zu einem Fahrzeug möglich ist, wurden diese nicht berücksichtigt.
3. Bei der Datenerhebung wurde auf die Einhaltung der Referenzgleiseigenschaften der Abnahmestrecke besonderer Wert gelegt. Die erhobenen Daten der Vorbeifahrtmessung werden im Hinblick auf Vorliegen dieser Daten in zwei Kategorien eingeteilt:
 - Wenn von einem Einhalten der Gleisbedingungen (Schienenrauheit und Abklingrate) auszugehen ist, werden die Daten der Vorbeifahrtmessung als hoch vertrauenswürdig eingeschätzt (Vertrauensklasse I).
 - Bei Nichtvorliegen der Messergebnisse der Schienenrauheit und der Abklingrate oder bei Nichteinhaltung der spezifischen Grenzwerte werden die Daten als bedingt vergleichbar eingeschätzt (Vertrauensklasse II).

Für die Auswertung der Vorbeifahrtsmessung werden ausschließlich Daten aus der Vertrauensklasse I herangezogen.

4. Die Daten wurden darüber hinaus auf Plausibilität geprüft:

- Anhand von Plausibilitätskontrollen in den Fragebögen war es möglich widersprüchliche oder falsche (soweit erkennbar) Angaben in den Fragebögen zu identifizieren.
- Die erhobenen Daten wurden Abnahmewerten von Müller-BBM vergleichend gegenübergestellt.

Bei Zweifeln an der Plausibilität wurden Daten für die Auswertung nicht berücksichtigt.

5. Die verbleibenden Daten wurden nach den Quellen (Benannte Stellen, Hersteller, Betreiber) gruppiert und die Ergebnisse miteinander verglichen (Mittelwert und Standardabweichung). Damit wurde sichergestellt, dass bei der Datenweitergabe von den einzelnen Quellen keine gefilterten Daten (besonders leise oder besonders laute Fahrzeuge) übermittelt wurden.

Die erhobenen Daten stammen beinahe ausschließlich aus Abnahmemessungen nach TSI-Lärm:2006. Die Auswirkungen der geänderten Mess- und Betriebsbedingungen wurden bewertet. Die nach TSI-Lärm:2011 erhobenen Daten der Vorbeifahrtsmessungen wurden nur verwendet, wenn die Vorbeifahrtsmessungen nach TSI-Lärm:2011 als vergleichbar eingestuft sind.

Sofern die Daten bei einzelnen Bauarten (z. B. dieselelektrische und dieselhydraulische Lokomotiven) signifikante Unterschiede zeigen, wurde dies bei der Bewertung berücksichtigt, um keine Technologie vom Markt auszuschließen.

Das Ergebnis der Datenerhebung ist in Tabelle 19 dargestellt:

Für das Stand- und das Anfahrgeräusch streuen die Messergebnisse stark. Zum Teil liegen die Emissionskenngrößen der Schienenfahrzeuge deutlich unter den Grenzwerten. Beim Vorbeifahrtsgeräusch ist die Streuung der Messdaten wesentlich geringer. Lediglich bei Güterwagen treten größere Streuungen auf. Hier liegen die Vorbeifahrtspegel auch deutlich näher an den bestehenden Grenzwerten.

Gemäß ISO 11689 [22] werden für Maschinen das „niedrige schalltechnische Niveau“ L_1 (Maschinen mit hoher Geräuschemission) und das hohe schalltechnische Niveau L_2 (Maschinen mit geringer Geräuschemission) festgelegt:

- Maschinen mit hoher Geräuschemission (niedriges schalltechnisches Niveau):
 L_1 ist der größte ganzzahlige Wert, der von den lautesten 17,5 % der erfassten Schienenfahrzeuge erreicht oder überschritten wird.
- Maschinen mit geringer Geräuschemission (hohes schalltechnisches Niveau):
 L_2 ist der kleinste ganzzahlige Wert, der von den leisesten 10 % der erfassten Schienenfahrzeuge erreicht oder unterschritten wird.

Basierend auf den erhobenen Daten wurde der Stand der Technik, entsprechend auf ISO 11689 [22] sowie DIN EN ISO 12100 [21] gemäß [146] und [148] wie folgt festgelegt:

Eine Maschine entspricht dann dem Stand der Technik, wenn ihr Geräuschemissionswert kleiner ist als 50 % – 75 % der anderen Maschinen dieser Gruppe.

Es werden zwei Werte für den Stand der Technik definiert:

- Moderater Stand der Technik:
Median der Geräuschemissionsdaten.
- Ambitionierter Stand der Technik:
Unteres Quartil der Geräuschemissionsdaten.

Mit dieser Methodik werden Schallemissionen ermittelt, die dem Stand der Technik entspricht.

Darauf aufbauend werden Grenzwerte vorgeschlagen. Es werden zwei Stufen von Grenzwerten festgelegt:

- Eine erste Stufe von Grenzwerten, welche die Schienenfahrzeuge sofort erreichen können. Die erste Stufe orientiert sich am ambitionierten Stand der Technik.
- Eine zweite Stufe von Grenzwerten, welche bereits jetzt verbindlich zu vereinbaren ist. Die zweite Stufe orientiert sich an einem anspruchsvollerem Niveau (hohes schalltechnisches Niveau L_2).

Die Erreichung dieses Standes ist jetzt bereits möglich, da dieser anhand von Bestandsfahrzeugen festgelegt wird.

Bei der Festlegung von Grenzwerten ist zu beachten, dass die Messergebnisse neben der Schallemission des Schienenfahrzeugs von zahlreichen Faktoren abhängen. Die Messergebnisse eines Schienenfahrzeugs streuen über einem Bereich. In Anlehnung an die Tradition der TSI wird der Grenzwert aus der Summe von: Wert des Stands der Technik + Messunsicherheit gebildet.

Die Messunsicherheit ergibt sich aus Einflüssen von

- Schallpegelmesser, Kalibrator,
- Messverfahren,
- Streuungen der Schallemission innerhalb einer Serie von Schienenfahrzeugen,
- dem Messobjekt zugeordnete Eingangsgrößen.

Für Fahrtmessungen stellen die Messgeräte sowie der Gleiseinfluss die maßgeblichen Einflussgrößen auf die Messunsicherheit dar. Für Standmessungen ist vor allem der Einfluss der Messgeräte zu nennen. Insgesamt wurde für das Vorbeifahrtgeräusch eine Standardabweichung von 1,3 dB, für das Standgeräusch eine Standardabweichung von 1,0 dB bestimmt. Mit dem Erweiterungsfaktor von 1,7 ergibt sich für das Standgeräusch eine erweiterte Unsicherheit von 2,2, für das Vorbeifahrtgeräusch eine erweiterte Messunsicherheit von 1,7. Gerundet ergibt sich für beide Betriebszustände eine erweiterte Unsicherheit von 2 dB. Diese wird auch für das Anfahren angesetzt. Diese Messunsicherheit von 2 dB wird bei der Ermittlung der Grenzwerte berücksichtigt.

Weiter werden zwei Grenzwerte definiert:

- Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert: Ambitionierter Stand der Technik+ Messunsicherheit. Der Grenzwert darf jedoch maximal das Niveau von Fahrzeugen mit hoher Geräuschemission betragen (Obergrenze L_1).
- Mittelfristig anwendbarer Grenzwert: Hohes schalltechnisches Niveau L_2 + Messunsicherheit.

Es werden folgende Grenzwerte für Schienenfahrzeuge vorgeschlagen:

Kurzfristige Grenzwerte:

Tabelle 1. Kurzfristige Grenzwerte für die Schallemission von Schienenfahrzeugen bei Messung nach TSI-Lärm.

Zugkategorie	Stillstand $L_{pAeq,T}$ in dB	Anfahrt L_{pAFmax} in dB	Vorbeifahrt $L_{pAeq,Tp}$ in dB
Diesellok	68	Dieselelektrisch: 80 Dieselhydraulisch: 84	85
Elektrolok	63	$P \geq 4500$ kW: 83 $P < 4500$ kW: 81	85
Dieseltriebzug	65	79	80
Elektrotriebzug	57	73	77
Reisezugwagen	57	--	77
Güterwagen	--	--	80 ²

Mittelfristige Grenzwerte:

Tabelle 2. Mittelfristige Grenzwerte für die Schallemission von Schienenfahrzeugen bei Messung nach TSI-Lärm.

Zugkategorie	Stillstand $L_{pAeq,T}$ in dB	Anfahrt L_{pAFmax} in dB	Vorbeifahrt $L_{pAeq,Tp}$ in dB
Diesellok	67	Dieselelektrisch: 80 Dieselhydraulisch: 84	83
Elektrolok	59	$P \geq 4500$ kW: 82 $P < 4500$ kW: 81	83
Dieseltriebzug	63	79	77
Elektrotriebzug	53	73	77
Reisezugwagen	53	--	76
Güterwagen	--	--	78 ³

² Auf den Referenz APL normiert gemäß Abschnitt 9.3.6

³ Auf den Referenz APL normiert gemäß Abschnitt 9.3.6

Ausgewählte Best-Practice-Fahrzeuge zeigen, dass bereits heute Schienenfahrzeuge am Markt vertreten sind, die deutlich leiser als die vorgeschlagenen Grenzwerte sind. Alle vorgeschlagenen Grenzwerte sind daher realisierbar.

Die Kosten der Schallminderungsmaßnahmen liegen z. B. bei Güterwagen zur Realisierung eines APL- normierten Vorbeifahrtpegels von $L_{pAeq,Tp} = 75$ dB mit ca. 6.500,00 € in einem vertretbaren Rahmen (wobei diese vorwiegend durch den Einsatz der K-Sohle entstanden). Die Kosten für Radschallabsorber belaufen sich für einen Radsatz auf ca. 1.500,00 €.

Als Best-Practice-Fahrzeuge werden vorgestellt:

- Die Elektrolok: LOK 2000
- Der ETZ Flirt Algier
- Die Niederflurdoppelstockwagen NDW für die S-Bahn Zürich
- Der Güterwagen der ARGE Low Noise Train

3 Einführung

3.1 Motivation

Nach wie vor stellt die Belastung der Bevölkerung durch Schienenverkehrslärm ein großes Umweltproblem dar. Der Schienenverkehrslärm ist die Achillesferse des ansonsten umweltfreundlichen Bahnverkehrs.

Zur Harmonisierung des europäischen Schienenverkehrs, aber auch zur Reduktion des Schienenverkehrslärms wurden die Technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI), die TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr:2002 [6] und die TSI-Lärm:2006 [7] für den konventionellen Schienenverkehr eingeführt. Diese geben europaweit einheitliche Geräuschgrenzwerte für die Zulassung neuer Züge oder für umgebaute oder modernisierte Fahrzeuge an und tragen so aktiv zum Schutz vor Lärm bei.

Die TSI werden laufend überarbeitet. Die TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr wurde 2008 überarbeitet [8]. Mit der „kleinen“ Revision der TSI-Lärm:2011 [10] wurden z. B. die Mess- und Betriebsbedingungen präzisiert.

Die europäische Kommission hat sich verpflichtet, spätestens sieben Jahre nach Inkrafttreten der TSI, d. h. im Juni 2013, einen Bericht mit eventuell revidierten Vorschlägen vorzulegen. Die Agentur bereitet dabei die Überarbeitung und Aktualisierung der TSI vor und unterbreitet der Kommission alle zweckdienlichen Empfehlungen, um der Entwicklung der Technik oder der gesellschaftlichen Anforderungen Rechnung zu tragen. Insbesondere soll die zweite Stufe des Vorbeifahrtgeräuschgrenzwerts von Wagen, Lokomotiven, Triebzügen und Reisezugwagen anhand der Ergebnisse vergleichbarer Geräuschmessreihen unter besonderer Berücksichtigung des technischen Fortschritts und verfügbarer Technologien sowohl für Gleise als auch für Bahnfahrzeuge erfolgen [10].

Eine Schwierigkeit bei der Fortschreibung der Geräuschgrenzwerte ist, dass über den aktuellen Stand der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge bislang keine ausreichend statistisch abgesicherten Daten vorliegen. Deshalb ist die Schaffung einer breiten Datenbasis im Zuge der Fortschreibung der TSI eine unabdingbare Voraussetzung.

Die aktuelle Situation zeigt aber auch, dass bei der Fahrzeugbeschaffung teilweise höhere akustische Anforderungen an die Schienenfahrzeuge gestellt werden, als durch die TSI gefordert ist. Teilweise werden leisere Fahrzeuge durch ein Bonus-system gefördert. Grund hierfür ist, dass die effizienteste Schallreduzierung an der Quelle, also an den Fahrzeugen selbst, ansetzt.

Das vorliegende Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit der Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge. Deren Lärminderungspotentiale sollen erfasst und anhand von Best-Practice-Fahrzeugen verdeutlicht werden.

Über das Forschungsvorhaben wurde laufend in verschiedenen Gremien wie der nationalen Spiegelgruppe zur Revision der TSI Noise, beim VDB sowie auf der DAGA berichtet. Die darüber entstandenen Diskussionen und Abstimmungen sind bereits in den Forschungsbericht eingeflossen. Diesem Bericht liegt daher bereits ein Abstimmungsprozess zugrunde

3.2 Leitlinien

Eisenbahnen gelten als umweltfreundliche Verkehrsmittel. Der Schienenverkehrslärm hingegen wird häufig als „Achillesferse“ des Schienenverkehrs bezeichnet und mindert das umweltfreundliche Image der Bahnen.

Der Schienenverkehr (insbesondere der Güterverkehr) soll in den kommenden Jahren weiter zunehmen. Damit steigt die Lärmbelastung der Bevölkerung an Bahntrassen an, ein Schutz der Bevölkerung vor zusätzlichen Schienenverkehrslärm ist erforderlich.

Die Reduktion der Schallemission von Schienenfahrzeugen stellt eine Schallreduktion an der Quelle dar. Derartige Maßnahmen sind besonders effizient und daher passiven Schallschutzmaßnahmen wie dem Errichten von Lärmschutzwänden überlegen. Für Schienenfahrzeuge wurde im EU Projekt STAIRRS nachgewiesen [131], dass die Umrüstung von Güterwagen mit K-Sohle am kosteneffizientesten ist. Lärmschutzwände, insbesondere hohe, haben eine geringe Kosteneffizienz.

Schallemissionsgrenzwerte von Schienenfahrzeugen müssen sich am Stand der Technik orientieren. Messnormen mit möglichst präzise beschriebenen Mess- und Betriebsbedingungen sowie eine Erhebung von Daten unter Zugrundelegung dieser Normen bilden die Grundlage für die Ermittlung des Standes der Technik.

Schienenfahrzeuge haben eine lange Lebensdauer von ca. 30 Jahren, Güterwagen sogar von ca. 40 – 50 Jahren. Gesetzliche Regelungen zur Schallemission an Schienenfahrzeugen wirken erst vollständig, wenn kein Altbestand mehr verkehrt. Somit greift diese Maßnahme erst nach einer langen Vorlaufzeit. Bis dahin verringert sich die Schallemission nur sehr langsam. Gesetzliche Regelungen müssen daher frühzeitig ergriffen werden.

Die Struktur des Bahnsektors wurde im Zuge der Privatisierung komplex unterteilt. Dies führt dazu, dass Lärmschutzmaßnahmen am Fahrzeug die Wageneigentümer belasten. Der Nutzen kommt jedoch an anderen Stellen zum Tragen. Gesetzlichen Grenzwerten und Anreizsystemen (lärmabhängige Trassenpreise) kommt daher eine besondere Bedeutung im Zuge der Lärminderung zu.

Allerdings steht die Eisenbahn in Konkurrenz zu anderen Verkehrsträgern wie Straße oder Luft. Signifikante Zusatzkosten nur für den Bahnsektor reduzieren die Konkurrenzfähigkeit der Bahnen und führen somit nicht zu dem gewünschten Effekt.

Das Nichteinhalten von gesetzlichen Grenzwerten führt zu einer Nichtzulassung des Schienenfahrzeugs. Bei der Formulierung von Grenzwerten muss geprüft werden, ob damit einzelne Bauarten oder Schienenfahrzeugkategorien nicht mehr zugelassen werden können. Die Kategorisierung von Schienenfahrzeugen muss hinreichend genau sein und sich am Stand der Technik orientieren. Ziel von Grenzwerten kann es aber durchaus sein, gewisse Technologien wie die Grauguss-Bremssohle auszuschließen.

Die Schallemission ergibt sich aus dem Zusammenwirken von Fahrzeug und Fahrweg. Werden die in diesem Bericht vorgeschlagenen kurz- und mittelfristigen Grenzwerte umgesetzt, so ist zu prüfen ob eine weitere zukünftige Reduktion der Grenzwerte für das Fahrgeräusch ohne die Einbeziehung der Infrastruktur noch möglich ist. Hier kommt insbesondere der Überwachung und Begrenzung der Schienenrauheit und der Sicherstellung eines akustisch guten Dämpfungsverhaltens des Oberbaus auf Bahnstrecken eine besondere Bedeutung zu.

Auf der anderen Seite können Maßnahmen an der Infrastruktur nur dann ihre volle Wirkung entfalten, wenn das rollende Material eine hohe Qualität aufweist. So ergibt das Schienenschleifen bei K-Klotz oder scheibengebremsen Fahrzeugen eine wesentlich höhere Wirkung als bei graugussgebremsen Fahrzeugen. Infrastrukturmanager in sensiblen Gebieten sind somit auch auf die Qualität des rollenden Materials angewiesen um Schallminderungen zu realisieren.

Zukünftige Schallminderung wurde in TSI:2006 [7] vorgeschlagen, aber nicht verbindlich eingeführt. Der zeitliche Verlauf der Schallemissionskenngrößen von Güterwagen zeigt, dass obwohl eine Reduktion der Grenzwerte im Raum steht, dies nicht zu einer akustischen Fortentwicklung der Fahrzeuge geführt hat.

Verschiedene Argumente sprechen für und gegen die Reduktion von Grenzwerten. Insgesamt ist es unumstritten, dass insbesondere laute Fahrzeuge, welche nicht dem Stand der Technik entsprechen, Umwelt und Anwohner über Gebühr Lärmemissionen aussetzen. Zur Minderung der Schallemission sollte daher eine, an den Stand der Technik angepasste, Reduktion der Schallemission von Schienenfahrzeugen erfolgen. Dies stellt zumindest sicher, dass laute Fahrzeuge nach und nach vom Markt verschwinden. Die Orientierung am Stand der Technik gewährleistet, dass die niedrigeren Schallemissionen erreichbar sind und dass diese auch unter Wettbewerbsbedingungen am Markt durchgesetzt werden können.

Ziel der Untersuchungen ist die Ermittlung des Standes der Technik und darauf aufbauend die Ermittlung von Grenzwertvorschlägen. Der Stand der Technik stellt im Allgemeinen die technischen Möglichkeiten zu einem bestimmten Zeitpunkt, basierend auf gesicherten Erkenntnissen von Wissenschaft und Technik, dar [147]. In der praktischen Umsetzung bedeutet Stand der Technik nicht, dass wissenschaftliche Lösungen existieren, vielmehr müssen entwickelte Techniken verfügbar [149] sein. Diese müssen bereits realisiert worden sein und auf dem Markt angeboten werden. Es werden daher Ergebnisse von Forschungsvorhaben aufgezeigt, die zu entwickelnden Grenzwertvorschläge orientieren sich aber allein an realistischen, nach TSI zugelassenen und am Markt erhältlichen Fahrzeugen.

Die Ermittlung der Schallminderungspotentiale und der Grenzwertvorschläge erfolgt allein auf Basis der realisierten Fahrzeuge. Derzeit nicht existierende oder nicht zugelassene Schallminderungsmaßnahmen werden nicht berücksichtigt. Darüber hinaus bestünde, würde der Stand der Wissenschaft berücksichtigt, ein weiteres Lärminderungspotential.

In der Tradition der TSI wird zur Ermittlung der Grenzwertvorschläge der ermittelte Stand der Technik um die Messunsicherheit erhöht. Damit wird sichergestellt, dass konforme Fahrzeuge die Zulassung erhalten.

3.3 Methodische Vorgehensweise zur Ermittlung des Standes der Technik und des Geräuscheminderungspotentials

Die methodische Vorgehensweise zur Beschreibung des Stands der Technik und der Fortschreibung der Grenzwerte in dem vorliegenden Bericht ist wie folgt:

- **Vergleichende Bewertung der ursprünglichen und der revidierten TSI-Lärm und TSI-Hochgeschwindigkeit**

Nach Einführung der TSI wurden diese bereits überarbeitet. Um die Vergleichbarkeit der nach den verschiedenen Versionen der TSI erhobenen Datensätzen sicherzustellen, werden ursprüngliche und geänderte TSI vergleichend gegenübergestellt.

- **Darstellung der Mechanismen der Schallemission von Schienenfahrzeugen**

Von den verschiedenen Schienenfahrzeuggeräuschen kommt dem Rollgeräusch die höchste Bedeutung zu. Das Rollgeräusch dominiert die Schallemission im maßgeblichen Geschwindigkeitsbereich von Schienenfahrzeugen zwischen 60 und 250 km/h. Daneben werden Stand- und Anfahrgeräusche betrachtet. Die maßgeblichen Mechanismen zu Geräuscherzeugung werden zusammengefasst.

- **Überblick über Literatur zur Schallemission von Schienenfahrzeugen und deren Minderung (Stand des Wissens)**

Als Grundlage der geplanten Untersuchungen wird der Stand des Wissens erfasst und zusammengestellt. Vorrangig durch eine Literaturstudie werden Informationen, über

- maßgebende Geräuschquellen und Entstehungsmechanismen an Fahrzeugen,
- methodische Beschreibung dieser Mechanismen und
- akustische Minderungsmaßnahmen

zusammengestellt. Ebenfalls wird der Entwicklungsprozess der TSI nachvollzogen. Informationen über akustisch gelungene Fahrzeuge werden zusammengestellt.

- **Erstellung einer Datenbasis für den Stand der Technik**

Ein wichtiges Ziel des Vorhabens ist die Erstellung einer fundierten Datenbasis des Standes der Technik der Geräuschemission europäischer Schienenfahrzeuge, welche unter den Einflussbereich der TSI-Lärm fallen.

Es werden akustische Abnahmewerte für das Außengeräusch der gegenwärtig eingesetzten Schienenfahrzeuge erfragt. Die Befragung erfolgt bei den am Zulassungsprozess beteiligten Institutionen, welche Kenntnis über die Geräuschgrößen haben.

- Schienenfahrzeughersteller
- Schienenfahrzeugbetreiber
- Benannte Stellen
- Messstellen
- ERA

Dazu wurden Fragebögen entworfen und versendet. Der Rücklauf wurde ausgewertet, Ergebnisse werden dargestellt.

- **Methodische Beschreibung des Stands der Technik**

Der Stand der Technik ist eine Techniklausel und stellt im Allgemeinen die technischen Möglichkeiten zu einem bestimmten Zeitpunkt, basierend auf gesicherten Erkenntnissen von Wissenschaft und Technik dar [147]. Allgemeingültige Verfahren zur Ermittlung des Stands der Technik existieren aufgrund der Vielzahl unterschiedlichster Problemstellungen nicht. Im internationalen Normenwerk existieren jedoch Hinweise und Leitlinien, wie der Stand der Technik ermittelt werden kann. Ein Verfahren zur Bestimmung des Stands der Technik wird beschrieben.

- **Bewertung des Ist-Zustandes und Ermittlung des Standes der Technik**

Die erhobenen Schallemissionsdaten von Schienenfahrzeugen werden bewertet. Aus den Schallemissionen nach TSI zugelassener Schienenfahrzeuge wird der Stand der Technik ermittelt.

- **Ermittlung von Vorschlägen zur Fortschreibung der europäischen Geräuschgrenzwerte**

Auf der Basis des Stand der Technik werden Vorschläge für Geräuschgrenzwerte angegeben.

- **Ermittlung von Best-Practice-Fahrzeugen**

Es werden akustische Best-Practice-Fahrzeuge dargestellt, die das derzeitige technische und wirtschaftliche Machbare zeigen sollen. Best-Practice-Fahrzeuge sind nicht zwangsläufig die Fahrzeuge mit den geringsten akustischen Emissionen, sondern sie stehen für akustisch vorbildliche Fahrzeuge, bei denen die akustischen Maßnahmen kosteneffizient realisiert wurden.

Die Best-Practice-Fahrzeuge werden getrennt für die verschiedenen Kategorien benannt.

- **Mess- und Betriebsbedingungen**

Anpassung/Ergänzungen der Mess- und Betriebszustände werden vorgeschlagen.

4 Stand und Entwicklung der Technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI)

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die aktuell geltenden TSI und den Entwicklungsprozess der ursprünglichen TSI gegeben. Ursprüngliche und revidierte TSI werden miteinander verglichen, um die Auswirkung der kleinen Revision der TSI zu bewerten.

Die TSI legen die grundlegenden Anforderungen an den grenzüberschreitenden Schienenverkehr fest [69]. Sie werden von internationalen Expertengruppen unter Leitung der ERA (European Railway Agency) erstellt und überarbeitet. Mit der Entscheidung C(2010)2576 [5] kommt der ERA eine stärkere Rolle im Entstehungs- und Überarbeitungsprozess der TSI zu. Diese erhält das Mandat, die TSI im Hinblick auf einen erweiterten Geltungsbereich (gesamtes Bahnsystem der EU) zu entwickeln und zu überarbeiten.

Die rechtliche Grundlage für die geltenden TSI-Lärm und TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr bildet die Richtlinie 2008/57/EU (Interoperabilitätsrichtlinie) [3]. Diese fasst die Richtlinien 96/48/EG (Interoperabilität Hochgeschwindigkeitsverkehr) [1] und 2001/16/EG (Interoperabilität konventioneller Verkehr) [2] und deren Änderungen zusammen [69]. Die TSI präzisieren die Interoperabilitätsrichtlinie. Beide, die Richtlinie und die TSI, haben rechtlich verbindlichen Charakter.

Der Wirkungsbereich der TSI ist gemäß der Richtlinie 2008/57/EU [3] auf das gesamte europäische Netz auszudehnen (ein entsprechendes Kosten-Nutzen-Verhältnis vorausgesetzt), einzelne Systeme wie z. B. U-Bahnen können von den Mitgliedsstaaten ausgenommen werden.

Folgende TSI mit Geräuschanforderungen wurden erarbeitet:

- TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr:2002 (2002/735/EG) [6], überarbeitet durch die TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr: 2008 (2008/232/EG) [8]
- TSI-Lärm:2006 (2006/66/EG) [7], überarbeitet durch die TSI-Lärm:2011 (2011/229/EU) [10]

Die TSI sollen an den technischen Fortschritt, die Marktentwicklung und an gesellschaftliche Bedürfnisse angepasst werden (article 12 of Agency regulation 2004/881 as amended by regulation (EC) No 1335/2008).

4.1 Vergleich ursprünglicher und revidierter TSI

4.1.1 TSI-Lärm

Im Bereich konventioneller Fahrzeuge wurden die folgenden TSI eingeführt:

- TSI-Lärm:2006 (2006/66/EG)
- TSI-Lärm:2011 (2011/229/EU)

Diese werden im Folgenden hinsichtlich Messgrößen, Messbedingungen, Betriebszustände des Fahrzeugs und Gleisanforderungen verglichen, um die Vergleichbarkeit der Daten, die nach beiden TSI erhoben wurden, zu bewerten.

Tabelle 3. Vergleich der TSI-Lärm:2006 und TSI-Lärm:2011 hinsichtlich besonders relevanter Mess- und Betriebsbedingungen.

	TSI-Lärm:2006	TSI-Lärm:2011
Zugrundeliegende Normen	prEN ISO 3095:2001 mit Abweichungen	Weitgehend prEN ISO 3095:2010
Umweltbedingungen	Gelände im Wesentlichen eben	Akustische Umgebung 0 m – 2 m Dammhöhe bezogen auf SOK
	im Gebiet keine schallabsorbierenden Elemente, keine reflektierenden Oberflächen, keine Personen	im Gebiet keine schallabsorbierenden Elemente, keine reflektierenden Oberflächen, keine Personen
	keine Schienen zwischen Prüfgleis und Mikrofon bei Fahrtmessung	weitere Schienen zulässig, solange Gleisbett dieser Schienen nicht über SOK der Prüfstrecke liegt
	keine reflektierenden Objekte im 3-fachen Mikrofonabstand	keine reflektierenden Objekte im 3-fachen Mikrofonabstand
Standmessung		
Messgröße	$L_{pAeq,T}$, $T_{min} = 60$ s, energetisches Mittel der Einzelmessungen	$L_{pAeq,T}$, $T_{min} = 20$ s, energetisches Mittel der Einzelmessungen, gewichtet mit den Abständen der Messpositionen, (min. 3 Messungen)
Mikrofonposition	Abstand von der Gleisachse $d = 7,5$ m, $h = 1,2$ m (3,5 m) $\pm 0,2$ m Abstand der Mikrofone untereinander 3 m – 5 m, Mikrofonposition direkt vor und hinter dem Fahrzeug, weitere Positionen in den Fahrzeugecken im Winkel von 45° ,	wie TSI-LÄRM:2006, Mikrofonpositionen direkt vor und hinter dem Zug entfallen, zwei Positionen vor und hinter dem Fahrzeug im Winkel von 60° von der Mitte der Strecke aus

	TSI-Lärm:2006	TSI-Lärm:2011
Betriebsbedingung Fahrzeug	Betrieb unter Normalbedingungen (20 °C); alle Aggregate, die in Betrieb sein können, eingeschaltet; Hilfsaggregate unter normaler Last, Bremsluftkompressor aus (Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, Motor Leerlauf, Lüfter normale Drehzahl, Hilfsaggregate normale Last)	Alle kontinuierlich betriebenen Systeme, die bei dem jeweiligen Betriebszustand aktiviert sind, arbeiten unter Normallast ($T_a = 20\text{ °C}$) alle Klimaanlage wie bei: $v_{\text{Wind}} = 3\text{ m/s}$, rel. Luftfeuchte 50 %, Sonnenenergie 700 W/m^2 , eine Person pro Sitzplatz, konst. $T_i = 20\text{ °C}$ Kühlsysteme arbeiten unter Minimallast (Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor: Motor im Leerlauf)
Anfahrtsmessung		
Messgröße	L_{pAFmax}	L_{pAFmax}
Prüfvorgang	Das Fahrzeug beschleunigt von 0 auf 30 km/h danach 30 km/h konstant.	Das Fahrzeug beschleunigt von 0 auf 30 km/h danach 30 km/h konstant.
Mikrofonposition	20 m vor Zug, Abstand von der Gleisachse $d = 7,5\text{ m}$, $h = 1,2\text{ m}$ (3,5 m)	10 m vor Zug, Abstand von der Gleisachse $d = 7,5\text{ m}$, $h = 1,2\text{ m}$ (3,5 m), bei Zuglängen $l > 50\text{ m}$ weitere Messpositionen
Gleiszustand	guter Unterhaltungszustand Gleis lückenlos verschweißt, keine Oberflächenbeschädigungen	keine Schienenstöße keine Schleuderstellen, Gleis lückenlos verschweißt, keine hörbaren Einschlaggeräusche
Betriebsbedingung Fahrzeug	maximale Zugkraft ohne Makroschlupf Hilfsaggregate unter normaler Last, Bremsluftkompressor aus.	maximale Traktion ohne Makroschlupf, bei Lokomotiven muss die Anhängelast definiert werden, damit die max. Zugkraft erreicht wird. Alle kontinuierlich betriebenen Systeme, die bei dem jeweiligen Betriebszustand aktiviert sind, arbeiten unter Normallast ($T_a = 20\text{ °C}$) alle Klimaanlage wie bei: $v_{\text{Wind}} = 3\text{ m/s}$, rel. Luftfeuchte 50 %, Sonnenenergie 700 W/m^2 , eine Person pro Sitzplatz, konst. $T_i = 20\text{ °C}$. Kühlsysteme arbeiten unter Minimallast

	TSI-Lärm:2006	TSI-Lärm:2011
Fahrtmessung		
Messgröße	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$
Mikrofonpositionen	Abstand von der Gleisachse $d = 7,5 \text{ m}$, $h = 1,2 \text{ m}$	Abstand von der Gleisachse $d = 7,5 \text{ m}$, $h = 1,2 \text{ m}$
Betriebsbedingung Fahrzeug	im Wesentlichen keine Anforderungen	kontinuierlich betriebene Systeme unter Normallast Mindesttraktionskraft zur Beibehaltung der konst. Geschw. keine Zuladung oder Pers. im Zug bei Lokomotiven muss die Zuglast mind. 2/3 der bei Höchstgeschwindigkeit erreichbaren max. Traktionskraft entsprechen
Strecke	Streckenneigung max. 1/100, Zuggeschwindigkeit ist abh. vom Krümmungsradius r guter Unterhaltungszustand Gleis lückenlos verschweißt, keine Oberflächenbeschädigungen kein Gleis zwischen Prüfgleis und Mikrofon	für Triebfahrzeuge darf die Streckenneigung max. 5/1000 betragen Gleisbett mit Holz- oder Betonschwellen, Schienendämpfer sind zulässig Zuggeschwindigkeit ist abh. vom Krümmungsradius r
Radzustand	Räder müssen mind. 1000 km gelaufen sein, Laufflächen frei von Unregelmäßigkeiten	Räder müssen mind. 1000 km gelaufen sein, Laufflächen frei von Unregelmäßigkeiten bei Zügen mit Klotzbremsen sind 2 Bremsungen aus 80 km/h vor den Messungen durchzuführen
Abklingrate	Verfahren weitgehend identisch zu EN 15641, Grenzkurve: TSI ²	Messung nach EN 15641, Grenzkurve TSI
Schienenrauheit	Messung weitgehend nach prEN ISO 3095:2001 auf der tats. Kontaktfläche des Schienenfahrzeugs, Wellenlängenbereich 3,15 mm – 10 cm Grenzkurve: TSI ⁴	Messung nach 15610, Grenzkurve TSI

⁴ Damals als TSI⁺ bezeichnet, identisch zur Grenzkurve TSI.

(vgl. auch [118]):

- Die TSI-Lärm:2011 präzisiert Mess- und Betriebsbedingungen.
- Messung nach TSI-Lärm:2011 sind praktikabler (Mikrofone unter Oberleitung, Gleis zwischen Prüfgleis und Mikrofon bei Vorbeifahrtmessung⁵).
- Bei Standmessungen können sich die Messwerte signifikant ändern. Grund dafür ist, dass der Betrieb der Kühlung (Kompressor) nun vorgeschrieben ist. Es ist zu erwarten, dass diese Präzisierung der Betriebsbedingungen die Streuung der Messergebnisse reduziert.
- Bei der Anfahrmessung werden in der TSI-Lärm:2011 mehr Mikrofonpositionen für längere Züge angegeben. Es ist davon auszugehen, dass dies bei Messungen nach der TSI-Lärm:2006 bedingten Messunsicherheiten reduziert. Die Entfernung des Messpunkts vor dem Zug parallel zum Gleis wurde von 20 m auf 10 m reduziert.
- Bei Fahrtmessungen ist kein Referenzgleis mehr erforderlich. Sollen die akustischen Kenngrößen des Fahrzeugs als vergleichbar eingestuft werden, so müssen die Messungen auf einem Referenzgleis durchgeführt werden. In diesem Fall ist eine Überschreitung der Rauheit zulässig, solange die Auswirkung auf den Schalldruckpegel kleiner oder gleich 1 dB bleibt. Die Unsicherheit bei Messungen erhöht sich, da die Gleisrauheit den dominanten Einflussfaktor auf die Unsicherheit darstellt. Messdaten, die nicht auf einem Referenzgleis erhoben wurden, werden lediglich im Fahrzeugregister als nicht vergleichbar gekennzeichnet.
- Es ist eine vereinfachte Zulassung von Fahrzeugen im Rahmen von Fahrzeugfamilien möglich, wenn im Hinblick auf die Geräuscentwicklung keine Abweichungen vorliegen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die nach beiden TSI erhobenen Messwerte weitgehend als vergleichbar eingeschätzt werden können. Die oben genannten Abweichungen insbesondere bei den Betriebsbedingungen des Fahrzeugs im Stand können jedoch zu deutlichen Abweichungen führen. Dies wird bei der Bewertung der Geräuschemissionsdaten berücksichtigt.

4.1.2 TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr

Bislang wurden folgende TSI für den Hochgeschwindigkeitsverkehr eingeführt:

- TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr:2002, (2002/735/EG) [6]
- TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr:2008, (2008/232/EG) [8]

In der TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr von 2008 werden die Mess- und Betriebsbedingungen, welche in der TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr von 2002 nur grob beschrieben waren, präzisiert.

⁵ Nur gemäß der deutschen Übersetzung. In der englischen Version gilt dies nicht.

Im Rahmen der Untersuchung konnten für Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge nur wenige Daten erhoben werden. Eine vergleichende Bewertung der ursprünglichen und der revidierten TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr erfolgt daher nicht.

5 Prinzipielle Mechanismen der Schallemission von Schienenfahrzeugen und deren Minderung

In diesem Kapitel werden die maßgeblichen Mechanismen der Geräuscherzeugung zusammengefasst. Mögliche Ansätze für Minderungsmaßnahmen werden diskutiert.

Ein Überblick über die Schallemission von Schienenfahrzeugen wird in [30] gegeben.

5.1 Vorbeifahrtgeräusch

Zur Berechnung des Rollgeräusches ist es von hoher Bedeutung das Gesamtsystems, bestehend aus Untergrund, Schiene, elastischen Elementen, Rad, Drehgestell und Wagenkasten/Aufbau, genauso wie die Rad- und Schienenrauheit als Anregung zu betrachten. Alle Teilsysteme wirken bei der Entstehung des Rollgeräusches zusammen.

Von den verschiedenen Schienenfahrzeuggeräuschen kommt dem Rollgeräusch die höchste Bedeutung zu. Das Rollgeräusch dominiert die Schallemission im maßgeblichen Geschwindigkeitsbereich von Schienenfahrzeugen zwischen ca. 60 und 300 km/h.

Die Aggregatgeräusche (z. B. Motorgeräusch, Lüftergeräusch usw.) dominieren im Wesentlichen die Schallemission im Stand und beim Anfahren. Stand- und Anfahrgeräusche sind vor allem im Bereich von Bahnhöfen und Abstellplätzen relevant.

Weitere Schienenfahrzeuggeräusche wie Bremsenquietschen, Kurvenquietschen oder die Schallemission beim Befahren von Brücken sind derzeit nicht Gegenstand der TSI.

Ein Modell zur Entstehung des Rollgeräusches ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Dieses Modell ist die Basis für die gängigsten Simulationsprogrammen TWINS [57] - [65] und RIM [66], [67].

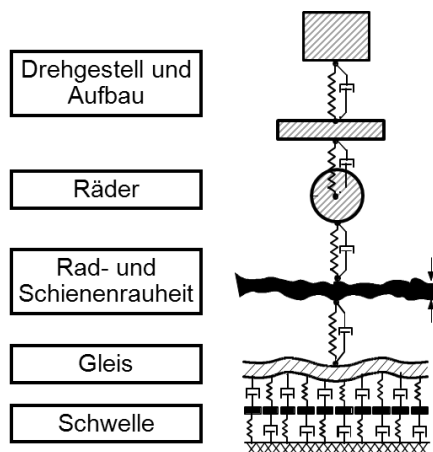


Abbildung 1. Prinzipieller Modell zur Entstehung des Vorbeifahrtgeräusches.

Neben dem Rollgeräusch können die Aggregatgeräusche (vor allem für Diesellokomotiven) und die aerodynamischen Geräusche das Vorbeifahrtgeräusch beeinflussen. Die folgende Abbildung stellt die wichtigsten Mechanismen dar.

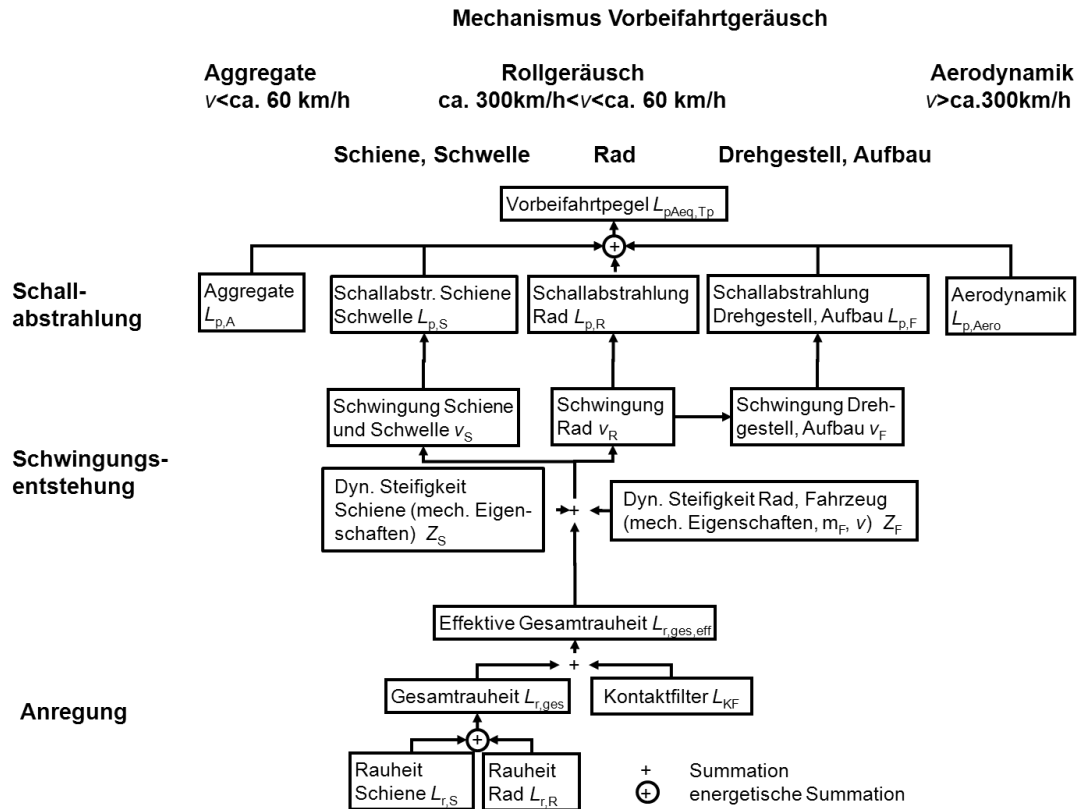


Abbildung 2. Modell zur Berechnung des Vorbeifahrtgeräusches.

Bei der Entstehung des Rollgeräusches sind vor allem folgende Mechanismen von Bedeutung.

Anregung: Die Rauheit der Radlaufläche und der Schienenoberfläche regen Rad und Schiene zu Schwingungen an. Die Gesamtanregung erfolgt durch die (energetische) Summe der Rad- und Schienenrauheit. Die Kontaktfläche zwischen Rad und Schiene wirkt als Filter für die Gesamtrauheit. Anteile der Gesamtrauheit mit Wellenlängen kleiner als die Kontaktfläche tragen in nur geringem Umfang zur Schwingungsanregung bei.

Durch die Fahrgeschwindigkeit werden die ortsabhängigen Rauheiten in eine zeitabhängige Anregung von Rad und Schiene umgewandelt.

Schwingungsentstehung: Die Anregung führt zu Schwingungen von Rad und Schiene. Die Schwingungen hängen von den mechanischen Eigenschaften beider Systeme ab. Einen großen Einfluss haben die dynamischen Steifigkeiten (z. B. Impedanzen) der Teilsysteme und deren Dämpfungen.

Bei geringen Geschwindigkeiten, aber auch bei der Prüfgeschwindigkeit $v = 80 \text{ km/h}$ können insbesondere bei Diesellokomotiven die Motorgeräusche relevant werden. Für hohe Geschwindigkeiten spielen zusätzlich die aerodynamischen Schallquellen eine Rolle.

Mögliche Minderungsmaßnahmen sind in der folgenden Abbildung eingetragen.



Anregung: Die Minderung der Rauheitsanregung ist davon abhängig, welche Teilrauheit (Rad oder Schiene) dominiert. Ist die Radrauheit wesentlich größer als die Schienenrauheit (wie z. B. für Fahrzeuge mit Graugussbremsen, welche die Radlauf­fläche aufrauen), so wird die Schallemission durch die Radrauheit dominiert, Veränderungen der Schienenrauheit wirken sich praktisch nicht auf den Gesamtpegel aus. Maßnahmen wie Schienenschleifen sind in diesem Fall wirkungslos. Ist andererseits die Schienenrauheit z. B. bei Vorhandensein von Schienenriffeln dominant, haben die Rauheiten der Räder einen nur geringen Einfluss. Leise Schienenfahrzeuge bedin­gen ein glattes Rad auf einer glatten Schiene⁶.

Die Größe der Kontaktfläche zwischen Rad und Schiene wirkt als akustischer Filter, der Rauheiten mit kleinen Wellenlängen glättet. So können akustische Vorteile klei­nerer Räder (mit einer kleineren abstrahlenden Fläche) durch die mit der kleineren Kontaktfläche verbundene geringere Filterwirkung und die damit höhere wirksame Gesamtrauheit zum Teil wieder aufgehoben werden.

Schwingungsentstehung:

Prinzipiell können zwei Einflussgrößen auf die Schwingungsentstehung beeinflusst werden:

- Eine höhere Steifigkeit reduziert i. d. R. die Anregbarkeit von Schwingungen, insbesondere wenn dadurch relevante Schwingungsmoden aus dem akustisch relevanten Bereich verschoben werden können.
- Da Stahl eine sehr geringe Dämpfung besitzt sind Maßnahmen zur Erhöhung der Dämpfung effizient.

Für beide Teilsysteme können folgende Maßnahmen in Betracht kommen:

⁶ In Deutschland verpflichtet sich die DB für bestimmte Schienenabschnitte eine gute akustische Qualität der Schienenoberflächen vorzuhalten (besonders überwachte Gleis (BüG)) und bekommt dafür vom Gesetzgeber einen Pegelabschlag von 3 dB zuerkannt [140].

Tabelle 4. Maßnahmen zur Reduktion der Schwingungen von Rad und Schiene.

Beeinflussung	Rad	Schiene
Steifigkeit	• Optimierter Radquerschnitt (symmetrisches Profil, das die Axialmoden von den Radialmoden entkoppelt)⁷ • Dickerer Steg, der die Moden in einen unkritischeren Frequenzbereich anhebt • Kleinere Räder mit weniger Moden im relevanten Frequenzbereich),	• Dickerer und niedriger Steg, der die Moden in einen unkritischeren Frequenzbereich anhebt • größerer Schienenkopf
Dämpfung	• Radschallabsorber (Schwingungsdämpfer) • Dämpfungsringe • Constrained layer • Gummigefederte Räder (erhöhen die Dämpfung, vergrößern die Kontaktfläche zwischen Rad und Schiene und Reduzieren die Kontaktsteifigkeit). Gummigefederte Räder haben sich bei niedrigen Geschwindigkeiten durchgesetzt (S-Bahn, U-Bahn, Metro, Straßenbahn) [107]. Für höhere Geschwindigkeiten kommen sie seit dem ICE-Unfall in Eschede kaum noch zum Einsatz.	• Schienenstegdämpfer

Bei Anwendung schallreduzierender Maßnahmen ist zu berücksichtigen, dass Schall von beiden Teilsystemen abgestrahlt wird. So ist die Erhöhung der Dämpfung ein probates Mittel zur Reduzierung der Schwingungen der Teilsysteme. Das Potential von Schienendämpfern oder Raddämpfern allein ist im Allgemeinen limitiert, da diese jeweils nur ein Teilsystem bedämpfen, die Schallabstrahlung des anderen Teilsystems jedoch nicht beeinflussen. Erreichbare Schallreduktionen liegen bei Rad- wie auch bei Schienendämpfern im Bereich von i. d. R. 1 – 2 dB. Nur die Kombination von Rad- und Schienendämpfern (gedämpftes Rad auf gedämpfter Schiene) verspricht eine größere Reduktion des Rollgeräusches von 5 – 8 dB. Hierzu existieren zahlreiche Untersuchungen (z. B. [45] oder [116]).

Die Entkopplung von Drehgestell und Aufbau darf, insbesondere bei Güterwagen, nicht unberücksichtigt bleiben. Die Entkopplung kann durch eine Optimierung der Federung erfolgen. Kunststoff- oder Elastomerzwischenlagen können die Körperschallübertragung beim Kontakt Stahl-Stahl verringern.

⁷ Bei Zügen mit Bremsen, die auf die Laufflächen greifen, sind der Optimierung aus thermomechanischen Gründen jedoch Grenzen gesetzt.

Schallabstrahlung: Vergleichbares gilt für die Schallabstrahlung von Rad und Schiene. Die Verringerung der Schallabstrahlung der Räder allein bewirkt keine signifikanten Geräuschminderungen. Bei radseitigen Schallschürzen verbleiben aus betriebstechnischen Gründen immer akustisch offene Spalten. Gleiches gilt für gleisseitige niedrige Schallschutzwände aber auch für die Kombination aus beiden Maßnahmen.

Tabelle 5. Maßnahmen zur Verringerung der Schallabstrahlung von Rad und Schiene.

Rad	Schiene
• Schürzen • Vorsatzscheiben • Radscheibenbremsen • Constrained layer • Perforierte Räder • Speichenräder	• Schienenstegabschirmungen • Niedrige Schallschutzwand
• Niedrige Schallschutzwand • Schallschutzwand	

5.3 Stillstand- und Anfahrgeschall

Anders als beim Rollgeräusch dominieren im Stand und beim Anfahren die Schallemissionen der Fahrzeugaggregate. Abhängig vom Fahrzeugtyp und dem Betriebszustand (Anfahren oder Stillstand) können unterschiedlichen Fahrzeugaggregate relevant für die Schallemission sein.

In den folgenden Abbildungen sind die relevanten Schallquellen für verschiedene Fahrzeuge, welche im Rahmen eines Akustikmanagements betrachtet und bewertet wurden dargestellt:

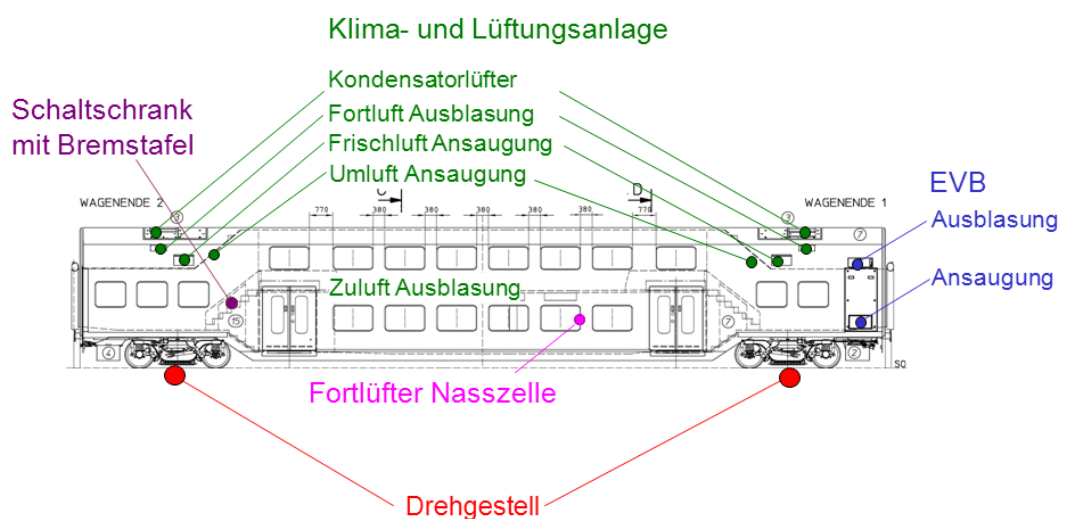


Abbildung 4. Schallquellen am Niederflr Doppelstockwagen (NDW) [73].

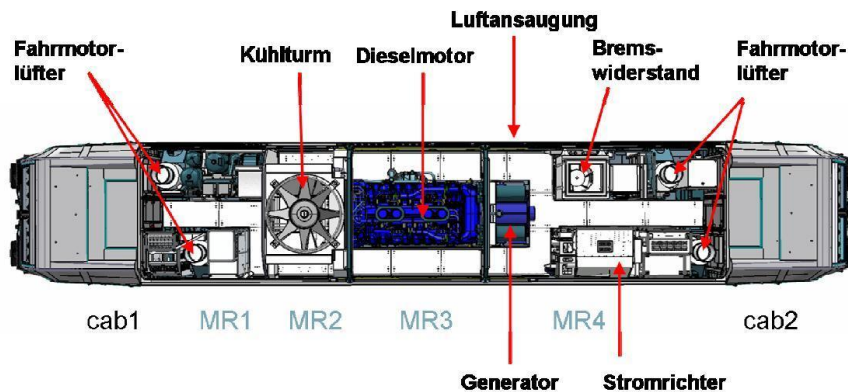


Abbildung 5. Schallquellen an der Diesellok Traxx aus [120].

Die Aggregatgeräusche können durch akustische Maßnahmen, wie z. B.

- Optimierung der Pulsmuster elektrischer Umrichter,
- Verringerung der Schallabstrahlung der Gehäuse von Getriebe und Motor,
- bedarfsgerechte Steuerung der Lüfterdrehzahlen,
- Schalldämpfer ([75]),
- Optimierung des Kühlkonzeptes,
- Wasserkühlung
- Kapselung der Aggregate,
- Aufbringen von Absorptionsmaterial,
- bedarfsgerechte Planung und Abstimmung der Materialien

gut beeinflusst werden (vgl. [120], [124]).

Damit sind hohe Pegelreduktionen möglich. Pauschale Werte können nicht angegeben werden, da die Maßnahmen auf jede Fahrzeugkonstruktion abgestimmt werden müssen. Die Wirksamkeit ist für zahlreiche Fahrzeuge in Veröffentlichungen dargestellt. Exemplarisch werden hier zwei genannt:

- Minderung der Lüftungsgeräusche angetriebener Schienenfahrzeuge wurden im Rahmen des Forschungsverbundes Leiser Verkehr untersucht. Dabei ergaben sich Schallminderungen für zwei Kühlanlagen von 9 dB und 15 dB [83].
- Maßnahmen zur Reduktion des Abgasgeräusches werden in [124] vorgestellt. Angepasste Schalldämpfer reduzieren das Ansaug- und Abgasgeräusch deutlich. Die diskutierten Schalldämpfer erreichen Einfügungsdämpfungen von bis zu 34 dB.

Mindestens genauso wichtig ist es, dies in einem frühen Planungsstadium zu berücksichtigen und den nötigen Bauraum dafür gemeinsam mit den anderen beteiligten Gewerken abzustimmen.

Als methodisches Mittel hierzu hat sich das konstruktionsbegleitende Akustikmanagement bewährt. Dazu existieren verschiedene Methoden, die auf analytischen akustischen Verfahren oder numerischen Methoden basieren (z. B. [121], [122] oder [76]). Mittels eines Akustikmanagements, beginnend ab einem frühen Planungsstadium, können die Schallemissionen für verschiedene Betriebszustände mit einer guten Genauigkeit prognostiziert werden. Im Fall von Überschreitungen können frühzeitig gezielte Maßnahmen ergriffen werden um die akustischen Ziele einzuhalten. In [123] wird für verschiedene Fahrzeugen anhand eines Vergleichs von prognostizierten und bei den Abnahmemessungen messtechnisch ermittelten Schallemissionen gezeigt, dass die Prognose von Außengeräuschen mit einer guten Prognosegenauigkeit erfolgen kann.

Aufgrund der zahlreichen verschiedenen beteiligten Schallquellen ist eine strukturierte Untersuchung der Schallemission der einzelnen Quellen und ein Ranking der wichtigsten Quellen unabdingbar. Dies kann auf Basis von Messungen an einem Bestandsfahrzeug wie auch auf der Basis von Datenblättern der Aggregate erfolgen. Schallminderungsmaßnahmen müssen an den lautesten Quellen beginnen, um eine Wirkung zu zeigen.

Mittels der genannten akustischen Maßnahmen können Stillstands- und Anfahrgereusche signifikant gemindert werden. Zahlreiche am Markt verfügbare leise Fahrzeuge demonstrieren dies.

6 Literatur

6.1 Grundlegende Untersuchungen zur Formulierung der TSI Emissionsgrenzwerte

Im Rahmen der Erstellung der TSI wurden verschiedene Forschungsprojekte durchgeführt. Wichtige Forschungsprojekte werden im Folgenden aufgeführt.

6.1.1 Geräuschemissionen von Schienenfahrzeugen, UBA-Vorhaben 105 05 806/7 ([32], [33])

Im UBA-Vorhaben „Ermittlung und Fortentwicklung des Lärminderungspotentials beim Schienenverkehr und seine Umsetzung in Geräuschvorschriften und Minderung der Lärmemission von Güterwagen durch Optimierung lärmrelevanter Komponenten (insbesondere des Bremssystems)“ wurden Wege zur Geräuschminderung an Schienenfahrzeugen untersucht und Emissionsgrenzwerte vorgeschlagen.

Dabei wurden Messungen an Bestandsfahrzeugen durchgeführt. Als dominante Einflussgrößen für die Schallemission wurden u. a. die Bremsart (GG-Bremsen oder Scheibenbremsen) identifiziert. Der Unterschied zwischen GG-gebremsten und scheibengebremsten Fahrzeugen beträgt ca. 10 dB.

Weiter wurden Vorschläge von Emissionsgrenzwerten auf Basis der Messungen an Bestandsfahrzeugen erarbeitet. Diese beruhen auf einem zweistufigen Vorgehen. Die Stufe 1 bezieht sich hauptsächlich auf die Nachrüstung nicht angetriebener Fahrzeuge mit Verbundstoff-Klotzbremsen und Radbedämpfungen. Aus innovativen, noch nicht einsatzreifen Technologien (Radschürzen mit Niedrigstschallschutzwand) ergibt sich ein zukünftiges Minderungspotential, das in einer zweiten Stufe berücksichtigt werden soll.

Für die Stufe 2 werden zwei Pegelminderungen angegeben. Eine Pegelminderung die am Fahrzeug erreicht werden soll und eine anzustrebende Pegelminderung in Kombination mit einer Niedrigschallschutzwand. Die Stufe 2 soll bei Fahrzeugneukonstruktionen angewandt werden. Die Vorschläge sind in den folgenden Tabellen wiedergegeben.

Tabelle 6. Emissionsgrenzwerte für zwei Schallschutzstufen aus [32].

Fahrzeugart	1. Stufe	2. Stufe
	<i>TEL</i>	ΔL_{zus}^8
	80 km/h, 7,5 m (dB)	(dB)
Lokomotiven	80	- (4 + 4)
Triebwagen	78	- (4 + 4)
Nicht angetriebene Fahrzeuge mit Klotzbremsen	80	- (5 + 6)
Nicht angetriebene Fahrzeuge mit Scheibenbremsen	75	- (2 + 6)

Tabelle 7. Emissionsgrenzwerte L_{AFmax} für Anfahrgeräusche von Neufahrzeugen aus [32].

Fahrzeugart	L_{AFmax}
Angetriebene Fahrzeuge von Vollbahnen	75 dB
U-Bahnen, Straßenbahnen	72 dB

Die Emission für das Gesamtgeräusch eines stehenden Fahrzeugs wird durch Schalldruckmessungen auf zwei Messpfaden in 7,5 m Abstand von Gleismitte und 1,2 m sowie 3,5 m Höhe über Schienenoberkante vorgeschlagen. Die Messpfade erstrecken sich beidseitig längs des Fahrzeugs und werden in 7,5 m Abstand von beiden Fahrzeugenden verbunden. Das mittlere Schalldruckquadrat p_a^2 wird dann mit der vierfachen Länge l_M eines Messpfads multipliziert, um den A-bewerteten Schallleistungspegel L_{WA} zu bestimmen:

$$L_{\text{WA}} = 10 \lg (4l_M/d_0) \text{ dB} + 10 \lg (p_a^2/p_0^2) \text{ dB} \quad (6)$$

Dabei ist $d_0 = 1 \text{ m}$ und $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$. Für den A-bewerteten Schallleistungspegel des Gesamtgeräusches L_{WA} werden Emissionsgrenzwerte vorgeschlagen. Diese sind in Tabelle 8 angegeben.

Tabelle 8. Vorschläge für Emissionsgrenzwerte L_{WA} für das Standgeräusch von Schienenfahrzeugen gemäß [32].

Fahrzeugart	L_{WA}
Elektrisch angetriebene Fahrzeuge	85 dB
Brennkraftangetriebene Fahrzeuge	90 dB

⁸ Der jeweils erste Wert in Klammern bezeichnet die erforderliche Pegelminderung ohne Niedrigschallschutzwand, der zweite Wert die zusätzliche Pegelminderung mit Niedrigschallschutzwand.

Hinsichtlich der Vorbeifahrtmessungen wird vorgeschlagen, diese auf Prüfstrecken durchzuführen. Als Anforderungen an eine Prüfstrecke wurden vorgeschlagen:

- Feste Fahrbahn mit beschlitten Bi-Blockschwellen und steifen Zwischenlagen (dynamische Steife > 1500 kN/mm) als Nachbildung eines akustisch optimalen Schotteroberbaus mit genau definierten Randbedingungen.
- Der Terzpegel L_r der Rauheit der Schienenlaufläche muss im Wellenlängenbereich $0,2 \text{ m} \geq \lambda \geq 0,005 \text{ m}$ im Mittel über eine Fahrflächenbreite von 20 mm die Bedingung

$$L_r = 4 - 6 \lg (\lambda_0/\lambda) \text{ dB} \quad (7)$$

erfüllen, wobei $\lambda_0 = 1 \text{ m}$, λ die Wellenlänge der Terzmitten und L_r auf 1 μm bezogen ist.

6.1.2 A study of European Priorities and Strategies for Railway Noise Abatement [40]

Hintergrund der internationalen Studie waren die:

- Bewertung von Lärminderungsmaßnahmen und die
- Vorbereitung europäischer Gesetzgebung der Lärmemission von Schienenfahrzeugen.

Die Untersuchung und Zusammenstellung von Low-Noise-Zügen und Systemen und Komponenten zeigt akustische Eigenschaften verschiedener Züge.

Basierend auf dem Stand der Technik geräuscharmer Schienenfahrzeuge werden Geräuschgrenzwerte (für interoperable und für nicht interoperable Fahrzeuge) vorgeschlagen. Die Studie schlägt einen zweistufigen Ansatz zur Lärminderung vor:

- Beginnend mit Grenzwerten für den Stillstand und das Vorbeifahrtgeräusch.
- Nach dem Vorliegen von Erfahrungswerten mit diesen Betriebszuständen sollen in einer zweiten Stufe andere Betriebszustände wie z. B. Kurvenfahrt, Anfahren oder Bremsen berücksichtigt werden.

Vorteil des zweistufigen Ansatzes ist es, dass die Industrie Zeit hat, sich auf die Umstellung vorzubereiten.

Die Geräuschkenngößen werden auf der Basis existierender Fahrzeuge formuliert. Aufgrund der langen Lebensdauer von Schienenfahrzeugen von manchmal 30 – 40 Jahren wird vorgeschlagen auch für in Betrieb stehende Schienenfahrzeuge Geräuschkenngößen einzuführen.

Geräuschgrenzwerte:

Tabelle 9. Emissionsgrenzwerte für Schienenfahrzeuge des konventionellen Verkehrs [40].

Fahrzeugkategorie	Stillstand $L_{pAeq,T}$ [dB] kurzfristig/langfristig	Vorbeifahrt, $v = 80$ km/h, TEL [dB] kurzfristig/langfristig
Diesellok	75 / 75	80 / 78
E-Lok	75 / 75	80 / 78
Elektrotriebzug	70 / 70	80 / 79
Dieseltriebzug	73 / 73	80 / 79
Reiszugwagen	70 / 70	80 / 79
Güterwagen	60 / 60	81 / 77

Tabelle 10. Emissionsgrenzwerte für Schienenfahrzeuge des Hochgeschwindigkeitsverkehrs [40].

Fahrgeschwindigkeit	Messpunktabstand von der Gleismitte	
	7,5 m	25 m
Stillstand L_{pAeq} [dB] Kurzfristig / langfristig	78 / 72	-- / --
Vorbeifahrt, $v = 250$ km/h, TEL [dB] Kurzfristig / langfristig	93 / 90	87 / 85
Vorbeifahrt, $v = 300$ km/h, TEL [dB] Kurzfristig / langfristig	96 / 93	91 / 88
Vorbeifahrt, $v = 350$ km/h, TEL [dB] Kurzfristig / langfristig	-- / 97	-- / 91

Daneben wird eine zulässige Zunahme der Geräuschemission von Schienenfahrzeugen im Betrieb vorgeschlagen:

Tabelle 11. Zulässige Zunahme der Geräuschemission von Schienenfahrzeugen im Betrieb [40].

Zulässige Zunahme der Schallemission in Betrieb	
Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge und Lokomotiven	+3 dB
Sonstige Fahrzeuge des konventionellen Verkehrs	+4 dB
Güterwagen	+5 dB

Die Umsetzung der gesetzlichen Anforderungen soll durch einen regelmäßigen Test, durchgeführt vom Fahrzeugbetreiber, nachgewiesen werden. Weiter wird vorgeschlagen, den Test des Vorbeifahrgeräusches durch einen evtl. einfacheren Test der Radrauheit ersetzen zu können.

Strategien für regelmäßige wiederkehrende Konformitätsbewertungen von Schienenfahrzeugen werden diskutiert.

Es wird vorgeschlagen, dass

- für alle interoperablen Fahrzeuge die Geräuschkenngößen und/oder der Oberflächenzustand der Räder zu prüfen ist. Die Konformität sollte während der gesamten Betriebsdauer sichergestellt sein,
- die Konformitätsbewertung so intensiv durchgeführt wird, dass Überschreitungen der Grenzwerte bis zur nächsten Inspektion ausgeschlossen sind,
- die Konformitätsbewertung durch den Betreiber durchgeführt und von den staatlichen Behörden überwacht wird,
- die Anforderungen an den technischen Fortschritt angepasst werden.

Ein weiterer Schwerpunkt des Vorhabens ist die Vorstellung besonders leiser Züge oder leiser Komponenten.

Kosten-Nutzen-Analysen werden diskutiert. Schwierigkeiten hierbei sind:

- Konstruktive Maßnahmen beeinflussen verschiedene Entwicklungsziele und müssten aus Sicht aller Entwicklungsziele zusammen gesehen werden.
- Kosten-Nutzen-Analyse müsste eine LCC-Bewertung beinhalten.
- Kosten für Low-Noise-Komponenten sind extrem schwer zu ermitteln. Kostenbetrachtungen können zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Lärminderungskosten werden im Bereich von 2 – 4 % der Gesamtkosten eines Systems angenommen.

6.1.3 Entwicklung einer Prüfstrecke für die Geräuschprüfung von Schienenfahrzeugen, Vorbeifahrtpegel, HGV und konventionelle Eisenbahnen (UFOPLAN) 203 54 115 [34]

Im Forschungsvorhaben wird ein Vorschlag für Anforderungen an eine akustische Prüfstrecke vorgestellt. Insbesondere werden Anforderungen an die Schienenrauheiten und die dynamischen Eigenschaften des Oberbaus formuliert.

Die Anforderung an die Schienenfahrflächenrauheit wurde in Anlehnung an die TSI-Hochgeschwindigkeit-Spezifikation formuliert. Die Grenzkurve wurde im Projekt NOEMIE als TSI⁺ Grenzkurve bezeichnet und in die TSI übernommen⁹. Die Grenzkurve setzt sich aus der (damaligen) TSI-Hochgeschwindigkeit-Kurve und der ATSI-Kurve zusammen. Daneben wurde eine weitere Grenzkurve mit einer erhöhten Anforderung vorgeschlagen.

Es wird vorgeschlagen, die dynamischen Eigenschaften des Oberbaus über die Abklingrate und die Grenzkurven TSI⁺ zu beschreiben, die komponentenbasierte Definition wird ebenfalls als möglich erachtet.

Es wird gezeigt, dass geeignete Messstellen verfügbar sind.

6.1.4 NOEMIE – Noise Emission Measurement campaign concerning noise from existing high-speed Interoperability in Europe ([36] – [39])

Hintergrund des Projekts NOEMIE sind die in der TSI definierten Geräuschgrenzwerte für Schienenfahrzeuge. Da das Rollgeräusch eines Schienenfahrzeugs sowohl vom Fahrzeug wie auch vom Gleis abhängt können Grenzwerte nicht ohne Referenzgleise definiert werden, die reproduzierbare Messergebnisse liefern.

Ziele des Projektes waren:

- Begrenzung des Gleiseinflusses auf die Messergebnisse. Mit der Untersuchung und Bewertung der Eigenschaften von Referenzgleisen und der Definition eines Referenzgleises soll erreicht werden, bei akustischen Messungen von Schienenfahrzeugen auf verschiedenen Referenzgleisen konsistente und wiederholbare Messergebnisse zu erhalten.
- Die Beschreibung von Mess- und Analysemethoden für Referenzgleise und für Schienenfahrzeuge zum Nachweis akustischer Grenzwerte.
- Die Ermittlung der Vorbeifahrtpegel verschiedener europäischer Hochgeschwindigkeitszüge (AEV, TGV-Duplex, Thalys, ETR480, ETR500, ICE 3).

⁹ Die Grenzkurven TSI⁺ haben sowohl für die Schienenrauheiten wie auch für die Abklingraten Eingang in die derzeit gültigen Fassungen der TSI [10] und [8] gefunden und werden inzwischen als TSI Grenzkurve bezeichnet.

Die Anforderungen an die Festlegung eines Referenzgleis waren:

- Mit einer einzigen Definition für Referenzgleise für HS und CR die Anforderungen derart zu beschreiben, dass das Referenzgleis mit den meisten betriebenen Gleisen in Europa kompatibel ist,
- der Einfluss des Gleises auf den Vorbeifahrtpegel dabei am geringsten ist und
- das Referenzgleis die Schallreduktion von leiserem Wagenmaterial besser zeigen kann.

Im Zuge der Beschreibung der Rauheit des Referenzgleises wurde eine ATSI-Grenzkurve diskutiert, die im Rahmen der Arbeiten zur prEN ISO 3095 entwickelt wurde. Diese Grenzkurve entspricht dem Grenzspektrum der Schienenrauheit, bei dem die Lärmemissionswerte bei Typtests hauptsächlich von der Radrauheit abhängen. Der verbleibende Einfluss der Schienenrauheit auf das Gesamtgeräusch wird zu $\pm 0,5$ dB angegeben. Diese Rauheiten stellten sich jedoch als realistischerweise auf Betriebsgleisen nicht erreichbar heraus. Als Kompromiss wurde die TSI⁺-Grenzkurve vorgeschlagen, die als TSI-Grenzkurve in die Normung übernommen wurde.

Es wird vorgeschlagen, die Gleisdämpfung über eine messtechnisch zu ermittelnde Abklingrate zu beschreiben. Zu deren Messung und Berechnung wurde eine Messvorschrift entwickelt. Weiter wurden Anforderungen an die Abklingraten in Form von frequenzabhängigen Mindestabklingraten definiert. Diese Kurven wurden in die TSI übernommen.

Es wird vorgeschlagen, Rauheiten (innerhalb von 3 Monaten um den Zeitpunkt der Abnahmemessung) und Abklingraten periodisch zu überprüfen.

Im Rahmen des Projekts NOEMIE wurden Vorbeifahrtmessungen auf Versuchsstrecken u. a. in Frankreich zwischen Lille und Calais und nahe Châtellerault (Dangé) und in Deutschland zwischen Hannover und Berlin bei Solpke mit einer einheitlichen Testmethode unter weitgehend einheitlichen Messbedingungen gemessen. Mit den Messungen wurde u. a. der $L_{pAeq,Tp}$ bei der Vorbeifahrt der gleichen Züge bestimmt. Rauheiten und Abklingraten der Strecken erfüllen die TSI⁺-Bedingungen und sind sehr ähnlich.

Auf den Versuchsstrecken zwischen Lille und Calais und in Solpke wurde die Vorbeifahrt eines TGV Thalys und eines ICE-Zuges gemessen. Für den TGV ergeben sich auf beiden Strecken bei $v = 250$ km/h in 25 m Entfernung zur Gleismitte (höchster Anteil des Rollgeräusches der untersuchten Geschwindigkeiten) $L_{pAeq,Tp}$ von jeweils 85,5 dB, für den ICE ergibt sich auf der Teststrecke in Frankreich $L_{pAeq,Tp} = 87,5$ dB und in Solpke $L_{pAeq,Tp} = 85,5$ dB.

Auf den Teststrecken Châtellerault (Dangé) und Solpke ergeben sich für IC-Reisezüge Werte des $L_{pAeq,Tp}$, die um 0,5 - 1 dB voneinander abweichen.

Zur Bewertung wurde neben den Schienenrauheiten auch die Radrauheiten der Züge gemessen. Insgesamt wurden Radrauheiten gemessen, die im Mittel ca. 5 dB über der Grenzkurve der Schienenrauheiten liegt. Die kombinierte Rauheit wird daher hauptsächlich durch Radrauheiten dominiert.

6.1.5 “Kleine” Revision der TSI ([9], [10] und [11])

Die Verfügbarkeit von Referenzgleisen bis 2010 ist in den verschiedenen Ländern unterschiedlich. Diese reicht von der Bereithaltung von Referenzgleisen durch die Infrastrukturbetreiber bis hin zu exzessiven Preisen für die Nutzung des Referenzgleises und Aussagen, dass Referenzgleise auf dem eigenen Netz nicht existieren und die Tests daher auf Testringen oder im Ausland durchgeführt werden müssen.

Es wird berichtet, dass in einigen Fällen Geräuschmessungen als TSI-konform bestätigt werden, auch wenn diese nicht auf einem Referenzgleis durchgeführt wurden.

Die UNIFE hat Tests mit dem gleichen Schienenfahrzeug auf verschiedenen Streckenabschnitten durchgeführt. Dabei wurden Messungen auf einem Streckenabschnitt, der den TSI-Anforderungen gerade genügt und auf einem Streckenabschnitt mit einer deutlich geringeren Schienenrauheit durchgeführt¹⁰. Die Schallemission war um 5 dB geringer. Die Strecke kann damit deutlichen Einfluss auf das Bestehen und das Nichtbestehen nehmen und stellt die Vergleichbarkeit der Messergebnisse in Frage.

Ursprünglicher Gedanke bei der Wahl des Referenzgleises war, dass das Referenzgleis einen begrenzten Beitrag zur Schallemission liefert, jedoch nahe genug an den Betriebsbedingungen eines realen Gleises liegt und somit repräsentativ für reale Bedingungen ist.

Als Ziel der kleinen Revision der TSI wurde formuliert, dass nicht die Geräuschkenngrößen von Schienenfahrzeugen angepasst werden sollen. Vielmehr soll die Zulassung erleichtert werden, ohne gleichzeitig jedoch die Aussagekraft der Geräuschkenngrößen zu verringern oder lautere Züge zuzulassen.

Mit der Revision der TSI-Lärm:2011 [10] wird nun nicht mehr vorgeschrieben, Abnahmemessungen auf Referenzgleisen durchzuführen. Wenn die Geräuschgrenzwerte eingehalten sind, ist auch ohne Durchführung der Messung auf einem Referenzgleis von einer Konformität mit den Anforderungen auszugehen. Die Ergebnisse werden nur dann als vergleichbar gewertet, wenn die Referenzgleisbedingungen eingehalten sind, oder die mit der „Methode der kleinen Überschreitungen“ ([12], [15]) bewerteten Abweichungen bei jeder zu prüfenden Fahrgeschwindigkeit kleiner oder gleich 1 dB sind. Anderenfalls müssen die Messwerte als „nicht vergleichbar“ eingestuft werden¹¹.

¹⁰ Für die Schienenrauheit wird in der TSI nur eine obere, jedoch keine untere Grenzkurve angegeben. Entsprechende Vorgaben existieren für die Abklingrate. Hier wird lediglich eine Mindestabklingrate vorgegeben.

¹¹ Es wird vorgesehen, einen Eintrag darüber, ob die Messwerte „vergleichbar“ oder „nicht vergleichbar“ sind, in den technischen Unterlagen und dem Verzeichnis zugelassener Fahrzeuge (European Register for Authorised Types of Vehicles, ERATV) zu vermerken. Die gemessenen Geräuschpegel sowie der entsprechende Zustand der Schienen sollen in den technischen Unterlagen festgehalten werden, damit zu einem späteren Zeitpunkt der Zusammenhang zwischen dem durch ein Fahrzeug und dem durch die Schienen ausgehenden Lärmemissionen ausgewertet werden kann; dies gilt für vergleichbare und nicht vergleichbare Daten.

Die Gleisparameter sind nun nach den Normen EN 15461¹² (Abklingrate) und EN 15610 (Fahrflächenrauheit) zu erfassen.

Die geometrischen Anforderungen an das Messgleis wurden reduziert (z. B. Neigung, Dammhöhe) und es wurden Messvereinfachungen eingeführt (z. B. ein reduzierter Messaufwand für symmetrische Fahrzeuge). Die Betriebsbedingungen der Fahrzeuge wurden präzisiert. Die Messbedingungen werden weitgehend an die prEN ISO 3095:2010 angepasst.

6.1.6 Große Revision der TSI-Lärm ([69], [70] und [71])

Eine Arbeitsgruppe zu großen TSI-Revision, bestehend aus Vertretern der Mitgliedsstaaten, überarbeitet derzeit die TSI. Der vorliegende Forschungsbericht soll die Überarbeitung durch die Zusammenstellung des Stands der Technik der Geräuschemission europäischer Schienenfahrzeuge unterstützen.

Die zu bearbeitenden Themen sind derzeit noch in der Diskussion. Derzeit sind u. a. folgende Themen in der Diskussion:

- Einschätzung des Nutzens und der Kosten (Kosten-Nutzen-Analyse) insbesondere von verschärften Geräuschemissionsgrenzwerten.
- Die Anwendung einer kontinuierlichen Grenzkurve für den Vorbeifahrtpegel von Güterwagen in Abhängigkeit des APL (Anzahl der Achsen pro Längeneinheit).
- Die zweite Stufe des Vorbeifahrtgeräuschgrenzwertes und eine mögliche zweite Stufe des Grenzwertes für Anfahrtgeräusche von Verbrenningslokomotiven und Verbrennungstriebzüge. Die in diesem Bericht vorgestellten Geräuschemissionsdaten sollen für diesen Prozess eine qualifizierte Grundlage liefern.
- Zusammenführen der Anforderungen für Hochgeschwindigkeits- und konventionellen Verkehr.
- Aufnahme von Grenzwerten für Bremsgeräuschen und für die Geräuschemission abgestellter Fahrzeuge.

Die Aufnahme der Infrastruktur in die TSI-Lärm hingegen wird derzeit nicht verfolgt.

6.2 Forschungsprojekte

6.2.1 Maßnahmen zur Reduzierung des Rollgeräusches ([133] – [139])

Seitens der Deutschen Bahn wurden Messreihen durchgeführt, um die Schallemission unterschiedlicher Maßnahme an ICE Rädern zu untersuchen. Dabei wurden verschiedene Radschallabsorber, gummigefederte Räder und schalloptimierte Räder untersucht.

Die Messungen wurden auf der Neubaustrecke Würzburg – Fulda durchgeführt. Die Schienenrauheit lag in einem Zustand, wie er typischerweise zwei Jahre nach dem Schienenschleifen vorgefunden wird.

¹² Im Wesentlichen identisch zum in der TSI-Lärm:2006 beschriebenen Verfahren.

Als Schallminderungsmaßnahme wurden Lamellenabsorber, die auf der Radinnen-seite am Innenradius des Radkranzes angeschraubt sind, untersucht. Die 9 Absorber bestehen aus Stahllamellen unterschiedlicher Dicke mit dazwischenliegender Dämpfungsmasse. Messungen ergaben eine breitbandige Erhöhung der Dämpfung ab ca. 1,5 kHz. Die messtechnisch ermittelte Minderung der Schallemission der Räder betrug 4,5 dB.

Ein anderer untersuchter Absorbertyp (MAN/GHH) bestand aus 8 Kreissegmenten, welche die Radscheibe im Wesentlichen abdecken. Die Kreissegmente bestehen aus zwei Blechen mit einer dämpfenden Mittelschicht. Neben der Raddämpfung weisen diese einen Abschirmeffekt auf. Die messtechnisch ermittelte Minderung der Schallemission der Räder betrug 6,0 dB. Die Minderungswirkung ist ebenfalls breitbandig und setzt ab ca. 1,5 kHz ein.

Weiter wurde eine Geometrieoptimierung durchgeführt. Der Radaufstandspunkt wurde symmetrisch angeordnet und die Masse zwischen Radkranz und Radnabe vergrößert. Die messtechnisch ermittelte Minderung der Schallemission der Räder beträgt 6,3 dB. Zum Teil ist diese Verbesserung auf geringere Laufflächenrauheiten zurückzuführen. Die Verbesserungswirkung der Geometrieoptimierung konnte nicht benannt werden.

Versuche mit optimierten Absorbern deuteten darauf hin, dass eine höhere Schallminderung erreichbar ist.

6.2.2 OFWHAT ([44], [45] und [53])

Im Project OFWHAT des ERRI Komitees C163 wurden Low-Noise-Komponenten für Räder und Schienen für Güterwagenverkehr entwickelt und im Velim Test Center getestet. Es wurden vergleichende Vorbeifahrtmessungen mit einem Referenzfahrzeug (mit UIC 920 mm Güterwagenrad) auf einem UIC 60 Gleis auf Bi-Block Schwellen mit SNCF-Zwischenlagen ($k \approx 1 \cdot 10^8$ N/m) durchgeführt. Die Rad- und Schienenrauheiten wurden gemessen. Die gemessenen Schalldruckpegel wurden hinsichtlich der Radrauheit und der Schienenrauheit normalisiert. Ergebnisse waren:

- Räder mit optimierter Geometrie (dickerer Steg) und einem Durchmesser von 860 mm ergaben eine Verbesserung von 1 dB in der Gesamtschallemission. Gleichzeitig bringt das Rad mit dem geraden Steg thermische Probleme bei Klotzbremsen mit sich.
- Radschallabsorber, welche entwickelt wurden, um zwei dominante Frequenzen zu bedämpfen, ergaben eine Reduktion von 4 dB des Radanteils am Schall.
- Tests mit kleinen Rädern (Durchmesser 640 mm) ergaben Reduktionen des Radanteils um 18 dB, gleichzeitig erhöhte sich der Gleisanteil durch die kleinere Kontaktfläche um 2 dB. Im Gesamtschall konnte praktisch keine Reduktion festgestellt werden. Ebenfalls zeigten diese Räder jedoch eine höhere Radrauheit. Ob Zusammenhänge zwischen dem Raddurchmesser und der Radrauheit bestehen ist nicht bekannt.

Weiter wurden Tests mit optimierten Zwischenlagen und Schienenabsorbern durchgeführt. Die größten Reduktionen der Schallemission wurden für das Gleisstück mit optimierten Zwischenlagen und Schienenabsorbern und das UIC 920 mm Rad mit 3,5 dB ermittelt. Am bedämpften Rad wurden am gleichen Gleisstück Minderungen um 7,1 dB festgestellt.

6.2.3 Wheel optimization RONA ([45])

Ziel des RONA-Projekts war es leisere Räder für den TGV zu entwickeln. Dazu wurden umfangreiche Simulationsrechnungen zur Optimierung der Radgeometrie durchgeführt. Verschiedene Versuchsräder wurden entwickelt und mit dem Ausgangsrad verglichen

- Es wurden möglichst symmetrische Radgeometrien entwickelt, welche die axialen Moden (gute Anregbarkeit) von den radialen Moden (gute Schallabstrahlung) möglichst gut entkoppeln sollte. Dazu wurde zusätzliche Masse auf der spurkranzabgewandten Seite des Rades angebracht. Der Radsteg war gerade. Es wurde eine Verbesserung von 1 – 2 dB in der Gesamtschallemission und 3 – 5 dB in der Schallemission der Räder festgestellt.
- Ein Alurad mit einem Radreifen aus Stahl. Der Steg des Alurades war viermal so dick (89 mm) wie der eines Stahlrades. Dies sollte axiale Moden des Rades in höhere Frequenzbereiche verschieben. Die Verbesserung der Schallemission der Räder betrug ca. 4 – 6 dB, die Verbesserung der Gesamtschallemission betrug 1 – 2 dB.
- Das Alurad wurde mit abgestimmten Absorbern, welche auf zwei kritische Frequenzen ausgelegt waren, versehen. Diese Konfiguration ergab eine Verbesserung von ca. 11 dB in der Schallemission der Räder und von 2 – 3 dB in der Gesamtschallemission.
- Ein mechanisch hinsichtlich der Gewichtsreduktion reduziertes Rad wurde mit Schallschirmen (elastisch befestigte 1 mm Stahlplatte) versehen. Die Anordnung erhöht ebenfalls die Dämpfung des Rades. Diese Konfiguration ergab eine Verbesserung von ca. 5 – 6 dB in der Schallemission der Räder und von 1 – 3 dB in der Gesamtschallemission.

6.2.4 Silent freight ([46] – [51])

Das Projekt Silent freight der EU wurde durch das ERRI koordiniert.

Ziel des Projektes war es, den Fahrzeuganteil des Rollgeräusches von Güterzügen um mindestens 10 dB durch Maßnahmen am Fahrzeug zu reduzieren. Mit den fahrwegseitigen Maßnahmen beschäftigte sich das verwandte Projekt Silent track, im Rahmen dessen der Fahrweganteil des Rollgeräusches um mindestens 10 dB reduziert werden sollte. Beide Projekte knüpften an das Projekt OFWHAT an.

Für die untersuchten Fahrzeuge konnte gezeigt werden, dass der Fahrzeugaufbau einen vernachlässigbaren Effekt auf die Schallabstrahlung hat. Ziel war daher die Reduktion des Rollgeräusches.

Ausgehend von einem Standard UIC 920 mm Rad wurden Modifikationen untersucht:

- zwei optimierte Radformen mit einem Durchmesser von 860 mm und einem leicht verstärkten Steg,
- Schwingungsdämpfer auf der Innenseite des Rades mit einer Abstimmfrequenz von 2,2 kHz auf dem optimierten Rad,
- Dämpfung der optimierten Räder über einen Dämpfungsring,
- perforiertes Rad,
- Abschirmungen des Radstegs der optimierten Räder,
- Drehgestellschürzen, aufgrund bahnpraktischer Randbedingungen verblieb ein Spalt von ca. 170 mm zwischen Schürze und Schiene.

Folgende Minderungen im gesamten A-bewerteten Schalldruckpegel wurden festgestellt. Die akustischen Messungen wurden gemeinsam mit den Projekt Silent track (Abschnitt 6.5.3) durchgeführt. Infolge der hohen Temperaturen waren die Zwischenlagen sehr weich. Die Schallabstrahlung des Gleises lag daher 8 dB über der Schallabstrahlung des Fahrzeugs. Die untersuchten Minderungsmaßnahmen am Fahrzeug konnten ihr Potential hinsichtlich der Minderung des Gesamtschallpegels nicht zeigen. Sie werden der Vollständigkeit halber in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 12. Minderungen im A-bewerteten Schalldruckpegel bei den untersuchten Varianten.

	Verbesserung in der Schallemission der Räder in dB	Verbesserung in der Gesamtschall- emission in dB
Optimierte Radgeometrie	---	ca. 1
Optimierte Radgeometrie und Schwingungsdämpfer	4	ca. 1
Optimierte Radgeometrie und Dämpfungsring	2	ca. 0
Optimierte Radgeometrie und Abschirmung	8	ca. 1
Perforiertes Rad	0	ca. 0
Perforiertes Rad und Dämpfungsring	2,5	ca. 0
Drehgestellschürzen	---	1

6.2.5 Stiller Treinverkeer (Leiser Zugverkehr) ([52], [57])

Im Projekt sollten ebenfalls Minderungsmaßnahmen für den Güterverkehr demonstriert werden. Dabei wurden schallmindernde Maßnahmen an Container-Güterwagen und an einer festen Fahrbahn realisiert.

In einem ersten Schritt wurden die Systemkenngrößen messtechnisch erfasst, anschließend wurden Simulationen durchgeführt.

Durch den Umbau des Bremssystems von Graugussbremsen auf andere Bremstypen (Verbundstoffbremsen mit magnetischer Schienenbremse) konnten 6 dB Verbesserung in der Schallemission erreicht werden.

Raddämpfer ergaben eine Reduktion des Fahrzeuganteils an der Schallemission um 4 dB, zusätzliche Radschürzen eine Reduktion des Fahrzeuganteils um 1 dB.

Ein neues Schienenprofil (SA42, Gewicht 42 kg/m, Höhe 80 mm), das in eine steife Schicht auf einer festen Fahrbahn eingebaut war ergab eine Reduktion des Fahrweganteils an der Schallemission um 5 dB, verglichen mit einer festen Fahrbahn mit einer UIC 54 Schiene.

Niedrigschallschutzwände mit einer Höhe von 70 cm über SOK und einer absorbierenden Innenauskleidung ergaben eine Reduktion von 6 dB, absorbierende Platten neben der Schiene eine Reduktion um 2 dB in der Gesamtschallemission.

6.2.6 High performance wheelset (HIPERWHEEL) ([55] und [56])

Im Projekt HIPERWHEEL wurden Entwurfsmethoden für Radsätze im Hinblick auf das vibroakustische Verhalten das Gewicht und die Lebensdauer entwickelt.

6.2.7 Eurosabot ([45], [54])

Ziel des Projektes Eurosabot war es, neue Bremssohlen für Güterwagen zu finden, welche

- kostengünstig sind. Dabei sollten die Graugussbremsen mit minimalen Änderungen des Bremszylinders, des Gestänges oder des Bremsdruckes ersetzt werden.
- Die Radrauheiten im Vergleich zu Graugussbremssohlen deutlich reduzieren, so dass sich die Schallemission des Waggons um 5 – 8 dB reduziert.

Dieses Ziel wurde jedoch nicht erreicht. Es wurden zwar verschiedene Bremsklötze entwickelt, diese ergaben jedoch zu geringe Schallreduktionen, erzeugten zu viel Verschleiß oder waren hinsichtlich ihrer Langzeiteigenschaften nicht ausreichend getestet.

Im Projekt wurden theoretische Modelle zur Beschreibung der Rauheitsentwicklung von Rädern entwickelt. Es konnte gezeigt werden, dass die Zunahme der Radrauheit mit der sog. hot spot concentration, einem thermoelastischen Instabilitätsphänomen und dem Materialübertrag vom Bremsblock zum Rad einhergeht. Sintermetalle zeigen ebenfalls Hot spot Bildung, die Materialüberträge werden aber wahrscheinlich durch die abrasiveren Sinterblöcke wieder abgeschliffen. Sinterblöcke erzeugen glattere Räder, die Abnutzung ist jedoch größer.

Composite Bremsklötze zeigen keine derart starke hot spot Bildung und glätten auch das Rad, ihre Bremswirkung ist jedoch instabiler.

Hilfestellungen für die Herstellung von Bremsklötzen konnten nicht gegeben werden.

Vergleiche von Prüfstandsmessungen mit Feldversuchen zeigten, dass Bremsblöcke, die sich im Prüfstand günstig verhielten eine schlechte Performance in Feldversuchen zeigten. Ebenfalls entwickelten sich die Radrauheiten im Feldversuch ungünstiger als auf dem Prüfstand.

6.2.8 Geräuschmessung von in Betrieb stehenden Eisenbahngüterwagen [41]

Ziel des Vorhabens war die Erstellung eines Vorschlags für den akustischen Grenzwert sanierter Güterwagen für die Schweizer Verordnung zur Lärmsanierung von Eisenbahnen sowie die Beschreibung von Messbedingungen. Dabei sollten die Grenzwerte derart formuliert werden, dass Waggons mit GG-Bremsen nicht mehr zulässig sind, wagen mit Verbundbremssohlen hingegen die Lärmemissionswerte erreichen.

Mit einem Versuchszug, bestehend aus in Betrieb stehenden Güterwagen werden Versuchsfahrten auf einem Gleis, das durch einen Umbau konform zur prEN ISO 3095 (2001) ist, durchgeführt.

Es werden die Schalldruckpegel von 11 verschiedenen Güterwagen erfasst. 10 der Güterwagen waren auf K-Sohle umgebaut. Ein Güterwagen besaß noch GG-Bremsen. Auf Basis der Messungen und Bewertungen wird ein *TEL* bzw. $L_{pAeq} \leq 85$ dB bei $v = 80$ km/h) als Sanierungswert von Güterwagen vorgeschlagen. Dieser Grenzwert folgt der Philosophie: „Der Schienengüterverkehr soll so leise wie möglich werden, ohne dass die Wettbewerbsfähigkeit der Schiene weiter abnimmt und Verkehr auf die Straße abwandert“.

Zur Absicherung des Grenzwerts wurden Parameter wie die Achsanzahl, die Drehgestellbauart, die Radbauart, der Laufflächenzustand der Räder, das Bremsklotzmaterial, der Fahrzeugaufbau und die Fahrzeuglänge variiert.

Bremsungen vor den Messungen erhöhten den Geräuschpegel der Fahrzeuge mit Komposite-Bremsen nicht, den von Fahrzeugen mit GG-Bremsen geringfügig.

Die Schallemission der Güterwagen hängt im Wesentlichen von der Gesamtrauheit, Anzahl der Achsen/Meter und der Fahrgeschwindigkeit ab. Aufbau, Wagentyp, Drehgestelltyp, Art des Überdrehens und Laufleistung spielen keine relevante Rolle.

Bezüglich der Messbedingungen wird u. a. vorgeschlagen:

- Versuchszug mit drei Wagen je Typ. Ausgewertet wird die Messzeit von der Fahrzeugmitte des ersten Fahrzeugs der Wagengruppe bis zur Wagenmitte des dritten Fahrzeugs der Wagengruppe. Benachbarte Wagengruppen dürfen im $L_{pAF,max}$ nicht um mehr als 10 dB lauter sein.
- Es wird die Meinung vertreten, dass Wagen in beliebigem Unterhaltungszustand (z. B. auch mit neuen oder frisch überdrehten Rädern) gemessen werden dürfen. Unmittelbar vor der Messung sind die Fahrzeuge zweimal aus $v = 120$ km/h (oder der Maximalgeschwindigkeit, falls diese kleiner als 120 km/h ist) abzubremesen.
- Die Schienenrauheit an der Messstelle muss bekannt sein.
- Die Messungen bei Fahrgeschwindigkeiten von $v = 80$ km/h und $v = 120$ km/h durchzuführen. Die Fahrtrichtung der Wagen ist frei.

6.2.9 Low Emission Bogie LEMBO [43]

Ausgangspunkt des Vorhabens ist ein Lastenheft der DB AG zur Entwicklung, Erprobung, Zulassung und Nutzung eines lärmarmen Güterwagendrehgestells für 25 t Radsatzlast. Dabei sollte eine Schallreduzierung von ca. 10 dB erzielt werden. Die Lärmreduzierungen sollte im Wesentlichen durch Verbesserung der Lauftechnik erreicht werden.

Mit dem Inhalt des Lastenheftes wurde ein Projektteam gebildet, wobei die Firma Adtranz im Laufe des Projekts, bedingt durch Übernahme durch die Fa. Bombardier ausschied. Die Aufgabenstellung bedingte eine Neuzulassung der zu entwickelnden Drehgestelle durch das Eisenbahn-Bundesamt (EBA). Die dafür erforderlichen Prototypen lagen im Bereich von Alstom LHB, die Durchführung der Versuche inkl. der akustischen Messungen im Bereich der DB AG.

Im Rahmen des Projekts wurde u. a. die Wirkungsweise von bestehenden Schaken in Verbindung mit Parabelfedern nachgerechnet, Wirkungsweisen von definierten Veränderungen an bestehenden Schaken in Verbindung mit Parabelfedern untersucht, die Möglichkeiten der Radsatzkopplung mit Koppelstangen bzw. Schwenkarren nach dem Prinzip Scheffel untersucht sowie Vergleiche und Wertungen des Laufverhaltens von verschiedenen Drehgestellen durchgeführt.

Durchgeführte Berechnungen zeigen Probleme hinsichtlich der lauftechnischen Zulassung. Dies gilt sowohl für das Lenkachsendrehgestell LHB 82 wie auch für das Y25 Standarddrehgestell. Es wurde davon ausgegangen, dass deutliche Verbesserungen durch die Lauftechnik nur durch die komplette Neuentwicklung eines Güterwagendrehgestells erreicht werden können. Diese sind der Konkurrenzsituation zu Standarddrehgestellen ausgesetzt, die in großen Stückzahlen zu geringen Preisen gebaut werden.

Nach Ausstieg des Projektpartners DB AG – u. a. da „die objektiv notwendige Komforthöhung zur Realisierung der laufdynamischen Anforderungen nicht zu gleichen Drehgestellpreisen wie aktuell führen kann“ – wurde das Projekt zum Projektende abgebrochen.

6.2.10 Leises und lärmarmes Güterwagendrehgestell LEILA-DG ([79], [80] und [81])

Das Deutsch-Schweizer Gemeinschaftsprojekt Leises und lärmarmes Güterwagendrehgestell LEILA-DG beschäftigt sich mit der Weiterentwicklung der Drehgestelltechnologie. Verbesserungen sollen u. a. in den Bereichen Laufeigenschaften und Akustik erreicht werden. Dazu wurden u. a. folgende konstruktiven Elemente im LEILA-DG verwendet:

- Innenlagerung,
- gummigefederte Primärstufe,
- Radscheibenbremsen,
- gerader Radsteg,
- Radsatzkopplung durch Kreuzanker zur radialen Einstellung der Radsätze bei Kurvenfahrt.

Mit einem Güterwagen, welcher mit dem LEILA-DG ausgestattet war, wurden im Jahr 2006 Versuchsfahrten durchgeführt. Dabei wurde ein äquivalenter Dauerschalldruckpegel L_{pAeq} von 78 dB gemessen. Als Ursache für das Nichterreichen des angestrebten Wertes von $L_{pAeq} = 74$ dB wurden hohe Radrauheiten genannt.

Das LEILA-DG soll von der JOSEF MEYER Waggon AG vertrieben werden. Bislang erfolgte keine Markteinführung.

6.2.11 Forschungsverbund leiser Verkehr [82]

Der Forschungsverbund leiser Verkehr ist eine Initiative zur Reduktion des Lärms von Straßen-, Schienen- und Luftverkehr, die 1999 gegründet wurde. Lärminderungen werden in verschiedenen Schwerpunktbereichen, darunter der Schwerpunkt Rad-Schiene-Geräusche untersucht.

Es wurden verschiedene Themen, wie eine lärmarme kontinuierliche Schienenlagerung für den Fernverkehr oder ein optimiertes Schleifverfahren HSG (High Speed Grinding) für Schienen untersucht. Auch das Projekt „Leiser Zug auf realem Gleis (LZarG)“ (Abschnitt 6.2.12) ist hierin enthalten.

Im Bereich Antriebsgeräusche wurden z. B. die Minderung von Lüftungsgeräusche oder eine quietschfreie Hochleistungsscheibenbremse untersucht. Schallminderungsmaßnahmen konnten aufgezeigt werden (s. Abschnitt 5.3.).

6.2.12 Leiser Zug auf realem Gleis (L Zar G)[84] [85] und [86]

Im Rahmen der Strategie der Bundesregierung und der Deutschen Bahn, bis 2020 eine Senkung des Schienenlärms um 10 dB an besonders belasteten Stellen zu erreichen, wurde das Vorhaben »Leiser Zug auf realem Gleis« (L Zar G) ins Leben gerufen. Ziel war die Lärminderung um 2 dB gegenüber den heutigen Interoperabilitätsrichtlinien (TSI Noise). Mit einer konkreten Maßnahmenkombination von Maßnahmen am Oberbau und am Fahrzeug sollte ein Lärminderungspotential von 5 dB erreicht werden.

Mit dem Forschungsprojekt sollen wirtschaftlich nutzbare, serienreife Lösungen entwickelt werden, die sich leicht in das Bahnsystem integrieren (einfach austauschbare Komponenten) lassen.

Im Projekt B wurde die Minderung des Rollgeräusches untersucht:

- Rad-Schiene-Kontakt
Verbesserte Laufflächenkonditionierung und optimierte Werkstoffe für die Radscheibe zur Verringerung von deren Aufrauhung, Reduzierung der Schallabstrahlung der Radscheibe durch optimierte Radschallabsorber, Optimierung der Güterwagenbremstechnik zur Verminderung der Radaufrauhung. Die Einzelmaßnahmen sollen in ein Drehgestell realisiert werden.
- Reduzierung von Radschwingung und –abstrahlung
Akustische Gesamtoptimierung von Radsätzen und Rädern, die Entwicklung von Radschallabsorbern und Radabdeckungen und die Untersuchung der Potentiale und Grenzen passiver und aktiver Schwingungsdämpfung.
- Akustische Optimierung des Oberbaus
Entwicklung abgestimmter Systemlösungen zur Verminderung von Oberbauschwingungen und -abstrahlung sowie zur Verminderung von sekundärem Luftschall.

Weiterhin werden die Systemintegration und Implementierung (Projekt A, Zusammenführung von Einzelmaßnahmen zu technisch, wirtschaftlich und betrieblich optimal abgestimmten Systemlösungen) untersucht sowie Maßnahmenvalidierung und Bewertung (Projekt C) durchgeführt.

Ergebnisse waren die Entwicklung von zwei Radsätzen mit Radschallabsorbern für Güterwagen (Bochumer Verein für Verkehrstechnik und GHH Radsatz GmbH) und die Entwicklung eines lärm- und verschleißarmen Güterwagendrehgestells DRRS 25L (DB Waggonbau Niesky GmbH und Knorr-Bremse GmbH) mit Kompaktbremseeinheit, radiale Einstellbarkeit und Entkopplung zwischen Rädern und DG-Rahmen durch Doppelgummirollfederung.

Tabelle 13. Minderungen im A-bewerteten Schalldruckpegel bei den untersuchten Varianten.

	Verbesserung in der Gesamtschallemission in dB
Radsätzen mit Rad- schallabsorbieren	ca. 1 – 2
Optimierung der Rad- bauform	ca. 0,5 – 1,0
Lärm- und verschleißarmen Güterwagendrehgestells DRRS 25L	ca. 0 bei Geradeausfahrt
Schienenendämpfer	ca. 2,5 – 3
Kombination optimierte Räder, Raddämpfer, Schienenendämpfer	ca. 4,5 – 5

Die Betriebsbewährung im Zulassungsprozess läuft.

6.2.13 Stardamp ([87], [88] und [89])

Das deutsch-französische Kooperationsprojekt STARDAMP hat zum Ziel, ein praxisorientiertes, transparentes Verfahren zur Bewertung der Wirksamkeit von Schwingungsdämpfern von Rad und Schiene zu entwickeln. Ebenfalls soll die Vergleichbarkeit verschiedener Produkte ermöglicht werden. Kostspielige Feldversuche, welche eine temporäre Zulassung der Prototypen erfordern, sollen vermieden werden.

Das in der Entwicklung befindliche Verfahren basiert auf Laboruntersuchungen an Rad oder Schiene und einer rechnerischen Bewertung der Wirksamkeit. Damit sollen die Kosten für die Entwicklung und Zulassung gesenkt werden.

6.2.14 Low Noise train (LNT) ([91] - [95])

Die ARGE LNT wurde im Jahr 2000 durch eine Initiative von ÖBB und SBB gegründet. Zeitweise waren die DB und die Italienische Bahn FS ebenfalls Mitglieder. Ziel war die Initiierung der Entwicklung von Komponenten, Baugruppen und Gesamtkonzepten zur lärmmäßigen Ertüchtigung von Güterfahrzeugen (Neufahrzeuge, Nachrüstung) bis zur Zulassung. Die akustischen Verbesserungen sollten nicht mit erhöhten Anschaffungskosten einhergehen.

Weitere Informationen zum Low Noise Train sind im Abschnitt 10.4 enthalten.

Drei Prototypen eines lärmarmen Güterfahrzeugs (4-achsiger Tragwagen Sgns(s) 60' mit einer lauf-/bremstechnischen Zulassung bis 120/100 km/h bei 22,5 t Radsatzlast, modifiziertes Drehgestell Y25 Lssi (f), Druckluftbremse mit K-Sohle, einstufige Drehgestellfeder mit Lagerung in Kunststoff, TKS, Antidröhnbeschichtung von Radsatz, Radsatzlager und Radsatzgehäuse, schalloptimiertes Bremsgestänge, Antidröhnanstrich im Untergestell im Bereich des Drehgestells) wurde akustischen Tests unterzogen. Die Wagen besaßen eine nationale Betriebsbewilligung, aber keine internationale Zulassung.

Die Messungen wurden auf einem Gleis, das die Vorgaben an die Rauheit nach EN 3095 und TSI Noise einhält durchgeführt. Aus den Messungen ergab sich ein $L_{pAeq,TP}$ von 75 dB. Radrauhheitsmessungen wurde durchgeführt. Die Räder wurden als sehr glatt eingestuft.

Ebenfalls wurden Minderungswirkungen von Schallabsorbern/Schallschürzen untersucht. Die Schallminderung wurde zu < 2 dB ermittelt.

6.2.15 „Whispering train“, Dolomit-Shuttle ([101] - [104])

Im Rahmen des niederländischen Innovation Program Noise (Innovatie Programma Geluid IPG) wurden in 6 Projekten Lärmreduzierungsmaßnahmen an Güterwagen durchgeführt.

In einem ersten Projekt wurden an 29 Wagen des Dolomit-Shuttle der Railion Nederland lärmreduzierende Maßnahmen durchgeführt. Es wurde K-Bremsen und Schrey & Veit Radschallabsorber eingebaut. Neben einer Lärmreduktion sollen Informationen über die LCC der lärmreduzierenden Maßnahmen ermittelt werden.

Vor und nach Anwendung der schallreduzierenden Maßnahmen wurden die Rad- und Schienenrauheiten gemessen. Beide wurden bei den Auswertungen berücksichtigt. Es wurde eine Schallreduktion der Radschallabsorber von ca. 2,5 dB ermittelt.

Es wurden verschiedene Radrauhheitsmessungen durchgeführt. Auch 250.000 km nach dem Reprofilieren scheint sich die Radrauhheit nicht nennenswert erhöht zu haben.

Die Laufleistung bis zur Reprofilierung verringert sich von 350.000 km bei einer GG-Sohle auf 230.000 km bei der K-Sohle.

An einem weiteren Versuchszug wurden Waggons mit LL-Bremsklötzen (Jurid 777 und Cosid 952) umgerüstet. Die mit Cosid 952 Bremsblöcken ausgestatteten Waggons waren bei Versuchsfahrten auf einem Gleis mit eingehaltenen Rauheiten nach EN ISO 3095 (aber höher als TSI) um 1 – 2 dB leiser als Jurid-Bremsblöcke. Erste

Auswertungen deuten auf eine Glättung der Radoberfläche kurz nach Einbau der LL-Bremsblöcke hin.

6.2.16 Silence ([128] und [129])

Ziel des europäischen Projekt Silence war es, ein gesamteinheitliches System von Methoden, Technologien und Strategie zur Reduzierung von Lärm in Städten zu entwickeln. Berücksichtigt wurden alle Aspekte des Straßenlärms, Fluglärms und Bahn-lärms in urbanen Gebieten vor dem Hintergrund geltender EU-Vorschriften.

In zwei Arbeitspaketen wurden Schienenfahrzeugen sowie die Schieneninfrastruktur und der Betrieb von Schienenfahrzeugen mit dem Ziel der Lärmreduktion untersucht.

Es wurden akustische Hot spots in Städten auf der Basis von lärmkarten identifiziert, der Stand der Technik von Fahrzeugen und Oberbau ermittelt und maßgebliche Lärmquellen für verschiedene Betriebszustände (Stillstand Vorbeifahrt) identifiziert. Schallminderungsmaßnahmen wurden untersucht und messtechnisch deren Potential ermittelt. Im Bereich der Vollbahnen wurden Güterwagen, EMU und DMU untersucht.

Für DMU und EMU wurden als akustische Maßnahmen untersucht:

- Kapselung des Powerpacks mit absorbierenden Bodenpanelen mit Lüftungsspalten.
- Abschirmung des Motors.
- Akustische Maßnahmen im Abgassystem.
- Akustische Verbesserungen der Lüfter.
- Schallminderungsmaßnahmen an einem Elektromotor durch Verbesserung der Ansteuerung.

Ebenfalls wurden Schallminderungsmaßnahmen an Rädern von Güterwagen getestet. Schwierigkeiten hierbei ergeben sich dadurch, dass durch die Bremsung der Laufflächen diese sich auf bis zu 500 °C erhitzen. Es wurden Radschallabsorber entwickelt und getestet. Tests an Schienenstegdämpfern ergaben eine Reduktion von 2 – 3 dB im Gesamtschallpegel. Bei Kombination der Rad- und Schienenstegdämpfer konnten bis zu 4,5 dB im Gesamtschallpegel messtechnisch nachgewiesen werden.

6.2.17 Europe Train [130]

Das Projekt Europe Train soll die Zulassung der LL-Bremse ermöglichen. Hintergrund ist, dass der Umbau von GG-Bremsen zu K-Sohlen aufwändig, ein Umbau zu LL-Sohlen ungleich einfacher zu bewerkstelligen ist. Mit der Zulassung der LL-Bremse würde die Umrüstung alter Güterwagen einen deutlichen Schub erfahren.

LL-Bremsen beeinflussen derzeit jedoch die Konizität der Räder in einer negativen Weise.

Beim Europe Train wird ein Güterzug mit 30 repräsentativen Wagen zum Zweck des In-Betrieb-Tests mit der LL-Bremssohle ausgestattet. Der Zug soll mindestens ein Jahr in allen klimatischen Bedingungen mindestens 200.000 km zurücklegen. Alle im europäischen Netz relevanten Gleischarakteristika und klimatischen Bedingungen sollen dabei befahren werden.

Ergebnisse liegen bislang noch nicht vor.

6.2.18 STAIRRS (Strategies and Tools to Assess and Implement noise Reducing measures for Railway Systems) ([131], [132])

Das STAIRRS Projekt wurde zur Bestimmung der optimalen Lärminderungsstrategien auf europäischer Ebene ins Leben gerufen. Im Projekt wurden Daten von 11.000 km Bahnstrecke in 7 europäischen Ländern gesammelt. Dabei wurde die Besiedelung entlang der Bahnstrecken, der Zugverkehr wie auch akustisch relevante Daten des Gleises erfasst. Mittels Kosten-Nutzen Bewertungen wurden im work package 1 die effizientesten Lärminderungsmaßnahmen bestimmt. Die Schlussfolgerungen gelten sowohl für Europa als Ganzes sowie auch für einzelne Staaten.

Die wichtigsten Ergebnisse sind,

- Die Umrüstung der Fahrzeuge des Güterverkehrs als eigenständige Maßnahme wie auch in Kombination mit anderen Maßnahmen ist am kosteneffizientesten.
- Lärmschutzwände haben eine geringe Kosteneffizienz. Dies gilt insbesondere für hohe Lärmschutzwände.
- Eine Kombination von Lärmschutzwänden mit einer Umrüstung erhöht die Gesamt-Kosteneffizienz.

6.3 Fahrzeugentwicklung

6.3.1 Lok 2000 [77]

Die Entwicklung der LOK 2000 aus akustischer Sicht wird in [77] beschrieben. Akustische Details der Lok 2000 sowie deren Schallemissionswerte sind im Abschnitt 10.1 aufgeführt.

6.3.2 Umbau Blue Tiger [119]

Der Umbau zeigt, dass die TSI-Lärm Geräuschgrenzwerte durch akustische Maßnahmen an einer Bestandslokomotive eingehalten werden können. Maßnahmen waren Schalldämpfer und Absorberjalousien.

6.4 Einzelmaßnahmen an Fahrzeugen und Komponenten

Einflussfaktoren auf das Rollgeräusches sind in Abschnitt 5.2 zusammengefasst.

6.4.1 Räder

Untersuchung am TGV-Rad (Bezugsrad) [108] und an Varianten ergaben bei Vorbeifahrtmessungen eine Reduktion des Rollgeräusches von

- 1 dB (Rad mit gerader, dicker Radscheibe)
- 2 dB (massives Aluminiumrad mit stählernem Nabenring)
- 3 dB (massives Aluminiumrad mit stählernem Nabenring und 10 dyn. Absorbern)
- 2,5 dB (Rad mit Schürzen)

Die beidseitige Beschichtung der Radscheibe eines Rades (Durchmesser 890 mm) mit einem 2 mm starken constrained layer (1 mm Aluminium, 1 mm viskoelastische Schicht) wurde in ([109], [110]) untersucht. Die Wirkung basiert auf der Erhöhung der Dämpfung der Radscheibe und der Verringerung der Abstrahlung. Vorbeifahrtmessungen mit dem Fiat Ferroviara ETR 460-0 (Pendolino) und dem ETR-500 bei Geschwindigkeiten zwischen 190 km/h und 300 km/h ergaben eine Reduktion des Vorbeifahrtpegels um 4 – 5 dB. Die untersuchten Räder waren abgedreht. Die Pegelreduktionen beziehen sich auf ebenfalls abgedrehte Räder des gleichen Typs. Die dynamischen Charakteristika der Strecke wie auch die Radrauheiten sind nicht bekannt. Die Technik ist für Räder mit Scheibenbremsen geeignet. Die Zulassung wurde erteilt.

In einem Gemeinschaftsprojekt [107] von Deutsche Bahn AG, TU Dresden und Gutehoffnungshütte Radsatz GmbH wurde ein strukturoptimiertes Rad entwickelt, das in tangentialer und radialer Richtung sinusförmig gewellt ist. Damit sollten Eigenfrequenzen mit signifikanter Schallabstrahlung im kritischen Frequenzbereich reduziert werden. Das Rollgeräusch konnte um 2 dB reduziert werden.

6.4.2 Bremsen

Der Reibkontakt zwischen Bremse und Radlaufläche bestimmt u. a. die akustische Radrauheit der Räder.

In [111] wurden Bremsversuche mit einem Radtyp (SJ57H) und 18 Bremsklötzen (4 GG-Bremsen, 10 Composite-Bremsblöcken und 4 Sintermetall-Bremsblöcken). Die Tests wurden mit neuen Rädern durchgeführt, die Räder wurden unterschiedlichen Bremsszenarien unterzogen. Nach einer 4-maligen simulierten Vollbremsung auf einem Testprüfstand wurde die Radrauheit gemessen. Aus den Rauheitsmessungen wurde der Rauheitseinzahlwert L_{ACA} bestimmt. Dabei ergeben sich Werte für

GG-Bremsen	$8,4 \leq L_{ACA} \leq 20,2$
Composite-Bremsblöcke	$5 \leq L_{ACA} \leq 6$
Sintermetall-Bremsblöcke	$0,5 \leq L_{ACA} \leq 5$

Für Composite-Bremsen wurde eine Korrelation zwischen der Temperaturverteilung auf der Radoberfläche und der Rauheit festgestellt. Die niedrigsten Rauheiten wurden bei Verwendung einer Composite-Bremse mit metallischen Einschlüssen (Verbesserung der Wärmeleitung) und einer dämpfenden Unterschicht (Verbesserung der Gleichförmigkeit und Vergrößerung der Kontaktzone) festgestellt.

Die Bestimmung der Rauheiten an Güterwagenrädern ([105] und [106]) mittels der indirekten Methode ergab breit streuende Werte für den Pegel der Radrauheit L_{ACA} . In Abhängigkeit des Bremstyps traten folgende Pegel häufig auf:

GG-Bremsen	$20 \leq L_{ACA} \leq 28$
Composite-Bremsblöcke	$0 \leq L_{ACA} \leq 14$
Scheibengebremste Räder	$0 \leq L_{ACA} \leq 8$

Auffällig bei beiden Untersuchungen sind die großen Streuungen der Radrauheiten innerhalb eines Bremstyps. Die Ursachen hierfür sind nicht bekannt. Die Streuungen der Radrauheiten sind so groß, dass signifikante Streuungen der Vorbeifahrpegel zu erwarten sind.

6.4.3 Schürzen

Zur Dämmung des Luftschalls im Ausbreitungsweg muss die Schürze für die Entfaltung der vollen Wirksamkeit möglichst nahe an die Schienenkopf heranreichen. Hier schafft die Bewegung des Fahrzeugs, die Lageveränderung infolge von Belastung, abgefahrenen Rädern und abgenutzten Schienen Probleme. Problematisch sind ebenfalls Fragen des Lichtraumprofils für alle befahrenen Strecken. Schürzen behindern die Wartung des Fahrzeugs und haben sich daher in der Praxis nicht durchgesetzt.

Für Fahrzeuge im interoperablen Verkehr muss ein Spalt zwischen Schürze und Schiene verbleiben (typisch z. B. 168 mm [48]).

Zur Bewertung der Schallminderung ist es auch hier wichtig, die Schallabstrahlung des Gesamtsystems, bestehend aus Rad und Schiene zu untersuchen. Werden Untersuchungen nur an den Rädern durchgeführt, so ergeben sich teilweise hohe Reduktionen des Schalldruckpegels. Unter Berücksichtigung der Schallabstrahlung des Gleises ist von deutlich geringen Pegelreduktionen auszugehen.

Das Potential von Schürzen erhöht sich bei gleichzeitigem Einbau von Niedrigschallschutzwänden.

Die Wirkung von Schürze-Niedrigstschallschirm – Systemen mit schallweichen Oberflächen wurde in [74] untersucht. Dabei ergab sich, dass theoretische Verbesserungsmaße von bis zu 15 dB möglich sind. Dies zeigt, dass derartige Systeme in praktischen Tests weiter untersucht werden sollten.

6.5 Maßnahmen am Fahrweg

6.5.1 Schienenschleifen MONA [45]

Konventionelles Schienenschleifen mit rotierenden Steinen erzeugt in weiten Wellenlängenbereichen eine niedrige Rauheit von ungefähr -10 dB, hat jedoch auch eine tonale Komponente, die meist im Wellenlängenbereich von 20 – 30 mm liegt. Diese Wellenlänge wird durch eine Resonanz der Schleifsteine mit ihrem Antriebssystem bedingt. Versuche ergaben, dass mit einem abschließendem Schleifen mit geringerer Geschwindigkeit die kritische Wellenlänge auf ca. 12 mm reduziert werden kann, so dass sie in einem akustisch weniger relevanten Bereich liegt.

6.5.2 Optimierte Gleis VONA [45]

Es wurden Versuche mit einer optimierten Zwischenlage (relativ geringe Steifigkeit) bei niedrigen Frequenzen und hohen Amplituden und hohe Steifigkeit bei hohen Frequenzen und niedrigen Amplituden durchgeführt. Dies ergab eine Reduktion von 3 – 4 dB im Gleisanteil und von 1 – 4 dB im Gesamtschall. Zusätzlich angebrachte Schienendämpfer erhöhten die Reduktion auf 2 – 7 dB¹³ im Gesamtschall. Korrekturen infolge der Rad- und Schienenrauheiten wurden jedoch nicht durchgeführt.

6.5.3 Silent track [45]

Versuche mit

- Schienendämpfern (abgestimmt auf 630 und 1350 Hz),
- steiferer Zwischenlage,
- modifizierter Schienengeometrie mit schmalerem Fuß und einer
- niedrigeren Schallschutzwand, die auf den Schienen montiert war und die Schiene um 50 mm überragt,

wurden gemeinsam mit dem Projekt Silent freight (Abschnitt 6.2.4) auf dem Testring in Velim bei hohen Temperaturen (30 °C) durchgeführt. Die ursprünglich verbauten und bei diesen Temperaturen weichen Zwischenlagen führten dazu, dass die Schallemission des Gleises 8 dB über der Schallemission der Räder lag. Infolgedessen erhöht sich die Wirksamkeit akustischer Minderungsmaßnahmen am Gleis.

¹³ Der Wert von 7 dB erscheint relativ hoch.

Es wurden Reduktionen von 2 dB für die steiferen Zwischenlagen, 5 dB für die Schienendämpfer, 4 dB für die steifen Zwischenlagen und die Schienendämpfer zusammen, 3 dB für die modifizierte Schiene und 6 dB für die modifizierte Schiene mit Dämpfern festgestellt.

6.6 Untersuchung von Schallminderungsmaßnahmen am Gleis im Rahmen des Konjunkturpakets II in Deutschland

In dem Projekt wurden 13 innovative Technologien an Schienenfahrwegen erprobt, darunter die Minderungswirkung von Schienenstegdämpfern und Schienenstegabschirmungen.

Zum Nachweis der akustischen Wirksamkeit wurden akustische Messungen gemäß der Prüfspezifikation der DB durchgeführt. Dabei wurde der Vorbeifahrtpegel vor und nach Einbau der Maßnahme ermittelt. Die Messungen wurden an zwei Abschnitte durchgeführt, an einem Testabschnitt (mit Einbau der Maßnahmen) und an einem Referenzabschnitt (ohne Einbau der Maßnahmen). Zur Ermittlung der Wirksamkeit wurden die Ergebnisse der Vor- und der Nachmessung am Testabschnitt verglichen und um die Differenz der Vor- und Nachmessung am Referenzabschnitt korrigiert.

Es wurden 5 verschiedene Schienenstegdämpfer in 29 Maßnahmen getestet. Alle Messergebnisse beziehen sich auf Geschwindigkeiten < 200 km/h und Schwellengleisen im Schotterbett (überwiegend mit steifer Zwischenlage). Die akustische Minderungswirkung der Schienenstegdämpfer beträgt je nach Produkt zwischen 0 und 2 dB. Die Minderungen sind in etwa bei allen Zugkategorien gleich groß.

Schienenstegabschirmungen sind Ummantelungen der Schiene mit einem Stahlblech. Dämpfende Eigenschaften erhält das Stahlblech durch eine Kunstharzbeschichtung, absorbierende Eigenschaften durch absorbierende Materialien zwischen Schiene und Ummantelung. Die Wirkung der Schienenstegabschirmung basiert auf einer Minderung der Schallabstrahlung der Schiene („Minischallschirm“). Die Minderungswirkung ist im Bereich von 1 – 2 kHz am größten. Die Schwingungstechnischen Eigenschaften der Schiene werden nicht beeinflusst. Es wurde eine akustische Minderung des Vorbeifahrtpegels der Schienenstegabschirmung von 3 dB ermittelt. Für Güterzüge ergeben sich allerdings nur Minderungen von 0 – 1 dB.

6.7 Kombination der Maßnahmen am Fahrzeug und am Gleis

RONA – VONA

Die Kombination mit optimierten Rädern und Raddämpfern ergibt bei allen Varianten Reduktionen von ca. 5 – 8 dB im gesamten abgestrahlten Luftschall.

Silent freight – Silent track

Die Tests wurden auf dem Testring in Velim bei hohen Temperaturen (30 °C) durchgeführt. Die bei diesen Temperaturen weichen Zwischenlagen führten dazu, dass die Schallemission des Gleises 8 dB über der Schallemission der Räder lag. Die Wirkung der kombinierten Maßnahmen an Rad und Gleis ist ähnlich der Wirkung der Maßnahmen am Gleis (Abschnitt 6.5.3), da dies die Schallabstrahlung dominiert.

6.8 Methoden zur monetären Bewertung von Lärminderungsmaßnahmen

Der Zusammenhang zwischen Kosten und Dosis (Lärmbelastung) kann über verschiedene Verfahren aufgestellt werden [126]. Als Dosis wird dabei überwiegend der Mittelungspegel vor der Gebäudefassade verwendet.

Zur Ermittlung der externen Kosten des Lärms werden zwei Verfahren angewandt: Ein „Bottom up“-Ansatz (Wirkungspfadmethode) oder ein „Top down“-Ansatz. Bei Ersterem werden die externen Kosten je Person bestimmt und über alle Betroffenen aufsummiert. Die spezifischen externen Kosten ergeben sich als Kosten pro Fahrzeugkilometer aus der Division der Kosten durch die Summe der Laufleistungen. Beim zweiten Verfahren werden die Gesamtkosten der Lärmbelastung in Deutschland ermittelt und durch die Gesamtfahrleistung in Deutschland dividiert. Allgemein akzeptierte Dosis-Kosten-Funktionen existieren noch nicht. Zwei Dosis-Kosten-Funktionen (CE Delft und UBA) unterscheiden sich erheblich in den externen Kosten. Beide ergeben jedoch, dass die zu erwartende Senkung der externen Lärmkosten die Gesamtkosten bei Umrüstung der Güterwagen auf K-Sohle, welche hier zu 700 Mio. Euro geschätzt werden, bereits nach einem Jahr übersteigt.

6.9 Zusammenfassung und Bewertung von Schallminderungsmaßnahmen für das Vorbeifahrtgeräusch

Schallminderungsmaßnahmen wurden in zahlreichen Projekten untersucht.

Eine möglichst repräsentative Bewertung der Wirkung der Minderungsmaßnahme ist nur möglich wenn experimentelle Vorbeifahrtmessungen durchgeführt werden und der Vorbeifahrtpegel als Beurteilungsgröße herangezogen wird. Laboruntersuchungen erfassen nur einen Teil des gesamten Lärmwirkungsmechanismus (Abbildung 2) und werden daher ebenfalls wie numerische Untersuchungen, die bislang nicht zuverlässig genug sind, nicht berücksichtigt

Um für die TSI-Messungen vergleichbare Bedingungen sicherzustellen, wurde darauf geachtet, dass die Tests auf Referenzgleisen durchgeführt wurden, oder dass zumindest die Schienenrauheiten und Abklingraten mit erfasst werden und akustisch gute Eigenschaften aufweisen.

Aufgrund des komplexen Zusammenwirkens von Fahrzeug und Gleis sind die ermittelten Schallminderungen neben der Minderungswirkung des Produktes auch von der Höhe des Radanteils und des Schienenanteils (abhängig z. B. von Steifigkeit der Zwischenlage, ggf. Temperatur, Oberbaukonstruktion, Zugtyp usw.) an der Gesamtschallemission abhängig. Die Schallminderungswirkung kann an einer anderen Stelle oder bei einem anderen Zug unterschiedlich ausfallen. Die meisten der an unterschiedlichen Stellen durchgeführten Untersuchungen kommen jedoch zu vergleichbaren Ergebnissen.

Weiter werden nur Ergebnisse für im Betrieb erprobte Schallminderungssysteme angegeben.

Aufgrund der situations- und produktabhängigen Ergebnisse werden daher Bereiche angegeben, in denen die Minderungsmaßnahmen typischerweise liegen.

Tabelle 14. Minderungswirkung von Schallminderungsmaßnahmen für das Vorbeifahrtgeräusch.

	Verbesserung in der Gesamtschallemission in dB bei HGV	Verbesserung in der Gesamtschallemission in dB bei Güterwagen
Optimierung der Radgeometrie	1-2	0-1
Radschallabsorber	1-5	1-2
Constrained layer	4-5	-- ¹⁴
Schürzen	--	1-2

¹⁴ Bei klotzgebremsten Fahrzeugen aufgrund der hohen Radtemperatur beim Bremsen nicht anwendbar.

7 Erstellung einer Datenbasis der Schallemission von Schienenfahrzeugen (Ist-Zustand)

7.1 Zielstellung

Ziel ist die Erstellung einer fundierten Datenbasis des Standes der Technik der Geräuschemission (Außengeräusch) europäischer Schienenfahrzeuge. Dabei werden akustische Abnahmewerte der gegenwärtig eingesetzten Schienenfahrzeuge zusammengestellt. Zudem werden akustische Anforderungen, die bei der Beschaffung von Fahrzeugen gestellt werden und von der TSI abweichen, erfasst.

Geräuschemissionen von Straßen- und U-Bahnen werden nicht erfasst, da sie nicht unter den Einflussbereich der TSI-Lärm fallen.

7.2 Methodische Vorgehensweise

Im Zuge der Zulassung von Zügen nach TSI-Lärm erklären die Fahrzeughersteller die Konformität ihrer Schienenfahrzeuge mit den geltenden europäischen Regelungen (z. B. TSI-Lärm) anhand der von Benannten Stellen ausgestellten Zertifikaten. Diese Zertifikate beruhen auf Messungen von akkreditierten Prüfstellen.

Insgesamt haben im Zulassungsprozess verschiedene Beteiligte Kenntnis über die Geräuschkenngrößen:

- Schienenfahrzeughersteller,
- Schienenfahrzeugbetreiber,
- Benannte Stellen,
- Messinstitute.

Geräuschkenngrößen von Schienenfahrzeugen können daher prinzipiell bei verschiedenen Beteiligten am Zulassungsprozess erhoben werden. Es sind jedoch die Eigentumsrechte der Daten zu berücksichtigen. I. d. R. liegen die Eigentumsrechte bei den Fahrzeugherstellern, d. h. ohne Zustimmung des Fahrzeugherstellers dürfen keine Daten weitergegeben werden. Die Daten konnten bei den meisten Beteiligten nur anonymisiert erfragt werden.

Die einzelnen Beteiligten haben eine unterschiedliche Informationstiefe über die Daten. Die Fragebögen wurden daran angepasst.

Abnahmemessungen auf TSI-Referenzgleisen werden als vergleichbar betrachtet. Obwohl im Zulassungsprozess die Messung auf Referenzgleisen vorgeschrieben ist, soll die Einhaltung im Rahmen der Datenerhebung trotzdem sichergestellt werden. Es werden daher die Daten der Schienenrauheitsmessungen sowie die Daten der Abklingratenmessungen abgefragt. Die Geräuschkenngrößen werden im Hinblick auf Vorliegen dieser Daten in zwei Kategorien eingeteilt:

- Wenn von einem Einhalten der Gleisbedingungen (Schienenrauheit und Abklingrate) auszugehen ist, werden die Daten der Vorbeifahrermessung als hoch vertrauenswürdig eingeschätzt (Vertrauensklasse I).

- Bei Nichtvorliegen der Messergebnisse der Schienenrauheit und der Abklingrate oder bei Nichteinhaltung der spezifischen Grenzwerte werden die Daten als bedingt vergleichbar eingeschätzt (Vertrauensklasse II).

Für die Auswertung der Vorbeifahrdaten werden ausschließlich Daten aus der Vertrauensklasse I herangezogen.

Die Daten werden darüber hinaus auf Plausibilität geprüft. Bei Zweifeln an der Vertrauenswürdigkeit der Daten werden Daten ggf. in ein geringeres Vertrauensintervall eingeschätzt bzw. nicht berücksichtigt.

Zusätzlich werden die im Rahmen der Umfrage erhobenen Daten Erfahrungswerten von Müller-BBM gegenübergestellt.

Da die Datenerhebung bei verschiedenen Stellen durchgeführt wurden, wurden teilweise Datensätze doppelt erfasst. Doppelt vorkommende Datensätze wurden daher entfernt.

Die nach TSI-Lärm 2011 erhobenen Daten werden für die Statistik der Schallemission verwendet, die Daten der Vorbeifahrtmessungen jedoch nur, wenn die Vorbeifahrtmessungen nach TSI-Lärm 2011 als vergleichbar eingestuft sind.

Datensätzen von Standmessungen nach TSI-Lärm 2006 werden in der Datenbank berücksichtigt, für die Bewertung des Stands der Technik jedoch nur dann herangezogen, wenn diese vergleichbar den Mess- und Betriebsbedingungen der TSI-Lärm 2011 durchgeführt wurden.

7.3 Datenerhebungsbögen

7.3.1 Konzeption der Fragebögen

In den TSIs sind eine Vielzahl an akustischen Grenzwerten für Schienenfahrzeuge genannt. Die Grenzwerte werden in den jeweiligen Spezifikationen:

- TSI-Lärm konventioneller Verkehr,
- TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr

für die einzelnen Schienenfahrzeugkategorien

- Elektrolokomotiven,
- Diesellokomotiven,
- Elektrotriebzüge,
- Dieselttriebzüge,
- Reisezugwagen und
- Güterwagen

angegeben. Die Grenzwerte werden für verschiedene fahrzeugspezifische Parameter (z. B. Leistung an der Welle) gestaffelt angegeben.

Daneben wird nach den Betriebsmodi

- Stillstand,
- Anfahrt und
- Konstantfahrt bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten

unterschieden.

Eine Zusammenstellung über alle Fahrzeugkategorien, fahrzeugspezifische Parameter und Abnahmebedingungen und der zugehörigen Grenzwerte ist in Abbildung A1 im Anhang A dargestellt. Diese Übersicht wurde zur Konzeption der Fragebögen herangezogen.

Grundideen bei der Konzeption der Fragebögen waren:

- Übersichtlichkeit,
- einfaches Ausfüllen,
- Klarheit der Fragestellung.

Um sowohl die Fragebögen einfach und übersichtlich zu halten und auf der anderen Seite aber auch die Anzahl der Fragebögen nicht zu groß werden zu lassen, wurde ein eigener Fragebogen je Schienenfahrzeugkategorie entworfen. In diesem Fragebogen werden die fahrzeugspezifischen Parameter abgefragt. Die bei Abnahmemessungen ermittelten akustischen Kenngrößen können eingetragen werden.

Zusätzlich zu den Fahrzeugdaten werden Angaben zur Schienenrauheit und zur Abklingrate abgefragt. Erfüllen beide Parameter die Anforderungen nach TSI-Lärm, so wird das Gleis, auf dem die Abnahmemessungen durchgeführt wurden, als Referenzgleis charakterisiert. In diesem Fall geht die TSI von einer Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus. Den akustischen Kenngrößen wird dann ein höherer Vertrauenswert (Vertrauensklasse I) zugestanden als bei Nichtnachweis der TSI-Referenzgleiseigenschaften (Vertrauensklasse II).

Im Zuge der ‚kleinen‘ TSI-Revision 2010 wurde zur Bewertung der Schallemission von Güterwagen die Verwendung einer kontinuierlichen Grenzkurve des zulässigen Schalldruckpegels in Abhängigkeit des APL (axles per length) diskutiert. Diesen Sachverhalt unterstützend wird für Güterwagen die Länge sowie die Anzahl der Achsen abgefragt.

Neben diesen Angaben müssen vom Befragten lediglich Grenzwerte und ggf. von der TSI abweichende Anforderungen oder Betriebszustände eingetragen werden. Dadurch ist eine einfache und übersichtliche Auswertung der ausgefüllten Fragebögen möglich.

Die deutsche Fassung des gesamten erarbeiteten Fragebogensatzes ist in Anhang B aufgeführt.

7.4 Erhebung der Daten

Es wurden alle Benannte Stellen zusammengestellt, die für Konformitätsbewertungen nach der Richtlinie

- 2008/57/EC [3]

oder den Vorgängerrichtlinien

- 96/48/EG (Interoperabilität Hochgeschwindigkeitsverkehr) [1] und
- 2001/16/EG (Interoperabilität konventioneller Verkehr) [2]

für die Technischen Spezifikationen für Interoperabilität

- TSI-Lärm: 2006 [7] oder die TSI-Lärm: 2011 [10]
- TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr: 2008 [8]

benannt sind.

Eine Liste der Benannte Stellen ist auf der Website

<http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/nando/> verfügbar.

Zu Beginn der Untersuchung waren dort 42 Benannte Stellen gelistet. Während der Bearbeitung des Forschungsprojektes kam eine weitere Benannte Stelle hinzu. Insgesamt 6 Benannte Stellen gaben in diesem Zeitraum ihre Benennung zurück. 14 Benannte Stellen hatten zum Zeitpunkt der Abfrage keine Zertifikate ausgestellt.

Mit Stand Oktober 2011 ergibt sich folgendes Bild der Umfrage bei den insgesamt 23 aktiven Benannten Stellen.

Tabelle 15. Ergebnis der Datensammlung bei aktiven Benannten Stellen.

	Anzahl
Daten bereitgestellt	12
Keine Datenbereitstellung	1
Keine Rückmeldung	10
Insgesamt	23

12 Benannte Stellen stellten die Daten von ca. 150 Zertifikaten zur Verfügung. Der Datenweitergabe wurde nur von einer Stelle ausdrücklich widersprochen.

Auffällig ist, dass zahlreiche Benannte Stellen nie Zertifikate ausgestellt hatten oder inzwischen nicht mehr als Benannte Stellen tätig sind. Insgesamt wurden Zertifikate von vermutlich weniger als der Hälfte der Benannten Stellen ausgestellt.

Von 10 Benannten Stellen erfolgte auch nach mehrmaligen Rückfragen keine Rückmeldung. Wir gehen davon aus, dass diese Benannten Stellen zumindest zum Teil nie Zertifikate erstellt haben.

Die Beteiligung der Benannten Stellen am Forschungsvorhaben kann als sehr gut beurteilt werden.

7.4.1 Datensammlung bei den Schienenfahrzeughersteller

Die Fragebögen für die Fahrzeughersteller wurden etwas detaillierter formuliert. Prinzipiell wurde jedoch das Konzept der einfachen Beantwortbarkeit aller Fragen beibehalten.

Der VDB (Verband der Bahnindustrie in Deutschland) stellte in Abstimmung mit seinen Mitgliedsunternehmen (z. B. Alstom, Bombardier, Siemens, Voith Turbo Lokomotivtechnik, Vossloh) 34 Datensätze bereit,

- 5 Datensätze von E-Loks,
- 11 Datensätze von Diesel-Loks,
- 7 Datensätze von ETZ,
- 5 Datensätze von DTZ,
- 6 Datensätze von Reisezugwagen.

Die Daten wurden anonymisiert zur Verfügung gestellt.

Darüber hinaus stimmte ein Hersteller der Verwendung sämtlicher erhobener TSI-Abnahmedaten zu.

Weitere 47 Schienenfahrzeughersteller wurden angeschrieben. Hier war der Rücklauf gering.

7.4.2 Datensammlung bei den Schienenfahrzeugbetreiber

Auf Betreiberseite wurden alle staatlichen Bahnbetreiber als relevant eingestuft (DB, ÖBB, SBB, SNCF, SNCB, ...). Weitere Betreiber wurden nach Fahrzeugbestand, Verkehre und Unternehmensgröße ausgewählt.

Der Rücklauf war gering. Positive Rückmeldungen waren sehr gering. Viele der Betreiber gaben an, keine relevanten Abnahmemessungen zur Verfügung zu haben.

Tabelle 16. Stand der Datensammlung Betreiber.

	Anzahl
Auswertbare Rückmeldungen	3
Keine/negative Rückmeldung	16
Insgesamt	19

Es wurde beschlossen, bei der Befragung die Meinung der Schienenfahrzeugbetreiber über die Neuformulierung der Grenzwerte zu fokussieren. Ziel dieses Vorgehens war es, die Standpunkte der Betreiber in die Vorschläge zur Neuformulierung der Grenzwerte einfließen zu lassen.

Durch bestehende Kontakte konnten die Standpunkte von drei Betreibern eingeholt werden. Die Rückmeldungen können wie folgt zusammengefasst werden:

Betreiber 1:

Die Entlastung der Umwelt durch eine Emissionsverringerung wird ernst genommen, aber ein bedeutender Faktor, der die Entlastung bewertet, ist die Anzahl der Betroffenen. In Bezug auf den Straßenverkehr ist ein deutlich höherer Anteil der Bevölkerung betroffen als durch den Schienenverkehr.

Es wird bei einer Verschärfung der Grenzwerte für den Schienenverkehr eine parallele Verschärfung für den Straßen- und Luftverkehr begrüßt. Insgesamt wird aber wenig Spielraum gesehen, um eine preisgünstige und wettbewerbsfähige Mobilität in Europa aufrecht zu erhalten. Es kann keine Einschränkung akzeptiert werden, die den Schienenverkehr gegenüber anderen Verkehrsmitteln benachteiligt.

Über die Anforderungen der TSI hinausgehend, werden Anforderungen zu Parametern gestellt, die dem Schutz von Anwohnern dienen. Dies betrifft den abgestellten Zustand des Fahrzeugs. Dieses Thema rückt aufgrund der zunehmenden Klimatisierung immer mehr in den Fokus.

Betreiber 2:

Da Güterwagen vorwiegend im sensiblen Nachtzeitraum lärmrelevant sind und in relativ großer Anzahl verkehren, erscheint die Verschärfung des Grenzwerts für das Fahrgeräusch um 1 dB sinnvoll.

Für das Fahrgeräusch bei Elektrolokomotiven wird ein Lärminderungspotential von 2 dB gesehen.

Reisezugwagen hingegen bilden die leiseste Kategorie. Deshalb wird hier durch die Verschärfung des Grenzwertes kein großes Lärminderungspotential gesehen. Für Elektrotriebzüge wird ebenfalls kein Lärminderungspotential gesehen.

Die übrigen Kategorien sind für das Netz dieses Betreibers von untergeordneter Bedeutung.

Über die Anforderungen der TSI hinausgehend, wird bei Neuausschreibungen bezüglich des Standgeräusches der Betriebszustand „Stillstand“ und „Parken“ unterschieden. Im „Stillstand“ ist das Fahrzeug in Fahrbereitschaft (z. B. im Bahnhof oder vor einem Signal). Befindet sich das Fahrzeug für längere Zeit im Stand wird von „Parklärm“ ausgegangen. Der Emissionsgrenzwert für den „Stillstand“ sollte 65 dB(A) und für das „Parken“ 55 dB(A) nicht überschreiten, da sonst mit Immissionsgrenzwertüberschreitungen in anliegenden Wohngebieten gerechnet werden muss.

Die Dauer bis zur voll wirksamen akustischen Auswirkung durch den Anteil des Rollmaterials mit TSI-Grenzwerten wird auf 30 Jahre geschätzt. Zuvor wird der Schienenverkehrslärm überwiegend durch das herkömmliche Rollmaterial dominiert.

Im Netz des Betreibers wurden bereits viele sekundäre Schallschutzmaßnahmen umgesetzt. Das Potential verschärfter Grenzwerte beschränkt sich somit im Wesentlichen auf Ausbaustrecken.

Betreiber 3:

Die Wertung von Angeboten erfolgt zu 70 % nach dem Preis und zu 30 % nach der Qualität. Als Unterkategorie der Qualität wird das Umweltkonzept mit insgesamt 6 % gewichtet.

Für das Standgeräusch wird vor allem bei Elektrolokomotiven ein deutliches Lärm-minderungspotential gesehen (siehe Tabelle 17). Beim Anfahrgeräusch sind die anzustrebenden Werte deutlich unter den aktuellen TSI-Grenzwerten. Auch für die Fahrgeräusche sind deutlich geringere Emissionswerte im Vergleich zur TSI gewünscht. Diese Angaben werden als Soll-Werte verstanden, deren Einhaltung keine Pflicht ist.

Tabelle 17. Anzustrebende Lärmwerte, Betreiber 3 (die Lärmwerte werden als Soll-Werte interpretiert, deren Einhaltung ist kein Muss).

	Standgeräusch $L_{pAeq,T}$ dB(A)	Anfahrgeräusch L_{pAFmax} dB(A)	Fahrgeräusch bei 80 km/h, $L_{pAeq, Tp}$ dB(A)
Elektrolokomotiven	70	75	80
Diesellokomotiven	75	75	80
Elektrotriebzüge	67	75	78
Dieseltriebzüge	72	75	78

7.4.3 Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declaration (EPD))

Umweltproduktdeklarationen sind standardisierte (ISO 14025) Werkzeuge, welche die Umweltverträglichkeit von Produkten darstellen. Sie enthalten umweltrelevante Informationen zur Ökobilanz (Life Cycle Assessment (LCS)) über die gesamte Lebensdauer eines Produktes. Eine Umweltproduktdeklaration enthält Informationen zur Umweltverträglichkeit eines Produktes wie Rohstoffverbrauch, Energieverbrauch und -effizienz, die im Produkt verwendeten chemischen Substanzen sowie die Emissionen des Produktes wie z. B. Emission von Luftschadstoffen oder auch Schallemissionen.

Produktkategorieregeln (Product Category Rules (PCR)) beschreiben, wie die Ökobilanzen für Produkte erstellt werden. Für Schienenfahrzeuge wurde die Erstellung von PCR 2008 von der UnIFE initiiert

(http://www.unife.org/uploads/PRC_Document.pdf).

Diese PCR enthalten unter (12.2. Noise emissions) Aussagen zur Schallemission. Demnach sollen die EPD zumindest die Außengeräusche bei Stillstand, bei der Anfahrt und bei der Vorbeifahrt enthalten.

EPD sind auf der Website www.environdec.com oder auf Herstellerseiten auffindbar. Zur Zeit liegen nur wenige EPDs vor. Mit Stand Oktober 2011 liegen folgende Daten aus EPDs vor:

Tabelle 18. Daten aus EPDs.

	Anzahl
EPD mit auf TSI basierenden Daten	2
EPD ohne TSI Daten	4

7.5 Prüfung der Daten

Vor Aufnahme in die Datenbasis erfolgten verschiedene Überprüfungen:

1. Die Datensätze wurden auf Dubletten hin geprüft. Sofern von doppelten Datensätzen auszugehen war, wurde dieser nicht in die Datenbasis aufgenommen.
2. Teilweise wurden Mittelwerte bzw. Maximalwerte mehrerer Fahrzeuge übermittelt. Da hier keine Zuordnung zu einem Fahrzeug möglich ist, wurden diese nicht berücksichtigt.
3. Bei der Datenerhebung wurde auf die Einhaltung der Referenzgleiseigenschaften der Abnahmestrecke besonderer Wert gelegt. Die erhobenen Daten der Vorbeifahrtmessung werden im Hinblick auf Vorliegen dieser Daten in zwei Kategorien eingeteilt:
 - Wenn von einem Einhalten der Gleisbedingungen (Schienenrauheit und Abklingrate) auszugehen ist, werden die Daten der Vorbeifahrtmessung als hoch vertrauenswürdig eingeschätzt.
 - Bei Nichtvorliegen der Messergebnisse der Schienenrauheit und der Abklingrate oder bei Nichteinhaltung der spezifischen Grenzwerte werden die Daten als bedingt vergleichbar eingeschätzt (Vertrauensklasse II).

Für die Auswertung der Vorbeifahrtmessung werden ausschließlich Daten aus der Vertrauensklasse I herangezogen.

4. Die Daten wurden darüber hinaus auf Plausibilität geprüft:
 - Widersprüchliche oder falsche (soweit erkennbar) Angaben in den Fragebögen. Dazu waren Plausibilitätskontrollen in den Fragebögen enthalten.
 - Gegenüberstellung zu Abnahmewerten von Müller-BBM.

Bei Zweifeln an der Plausibilität wurden Daten für die Auswertung nicht berücksichtigt.

5. Die verbleibenden Daten wurden nach den Quellen (Benannte Stellen, Hersteller, Betreiber) gruppiert und die Ergebnisse miteinander verglichen (Mittelwert und Standardabweichung). Damit sollte sichergestellt werden, dass bei der Datenweitergabe keine gefilterten Daten (besonders leise oder besonders laute Fahrzeuge) übermittelt wurden.
6. Die Daten stammen beinahe ausschließlich aus Abnahmemessungen nach TSI-Lärm:2006. Die Auswirkungen der geänderten Mess- und Betriebsbedingungen wurden bewertet.

7. Sofern die Daten bei einzelnen Bauarten (z. B. dieselektrische und dieselhydraulische Lokomotiven) signifikante Unterschiede zeigen, wurde dies bei der Bewertung berücksichtigt, um keine Technologie vom Markt auszuschließen.

7.6 Ergebnis der Datenerhebung

Im Hinblick auf die Datenverwaltung der erhobenen akustischen Abnahmewerte wurde mit Microsoft Excel ein Datenblättersatz erstellt, der den gleichen strukturellen Aufbau besitzt wie die Datenerhebungsbögen. Das heißt, die Datenblätter sind sortiert nach der Quelle der Daten, den verschiedenen Schienenfahrzeugkategorien, und nach der TSI für Hochgeschwindigkeits- bzw. konventionellen Schienenverkehr.

Die Ergebnisse der Datenerhebung sind für alle Fahrzeugkategorien und Betriebszustände in der folgenden Abbildung zusammengefasst. Es werden jeweils die wichtigen statistischen Parameter angegeben. Die einzelnen Ergebnisse werden im Abschnitt 9 aufgeführt und diskutiert.

Für das Stand- und das Anfahrgeräusch streuen die Messergebnisse stark. Zum Teil liegen die Emissionskenngrößen der Schienenfahrzeuge deutlich unter den Grenzwerten. Beim Vorbeifahrtgeräusch ist die Streuung der Messdaten wesentlich geringer. Lediglich bei Güterwagen treten größere Streuungen auf. Hier liegen die Vorbeifahrtpegel deutlich näher an den bestehenden Grenzwerten.

Die Ergebnisse der Datenerhebung sind überblicksmäßig in der folgenden Tabelle zusammengefasst und in Abbildung 6 dargestellt.

Tabelle 19. Ergebnisse der Datenerhebung für die Betriebszustände und Schienenfahrzeugkategorien nach TSI-Lärm.

Kategorie	Geräusch	TSI Grenzwert dB(A)	Mittelwert dB(A)	Standardabweichung dB	Mittelwert der leisesten 33 %	Median dB(A)	unteres Quartil dB(A)	oberes Quartil dB(A)	Anzahl Daten (Insgesamt 378)
Diesellok	Standgeräusch	75	68,1	2,8	64,7	69,0	65,5	70,5	33
	Anfahrgeräusch P $\geq$ 2000 kW	89	82,7	3,3	79,5	82,5	81,0	84,0	16
	Anfahrgeräusch P<2000 kW	86	83,4	2,1	81,2	84,0	82,5	85,0	18
	Fahrgeräusch 80 km/h	85	83,7	1,5	81,9	84,0	82,5	85,0	21
Elektrolok	Standgeräusch	75	62,2	4,3	57,8	61,0	57,8	66,3	12
	Anfahrgeräusch P $\geq$ 4500 kW	85	81,9	1,2	80,7	82,0	81,0	82,5	9
	Anfahrgeräusch P<4500 kW	82	80,3	0,6	80,0	80,0	-	-	3
	Fahrgeräusch 80 km/h	85	83,5	1,4	82,3	84,0	82,5	84,3	10
ETZ	Standgeräusch	68	55,4	5,0	50,5	55,0	52,0	59,0	33
	Anfahrgeräusch	82	73,8	3,2	70,9	72,0	71,0	76,5	33
	Fahrgeräusch 80 km/h	81	76,2	1,4	74,9	76,0	75,0	77,0	24
DTZ	Standgeräusch	73	66,9	4,0	62,4	68,5	63,0	70,0	14
	Anfahrgeräusch P $\geq$ 500 kW	85	79,4	3,3	77,0	77,0	77,0	83,0	5
	Anfahrgeräusch P<500 kW	83	81,1	2,1	78,7	82,0	79,5	83,0	9
	Fahrgeräusch 80 km/h	82	78,9	2,4	77,0	79,0	78,0	80,5	10
Reisezug	Standgeräusch	65	60,1	4,7	57,0	62,0	59,0	63,0	7
	Fahrgeräusch 80 km/h	80	76,8	0,8	76,0	77,0	76,0	77,5	5
Güterwagen	Standgeräusch	65	-	-	-	-	-	-	0
	neue Wagen, apl bis 0,15 1/m, 80 km/h	82	78,2	2,8	75,5	78,5	76,8	80,3	6
	neue Wagen, apl über 0,15 1/m bis 0,275 1/m, 80 km/h	83	80,1	2,4	77,5	80,0	78,0	82,0	43
	neue Wagen, apl über 0,275 1/m, 80 km/h	85	80,9	2,8	77,6	81,5	78,3	83,0	32
	umgerüstete Wagen, apl bis 0,15 1/m, 80 km/h	84	83,0	-	-	-	-	-	1
	umgerüstete Wagen, apl über 0,15 1/m bis 0,275 1/m, 80 km/h	85	-	-	-	-	-	-	0
	umgerüstete Wagen, apl über 0,275 1/m, 80 km/h	87	-	-	-	-	-	-	0
	neue Wagen, apl bis 0,15 1/m, 190 km/h umgerechnet 80 km/h	82	80,0	0,0	80,0	-	-	-	2
	neue Wagen, apl über 0,15 1/m bis 0,275 1/m, 190 km/h umgerechnet 80 km/h	83	81,9	1,1	81,0	82,0	81,8	83,0	14
	neue Wagen, apl über 0,275 1/m, 190 km/h umgerechnet 80 km/h	85	81,7	2,9	78,7	83,0	80,0	83,5	17
	umgerüstete Wagen, apl bis 0,15 1/m, 190 km/h umgerechnet 80 km/h	84	83,0	-	-	-	-	-	1
	umger. Wagen, apl über 0,15 1/m bis 0,275 1/m, 190 km/h umgerechnet 80 km/h	85	-	-	-	-	-	-	0
	umgerüstete Wagen, apl über 0,275 1/m, 190 km/h umgerechnet 80 km/h	87	-	-	-	-	-	-	0

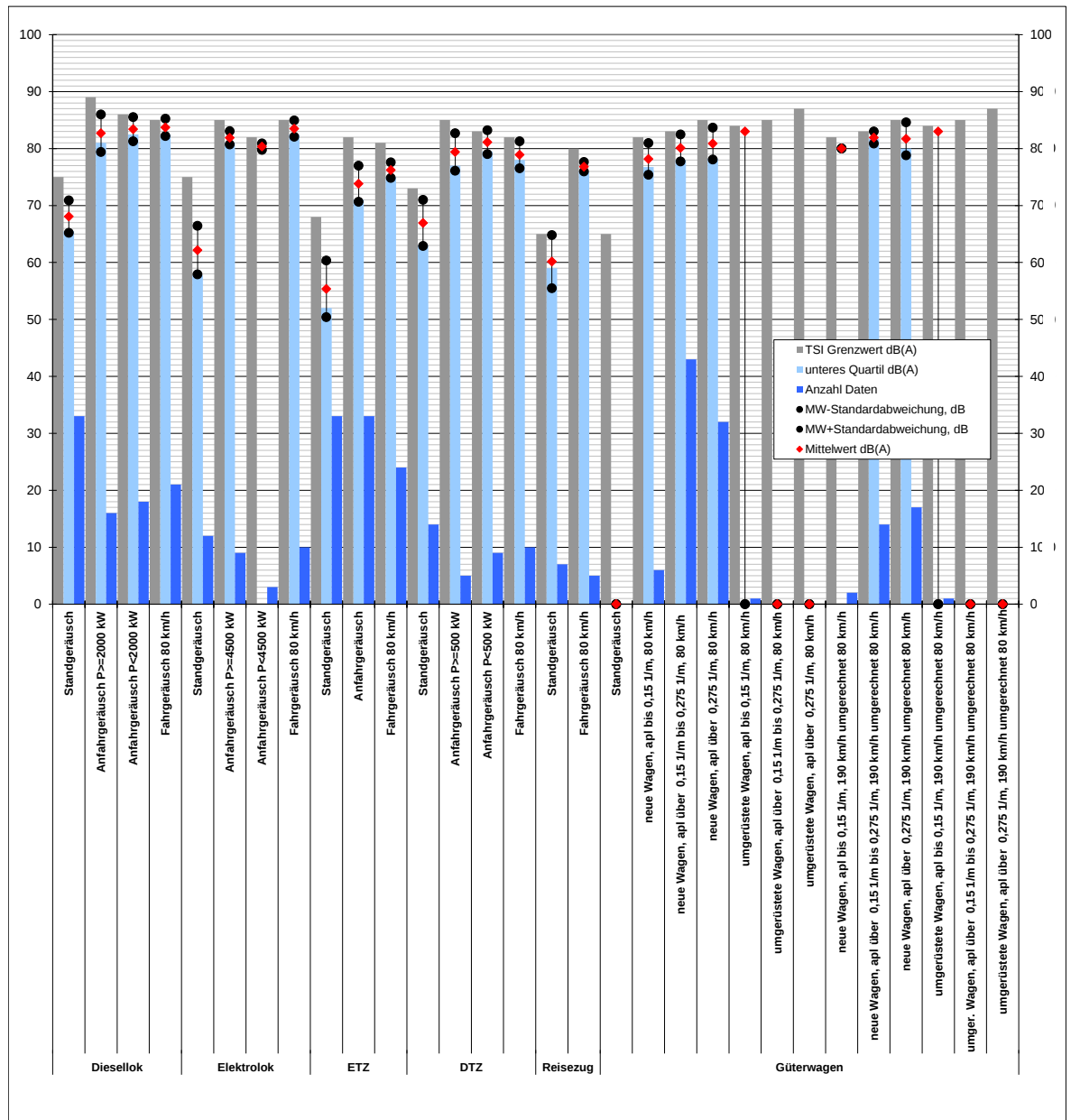


Abbildung 6. Ergebnis der Datenerhebung, wichtigen statistischen Parameter für alle Fahrzeugkategorien und Betriebszustände.

Aus der gewonnenen Datenbasis wird anhand der mitgelieferten Angaben zum Abnahmedatum eine zeitliche Entwicklung der akustischen Abnahmewerte erstellt. Dies geschieht für alle Fahrzeugkategorien und Abnahmewerte separat. Am aussagekräftigsten kann dies für Güterwagen dargestellt werden, da hier am meisten Fahrzeuge erhoben wurden. Die weiteren Fahrzeugkategorien zeigen ähnliche Ergebnisse und sind im Anhang C in Abbildung 47 – Abbildung 52 dargestellt.

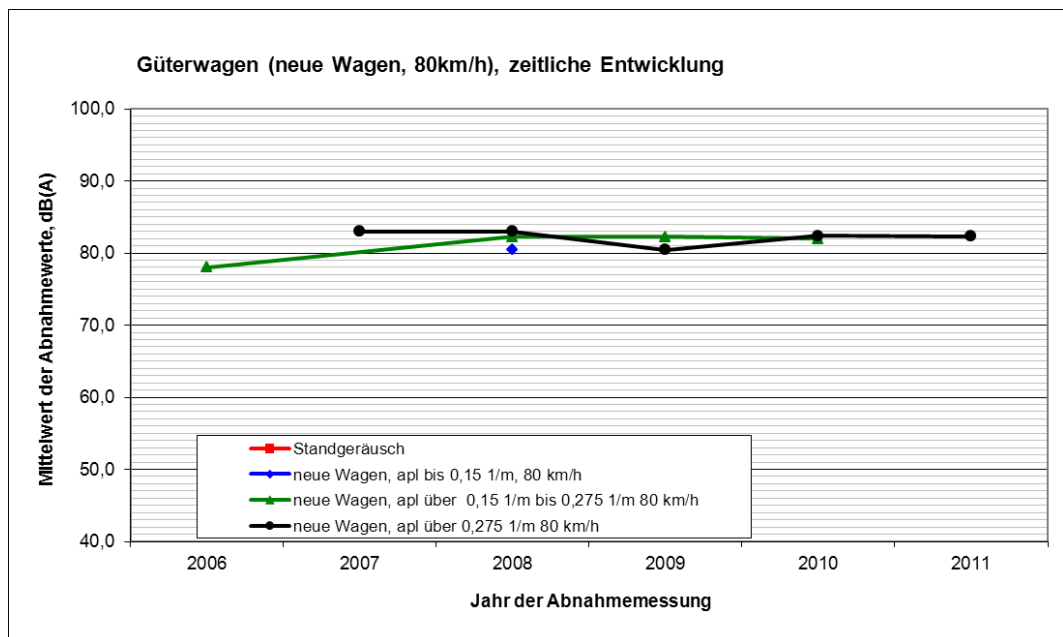


Abbildung 7. Zeitliche Entwicklung der Vorbeifahrtpegel neuzugelassener Güterwagen.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich die mittleren Emissionskenngrößen der Güterwagen zwischen 2006 und 2011 nicht ändern. Eine Vorbereitung der Hersteller auf die zu erwartende Verschärfung der Grenzwerte ist hieraus nicht erkennbar.

8 Methodische Beschreibung des Stands der Technik und Ermittlung von Grenzwertvorschlägen

8.1 Stand der Technik

Der Stand der Technik ist eine Techniklausel und stellt im Allgemeinen die technischen Möglichkeiten zu einem bestimmten Zeitpunkt, basierend auf gesicherten Erkenntnissen von Wissenschaft und Technik, dar [147].

Im Bundes-Immissionsschutzgesetz, § 3 Absatz (6) [28] wird der Stand der Technik wie folgt beschrieben: „Stand der Technik im Sinne dieses Gesetzes ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden, zur Gewährleistung der Anlagensicherheit, zur Gewährleistung einer umweltverträglichen Abfallentsorgung oder sonst zur Vermeidung oder Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere die Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen, Fortschritte in der Technologie und in den wissenschaftlichen Erkenntnissen, Art, Auswirkungen und Menge der jeweiligen Emissionen, und die für die Einführung einer besseren verfügbaren Technik erforderliche Zeit zu berücksichtigen.“

In der praktischen Umsetzung bedeutet Stand der Technik nicht, dass wissenschaftliche Lösungen existieren, vielmehr müssen entwickelte Techniken verfügbar [149] sein. Diese müssen bereits realisiert worden sein und auf dem Markt angeboten werden.

In der Richtlinie 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie) [29] wird gefordert: „Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass Risiken durch Luftschallemission insbesondere an der Quelle so weit gemindert werden, wie es nach dem Stand des technischen Fortschritts und mit den zur Lärminderung verfügbaren Mitteln möglich ist. Der Schallemissionspegel kann durch Bezugnahme auf Vergleichsemissionsdaten für ähnliche Maschinen bewertet werden.“

8.2 Methodische Vorgehensweise zur Ermittlung des Standes der Technik und von Grenzwertvorschlägen

Die Ermittlung des Standes der Technik ist nicht einheitlich geregelt.

In verschiedenen Normen und Regelwerken werden Anleitungen zur Bestimmung der Geräuschemissionswerte von Maschinen gegeben.

In den Normen ISO 7574/ DIN EN 27 574 [24] werden ausschließlich Einzelmaschinen und Maschinenlose (eine Anzahl von Maschinen oder Geräten derselben Art, die in Serie und mit denselben technischen Eigenschaften hergestellt werden und für die dieselben angegebenen Geräuschemissionswerte gelten) betrachtet. Die Emission dieser Maschinenlosen kann über die Summe von arithmetischem Mittelwert und der Messunsicherheit angegeben werden. Da hier nur Maschinenlose betrachtet werden, wird dieser Ansatz nicht weiter verfolgt.

Das schalltechnische Niveau einer Familie von Maschinen (Maschinen oder Geräte ähnlicher Bauart, die zur Erfüllung derselben Aufgaben vorgesehen sind), eines Typs, einer Gruppe oder einer Untergruppe von Maschinen oder Geräten auf der Basis von Geräuschemissionsdaten kann basierend auf der EN ISO 11689 [22] ermittelt werden.

Dabei sind folgende Schritte sinngemäß sicherzustellen:

- Die Untersuchung muss, basierend auf einem genormten Geräuschemissionsmessverfahren, durchgeführt werden:
Für die vorliegende Untersuchung werden die Messverfahren durch die EN ISO 3095 und die TSI vorgegeben.
- Es müssen Geräuschemissionsdaten und die entsprechende Maschinenkenngrößen erhoben werden:
Alle relevanten Daten wurden erhoben. Die Datenerhebung ist im vorliegenden Bericht in Abschnitt 7 beschrieben.

- Die Analyse der erhobenen Daten und die Verwendung nur derjenigen davon, die nach einem bewährten Geräuschemissionsmessverfahren gewonnen wurden:

Daten, bei denen die Erhebung nach einem TSI/EN ISO 3095 nicht sichergestellt bzw. gegeben ist, wurden verworfen. Die Datenanalyse ist im vorliegenden Bericht in Abschnitt 7 beschrieben.

- Die Feststellung des von den erhobenen Daten abgedeckten Marktanteils bei der Gruppe von Maschinen oder Geräten und die Sicherstellung, dass die Daten repräsentativ sind:

Hiervon kann ausgegangen werden, wenn wenigstens 50 % der Hersteller und 50 % der verkauften Maschinentypen innerhalb einer Gruppe erfasst sind:

Die Anzahl der TSI-konformen Zulassungen ist unbekannt. In diesem Vorhaben konnten jedoch Daten von mehr als 50 % der aktiven Benannten Stellen, darunter zwei mit sehr vielen Datensätzen sowie zusätzlich Daten von den wesentlichen deutschen Herstellern, Daten von Messinstituten und eigene Daten erhoben werden. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Daten repräsentativ sind.

- Die Kennzeichnung der entsprechenden Maschinenkenngröße(n) mit der/denen die Geräuschemission korreliert ist:

Die Maschinenkenngrößen sind durch die TSI vorgegeben, wie z. B. die Leistungsklasse beim Anfahren von Dieselloks. Bei den meisten Emissionskenngrößen erfolgt nach TSI keine Zuordnung zu einer Maschinenkenngröße.

Erforderlichenfalls werden Maschinenkenngrößen vorgeschlagen.

- Die Erstellung der Geräuschemissionsgraphen, die Ermittlung des Ist-Zustandes der Geräuschemissionen und soweit nötig, die Bestimmung der Teilbereiche für den Wert der Maschinenkenngröße:

Die Datendarstellung erfolgt in Abschnitt 9.

- Festlegung der Summenhäufigkeiten zur Festlegung des „niedrigen schalltechnischen Niveaus“ L_1 (Maschinen mit hoher Geräuschemission) und des hohen schalltechnischen Niveaus L_2 (Maschinen mit geringer Geräuschemission). L_1 wird in der Regel so gewählt, dass der Wert von 5 % – 30 % der Maschinen überschritten wird. L_2 wird derart gewählt, dass dieser von 10 % – 30 % der Maschinen eingehalten wird.

In diesem Bericht wird L_2 zur Ermittlung der mittelfristig erreichbaren Schallemissionen verwendet. Zur Bestimmung des Grenzwertes wird die Messunsicherheit addiert. Daher wird L_2 zu 10 % gewählt.

Es werden folgende Begriffe festgelegt:

- Maschinen mit hoher Geräuschemission (niedriges schalltechnisches Niveau): L_1 ist der größte ganzzahlige Wert, der von den lautesten 17,5 % der erfassten Schienenfahrzeuge erreicht oder überschritten wird.

- Maschinen mit geringer Geräuschemission (hohes schalltechnisches Niveau): L_2 ist der kleinste ganzzahlige Wert, der von den leisesten 10 % der erfassten Schienenfahrzeuge erreicht oder unterschritten wird.

Die Auswertung erfolgt in Abschnitt 9.

Der Stand der Technik kann, basierend auf ISO 11689 [22] sowie DIN EN ISO 12100 [21] gemäß [146] und [148] wie folgt festgelegt werden:

Eine Maschine entspricht dann dem Stand der Technik, wenn ihr Geräuschemissionswert kleiner ist als 50 % – 75 % der anderen Maschinen dieser Gruppe.

Es werden zwei Werte für den Stand der Technik definiert:

- Moderater Stand der Technik:
Median der Geräuschemissionsdaten.
- Ambitionierter Stand der Technik:
Unteres Quartil der Geräuschemissionsdaten.

Mit dieser Methodik werden Schallemissionen ermittelt, die dem Stand der Technik entspricht.

Darauf aufbauend werden Grenzwerte ermittelt. Es werden zwei Stufen von Grenzwerten festgelegt:

- Eine erste Stufe von Grenzwerten, welche die Schienenfahrzeuge sofort erreichen können. Die erste Stufe orientiert sich am ambitionierten Stand der Technik.
- Eine zweite Stufe von Grenzwerten, welche bereits jetzt verbindlich zu vereinbaren ist. Die zweite Stufe orientiert sich an einem anspruchsvollerem Niveau (hohes schalltechnisches Niveau L_2). Die Erreichung dieses Standes ist jetzt bereits möglich, da dieser anhand von Bestandsfahrzeugen festgelegt wird.

Bei der Festlegung von Grenzwerten ist zu beachten, dass die Messergebnisse neben der Schallemission des Schienenfahrzeugs von zahlreichen Faktoren abhängen. Die Messergebnisse eines Schienenfahrzeugs streuen über einem Bereich. Die Größe dieses Bereiches um den Mittelwert x_i herum wird durch die Messunsicherheit U beschrieben.

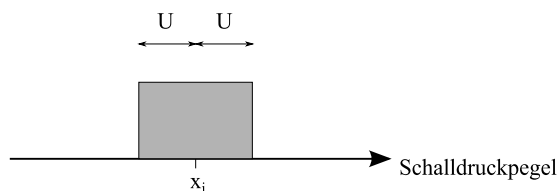


Abbildung 8. Messunsicherheit.

Die Messunsicherheit kann dazu führen, dass ein konformes Fahrzeug die Zulassung sowohl bestehen wie auch bei der Zulassung durchfallen kann.

Soll sichergestellt werden, dass ein konformes Fahrzeug (Schallemmission kleiner als der Grenzwert) bei einer Messung den Grenzwert in jedem Fall einhält, so ist der Grenzwert um die Messunsicherheit zu erhöhen. Dies bedingt dann auch, dass Fahrzeuge, deren Schallemmission den Grenzwert übersteigt, die Prüfung bestehen können.

Soll andererseits sichergestellt werden, dass Fahrzeuge deren Schallemmission den Grenzwert übersteigt in jedem Fall die Zulassung nicht erhalten, so ist der Grenzwert um die Messunsicherheit zu reduzieren. Damit können ggf. Fahrzeuge, deren Schallemmission unter dem Grenzwert liegt, die Zulassung nicht bekommen.

Im letzteren Fall ergibt sich ein Problem, sobald alle Schienenfahrzeuge einen einheitlichen Stand der Technik erreicht haben, streuen die Messwerte nur noch aufgrund der Messunsicherheit. Wird der Grenzwert dann aus der Differenz: Median - Messunsicherheit festgelegt, so scheitern praktisch alle Fahrzeuge an der Zulassung.

In Anlehnung an die Tradition der TSI wird der erste Weg verfolgt. Der Grenzwert wird aus der Summe von: Wert des Stands der Technik + Messunsicherheit ermittelt.

Es werden zwei Grenzwerte definiert:

- Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert: Ambitionierter Stand der Technik+ Messunsicherheit. Der Grenzwert darf jedoch maximal das Niveau von Fahrzeugen mit hoher Geräuschemission betragen (Obergrenze L_1).
- Mittelfristig anwendbarer Grenzwert: Hohes schalltechnisches Niveau L_2 + Messunsicherheit.

8.3 Messunsicherheit, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit bahnakustischer Messungen, Gleiseinfluss

8.3.1 Vorgehensweise zur Bestimmung der Messunsicherheit [144]

Bei Abnahmemessungen eines Schienenfahrzeugs nach TSI wird der Schalldruckpegel eines Schienenfahrzeugs bei verschiedenen Betriebszuständen und unter definierten Messbedingungen bestimmt. Das Messergebnis wird durch einen Einzahlwert z. B. $L_{pAeq,T} = 65$ dB angegeben.

Das Messergebnis hängt neben der Schallemmission des Schienenfahrzeugs von zahlreichen Einflussfaktoren ab. Der wichtigste Einflussfaktor für die Vorbeifahrtmessung ist der Einfluss der Schienenrauheit und der Abklingrate (Gleiseinfluss), der darin begründet liegt, dass für beide Parameter nur Mindestanforderung (maximal zulässige Schienenrauheit und minimale Abklingrate), jedoch keine maximalen Anforderungen (minimale Schienenrauheit und maximal zulässige Abklingrate) existieren. Auf einem Gleis mit sehr geringer Schienenrauheit und sehr hoher Abklingrate können kleinere Vorbeifahrtpegel gemessen werden als auf einem Gleis, das die TSI-Anforderungen gerade einhält. Aber auch weitere Einflussfaktoren, welche in den z. B. in den Messgeräten begründet sein können, beeinflussen das Ergebnis.

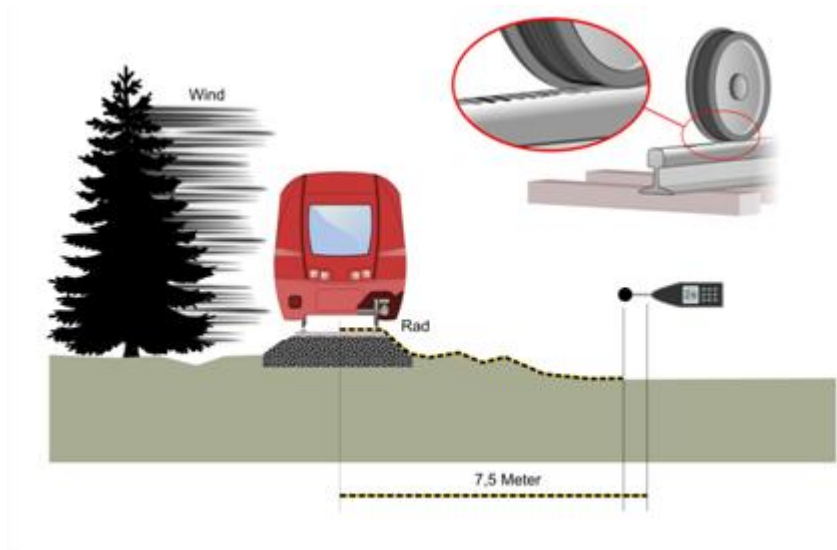


Abbildung 9. Einflussgrößen auf die Messgenauigkeit.

Die Messabweichungen beeinflussen ein einzelnes Messergebnis, in den statistischen Kenngrößen des Datensatzes, wie z. B. Median mitteln diese sich heraus.

Die (erweiterte) Messunsicherheit wird durch Multiplikation der kombinierten Standardunsicherheit $u_c(y)$ mit einem Erweiterungsfaktor k ermittelt.

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (8)$$

Es wird ein Vertrauensniveau von 95 % angenommen. Bei einem einseitigen Test wird dies durch Multiplikation der Standardabweichung mit einem Erweiterungsfaktor k von 1,7 erreicht. Dies bedeutet, dass nur ca. 5 % der Werte um mehr als $1,7 \cdot$ Standardabweichung $u(x_i)$ über dem Mittelwert liegen. 95 % der Messwerte liegen im Bereich darunter.

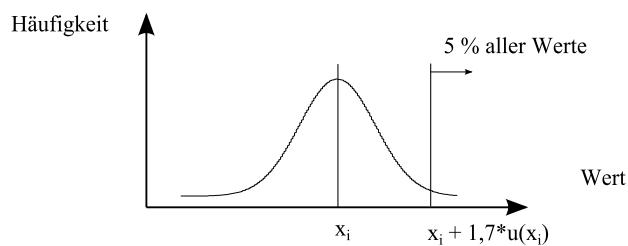


Abbildung 10. Standardnormalverteilung und 95 % Vertrauensintervall bei einem einseitigen Test.

8.3.2 Gleiseinfluss

Abschätzungen der Messgenauigkeit sind in [144] enthalten. Der Gleiseinfluss wurde dabei wie folgt ermittelt:

Einfluss und Streuung der Schallemission infolge unterschiedlicher Abklingraten wurden aus einer von Müller-BBM durchgeführten Messung ermittelt. Hierzu wurden Messungen an einem Gleis, welches die Anforderungen der TSI an die Abklingrate erfüllt, durchgeführt. Anschließend wurden Schienenstegdämpfer eingebaut. Die Abklingrate lag nach Einbau der Maßnahme deutlich über der Grenzkurve nach TSI-Lärm.

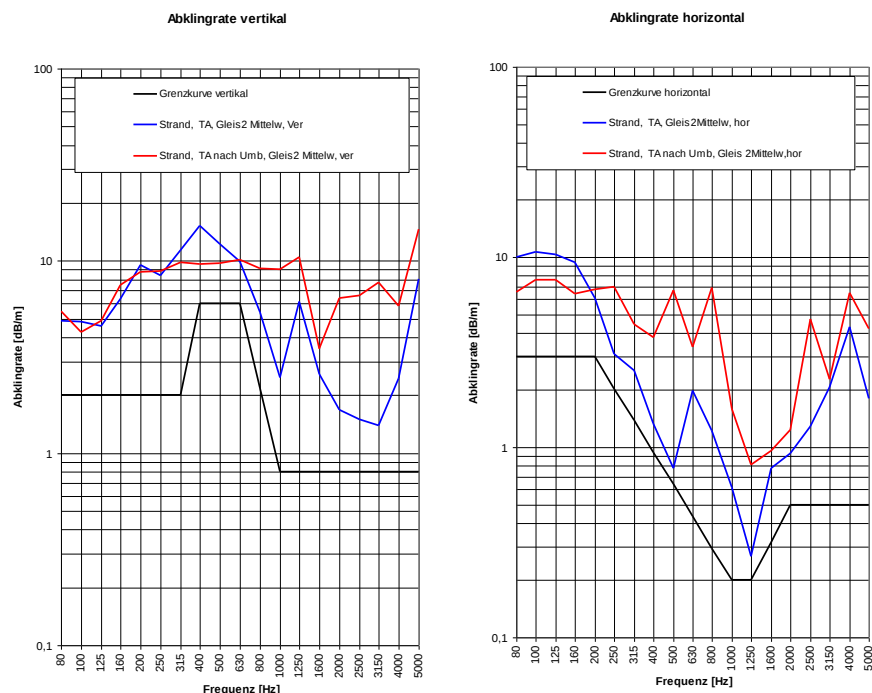


Abbildung 11. Vergleich der Abklingraten am vor und nach Einbau der Schienenstegdämpfer in vertikaler und horizontaler Messrichtung.

Daraufhin wurden erneut Schallmessungen durchgeführt. Die Differenz zwischen beiden Messungen wurde gebildet. Es wurde eine Korrektur vorgenommen, die den Einfluss von lauterem/leiseren Zügen zwischen erster und zweiter Messung korrigiert. Die Differenz der Schallemission ergab für alle Zugtypen in etwa den gleichen Wert von 1,4 dB. Das Streuintervall wurde auf Basis der Messergebnisse zu 1,4 dB abgeschätzt. Die Standardabweichung wurde unter Annahme einer Rechteckverteilung ermittelt und beträgt 0,4 dB.

Der Einfluss der Schienenrauheit unterschiedlicher Abnahmestrecken wurde rechnerisch abgeschätzt. Basis für die Untersuchungen sind Daten aus akustischen Abnahmemessungen, bei denen für ein Schienenfahrzeug die Vorbeifahrtpegel, die Radrauheit und die Schienenrauheit gemessen wurden.

Der Schalldruckpegel $L_{pAeq,Tp,V}$ des Schienenfahrzeugs bei Vorbeifahrtmessung auf einer anderen Abnahmestrecke (Vergleichsstrecke) wurde über den in Abbildung 12 dargestellten Zusammenhang aus dem Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq,Tp,T}$, der gemessenen Radrauheit des Fahrzeugs $L_{r,R}$, den Rauheiten der Abnahmestrecke $L_{r,T}$ und der Vergleichsstrecke $L_{r,V}$ berechnet. Es wurde der Vorbeifahrtpegel auf 12 Abnahmestrecken, deren Schienenrauheit von Müller-BBM gemessen wurde, berechnet.

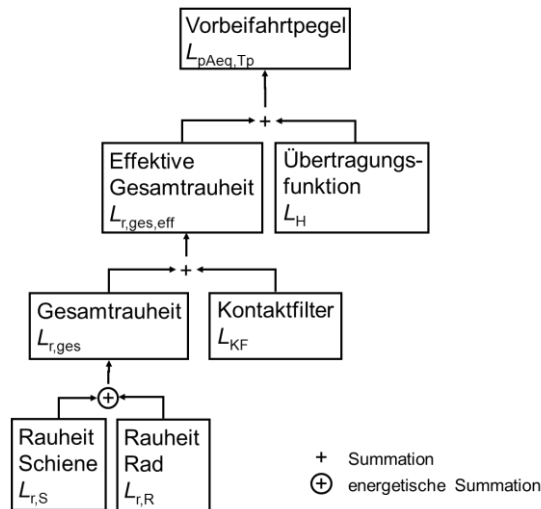


Abbildung 12. Algorithmus zur Berechnung der Schallemission von Schienenfahrzeugen bei bekanntem Vorbeifahrtpegel und bekannter Radrauheit auf einem anderen Gleis.

$$\begin{aligned}
 L_{pAeq,Tp,V} &= L_{pAeq,Tp,T} - L_{r,ges,R+T} + L_{r,ges,R+V} = \\
 &= L_{pAeq,Tp,T} - 10 \lg \left(10^{L_{r,R}/10} + 10^{L_{r,T}/10} \right) + 10 \lg \left(10^{L_{r,R}/10} + 10^{L_{r,V}/10} \right) \quad (9)
 \end{aligned}$$

- $L_{pAeq,Tp,T}$ Gemessener Vorbeifahrtpegel des Abnahmefahrzeugs auf der Teststrecke (TSI-Grenzkurve der Schienenrauheit eingehalten)
- $L_{r,R}$ Gemessener Radrauheitspegel
- $L_{r,T}$ Gemessener Schienenrauheitspegel der Abnahmestrecke
- $L_{r,V}$ Gemessener Schienenrauheitspegel einer anderen realen Abnahmestrecke
- $L_{pAeq,Tp,V}$ Rechnerisch ermittelter Vorbeifahrtpegel des Abnahmefahrzeugs auf einer anderen realen Abnahmestrecke (Vergleichsstrecke) (TSI-Grenzkurve der Schienenrauheit eingehalten)
- $L_{r,ges,R+T}$ Aus direkten Rauheitsmessungen der Räder des Abnahmefahrzeugs und der Schiene der Teststrecke berechnete kombinierte Gesamtrauheit (energetische Summe)
- $L_{r,ges,R+V}$ Aus direkten Rauheitsmessungen der Räder des Abnahmefahrzeugs und der Schiene der einer Versuchsstrecke berechnete kombinierte Gesamtrauheit (energetische Summe)

Die Berechnung erfolgte in Terzbändern, die Umrechnung von Wellenlängen zu Frequenzen erfolgte über Vorbeifahrtgeschwindigkeiten. Für jede Rauheitsvariation wurde der Einfluss auf das Vorbeifahrtgeräusch in allen Terzbändern bestimmt. Aus dem spektralen Verlauf wurde der Gesamtpegel ermittelt. Insgesamt ergeben sich für jeden Datensatz somit 13 Vorbeifahrtpegel von der Originalstrecke und den 12 Vergleichsstrecken. Von den rechnerisch ermittelten Schalldruckpegeln wurde die Standardabweichung bestimmt.

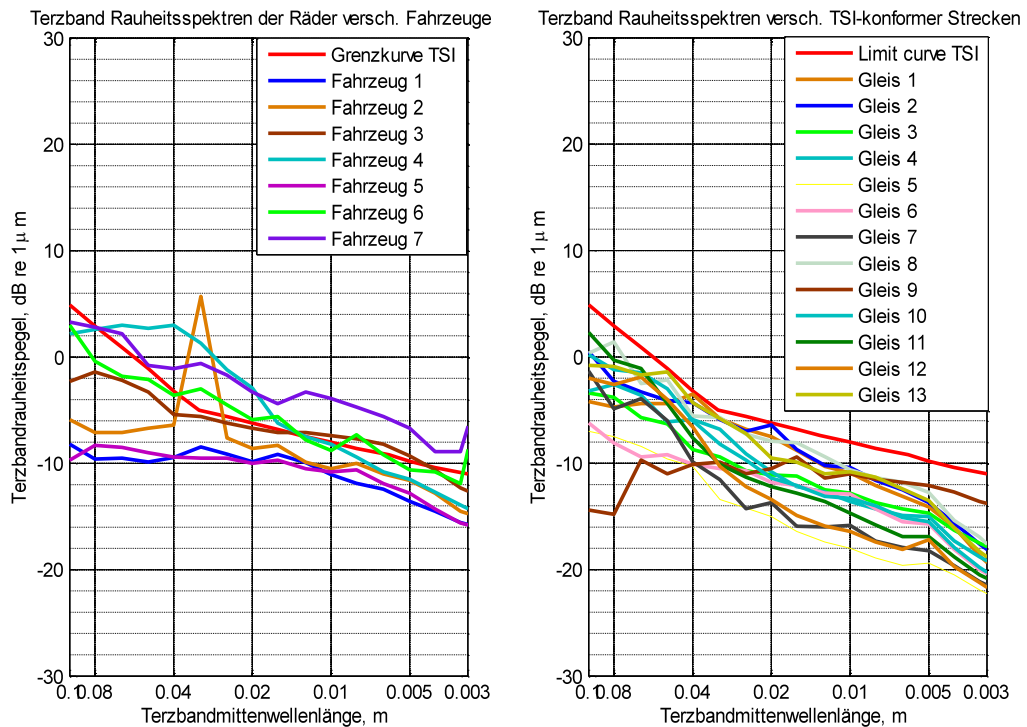


Abbildung 13. Untersuchte Rad- und Schienenrauheitsspektren.

Die Berechnung ergab, dass die Streuung der Vorbeifahrtpegel in starkem Maß von der Radrauheit abhängig ist. Für gute Räder mit Terzspektren der Rauheit unterhalb der TSI-Grenzkurve ergeben sich Standardabweichungen von ca. 1,0 dB. Für schlechte Räder, welche die Grenzkurve der TSI deutlich überschreiten, ist der Einfluss der Schienenrauheit auf die kombinierte Rauheit geringer. Hier ergeben sich Standardabweichungen von 0,3 dB.

Die mittlere Standardabweichung aller untersuchten Datensätze betrug 0,7 dB.

8.3.3 Weitere Einflussgrößen auf die Messgenauigkeit

Weitere Einflüsse auf die Messgenauigkeit sind

- Schallpegelmesser, Kalibrator,
- Messverfahren,
- Streuungen der Schallemission innerhalb einer Serie von Schienenfahrzeugen,
- dem Messobjekt zugeordnete Eingangsgrößen.

Tabelle 20. Einflussgrößen und Standardabweichung bei Fahrt- und Standmessung

Einflussgröße	Standardabweichung Fahrtmessung	Standardabweichung Standmessung
Messgeräte	0,82	0,82
Fahrzeug	0,3	0,3
Messverfahren	0,44	0,44
Gleis	0,81	-

8.3.4 Messunsicherheit

Insgesamt ergibt sich für das Vorbeifahrtgeräusch eine Standardabweichung von 1,3 dB, für das Standgeräusch eine Standardabweichung von 1,0 dB.

Mit dem Erweiterungsfaktor von 1,7 ergibt sich für das Standgeräusch eine erweiterte Unsicherheit von 2,2, für das Vorbeifahrtgeräusch eine erweiterte Messunsicherheit von 1,7.

Gerundet ergibt sich für beide Betriebszustände eine erweiterte Unsicherheit von 2 dB. Diese wird auch für das Anfahren angesetzt.

8.4 Ermittlung von Grenzwertvorschlägen

In einem ersten Schritt wird zunächst der Stand der Technik ermittelt. Dazu wird zusammenfassend folgendes Vorgehen angewandt:

- Erhebung von Schallemissionskenngrößen von Schienenfahrzeugen nach TSI-Lärm.
- Aussortieren von Daten, bei denen eine konforme Erhebung nach TSI-Lärm nicht sichergestellt werden kann.
- Aussortieren von Dubletten.
- Erstellung einer Datenbank mit den Kategorisierungen nach TSI-Lärm.
 - Bestimmung der Emissionswerte, die von 50 % (Median) bzw. 25 % (unteres Quartil) der Schienenfahrzeuge der gleichen Kategorie unterschritten werden.
 - Moderater Stand der Technik: Median der Geräuschemissionsdaten.
 - Ambitionierter Stand der Technik: Unteres Quartil der Geräuschemissionsdaten.
 - Bestimmung des schalltechnischen Niveaus von Maschinen mit geringer Geräuschemission L_2 .

Die Grenzwerte werden auf Basis des Standes der Technik ermittelt.

Die Erfahrung mit der aktuellen TSI zeigt, dass trotz einer vorgesehenen Reduktion der Geräuschgrenzwerte keine signifikanten Schallreduktionen der Schienenfahrzeuge realisiert werden, obwohl dies technisch möglich wäre. Es erscheint daher unumgänglich, eine zweite Stufe der Schallreduktion in der jetzigen Revision verbindlich festzuschreiben.

Wir schlagen daher zweistufige Grenzwerte vor. Beide Grenzwerte sollten in der aktuellen Revision verbindlich vereinbart werden.

Der kurzfristig zu realisierenden Grenzwert (Stufe 1) orientiert sich am Stand der Technik, der mittelfristige Grenzwert (Stufe 2) am hohen schalltechnischen Niveau. Um Zulassung von konformen Fahrzeugen sicherzustellen wird der Stand der Technik um die Messunsicherheit erhöht.

Es werden zwei Grenzwerte definiert:

- Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert: Ambitionierter Stand der Technik + Messunsicherheit. Der Grenzwert darf jedoch maximal das Niveau von Fahrzeugen mit hoher Geräuschemission betragen (Obergrenze L_1).
- Mittelfristig anwendbarer Grenzwert: Hohes schalltechnisches Niveau L_2 + Messunsicherheit.

9 Ergebnisse und Bewertung der Datenbasis (Ist-Zustand) und Ermittlung des Standes der Technik

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Datensammlung als Häufigkeitsverteilung (Histogramm) graphisch dargestellt. In den Histogrammen sind die absoluten Häufigkeiten der Fahrzeuge dargestellt, die bei der Abnahme nach TSI-Lärm einen bestimmten Schalldruckpegel erreicht haben. Die Angabe erfolgt getrennt für die Betriebszustände

- Stand
- Anfahrt
- Vorbeifahrt

jeweils für die verschiedenen Schienenfahrzeugkategorien

- Diesellokomotiven
- Elektrolokomotiven
- Dieseltriebzüge
- Elektrotriebzüge
- Reisezugwagen
- Güterwagen

und ggf. Unterkategorien.

Weiter werden folgende statistische Informationen angegeben:

- Arithmetischer Mittelwert
- Standardabweichung
- Kleinster Schalldruckpegel (Minimum)
- Größter Schalldruckpegel (Maximum)
- Streubereich (Maximum – Minimum)
- Anzahl der zugrundeliegenden Datensätze
- Mittelwert der leisesten 33 %
- Unteres Quartil¹⁵
- Oberes Quartil

¹⁵ Zur Berechnung des Quartils siehe Abschnitt 1.3.

Für alle Betriebszustände/Fahrzeugkategorien werden – soweit möglich – die Kenngrößen

- Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5 \%$,
- der moderate Stand der Technik,
- der ambitionierte Stand der Technik und
- Maschinen mit geringer Geräuschemission L_2 bei $x = 10 \%$

angegeben und bewertet.

Der Stand der Technik wird hinsichtlich seiner Erreichbarkeit und den damit verbundenen Kosten bewertet.

Darauf aufbauend werden Vorschläge für Grenzwerte entwickelt. Die mittelfristigen Grenzwerte sollten in der aktuellen Revision festgeschrieben werden, um die Entwicklung bereits jetzt anzustoßen.

Alle Werte beziehen sich auf die in der TSI-Lärm:2011 [10] genannten Mess- und Betriebsbedingungen.

9.1 Standgeräusch

9.1.1 Diesellokomotiven

Für Diesellokomotiven ergaben sich durch die Fortschreibung der TSI-Lärm keine wesentlichen Änderungen der Mess- und Betriebsbedingungen. In der TSI-Lärm:2011 [10] wird, vergleichend zur TSI-Lärm:2006 [7], lediglich gefordert, dass die Kühlsysteme der Führerstandsklimaanlage unter Minimallast arbeiten. Der Einfluss ist im Vergleich zu den anderen Aggregaten wie Dieselmotor oder Motorlüftung gering.

9.1.1.1 Ergebnis der Datenerhebung, Bewertung und Geräuschminderungspotential

Die Ergebnisse für das Standgeräusch von Diesellokomotiven sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

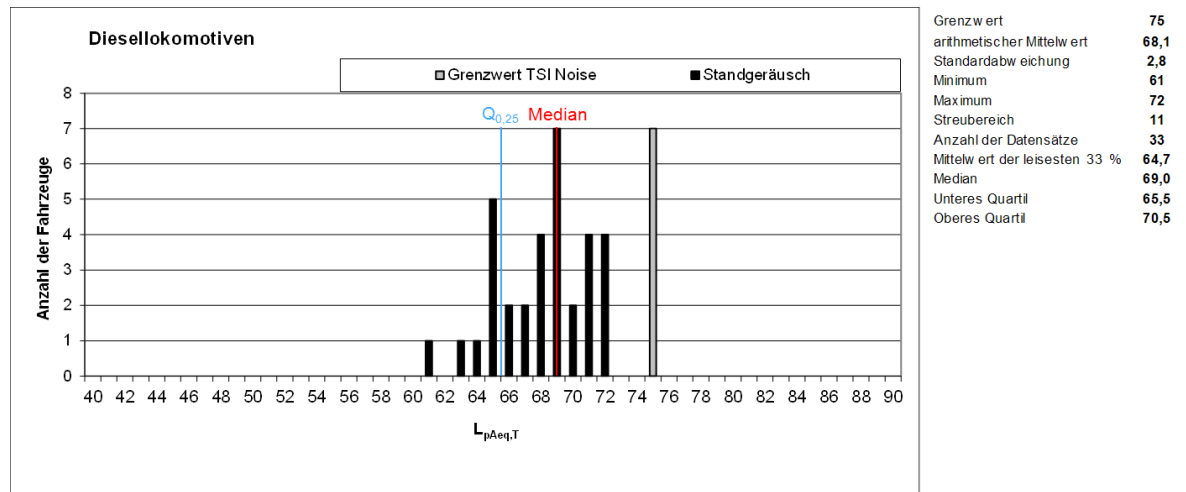


Abbildung 14. Ergebnisse der Datenerhebung für das Standgeräusch von Diesellokomotiven, Histogramm und statistische Parameter.

Sämtliche Fahrzeuge liegen deutlich unter dem Grenzwert.

Das lauteste erfasste Fahrzeug liegt 3 dB unter dem Grenzwert von $L_{pAeq,T} = 75$ dB, das leiseste Fahrzeug 14 dB. Der Median liegt 6 dB unter dem Grenzwert.

Die Standardabweichung der Daten beträgt 2,8 dB und liegt damit deutlich über der Standardunsicherheit von Standmessungen von 1,0 dB. Dies bedeutet, dass der wesentliche Einfluss auf die Streuung der Daten auf die Technologie zurückzuführen ist.

Es konnte kein wesentlicher Einfluss einer Bauart auf die Schallemission festgestellt werden.

Die ermittelten Werte für den Stand der Technik sowie das leiseste Fahrzeug für das Standgeräusch von Diesellokomotiven sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 21. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Standgeräusch von Diesellokomotiven.

Kennwert	$L_{pAeq,T}$	Geräuschminderungspotential
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5$ %	71 dB	4 dB
Moderater Stand der Technik (Median)	69 dB	6 dB
Ambitionierter Stand der Technik (unteres Quartil)	66 dB	9 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10$ %	65 dB	10 dB

9.1.1.2 Vorschläge für Grenzwerte

Standgeräusche sind mit relativ einfachen Mittel wie z. B.

- drehzahlgeregelten Lüftern,
- Kapselungen oder
- Schalldämpfern

gut beeinflussbar. Die entsprechenden Techniken sind am Markt vorhanden, erprobt und kommen zum Einsatz wie die möglichen Lärminderungsmaßnahmen und die leisen realisierten Fahrzeuge zeigen.

Für das Standgeräusch von Diesellokomotiven schlagen wir folgende Grenzwerte vor:

Tabelle 22. Grenzwerte für das Standgeräusch von Diesellokomotiven.

Grenzwerte	$L_{pAeq,T}$	Geräuschminderung
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert (Ambitionierter Stand der Technik + 2 dB Messgenauigkeit)	68 dB	7 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert (Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10\%$ + 2 dB Messgenauigkeit)	67 dB	8 dB

Bei Realisierung des kurzfristig anwendbaren Grenzwertes müssen bei ca. 50 % der Diesellokomotiven geringe zusätzliche akustische Maßnahmen in der Größe von 1 - 4 dB ergriffen werden. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Realisierung des kurzfristigen Grenzwertes keine signifikanten Zusatzkosten für den Bahnsektor bedeutet. Gleiches gilt für den mittelfristigen Grenzwert, der 1 dB unter dem kurzfristigen Grenzwert liegt.

Die angegebenen Grenzwerte können daher als realisierbar angesehen werden.

9.1.2 Elektrolokomotiven

Für Elektrolokomotiven ergab sich mit Fortschreibung der TSI-Lärm: 2011 [10], vergleichend zur TSI-Lärm: 2006 [7], die gleichen Änderungen wie bei Diesellokomotiven (Kühlsysteme der Führerstandsklimaanlage arbeiten unter Minimallast). Der Einfluss ist im Vergleich zu den anderen Aggregaten wie Motorlüftung gering.

9.1.2.1 Ergebnis der Datenerhebung und Bewertung

Die Ergebnisse für das Standgeräusch von Elektrolokomotiven sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

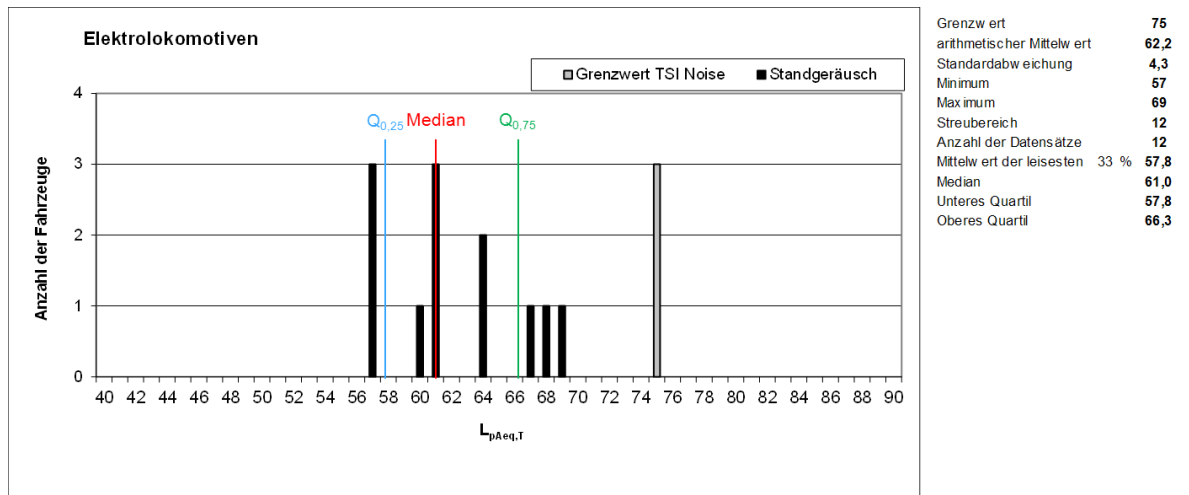


Abbildung 15. Ergebnisse der Datenerhebung für das Standgeräusch von Elektrolokomotiven, Histogramm und statistische Parameter.

Sämtliche Fahrzeuge liegen deutlich unter dem Grenzwert.

Das lauteste erfasste Fahrzeug liegt bei 69 dB, also 6 dB unter dem Grenzwert von $L_{pAeq,T} = 75$ dB, das leiseste Fahrzeug 18 dB. Der Median liegt 14 dB unter dem Grenzwert. Ein wesentlicher Einfluss der Bauart auf die Schallemission konnte nicht festgestellt werden.

Die Standardabweichung der Daten beträgt 4,3 dB und liegt damit deutlich über der Standardabweichung beim Standgeräusch von Elektrolokomotiven und der Standardunsicherheit von Standmessungen von 1,0 dB. Als Ursachen kommt maßgeblich der Technologieeinfluss in Frage.

Aus der Datensammlung ist bekannt, dass bei eingeschalteter Klimaanlage Werte um $L_{pAeq,T} = 64$ dB erreichbar sind. Die Betriebszustände der Lokomotiven mit $L_{pAeq,T} = 57$ dB sind unbekannt.

Die ermittelten Werte für Maschinen mit hoher Geräuschemission sowie für den Stand der Technik für das Standgeräusch von Elektrolokomotiven sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 23. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Standgeräusch von Elektrolokomotiven.

Bewertung	$L_{pAeq,T}$	Geräuschminderungspotential
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5 \%$	ca. 71 dB	4 dB
Moderater Stand der Technik (oberes Quartil)	66 dB	9 dB
Ambitionierter Stand der Technik (Median)	61 dB	14 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$	57 dB	18 dB

9.1.2.2 Vorschläge für Grenzwerte

Standgeräusche von Elektrolokomotiven sind mit vergleichsweise einfachen Mitteln, wie z. B.

- drehzahlgeregelten Lüftern,
- Kapselungen oder
- Schalldämpfen

gut beeinflussbar, die entsprechenden Techniken sind am Markt vorhanden.

Für das Standgeräusch von Elektrolokomotiven schlagen wir folgende Grenzwerte vor:

Tabelle 24. Grenzwerte für das Standgeräusch von Elektrolokomotiven.

Grenzwerte	$L_{pAeq,T}$	Geräuschminderung
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert (Ambitionierter Stand der Technik + 2 dB Messgenauigkeit)	63 dB	12 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert (Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$ + 2 dB Messgenauigkeit)	59 dB	16 dB

Bei Realisierung des kurzfristigen Grenzwertes müssen bei ca. 40 % der Elektrolokomotiven zusätzliche akustische Maßnahmen ergriffen werden. Die Techniken dazu sind auf dem Markt verfügbar. Die Zusatzkosten tragen nicht wesentlich zu den Fahrzeugkosten bei. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Realisierung keine signifikanten Zusatzkosten für den Bahnsektor bedeutet.

Die Realisierung des mittelfristigen Grenzwertes ist auch bei eingeschalteter Klimaanlage bei den Standmessungen mit den vorhandenen Technologien erreichbar. Mit dem vorgesehenen Zeitrahmen bis zur Einführung dieses Grenzwertes, sollte dieser für alle Hersteller erreichbar sein.

9.1.3 Dieseltriebzüge

Mit Einführung der TSI-Lärm:2011 [10] wird gefordert, dass die Kühlsysteme der Klimaanlage unter Minimallast arbeiten. Der Einfluss ist für Dieseltriebzüge im Vergleich zu den anderen Aggregaten wie Dieselmotor oder Motorlüftung gering.

9.1.3.1 Ergebnis der Datenerhebung und Bewertung

Die Ergebnisse für das Standgeräusch von Dieseltriebzügen sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

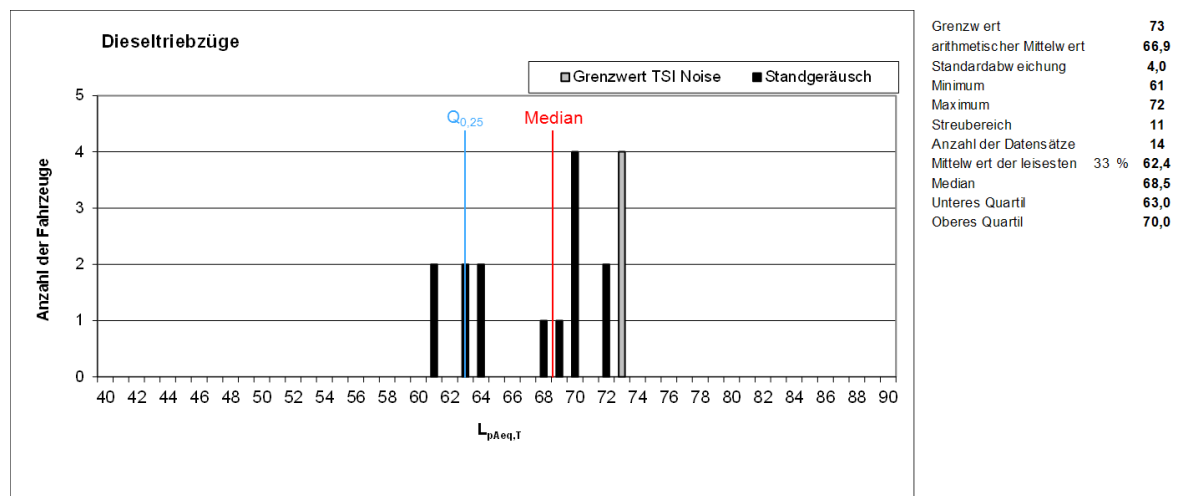


Abbildung 16. Ergebnisse der Datenerhebung für das Standgeräusch von Dieseltriebzügen, Histogramm und statistische Parameter.

Die Kenngrößen der Fahrzeuge liegen näher an dem aktuell gültigen Grenzwert als bei der Kategorie Lokomotive.

Das lauteste erfasste Fahrzeug liegt mit 72 dB knapp unter dem Grenzwert von $L_{pAeq,T} = 73$ dB, das leiseste Fahrzeug bei 61 dB. Der Median liegt 4,5 dB unter dem Grenzwert. Ein wesentlicher Einfluss der Bauart auf die Schallemission konnte nicht festgestellt werden. Die Standardabweichung der Daten ist mit 4,0 dB relativ groß. Als Ursachen kommt im Wesentlichen ein Technologieeinfluss in Frage.

Die ermittelten Kenngrößen für das Standgeräusch von Dieseltriebzügen sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 25. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Standgeräusch von Dieseltriebzügen.

Bewertung	$L_{pAeq,T}$	Geräuschminderungspotential
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5 \%$	70 dB	3 dB
Moderater Stand der Technik (Median)	69 dB	4 dB
Ambitionierter Stand der Technik (unteres Quartil)	63 dB	10 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$	61 dB	12 dB

9.1.3.2 Vorschläge für Grenzwerte

Standgeräusche von Dieseltriebzügen können z. B. mit

- drehzahlgeregelten Lüftern,
- Kapselungen oder
- Schalldämpfern

reduziert werden. Die entsprechenden Techniken sind am Markt vorhanden.

Für das Standgeräusch von Dieseltriebzügen schlagen wir folgende Grenzwerte vor:

Tabelle 26. Grenzwerte für das Standgeräusch von Dieseltriebzügen.

Grenzwerte	$L_{pAeq,T}$	Geräuschminderung
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert (Ambitionierter Stand der Technik + 2 dB Messgenauigkeit)	65 dB	8 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert (Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$ + 2 dB Messgenauigkeit)	63 dB	10 dB

Bei Realisierung des kurzfristigen Standes der Technik müssen nur ca. 60 % der Dieseltriebzüge geringe zusätzliche akustische Maßnahmen ergreifen. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Realisierung des Standes der Technik keine signifikanten Zusatzkosten für den Bahnsektor bedeutet.

Die Realisierung des mittelfristigen Standes der Technik ist auch bei eingeschalteter Klimaanlage bei den Standmessungen mit den vorhandenen Technologien erreichbar, wie die leisen realisierten Fahrzeuge zeigen.

Die angegebenen Lärminderungspotentiale können daher als realisierbar angesehen werden.

9.1.4 Elektrotriebzüge

Aufgrund der vergleichsweise zu den anderen Fahrzeugkategorien geringen Schallemission der Traktionskomponenten spielt die Betriebsart der Klimaanlage im Stand bei ETZ eine besondere Rolle. Mit Einführung der TSI-Lärm:2011 [10] wird gefordert, dass die Kühlsysteme der Klimaanlage unter Minimallast arbeiten. Bei den nach TSI-Lärm:2006 [7] erhobenen Daten können die Kühlsysteme der Klimaanlage jedoch auch ausgeschaltet gewesen sein.

9.1.4.1 Ergebnis der Datenerhebung und Bewertung

Die Ergebnisse für das Standgeräusch von Elektrotriebzügen sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

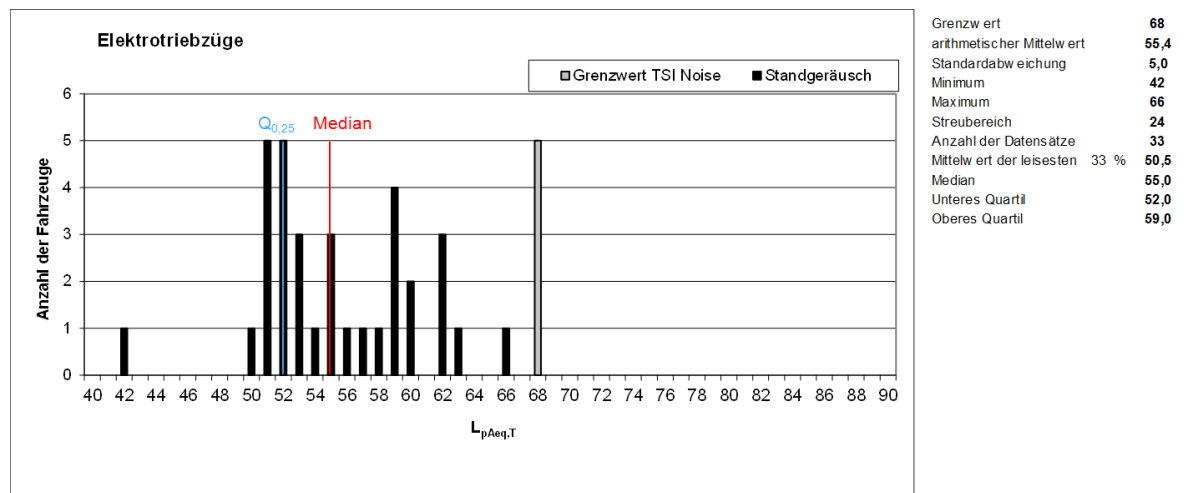


Abbildung 17. Ergebnisse der Datenerhebung für das Standgeräusch von Elektrotriebzügen, Histogramm und statistische Parameter.

Das lauteste erfasste Fahrzeug liegt mit 66 dB um 2 dB unter dem Grenzwert von $L_{pAeq,T} = 68$ dB, das leiseste Fahrzeug 42 dB. Der Median liegt 13 dB unter dem Grenzwert. Die Standardabweichung der Daten ist mit 5,0 dB sehr groß. Ursächlich ist der bis zur TSI-Lärm:2011 [10] mögliche Spielraum bei den Betriebsbedingungen der Klimaanlage.

Bei zahlreichen Datensätzen in der Datenbank ist der Betriebszustand der Klimaanlage bekannt. Bei eingeschalteter Kühlung sind mindestens Werte von $L_{pAeq,T} = 50$ dB erreichbar.

Die ermittelten Kenngrößen für das Standgeräusch von Elektrotriebzügen sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 27. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Standgeräusch von Elektrotriebzügen.

Bewertung	$L_{pAeq,T}$	Geräuschminderungspotential
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5 \%$	60 dB	8 dB
Moderater Stand der Technik (oberes Quartil)	59 dB	9 dB
Ambitionierter Stand der Technik (Median)	55 dB	13 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$	51 dB	4 dB

9.1.4.2 Vorschläge für Grenzwerte

Standgeräusche von ETZ sind mit relativ einfachen Mitteln, wie z. B.

- drehzahlgeregelten Lüfter,
- leise Lüfterblätter,
- Kapselungen oder
- Schalldämpfen

gut beeinflussbar. Die entsprechenden Techniken sind am Markt vorhanden.

Für das Standgeräusch von Elektrotriebzügen schlagen wir folgende Grenzwerte vor:

Tabelle 28. Grenzwerte für das Standgeräusch von Elektrotriebzügen.

Grenzwerte	$L_{pAeq,T}$	Geräuschminderung
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert (Ambitionierter Stand der Technik + 2 dB Messgenauigkeit)	57 dB	11 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert (unteres Quartil + 2 dB Messgenauigkeit)	53 dB	15 dB

Bei Realisierung des kurzfristigen Grenzwertes müssen bei ca. 40 % der Elektrotriebzüge geringe zusätzliche akustische Maßnahmen ergriffen werden. Die Kosten hierfür sind im Vergleich zu den Fahrzeugkosten geringfügig. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Realisierung des Standes der Technik nicht mit signifikanten Zusatzkosten einhergeht.

Die Realisierung des mittelfristigen Standes der Technik ist auch bei eingeschalteter Klimaanlage bei den Standmessungen mit den vorhandenen Technologien erreichbar, wie die leisen realisierten Fahrzeuge zeigen.

Die angegebenen Lärminderungspotentiale können daher als realisierbar angesehen werden.

9.1.5 Reisezugwagen

Da Reisezugwagen über keine Traktionskomponenten verfügen, spielt die Betriebsart der Klimaanlage im Stand bei Reisezugwagen eine entscheidende Rolle. Mit Einführung der TSI-Lärm:2011 [10] wird gefordert, dass die Kühlsysteme der Klimaanlage unter Minimallast arbeiten. Bei den nach TSI-Lärm:2006 [7] erhobenen Daten können die Kühlsysteme der Klimaanlage jedoch auch ausgeschaltet gewesen sein.

9.1.5.1 Ergebnis der Datenerhebung und Bewertung

Die Ergebnisse für das Standgeräusch von Reiszugwagen sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

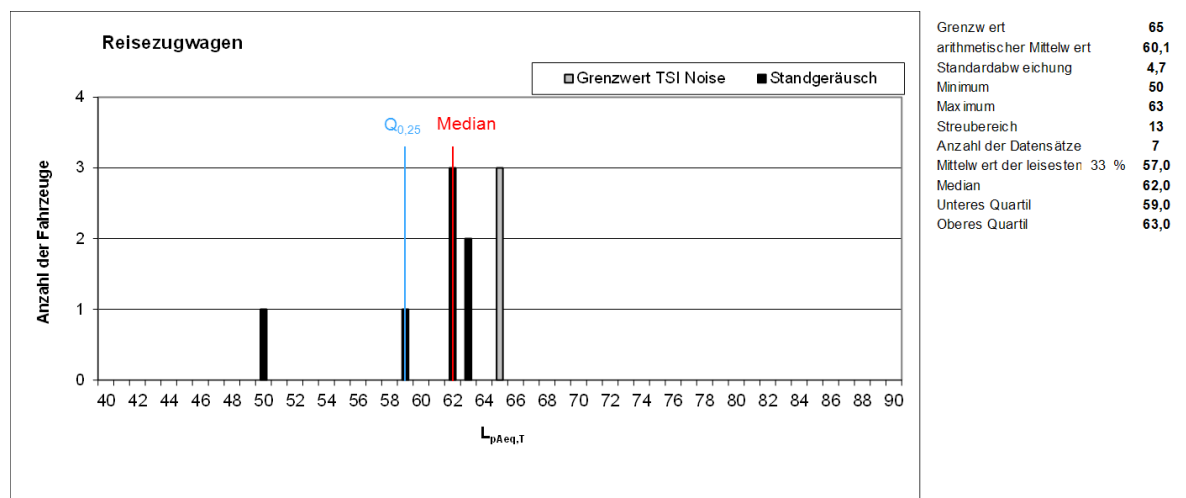


Abbildung 18. Ergebnisse der Datenerhebung für das Standgeräusch von Reiszugwagen, Histogramm und statistische Parameter.

Das lauteste erfasste Fahrzeug liegt mit 63 dB um 2 dB unter dem Grenzwert von $L_{pAeq,T} = 65$ dB, das leiseste Fahrzeug (ohne eingeschaltetem Klimakompressor) 15 dB. Der Median liegt 3 dB unter dem Grenzwert. Die Standardabweichung der Daten ist mit 4,7 dB sehr groß, wobei die Ursachen vor allem in dem möglichen Spielraum der Betriebsbedingungen TSI-Lärm:2011 zu sehen sind.

Tabelle 29. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Standgeräusch von Reisezugwagen.

Bewertung	$L_{pAeq,T}$	Geräuschminderungspotential
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5$ %	ca. 63 dB	2 dB
Moderater Stand der Technik (Median)	62 dB	3 dB
Ambitionierter Stand der Technik (unteres Quartil)	59 dB	6 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10$ %	50 dB	15 dB

9.1.5.2 Vorschläge für Grenzwerte

Wir schlagen vor, die Grenzwerte an die Grenzwerten von ETZ anzugleichen. Reisezugwagen haben im Vergleich zu ETZ keine Traktionskomponenten, die Kühlleistung kann bei Doppelstockwagen dafür größer sein.

Tabelle 30. Grenzwerte für das Standgeräusch von Reisezugwagen.

Grenzwerte	$L_{pAeq,T}$	Geräuschminderung
Kurzfristig anwendbarer Grenzwert	57 dB	8 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert	53 dB	11 dB

Der leiseste erfasste Reisezugwagen hatte unter Vollastbetrieb im Stand (Kühlung aktiv) eine Schallemission von $L_{pAeq,T} = 57$ dB. Der vorgeschlagene kurzfristig anwendbare Grenzwert ist daher bereits aktuell realisierbar.

9.2 Anfahrgeräusch

Für alle Zugkategorien ergeben sich durch die Fortschreibung der TSI-Lärm keine wesentlichen Änderungen der Betriebsbedingungen. Wie bei den Standgeräuschen wird mit der TSI-Lärm:2011 [10] ebenfalls gefordert, dass der Klimakompressor beim Anfahren in Betrieb ist. Der Einfluss der Kühlung, welcher für das Standgeräusch relevant ist, ist für das Anfahren nur noch von untergeordneter Bedeutung. Dies zeigt sich auch darin, dass die Geräuschemissionswerte beim Anfahren für alle Zugkategorien signifikant höher sind als im Stillstand. Die relevantesten Beiträge resultieren aus den Traktionsaggregaten wie Motor und Getriebe sowie bei elektrischen Fahrzeugen zusätzlich aus dem Umrichter. Für lange Schienenfahrzeuge werden nach TSI-Lärm:2011 [10] weitere Messpositionen über die Länge des Zuges gefordert. Es kann davon ausgegangen werden, dass damit das Anfahrgeräusch präziser erfasst werden kann.

9.2.1 Diesellokomotiven

Bei Diesellokomotiven wird zwischen den Funktionsprinzipien der dieselhydraulischen und der dieselelektrischen Lokomotiven unterschieden. Bei den dieselhydraulischen Lokomotiven erfolgt die Kraftübertragung vom Motor zu den Rädern durch ein hydrodynamisches Getriebe, bei den dieselelektrischen Lokomotiven wird mit dem Dieselmotor Strom für einen elektrischen Traktionsmotor erzeugt.

9.2.1.1 Ergebnis der Datenerhebung und Bewertung

Die Ergebnisse für das Anfahrgeräusch von Diesellokomotiven sind in den folgenden Abbildungen dargestellt:

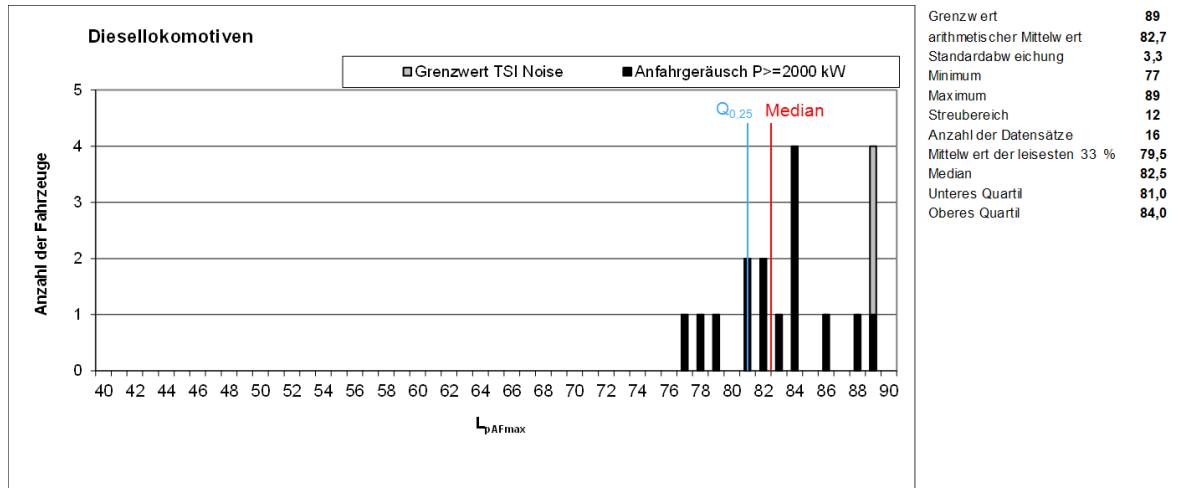


Abbildung 19. Ergebnisse der Datenerhebung für das Anfahrgeräusch von Diesellokomotiven mit $P \geq 2000$ kW, Histogramm und statistische Parameter.

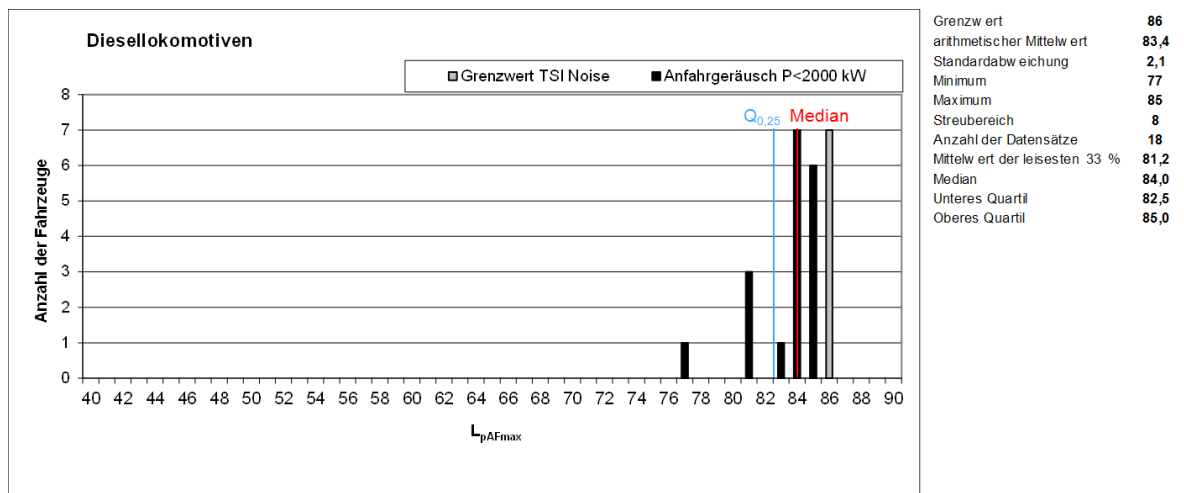


Abbildung 20. Ergebnisse der Datenerhebung für das Anfahrgeräusch von Diesellokomotiven mit $P < 2000$ kW, Histogramm und statistische Parameter.

Die lautesten erfassten Fahrzeuge beider Kategorien erreichen gerade die Grenzwerte. Die leisesten Fahrzeuge liegen 12 bzw. 9 dB unter den Grenzwerten. Die Standardabweichung der Daten beträgt 3,3 bzw. 2,1 dB und liegt damit deutlich über der Standardunsicherheit von Anfahrmessungen von ca. 1,0 dB. Dies bedeutet, dass der wesentliche Einfluss auf die Streuung der Daten auf die Technologie zurückzuführen ist.

Ein Vergleich der statistischen Kennwerte für das Anfahrgeräusch von Diesellokomotiven mit beiden Leistungsklassen ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 31. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Anfahrgeräusch von Diesellokomotiven mit beiden Leistungsklassen.

Kennwert	L_{pAFmax} $P \geq 2000 \text{ kW}$	L_{pAFmax} $P < 2000 \text{ kW}$
Arithmetischer Mittelwert	82,7 dB	83,4 dB
Median	82,5 dB	84 dB
Unteres Quartil	81 dB	82,5 dB
Oberes Quartil	84 dB	85 dB
Leisestes Fahrzeug	77 dB	77 dB

Auffällig ist, dass die Lokomotiven mit der höheren Leistung im statistischen Mittel leiser sind als die Lokomotiven mit der geringeren Leistung. Die Unterschiede in den statistischen Kenngrößen betragen ca. 0,7 – 1,5 dB und sind deutlich geringer als die Streuungen der verschiedenen Fahrzeuge innerhalb der einzelnen Klassen. Sie können daher als geringfügig eingeschätzt werden.

Als problematisch wird auch der Sprung von 3 dB zwischen den Leistungsklassen eingeschätzt. Fahrzeuge mit einer Leistung von 2000 kW dürfen um 3 dB lauter sein, als Fahrzeuge mit einer geringfügig kleineren Leistung.

Deutlichere Unterschiede ergeben sich hingegen beim Anfahren von dieselelektrischen und dieselhydraulischen Fahrzeugen. Dies liegt daran, dass bei hydrodynamisch angetriebenen Fahrzeugen fast mit voller Motordrehzahl angefahren werden muss (bei voller Zugkraft), während das bei dieselelektrischer Leistungsübertragung fast mit Leerlaufdrehzahl möglich ist [150].

Die statistischen Kenngrößen für dieselelektrischen und dieselhydraulischen Fahrzeuge sind in der folgenden Tabelle angegeben. Da nicht alle Fahrzeuge zugeordnet werden konnten, ist die Datenbasis hier allerdings geringer. Die Standardabweichung der Daten bei dieselelektrischen und dieselhydraulischen Fahrzeugen beträgt 1,7 bzw. 1,5 dB.

Tabelle 32. Vergleich der statistischen Kennwerte für das Anfahrgeräusch von dieselelektrischen und dieselhydraulischen Lokomotiven (Datenbasis umfasst beide Leistungsklassen).

Kennwert	dieselelektrische Lokomotiven	dieselhydraulische Lokomotiven
	L_{pAFmax}	L_{pAFmax}
Arithmetischer Mittelwert	80 dB	83 dB
Median	81 dB	83 dB
Unteres Quartil	78 dB	82 dB
Oberes Quartil	81 dB	85 dB

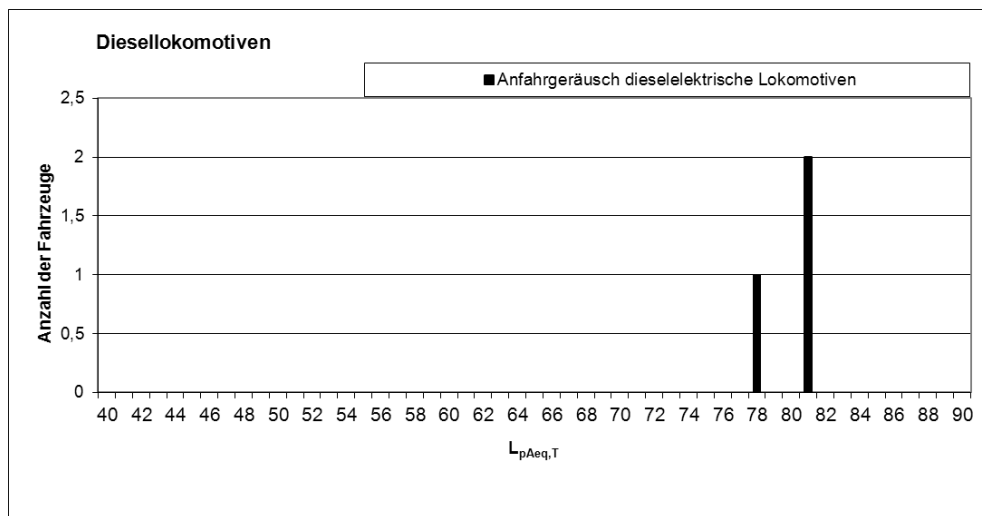


Abbildung 21. Ergebnisse der Datenerhebung für das Anfahrgeräusch von dieselelektrischen Lokomotiven beider Leistungsklassen, Histogramm.

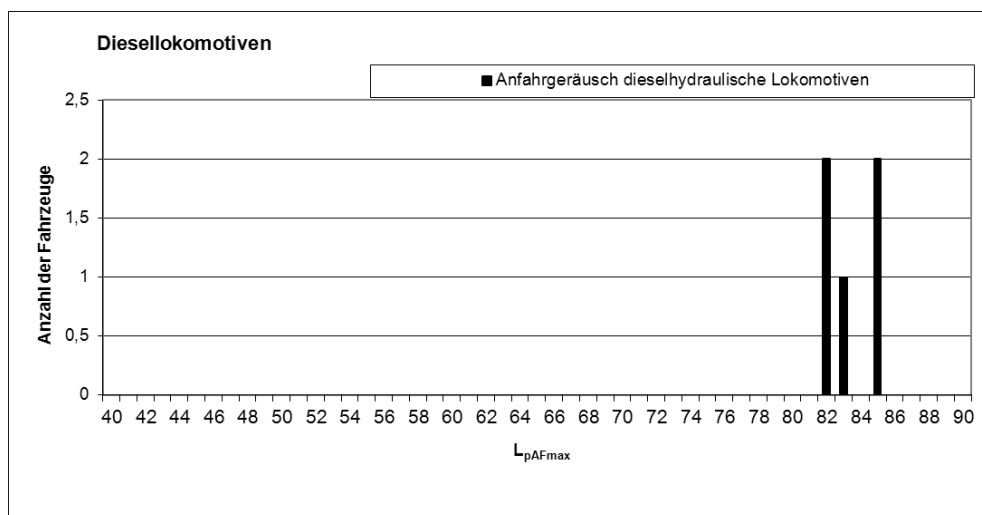


Abbildung 22. Ergebnisse der Datenerhebung für das Anfahrgeräusch von dieselhydraulischen Lokomotiven beider Leistungsklassen, Histogramm.

Die ermittelten Kenngrößen für das Anfahrgeräusch von dieselelektrischen und dieselhydraulischen Lokomotiven sind in den folgenden Tabellen angegeben. Da eine neue Kategorisierung vorgeschlagen wird, kann ein Geräuschminderungspotential nicht benannt werden.

Tabelle 33. Ermittelter Stand der Technik für das Anfahrgeräusch von dieselektrischen und dieselhydraulischen Lokomotiven.

Kennwert	diesel- elektrische Lokomotiven L_{pAFmax}	dieselhydraulische Lokomotiven L_{pAFmax}
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5 \%$	81	85
Moderater Stand der Technik (Median)	81 dB	83 dB
Ambitionierter Stand der Technik (unteres Quartil)	78 dB	82 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$	78	82

9.2.1.2 Vorschläge für Grenzwerte

Anfahrgeräusche sind mit akustischen Maßnahmen wie drehzahlgeregelten Lüftern, Kapselungen, Schalldämpfern beeinflussbar, die entsprechenden Techniken sind am Markt vorhanden (s. Standgeräusche).

Für das Anfahrgeräusch von Diesellokomotiven schlagen wir folgende Grenzwerte vor:

Tabelle 34. Grenzwerte für das Anfahrgeräusch von Diesellokomotiven.

Grenzwert	diesel- elektrische Lokomotiven L_{pAFmax}	dieselhydraulische Lokomotiven L_{pAFmax}
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert (ambitionierter Stand der Technik + 2 dB Messgenauigkeit)	80 dB	84 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert (Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$ + 2 dB Messgenauigkeit)	80 dB	84 dB

Die Realisierung der Grenzwerte ist ebenfalls mit den vorhandenen Technologien erreichbar, wie die möglichen Lärminderungsmaßnahmen und die leisen realisierten Fahrzeuge zeigen.

Bei Realisierung der Grenzwerte müssen nur für wenige Diesellokomotiven zusätzliche akustische Maßnahmen ergriffen werden. Daher kann davon ausgegangen werden, dass deren Realisierung keine signifikanten Zusatzkosten für den Bahnsektor bedeutet.

9.2.2 Elektrolokomotiven

9.2.2.1 Ergebnis der Datenerhebung und Bewertung

Die Ergebnisse für das Anfahrgeräusch von Elektrolokomotiven sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

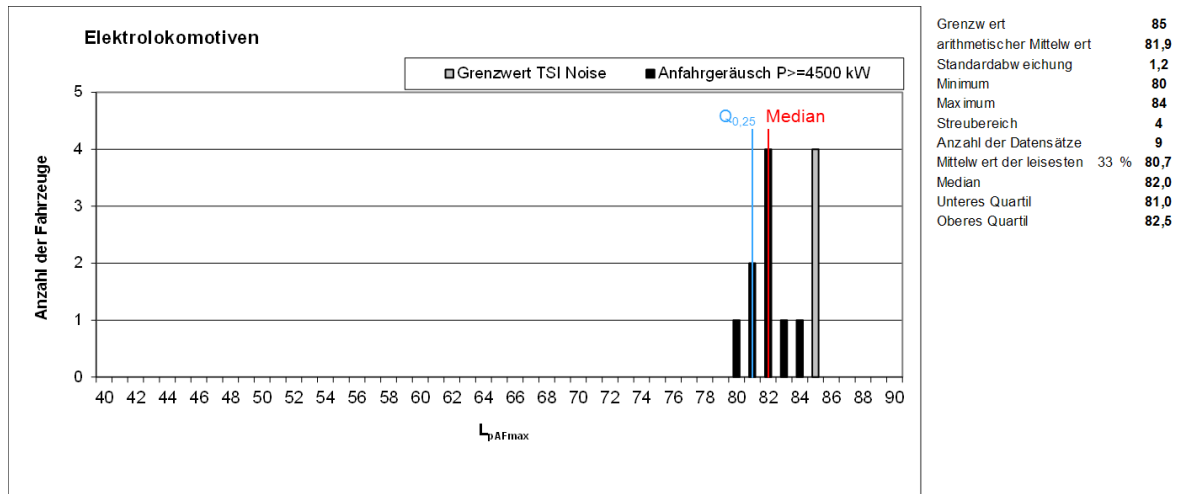


Abbildung 23. Ergebnisse der Datenerhebung für das Anfahrgeräusch von Elektrolokomotiven, Histogramm mit $P \geq 4500$ kW und statistische Parameter.

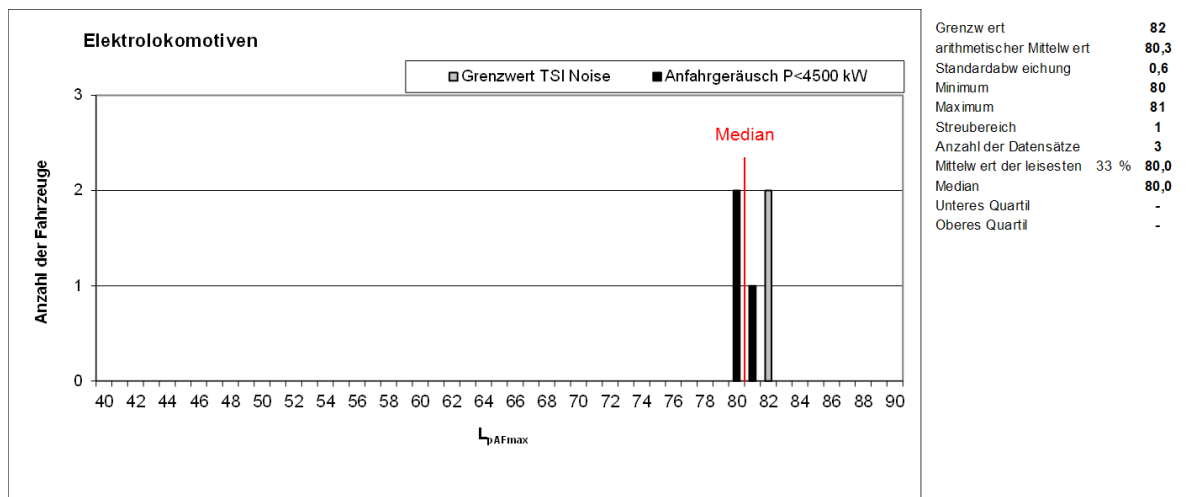


Abbildung 24. Ergebnisse der Datenerhebung für das Anfahrgeräusch von Elektrolokomotiven, Histogramm mit $P < 4500$ kW und statistische Parameter.

Sämtliche Fahrzeuge liegen knapp unter den Grenzwerten.

Ein wesentlicher Einfluss der Bauart auf die Schallemission konnte nicht festgestellt werden.

Die Standardabweichung der Daten beträgt 1,0 bzw. 1,2 dB und liegt im Bereich der Standardunsicherheit von Anfahrmessungen von 1,0 dB. Ein signifikanter Technologieeinfluss ist nicht erkennbar.

Die ermittelten Werte für Maschinen mit hoher Geräuschemission sowie für den Stand der Technik für das Anfahrgeräusch von Elektrolokomotiven sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 35. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Anfahrgeräusch von Elektrolokomotiven mit $P \geq 4500$ kW.

Bewertung	L_{pAFmax}	Geräuschminderungspotential
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5$ %	83 dB	2dB
Moderater Stand der Technik (Median)	82 dB	3 dB
Ambitionierter Stand der Technik (unteres Quartil)	81 dB	4 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10$ %	80 dB	5 dB

Tabelle 36. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Anfahrgeräusch von Elektrolokomotiven mit $P < 4500$ kW.

Bewertung	L_{pAFmax}	Geräuschminderungspotential
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5$ %	81 dB	1 dB
Moderater Stand der Technik (Median)	80 dB	2 dB
Ambitionierter Stand der Technik (unteres Quartil)	ca. 80 dB	2 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10$ %	80 dB	2 dB

9.2.2.2 Vorschläge für Grenzwerte

Die Vorschläge für Grenzwerte sind in den folgenden Tabellen angegeben.

Tabelle 37. Grenzwerte für das Anfahrgeräusch von Elektrolokomotiven mit $P \geq 4500$ kW.

Grenzwert	L_{pAFmax}	Geräusch minderung
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert (Ambitionierter Stand der Technik + 2 dB Messgenauigkeit)	83 dB	2 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert (Ma- schinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10\%$ + 2 dB Messgenauigkeit)	82 dB	3 dB

Tabelle 38. Grenzwerte für das Anfahrgeräusch von Elektrolokomotiven mit $P < 4500$ kW.

Grenzwert	L_{pAFmax}	Geräusch minderung
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert (Ma- schinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5\%$)	81 dB	1 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert (Ma- schinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5\%$)	81 dB	1 dB

Bei dem Anfahren von Elektrolokomotiven ergeben sich nur geringe Geräuschminderungen. Die Reduktion des Grenzwertes von 2 dB bzw. 3 dB in der Leistungsklasse $P \geq 4500$ kW beeinträchtigt die Zulassung nur weniger Lokomotiven.

Für Elektrolokomotiven in der Leistungsklasse $P < 4500$ kW ergibt sich bei Addition der Messunsicherheit ein Wert, der oberhalb der Schallemission von Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5\%$ von 81 dB liegt. Als Grenzwerte wird daher der Kennwert für Maschinen mit hoher Schallemission (81 dB) verwendet.

Aufgrund der geringen Reduktionen kann davon ausgegangen werden, dass die Realisierung des Standes der Technik keine signifikanten Zusatzkosten für den Bahnsektor bedeutet. Die ermittelten Lärminderungspotentiale können daher als realisierbar angesehen werden. Hinzu kommt, dass die Lok 2000(vgl. Abschnitt 10.1) in den 90er Jahren bereits eine Schallemission von $L_{pAFmax} = 75-78$ dB erreicht hat. Neu zugelassene Lokomotiven liegen im Bereich von 81 – 85 dB und überschreiten diesen Wert signifikant (siehe Abbildung 23 und Abbildung 24).

Mögliche Minderungsmaßnahmen sind z. B. die Optimierung der Ansteuerung des Motors, Minderung der Schallabstrahlung von Getriebegehäuse und Motor sowie eine Kapselung der akustisch relevanten Bauteile.

9.2.3 Dieseltriebzüge

9.2.3.1 Ergebnis der Datenerhebung und Bewertung

Die Ergebnisse für das Anfahrgeräusch von Dieseltriebzügen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt:

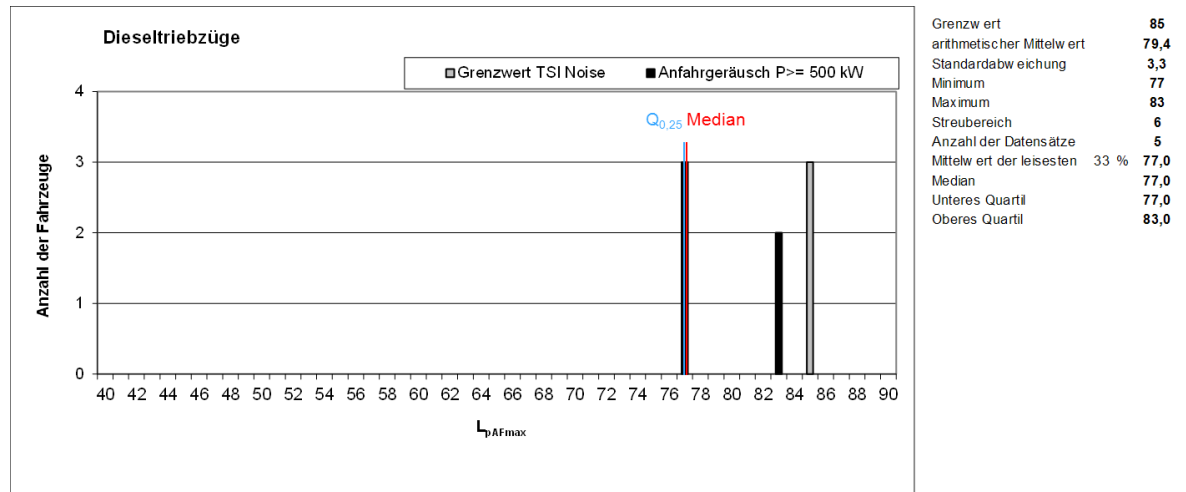


Abbildung 25. Ergebnisse der Datenerhebung für das Anfahrgeräusch von Dieseltriebzügen mit $P \geq 500$ kW, Histogramm und statistische Parameter.

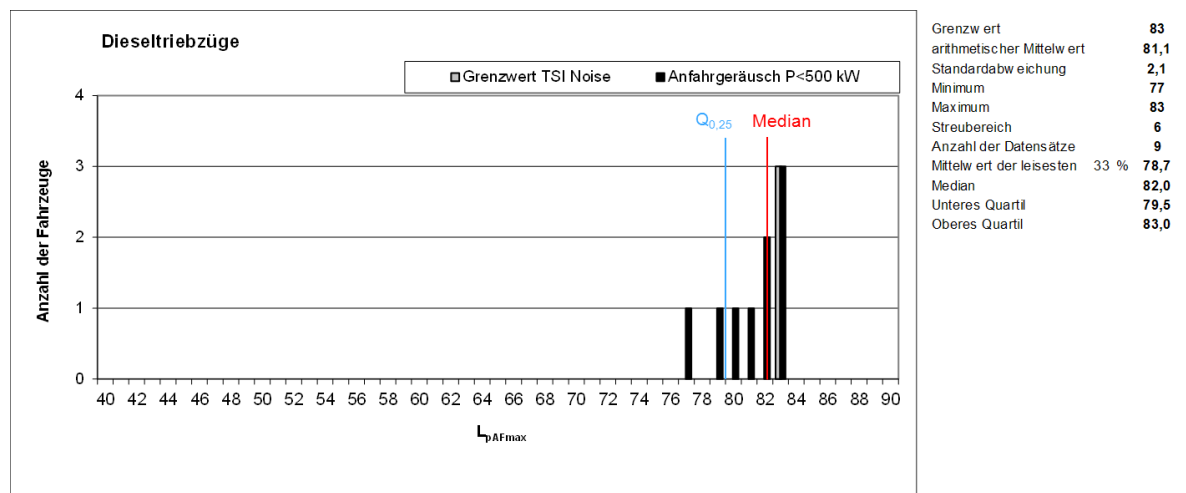


Abbildung 26. Ergebnisse der Datenerhebung für das Anfahrgeräusch von Dieseltriebzügen mit $P < 500$ kW, Histogramm und statistische Parameter.

Auffällig ist, dass die DTZ mit der höheren Leistung im arithmetischen Mittelwert 1,7 dB leiser sind als die DTZ mit der geringeren Leistung. Insgesamt liegen die Fahrzeuge beider Leistungskategorien nahe beisammen. Es wird daher empfohlen die Unterscheidung in Leistungsklassen aufzugeben.

Bei Zusammenfassung beider Kategorien ergibt sich folgendes Ergebnis:

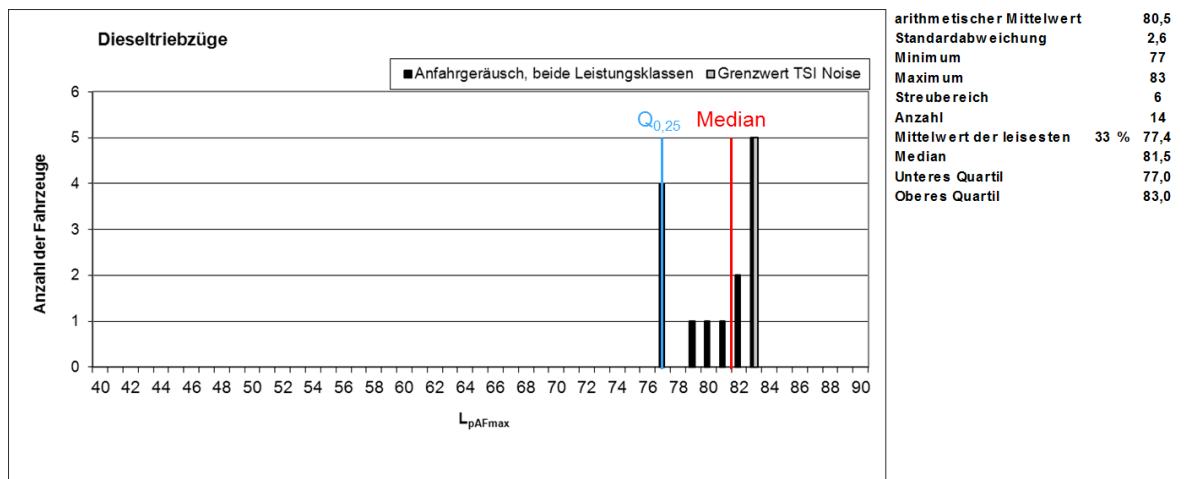


Abbildung 27. Ergebnisse der Datenerhebung für das Anfahrgeräusch von Dieseltriebzügen.

Die ermittelten Werte für Maschinen mit hoher Geräuschemission sowie für den Stand der Technik für das Anfahrgeräusch von Dieseltriebzügen sind in der folgenden Tabelle angegeben. Aufgrund der Verteilung der erfassten Werte mit einem hohen Anteil an leisen Zügen, schlagen wir vor, den Median als mittelfristig erreichbaren Stand der Technik zu betrachten.

Tabelle 39. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Anfahrgeräusch von Dieseltriebzügen.

Bewertung	L_{pAFmax}	Geräuschminderungspotential für beide Leistungsklassen
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x=82,5$ %	83 dB	2 dB/ 0 dB
Moderater Stand der Technik (Median)	82 dB	3 dB/ 1 dB
Ambitionierter Stand der Technik (unteres Quartil)	77 dB	8 dB/6 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10$ %	77 dB	8 dB/6 dB

9.2.3.2 Vorschläge für Grenzwerte

Für das Anfahrgeräusch von Dieseltriebzügen schlagen wir folgende Grenzwerte vor:

Tabelle 40. Grenzwerte für das Anfahrgeräusch von Dieseltriebzügen.

Kenngroßen	L_{pAFmax}	Geräuschminderung
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert (ambitionierter Stand der Technik + 2 dB Messgenauigkeit)	79	6 dB/ 4 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert (Ma- schinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$ + 2 dB Messgenauigkeit)	79	6 dB/ 4 dB

Bei dem Anfahren von Dieseltriebzügen ergeben sich mit den vorgeschlagenen Grenzwerten Geräuschminderungen von 6 dB / 4 dB. Die Reduktion betrifft ca. 70 % der erfassten Dieseltriebzüge.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Realisierung des Standes der Technik mit geringen Zusatzkosten möglich ist. Die ermittelten Lärminderungspotentiale können daher als realisierbar angesehen werden.

9.2.4 Elektrotriebzüge

Die Genauigkeit der Messung wird in der TSI-Lärm:2011 [10] durch die zusätzlichen Mikrofonpositionen besser präzisiert. Im Wesentlichen ergeben sich keine Änderungen in den Mess- und Betriebsbedingungen.

9.2.4.1 Ergebnis der Datenerhebung und Bewertung

Die Ergebnisse für das Anfahrgeräusch von Elektrotriebzügen sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

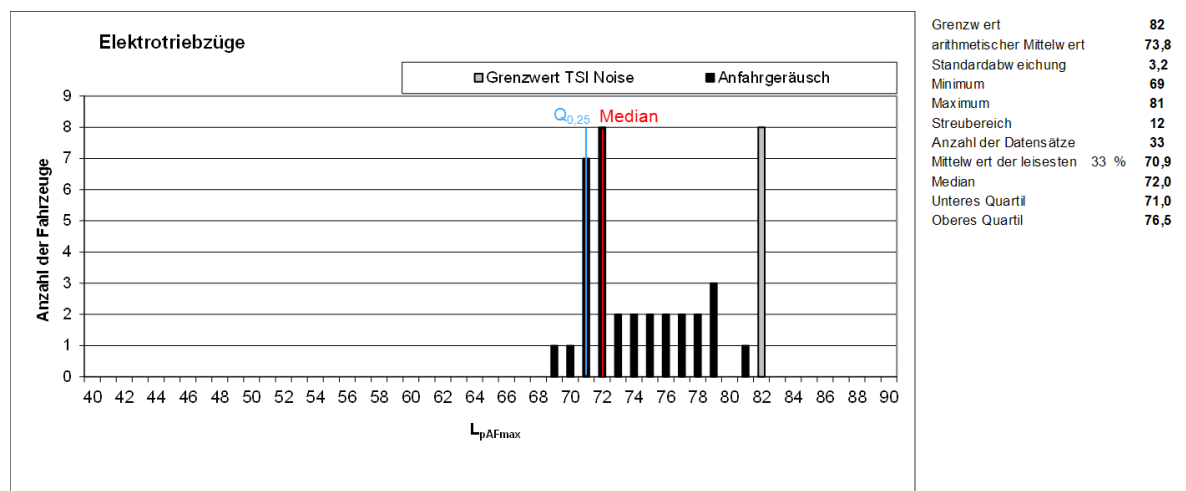


Abbildung 28. Ergebnisse der Datenerhebung für das Anfahrgeräusch von Elektrotriebzügen, Histogramm und statistische Parameter.

Das lauteste erfasste Fahrzeug liegt mit 81 dB um 1 dB unter dem Grenzwert von $L_{pAFmax} = 82$ dB, das leiseste Fahrzeug 13 dB. Der Median liegt 10 dB unter dem Grenzwert. Der arithmetische Mittelwert liegt bei 73,8 dB. Die Standardabweichung der Daten ist mit 3,2 dB groß.

Die ermittelten Werte für Maschinen mit hoher Geräuschemission sowie für den Stand der Technik für das Anfahrgeräusch von Elektrotriebzügen sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 41. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Anfahrgeräusch von Elektrotriebzügen.

Bewertung	L_{pAFmax}	Geräuschminderungspotential
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5$ %	77 dB	5 dB
Moderater Stand der Technik (Median)	72 dB	10 dB
Ambitionierter Stand der Technik (unteres Quartil)	71 dB	11 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10$ %	71 dB	11 dB

9.2.4.2 Vorschläge für Grenzwerte

Für das Anfahrgeräusch von Elektrotriebzügen schlagen wir folgende Grenzwerte vor:

Tabelle 42. Grenzwerte für das Anfahrgeräusch von Elektrotriebzügen.

Grenzwert	L_{pAFmax}	Geräuschminderung
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert (ambitionierter Stand der Technik + 2 dB Messgenauigkeit)	73 dB	11 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert (Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10$ % + 2 dB Messgenauigkeit)	73 dB	11 dB

Bei Realisierung der Grenzwerte müssen ca. 40 % der Elektrotriebzüge zusätzliche akustische Maßnahmen ergreifen, 60 % der Fahrzeuge erfüllen die Grenzwerte bereits. Die Anfahrgeräusche von ETZ sind mit bekannten Methoden, wie z. B. der Optimierung der Pulsmuster des Umrichters, der Reduzierung der Abstrahlung der Gehäuse von Getriebe und Motor gut beeinflussbar. Die Realisierung des mittelfristigen Standes der Technik ist mit den vorhandenen Technologien erreichbar, wie die leisen realisierten Fahrzeuge zeigen.

9.3 Fahrgeräusch

Die Mechanismen der Entstehung des Fahrgeräusches sind in Abschnitt 5 dargestellt. Im Wesentlichen regen Rauheiten der Radlauf­fläche und der Schienenoberfläche Rad und Schiene zu Schwingungen an, wobei die Kontaktfläche zwischen Rad und Schiene als akustischer Filter wirkt, der Rauheiten mit kleinen Wellenlängen glättet. Die Schwingungen von Rad und Schiene werden als Schall abgestrahlt.

Schallreduzierende Maßnahmen wurden im Rahmen von Forschungsprojekten hauptsächlich an Güterwagen untersucht. Diese können jedoch auch auf andere Fahrzeugtypen übertragen werden, wobei deren Charakteristika zu berücksichtigen sind.

Mit der Neufassung der TSI-Lärm:2011 [10], ergaben sich im Vergleich zur TSI-Lärm:2006 [7] keine wesentlichen Änderungen der Mess- und Betriebsbedingungen.

Zur Auswertung wird immer der TSI-zulassungsrelevante Wert herangezogen, d. h. bei Zulassung nach TSI-Lärm:2011 (2011/229/EU) [10] der größere von beiden Vorbeifahrtpegeln (Vorbeifahrtpegeln bei $v = 80$ km/h und der Vorbeifahrtpegeln bei $v_{\max}$, umgerechnet auf 80 km/h).

9.3.1 Diesellokomotiven

Diesellokomotiven sind i. d. R. mit Radscheibenbremsen ausgestattet, Rad-schallabsorber kommen praktisch nicht zur Anwendung. Teilweise sind die Loks mit Putzklotzen ausgestattet.

9.3.1.1 Ergebnis der Datenerhebung und Bewertung

Die Ergebnisse für das Fahrgeräusch von Diesellokomotiven sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

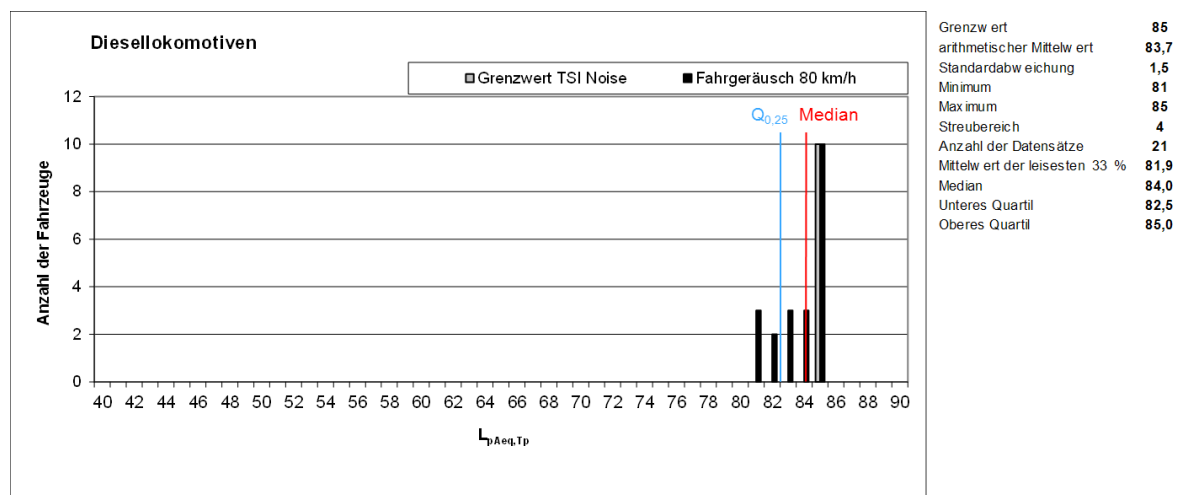


Abbildung 29. Ergebnisse der Datenerhebung für das Fahrgeräusch von Diesellokomotiven, Histogramm und statistische Parameter.

Die lautesten erfassten Fahrzeuge erreichen gerade den Grenzwert von $L_{pAeq,Tp} = 85$ dB, das leiseste Fahrzeug liegt 4 dB unter dem Grenzwert. Der Median liegt 1 dB unter dem Grenzwert.

Die Standardabweichung der Daten beträgt 1,5 dB und liegt nahe bei der Standardunsicherheit von Vorbeifahrtmessung von 1,3 dB. Dies bedeutet, dass die Streuung der Daten im Wesentlichen auf die Messunsicherheiten wie z. B. dem Gleiseinfluss zurückzuführen ist.

Es konnte kein wesentlicher Einfluss der Bauart auf die Schallemission festgestellt werden.

Die ermittelten Werte für Maschinen mit hoher Geräuschemission sowie für den Stand der Technik für das Fahrtgeräusch von Diesellokomotiven sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 43. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Fahrtgeräusch von Diesellokomotiven.

Kennwert	$L_{pAeq,Tp}$	Geräuschminderungspotential
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5$ %	85 dB	0 dB
Moderater Stand der Technik (Median)	84 dB	1 dB
Ambitionierter Stand der Technik (unteres Quartil)	83 dB	2 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10$ %	81 dB	4 dB

9.3.1.2 Vorschläge für Grenzwerte

Für das Fahrtgeräusch von Diesellokomotiven schlagen wir folgende Grenzwerte vor:

Tabelle 44. Grenzwerte für das Fahrtgeräusch von Diesellokomotiven.

Grenzwert	$L_{pAeq,Tp}$	Geräuschminderung
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert (Ambitionierter Stand der Technik + 2 dB Messgenauigkeit)	85 dB	0 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert (Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10$ % + 2 dB Messgenauigkeit)	83 dB	2 dB

Mit dem vorgeschlagenen Verfahren ergibt sich mit dem kurzfristigen Zeithorizont keine Minderung des Grenzwertes. Mittelfristig ist eine Reduktion von 2 dB sinnvoll und erreichbar.

Dies kann durch dämpfende Maßnahmen an der Radscheibe wie auch durch eine Optimierung der Radgeometrie erfolgen. Derartige Maßnahmen wurden an der Lok 2000 sowie an Güterwagen untersucht und zeigen ein Potential von ca. 2 dB. Bei der Realisierung des mittelfristigen Grenzwertes sind an ca. 60 % der Diesellokomotiven akustische Maßnahmen mit der Reduktion von 1 – 2 dB erforderlich. Das angegebene Lärminderungspotential kann daher als realisierbar angesehen werden.

9.3.2 Elektrolokomotiven

Elektrolokomotiven sind i. d. R. mit Radscheibenbremsen ausgestattet, Rad-schallabsorber kommen selten zur Anwendung.

An der Lok 2000 wurden Schallminderungsmaßnahmen untersucht, in die Praxis umgesetzt und publiziert (Abschnitt 10.1). Die Lok erreichte einen Vorbeifahrtpegel von ca. $L_{pAeq,Tp} = 78$ dB. Das Fahrzeug wird nicht in der Datenbank erfasst, da es nicht auf einem TSI-Lärm konformen Gleis abgenommen wurde. Bei Abnahme auf einem TSI-konformen Gleis ist von den gleichen bzw. geringeren Schallemissionen auszugehen.

9.3.2.1 Ergebnis der Datenerhebung und Bewertung

Die Ergebnisse für das Fahrgeräusch von Elektrolokomotiven sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

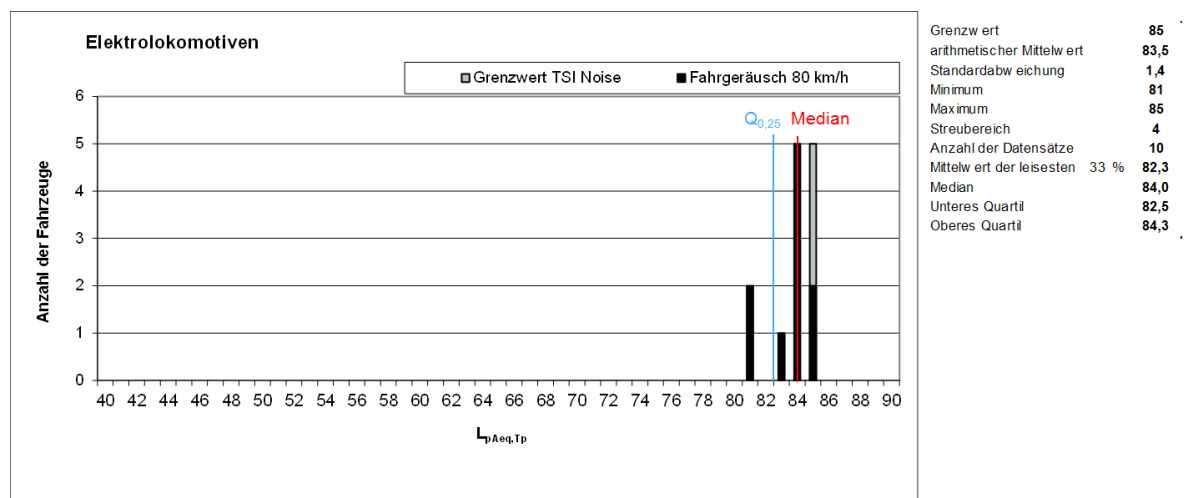


Abbildung 30. Ergebnisse der Datenerhebung für das Fahrgeräusch von Elektrolokomotiven, Histogramm und statistische Parameter.

Die lautesten erfassten Fahrzeuge erreichen den Grenzwert von $L_{pAeq,Tp} = 85$ dB, das leiseste Fahrzeug liegt 4 dB unter dem Grenzwert. Der Median liegt 1 dB unter dem Grenzwert.

Die Standardabweichung der Daten beträgt 1,4 dB und liegt nahe bei der Standardunsicherheit von Vorbeifahrtmessung von 1,3 dB. Dies bedeutet, dass die Streuung der Daten im Wesentlichen auf die Messunsicherheiten wie z. B. dem Gleiseinfluss zurückzuführen ist. Ebenso konnte kein wesentlicher Einfluss der Bauart auf die Schallemission festgestellt werden.

Die ermittelten Werte für Maschinen mit hoher Geräuschemission sowie für den Stand der Technik sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 45. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Fahrtgeräusch von Elektrolokomotiven.

Kennwert	$L_{pAeq,Tp}$	Geräuschminderungspotential
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5 \%$	85 dB	0 dB
Moderater Stand der Technik (Median)	84 dB	1 dB
Ambitionierter Stand der Technik (unteres Quartil)	83 dB	2 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$	81 dB	4 dB

9.3.2.2 Vorschläge für Grenzwerte

Für das Fahrtgeräusch von Elektrolokomotiven schlagen wir folgende Grenzwerte vor:

Tabelle 46. Grenzwerte ¹⁶ für das Fahrtgeräusch von Elektrolokomotiven.

Grenzwert	$L_{pAeq,Tp}$	Geräuschminderung
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert (ambitionierter Stand der Technik + 2 dB Messgenauigkeit)	85 dB	0 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert (Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$ + 2 dB Messgenauigkeit)	83 dB	2 dB

Abgesicherte Maßnahmen zur Reduktion von Fahrtgeräuschen von Lokomotiven sind kaum bekannt. Einzig an der Lok 2000 wurden Schallminderungsmaßnahmen untersucht, in die Praxis umgesetzt und publiziert [77] (Vgl. Abschnitt 10.1). Dabei wurde gezeigt, dass ein Vorbeifahrtpegel von 78 dB erreichbar ist.

¹⁶ Da sich mit der Vorgehensweise (Median + 2 dB Messgenauigkeit) ein Wert ergibt, der über dem Grenzwert liegt, wird als Stand der Technik der Grenzwert festgelegt.

Mittelfristig erscheint eine geringe Schallminderung realisierbar. Dies kann durch dämpfende Maßnahmen an der Radscheibe wie auch durch eine Optimierung der Radgeometrie erfolgen. Derartige Maßnahmen wurden an der Lok 2000 sowie an Güterwagen untersucht und zeigen ein Potential von ca. 2 dB. Bei Realisierung des kurzfristigen Standes der Technik sind keine Lokomotiven betroffen, bei der Realisierung des mittelfristigen Standes der Technik sind an ca. 20 % der Elektrolokomotiven akustische Maßnahmen mit der Reduktion von 1 dB erforderlich.

Die angegebenen Lärminderungspotentiale können daher als realisierbar angesehen werden.

Für beide Lokomotivkategorien sollten schallmindernde Maßnahmen systematisch untersucht werden, um die Basis für in Zukunft leisere Fahrzeuge zu schaffen

9.3.3 Dieseltriebzüge

9.3.3.1 Ergebnis der Datenerhebung und Bewertung

Die Ergebnisse für das Fahrgeräusch von Dieseltriebzügen sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

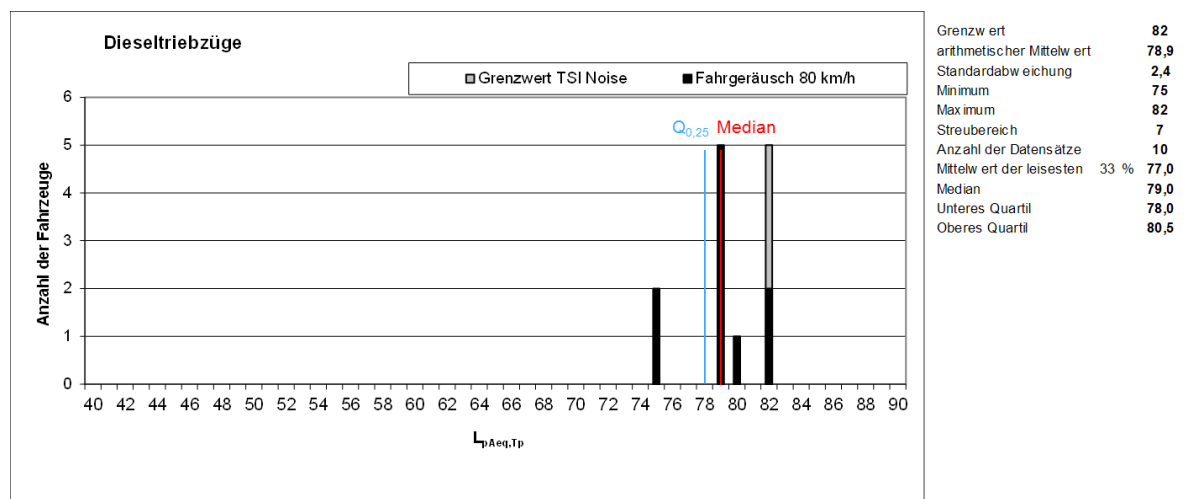


Abbildung 31. Ergebnisse der Datenerhebung für das Fahrgeräusch von Dieseltriebzügen, Histogramm und statistische Parameter.

Die lautesten erfassten Fahrzeuge liegen auf dem Grenzwert von $L_{pAeq,Tp} = 82$ dB, das leiseste Fahrzeug 7 dB unter dem Grenzwert. Der Median liegt 3 dB unter dem Grenzwert.

Die Standardabweichung der Daten beträgt 2,4 dB und liegt deutlich über der Standardunsicherheit von Vorbeifahrtmessung von 1,3 dB. Dies bedeutet, dass ein erheblicher Einfluss der Streuung der Daten auf die Fahrzeugtechnologie zurückzuführen ist.

Es ist die These zu überprüfen ob die Schallemission von der Art der Drehgestelle abhängig ist. Bei Jakobs-Drehgestellen verbindet ein Drehgestell zwei Wagenkästen. Das Verhältnis Anzahl der Achsen/Länge (APL) wird geringer. Dies kann mit einer geringeren Schallemission einhergehen.

Tabelle 47 enthält die Gegenüberstellung der Vorbeifahrtgeräusche von allen erfassten Dieseltriebzügen mit den erfassten Dieseltriebzügen, von denen bekannt ist, dass sie Jakobsdrehgestelle haben. Anhand der erfassten Daten kann kein Unterschied der beiden Technologien abgeleitet werden.

Tabelle 47. Gegenüberstellung der Vorbeifahrtgeräusche von allen erfassten Dieseltriebzügen mit den erfassten Dieseltriebzügen, von denen bekannt ist, dass sie Jakobsdrehgestelle haben.

	Alle erfassten DTZ	DTZ mit Jakobsdrehgestellen
arithmetischer Mittelwert	78,8	78,7
Median	79,0	79,0
Maximum	82,0	82,0
Minimum	74,0	75,0
Standardabweichung	2,4	3,5

Ein signifikanter Technologieeinfluss ist nicht erkennbar.

Die ermittelten Werte für Maschinen mit hoher Geräuschemission sowie für den Stand der Technik für das Fahrtgeräusch von Dieseltriebzügen sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 48. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Fahrtgeräusch von Dieseltriebzügen.

Kennwert	$L_{pAeq,Tp}$	Geräuschminderungs- potential
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5 \%$	82 dB	0 dB
Moderater Stand der Technik (Median)	79 dB	3 dB
Ambitionierter Stand der Technik (unteres Quartil)	78 dB	4 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$	75 dB	7 dB

9.3.3.2 Vorschläge für Grenzwerte

Für das Fahrtgeräusch von Dieseltriebzügen schlagen wir folgende Grenzwerte vor:

Tabelle 49. Grenzwerte für das Fahrtgeräusch von Dieseltriebzügen.

Grenzwert	$L_{pAeq,Tp}$	Geräuschminderung
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert (ambitionierter Stand der Technik + 2 dB Messgenauigkeit)	80 dB	2 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert (Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$ + 2 dB Messgenauigkeit)	77 dB	5 dB

Triebzüge sind in der Regel mit Radscheibenbremsen ausgestattet, Radschallabsorber sind zwar verfügbar, werden aber kaum angewandt.

Eine Schallminderung der lauterer Fahrzeuge ist daher realisierbar. Dies kann durch dämpfende Maßnahmen an der Radscheibe (wie z. B. Radschallabsorber) wie auch durch eine Optimierung der Radgeometrie erfolgen. Bei Dieseltriebzügen ist daneben ein Einfluss der Schallemission des Dieselmotors nicht auszuschließen. Effiziente schallmindernde Maßnahmen wie Schalldämpfer sind verfügbar und in der Praxis erprobt und zugelassen.

Bei Realisierung des kurzfristigen Grenzwertes sind ca. 20 % der Dieseltriebzüge betroffen. Die erforderlichen Schallminderungen von max. 2 dB sind realisierbar. Der mittelfristigen Grenzwert von 77 dB wird bereits jetzt von ca. 20 % der Fahrzeuge erreicht. Die angegebenen Lärminderungspotentiale können daher als realisierbar angesehen werden.

9.3.4 Elektrotriebzüge

9.3.4.1 Ergebnis der Datenerhebung und Bewertung

Die Ergebnisse für das Fahrgeräusch von Elektrotriebzügen sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

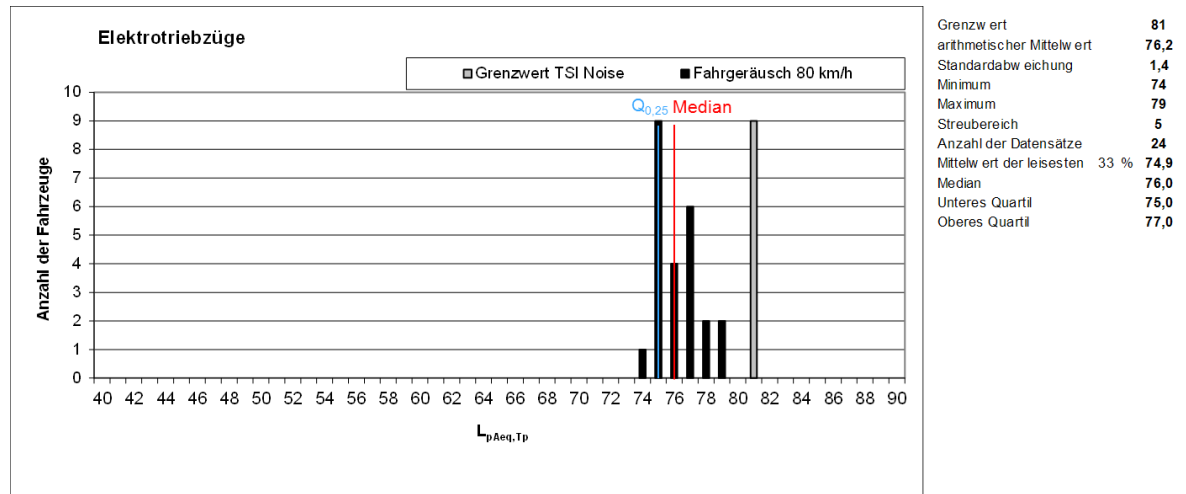


Abbildung 32. Ergebnisse der Datenerhebung für das Fahrgeräusch von Elektrotriebzügen, Histogramm und statistische Parameter.

Die lautesten erfassten Fahrzeuge liegen um 2 dB unter dem Grenzwert von $L_{pAeq,Tp} = 81$ dB, das leiseste Fahrzeug 7 dB unter dem Grenzwert. Der Median liegt 5 dB unter dem Grenzwert.

Die Standardabweichung der Daten beträgt 1,4 dB und liegt knapp über der Standardunsicherheit von Vorbeifahrtmessungen von 1,3 dB. Dies bedeutet, dass nur ein geringer Einfluss der Streuung der Daten auf die Fahrzeugtechnologie zurückzuführen ist, der wesentliche Einfluss jedoch aus der Messgenauigkeit resultiert.

Es ist anzunehmen, dass die Schallemission von der Art der Drehgestelle abhängig ist. Bei Jakobs-Drehgestellen verbindet ein Drehgestell zwei Wagenkästen. Das Verhältnis Anzahl der Achsen/Länge (APL) wird günstiger.

Tabelle 50 enthält die Gegenüberstellung der Vorbeifahrtgeräusche von allen erfassten Elektrotriebzügen mit den erfassten Elektrotriebzügen, von denen bekannt ist, dass sie Jakobsdrehgestelle haben. Wie auch bei den Dieseltriebzügen kann auch hier anhand der erfassten Daten kein Unterschied der beiden Technologien abgeleitet werden. Es ist anzunehmen, dass nur Fahrzeuge mit Jakobsdrehgestell erfasst wurden, oder, dass die beiden Technologien keinen signifikanten Einfluss auf das Vorbeifahrtgeräusch haben.

Tabelle 50. Gegenüberstellung der Vorbeifahrtgeräusche von allen erfassten Elektrotriebzügen mit den erfassten Elektrotriebzügen, von denen bekannt ist, dass sie Jakobsdrehgestelle haben.

	Alle erfassten ETZ	ETZ mit Jakobsdrehgestellen
Arithmetischer Mittelwert	75,7	75,5
Median	75,5	75,0
Maximum	79,0	79,0
Minimum	74,0	74,0
Standardabweichung	1,12	1,29

Die ermittelten Werte für Maschinen mit hoher Geräuschemission sowie für den Stand der Technik für das Fahrtgeräusch von Elektrotriebzügen sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 51. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Fahrtgeräusch von Elektrotriebzügen.

Kennwert	$L_{pAeq,Tp}$	Geräuschminderungspotential
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5 \%$	77 dB	4 dB
Moderater Stand der Technik (Median)	76 dB	5 dB
Ambitionierter Stand der Technik (unteres Quartil)	75 dB	6 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$	75 dB	6 dB

9.3.4.2 Vorschläge für Grenzwerte

Für das Fahrtgeräusch von Elektrotriebzügen schlagen wir folgende Grenzwerte vor:

Tabelle 52. Grenzwerte für das Fahrtgeräusch von Elektrotriebzügen.

Grenzwert	$L_{pAeq,Tp}$	Geräuschminderung
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert (ambitionierter Stand der Technik + 2 dB Messgenauigkeit)	77 dB	4 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert (Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$ + 2 dB Messgenauigkeit)	77 dB	4 dB

Triebzüge sind in der Regel mit Radscheibenbremsen ausgestattet, Radschallabsorber sind zwar verfügbar, werden aber kaum angewandt. Eine Schallminderung der lauterer Fahrzeuge ist daher realisierbar. Dies kann durch dämpfende Maßnahmen an der Radscheibe (wie z. B. Radschallabsorber) wie auch durch eine Optimierung der Radgeometrie erfolgen. Derartige Maßnahmen wurden prinzipiell untersucht, werden aber noch zu wenig eingesetzt. Bei Realisierung der Grenzwerte sind ca. 20 % der Elektrotriebzüge betroffen. Die erforderlichen Schallminderungen von 1 bzw. 2 dB sind realisierbar. Die angegebenen Lärminderungspotentiale können daher als realisierbar angesehen werden. 80 % der nach TSI zugelassenen Fahrzeuge erfüllen den Stand der Technik bereits.

9.3.5 Reisezugwagen

Reisezugwagen sind hinsichtlich des Rollgeräusches sehr ähnlich, da sie über die prinzipiell gleiche Bauart mit 2 Drehgestellen je Wagen und vergleichbare Rad-durchmesser verfügen.

Bei den statistischen Parametern von Reiszugwagen ist zu beachten, dass für diese Kategorie nur 5 Datensätze für die Vorbeifahrt vorlagen.

9.3.5.1 Ergebnis der Datenerhebung und Bewertung

Die Ergebnisse für das Fahrgeräusch von Reiszugwagen sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

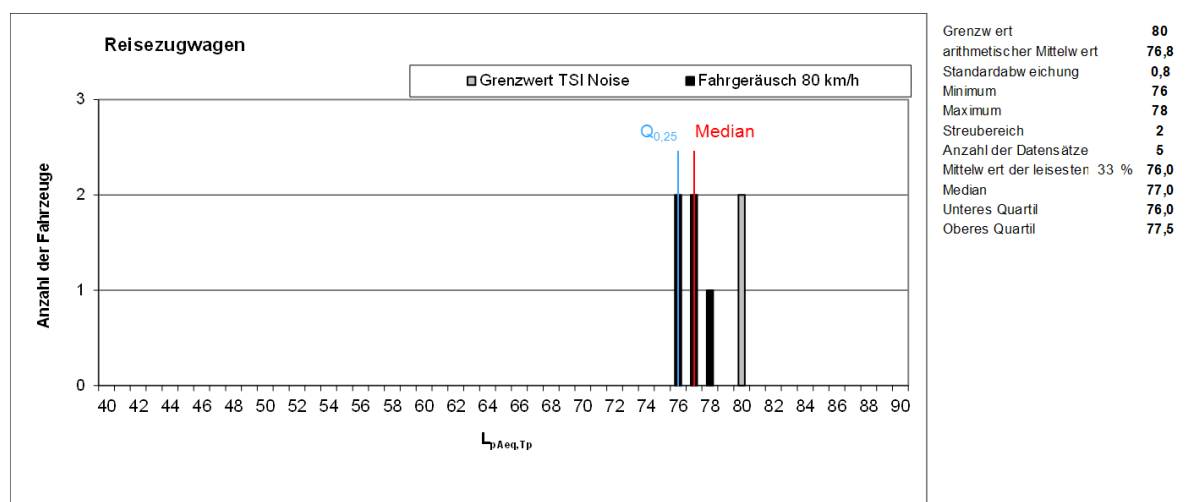


Abbildung 33. Ergebnisse der Datenerhebung für das Fahrgeräusch von Reiszugwagen, Histogramm und statistische Parameter.

Die lautesten erfassten Fahrzeuge liegen um 2 dB unter dem Grenzwert von $L_{pAeq,Tp} = 80$ dB, das leiseste Fahrzeug 4 dB unter dem Grenzwert. Der Median liegt 3 dB unter dem Grenzwert.

Die Standardabweichung der Daten beträgt 0,8 dB und deutet darauf hin, dass kein dominanter Einfluss der Technologie vorhanden ist. Die Unterschreitung der Standardunsicherheit von Vorbeifahrtmessungen von 1,3 dB ist auf die geringe Anzahl von Datensätzen zurückzuführen¹⁷.

Aufgrund der geringen Anzahl an Datensätzen werden keine statistischen Kenngrößen ermittelt.

9.3.5.2 Vorschläge für Grenzwerte

Für das Fahrtgeräusch von Reisezugwagen schlagen wir folgende Grenzwerte vor:

Tabelle 53. Grenzwerte für das Fahrtgeräusch von Reisezugwagen.

Grenzwert	$L_{pAeq,Tp}$	Geräuschminderung
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert	77 dB	3 dB
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert	76 dB	4 dB

Reisezugwagen sind häufig mit Klotzbremsen ausgestattet, aber auch Radscheibenbremsen kommen zur Anwendung. Radschallabsorber sind zwar verfügbar, werden aber kaum angewandt. Das Reduktionspotential von Radschallabsorbern (2 dB) steht sofort zur Verfügung und kann angewandt werden. Allein mit der Ausstattung der Reisezugwagen mit Radschallabsorbern kann der Minderungsbedarf von 2 dB für die lauterer Fahrzeuge realisiert werden. Eine Schallminderung der lauterer Fahrzeuge ist daher realisierbar. Prinzipiell kommt auch eine Optimierung der Radgeometrie in Frage.

9.3.6 Güterwagen

Bei Güterwagen wird in der TSI hinsichtlich neuer und umgerüsteter Güterwagen unterschieden.

Der maßgebliche Grund für die Umrüstung von bestehenden Güterwagen ist der Umbau von GG-Bremse auf K-Bremse. In diesem Fall ist keine erneute Geräuschprüfung vorgeschrieben, um keine Hindernisse für die lärmtechnisch sinnvolle Umrüstung von Güterwagen einzuführen. Für umgerüstete Güterwagen existieren daher praktisch keine Datensätze. Diese werden im Weiteren nicht mehr betrachtet.

¹⁷ Wird der einzige Datensatz, bei dem die Gleisbedingungen nicht verifiziert sind, hinzugezogen, erhöht sich die Standardabweichung bereits auf 1,3 dB. Weiter ist zu berücksichtigen, dass nicht zugelassene Fahrzeug nicht erfasst wurden und sich damit die Standardabweichung weiter erhöhen wird.

9.3.6.1 Ergebnis der Datenerhebung und Bewertung

Die Ergebnisse für das Fahrgeräusch von Güterwagen sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

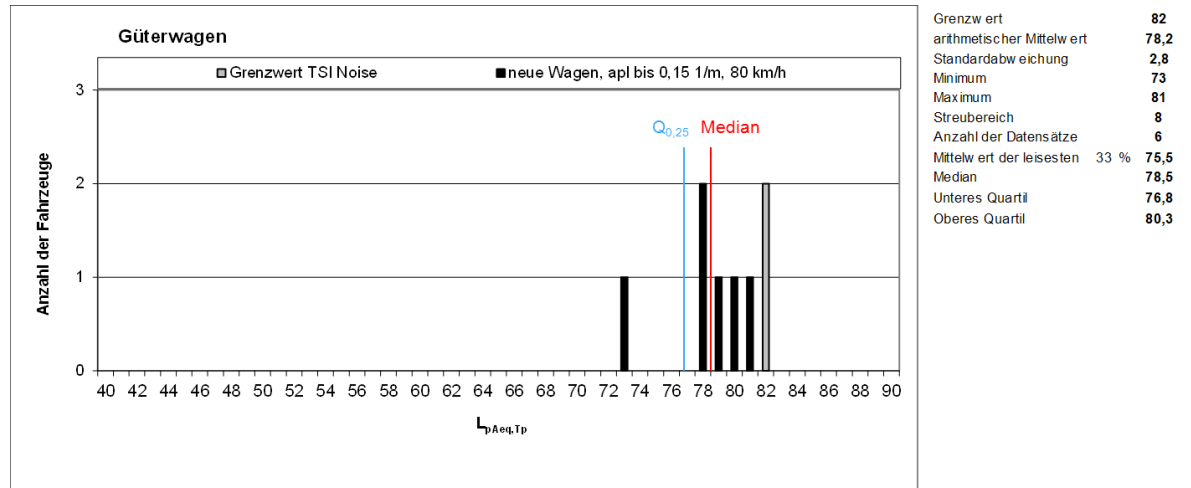


Abbildung 34. Ergebnisse der Datenerhebung für das Fahrgeräusch von neuen Güterwagen mit einem APL < 0,15 1/m, Histogramm und statistische Parameter.

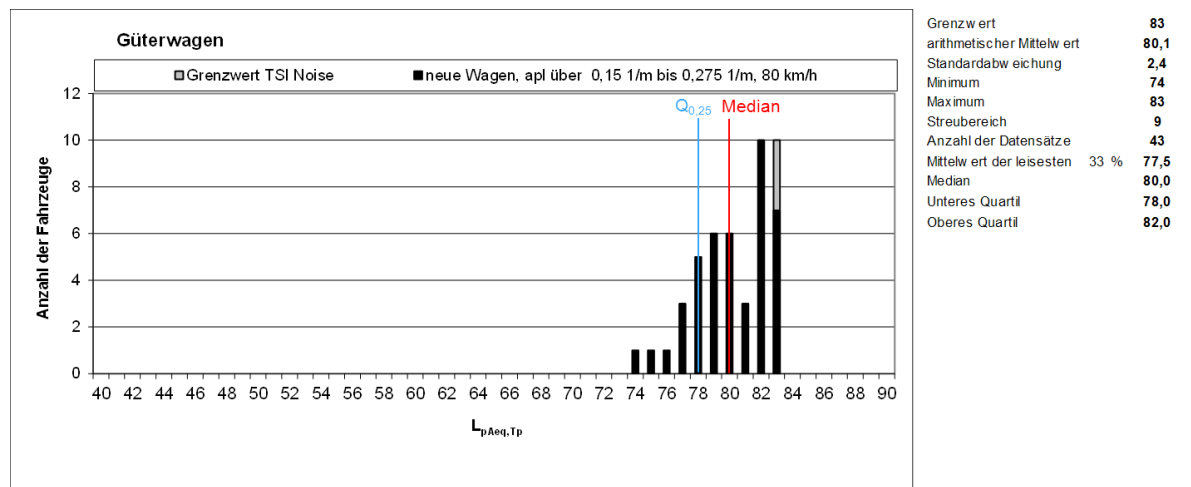


Abbildung 35. Ergebnisse der Datenerhebung für das Fahrgeräusch von neuen Güterwagen mit einem $0,15 \text{ 1/m} < \text{APL} \leq 0,275 \text{ 1/m}$, Histogramm und statistische Parameter.

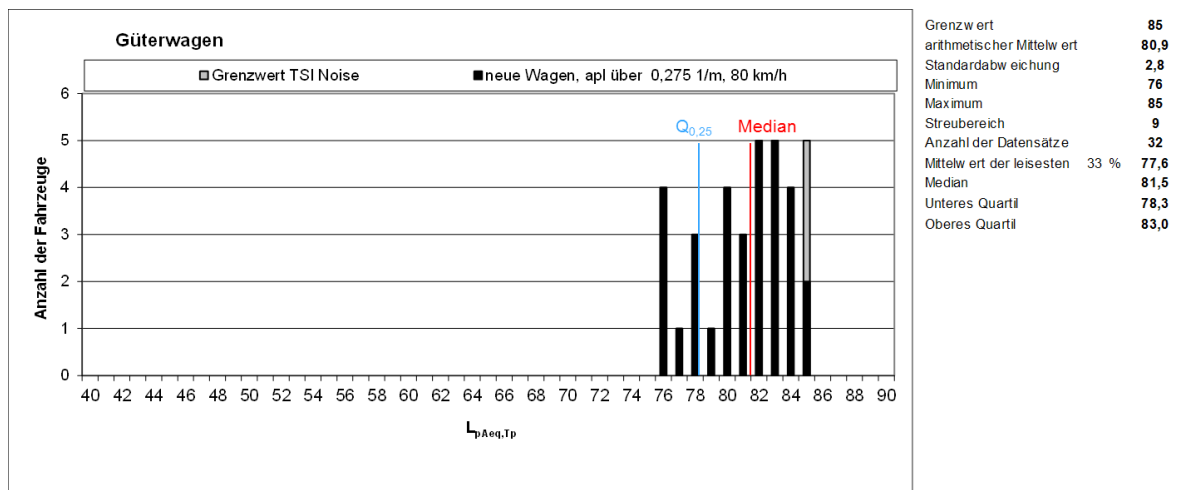


Abbildung 36. Ergebnisse der Datenerhebung für das Fahrgeräusch von neuen Güterwagen mit einem APL > 0,275 1/m, Histogramm und statistische Parameter.

Von Bedeutung für das Vorbeifahrtgeräusch von Güterwagen ist der APL (axle per length [1/m]). Ein Kritikpunkt an der aktuellen TSI-Lärm sind die diskontinuierlichen Grenzwerte für Güterwagen in Abhängigkeit des APL.

Die CER (SNCF/DB, [145]) schlägt vor, für das Vorbeifahrtgeräusch von Güterwagen die Abhängigkeit der Grenzwerte von APL beizubehalten und eine APL-abhängige, kontinuierliche Grenzkurve einzufügen. Dabei soll der gemessene Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq,Tp}(APL_{Wag})$ eines Güterwagens anhand seines APL (mit APL_{Wag}) mit einer Referenz-APL (APL_{ref}) normiert werden. Das Ergebnis ist ein auf den Referenz-APL normierter Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq,Tp}(APL_{ref})$.

$$L_{pAeq,Tp}(APL_{ref}) = L_{pAeq,Tp}(APL_{Wag}) - 10 \cdot \log\left(\frac{APL_{Wag}}{APL_{ref}}\right) \quad (10)$$

Das Ergebnis soll auf den nächsten ganzzahligen Wert gerundet werden. Weiter werden vorgeschlagen:

$$APL_{ref} = 0,225 \text{ 1/m} \quad (11)$$

$$\text{Grenzwert } L_{pAeq,Tp} = 83 \text{ dB} \quad (12)$$

Die auf den Referenz APL normierten Daten von Güterwagen sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

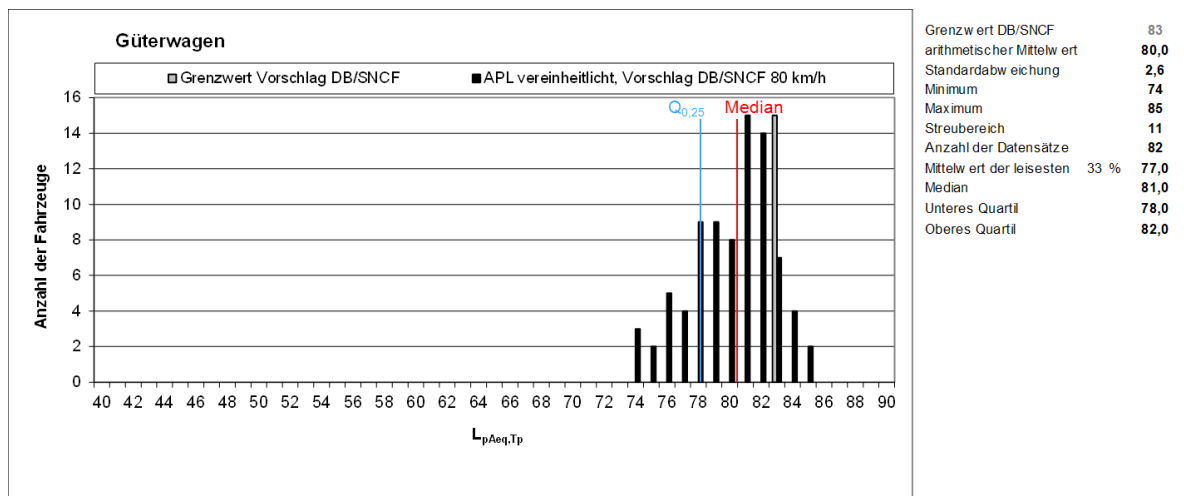


Abbildung 37. Ergebnisse der Datenerhebung für das Fahrgeräusch von neuen Güterwagen mit vereinheitlichtem APL, Histogramm und statistische Parameter.

Die lautesten erfassten Fahrzeuge liegen um 2 dB über dem aktuell diskutierten Wert von $L_{pAeq,Tp} = 83$ dB, das leiseste Fahrzeug 9 dB unter dem Grenzwert. Der Median liegt 2 dB unter dem Grenzwert.

Die Standardabweichung der Daten von 2,6 dB liegt deutlich über der Standardunsicherheit von Vorbeifahrtmessung von 1,3 dB. Dies bedeutet, dass ein hoher Einfluss der Streuung der Daten auf die Fahrzeugtechnologie zurückzuführen ist.

Gemäß den Betrachtungen zur Messgenauigkeit (Abschnitt 8.3) ist davon auszugehen, dass der Gleiseinfluss von geringer Bedeutung für die Vorbeifahrtpegel ist. Zur Überprüfung wurden die Daten aller Fahrzeuge, die auf einer akustisch guten Abnahmestrecke erhoben wurden, getrennt ausgewertet.

Die Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung 38 dargestellt. Die Standardabweichung von 2,3 dB auf dieser Abnahmestrecke liegt nur unbedeutend unter der Standardabweichung von 2,6 dB aller erfassten Vorbeifahrten.

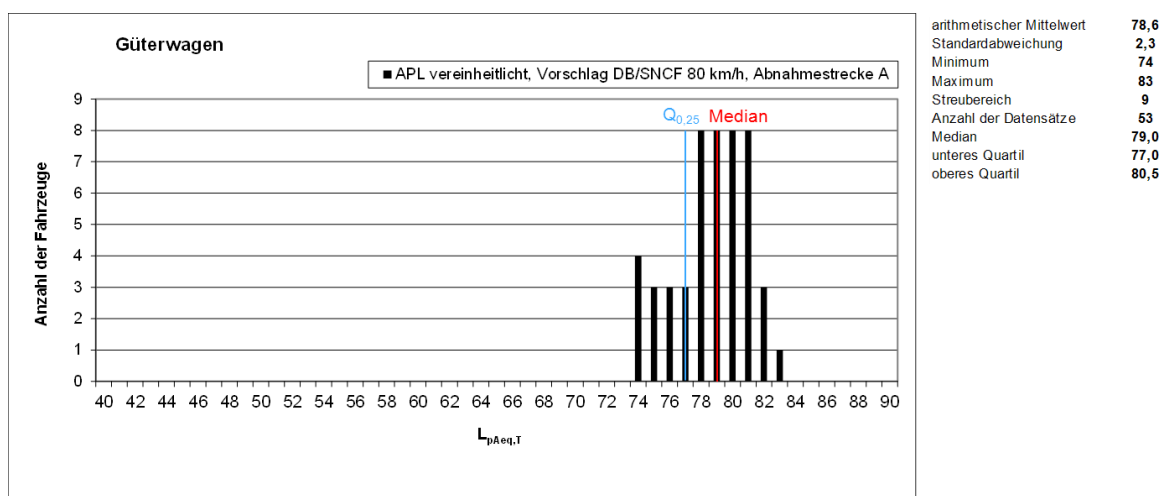


Abbildung 38. Ergebnisse der Datenerhebung für das Fahrgeräusch von neuen Güterwagen auf einer guten Abnahmestrecke, mit vereinheitlichtem APL, Histogramm und statistische Parameter.

Dies bestätigt, dass der Einfluss des Gleises von untergeordneter Bedeutung ist.

Zur weiteren Untersuchung des Technologieeinflusses wurden die Vorbeifahrtpegel nach Fahrzeugtypen getrennt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

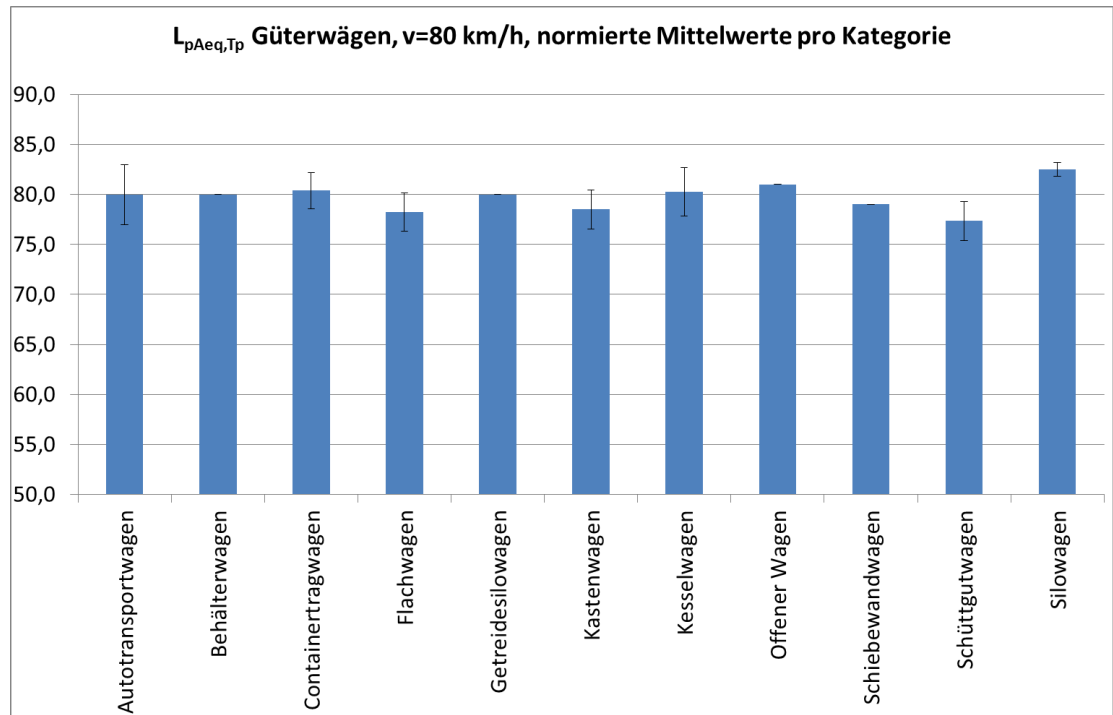


Abbildung 39. Mittelwerte und Standardabweichung der Vorbeifahrtpegel für Güterwagen, nach Fahrzeugtypen getrennt, APL normiert.

Tabelle 54. Statistische Parameter der der Vorbeifahrtpegel für Güterwagen, nach Fahrzeugtypen getrennt, APL normiert.

Kategorie	Mittelwert dB(A)	Standard- abweichung dB	Minimum dB(A)	Maximum dB(A)	Streubereich dB	Median dB(A)	unteres Quartil dB(A)	oberes Quartil dB(A)	Anzahl Datensätze
Autotransportwagen	80,0	3,0	75,0	83,0	8,0	81,0	77,5	82,0	5
Behälterwagen	80,0	-	80,0	80,0	0,0	80,0	-	-	1
Containertragwagen	80,4	1,8	77,0	83,0	6,0	80,0	79,0	82,0	13
Flachwagen	78,3	1,9	74,0	81,0	7,0	78,0	78,0	79,0	12
Getreidesilowagen	80,0	-	80,0	80,0	0,0	80,0	-	-	1
Kastenwagen	78,5	2,0	78,0	79,0	1,0	78,0	-	-	2
Kesselwagen	80,3	2,4	75,0	82,0	7,0	81,0	80,0	82,0	7
Offener Wagen	81,0	-	81,0	81,0	0,0	81,0	-	-	1
Schiebewandwagen	79,0	-	79,0	79,0	0,0	79,0	-	-	1
Schüttgutwagen	77,3	2,0	74,0	80,0	6,0	77,5	76,3	78,5	6
Silowagen	82,5	0,7	82,0	83,0	1,0	82,5	-	-	2

Es ist kein klarer Zusammenhang zwischen Bauart und Schallemission zu erkennen. Beispielsweise haben Flachwagen, welche die geringsten abstrahlenden Flächen besitzen, eine ähnliche Schallemission wie Schüttgutwagen. Der Streubereich in den einzelnen Kategorien beträgt bis zu 8 dB.

Es ist daher davon auszugehen, dass der Technologieeinfluss im Bereich des Rad-Schiene-Kontaktes oder des Rades liegt und die Schallabstrahlung des Aufbaus von geringerer Bedeutung ist. Zum gleichen Ergebnis kamen die Untersuchungen der DB im Rahmen des „low noise train“ Projekts oder die Untersuchungen im Projekt „Silent freight“.

Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass die lauten Fahrzeuge jeder Bauart eine schlechte Entkoppelung von Rad zu Drehgestell und Wagenkasten besitzen.

Ein Vergleich mit anderen Zugkategorien zeigt, dass die Schallemission von Güterwagen im Bereich der Schallemission von DTZ liegt. ETZ oder Reisezugwagen sind im Mittel deutlich leiser. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass bei Güterwagen ein signifikantes Schallminderungspotential vorhanden ist.

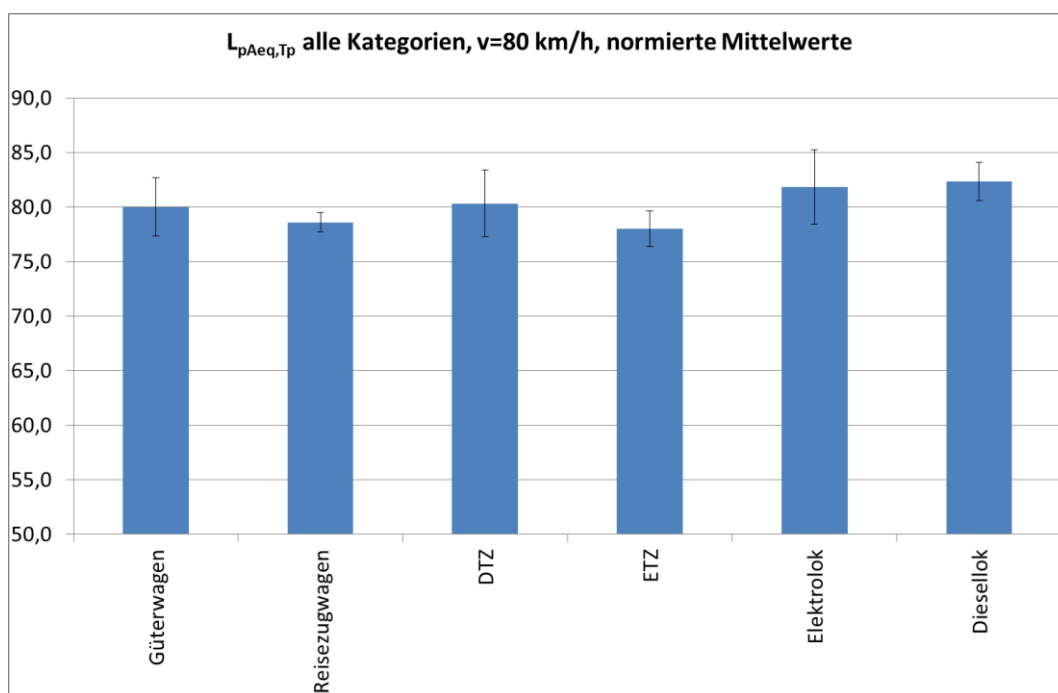


Abbildung 40. Mittelwerte und Standardabweichung der Vorbeifahrtpegel aller Kategorien, APL normiert.

Tabelle 55. Statistische Parameter der der Vorbeifahrtpegel, nach Kategorie getrennt, APL normiert.

Kategorie	Mittelwert dB	Standard- abweichung dB	Minimum dB(A)	Maximum dB(A)	Streubereich dB	Median dB(A)	unteres Quartil dB(A)	oberes Quartil dB(A)	Anzahl Datensätze
Güterwagen	80,0	2,7	74,0	85,0	11,0	81,0	78,0	82,0	77
Reisezugwagen	78,6	0,9	78,0	80,0	2,0	78,0	78,0	79,5	5
DTZ	80,3	3,1	77,0	83,0	6,0	81,0	-	-	3
ETZ	78,0	1,6	76,0	81,0	5,0	78,0	77,0	79,0	7
Elektrolok	81,8	3,4	77,0	85,0	8,0	83,5	77,8	84,3	6
Diesellok	82,3	1,8	80,0	85,0	5,0	82,5	80,8	83,5	6

Die ermittelten Werte für Maschinen mit hoher Geräuschemission sowie für den Stand der Technik für das Fahrtgeräusch von Güterwagen sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 56. Aus der Datenbasis ermittelte Kenngrößen für das Fahrtgeräusch von Güterwagen.

Kennwert	$L_{pAeq,Tp}$
Maschinen mit hoher Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 82,5 \%$	82 dB
Moderater Stand der Technik (Median)	81 dB
Ambitionierter Stand der Technik (unteres Quartil)	78 dB
Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_2 bei $x = 10 \%$	76 dB

9.3.6.2 Vorschläge für Grenzwerte

Für das Fahrtgeräusch von Güterwagen schlagen wir folgende Grenzwerte vor:

Tabelle 57. Grenzwerte für das Fahrtgeräusch von Güterwagen.

Grenzwert	$L_{pAeq,Tp}$
Kurzfristiger anwendbarer Grenzwert (Ambitionierter Stand der Technik + 2 dB Messgenauigkeit)	80
Mittelfristig anwendbarer Grenzwert (Maschinen mit geringer Geräuschemission nach EN ISO 11689 mit L_1 bei $x = 10 \%$ + 2 dB Messgenauigkeit)	78

Eine Schallminderung der lauterer Fahrzeuge ist realisierbar. Dies wurde in zahlreichen Forschungsprojekten untersucht, und zeigt dass die Technologien vorhanden sind. Ebenfalls sind sehr leise Güterwagen am Markt verfügbar. Als technologische Maßnahmen kommen in Frage:

- Radschallabsorber: Potential 1 – 2 dB, Kosten ca. 1500 €/Radsatz
- Optimierung der Radgeometrie (Potential 1 dB), im Wesentlichen einmalige Entwicklungskosten
- Minderung des Schallabstrahlung, z. B. Schürzen (Potential 1 – 2 dB)

Bei Realisierung des kurzfristigen Grenzwertes sind ca. 50 % der Güterwagen betroffen, bei Realisierung des mittelfristigen Grenzwertes sind ca. 70 % der Güterwagen betroffen. Die erforderlichen Schallminderungen von wenigen dB sind realisierbar. Die angegebenen Lärminderungspotentiale können daher als realisierbar angesehen werden. Zahlreiche Fahrzeuge erreichen die Grenzwerte bereits heute.

Der Low Noise Train (Abschnitt 10.4), ein 4-achsiger Tragwagen (Sgns(s)) mit Y25 Drehgestell und K-Bremssohle erreicht bereits 2002 einen normierten APL von 75 dB. Die konstruktiven Maßnahmen sind in den dazugehörigen Berichten besprochen und in Abschnitt 10.4 zusammengefasst.

10 Ermittlung von Best-Practice-Fahrzeugen

Im Folgenden werden ausgewählte Best-Practice-Fahrzeuge vorgestellt. Ziel der Nennung von Best-Practice Fahrzeugen ist es, ein gelungenes akustisches Design herauszustellen. Best-Practice-Fahrzeuge stehen für akustisch vorbildliche Fahrzeuge, bei denen die akustischen Maßnahmen kosteneffizient realisiert wurden.

Die Best-Practice-Fahrzeuge sollen derzeit

- technisch und
- wirtschaftlich

machbare Konstruktionen herausstellen. Ziel der Benennung von Best-Practice-Fahrzeugen ist es zudem, die Fahrzeugakustik stärker in den Focus der Öffentlichkeit zu rücken und so die Bedeutung der Fahrzeugakustik zu stärken.

Bei der Ermittlung von Best-Practice Fahrzeugen wurde wie folgt vorgegangen:

- Das Vorbeifahrgeräusch hat die höchste Priorität. Das Fahrzeug muss das leiseste oder eines der leisesten Fahrzeuge in seiner Kategorie sein.
- Weiter wurde auf eine geringe Schallemission in den Betriebszuständen Stillstand und Anfahrt geachtet.

Die Best-Practice Fahrzeuge wurden aus der Datenbank nach obigen Kriterien ausgewählt. Fahrzeuge aus der Literatur wurden nur dann herangezogen, wenn diese vor der Einführung der TSI zugelassen wurden, Voraussetzung war dann allerdings, dass die Abnahmemessung vergleichbar zur TSI durchgeführt wurde.

Es gibt damit auch mehr als ein Best-Practice Fahrzeug je Kategorie.

Bei den im Rahmen der Datensammlung erhobenen Fahrzeugen wurde um eine Freigabe für die Benennung nachgesucht. Teilweise erfolgte keine Freigabe, so dass nicht alle Best-Practice-Fahrzeuge dargestellt werden können.

10.1 Elektrolok: LOK 2000 ([77], [152])

Die Lok 2000 ist eine schwere Hochgeschwindigkeitslokomotive. Die SBB vergab 1985 einen Entwicklungsauftrag an das Konsortium SLM/BBC. 1987 bestellte die SBB eine erste Serie für den Personenverkehr. Die Lok 2000 wurde von einem Konsortium, bestehend aus SLM (Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik), ABB (Asea Brown Boveri) gefertigt. Die Lokomotive eignet sich sowohl für den Reiseverkehr mit hohen Geschwindigkeiten auf geraden Strecken als auch für schwere und langsame Güterzüge.



Abbildung 41. Lok 2000 [153].

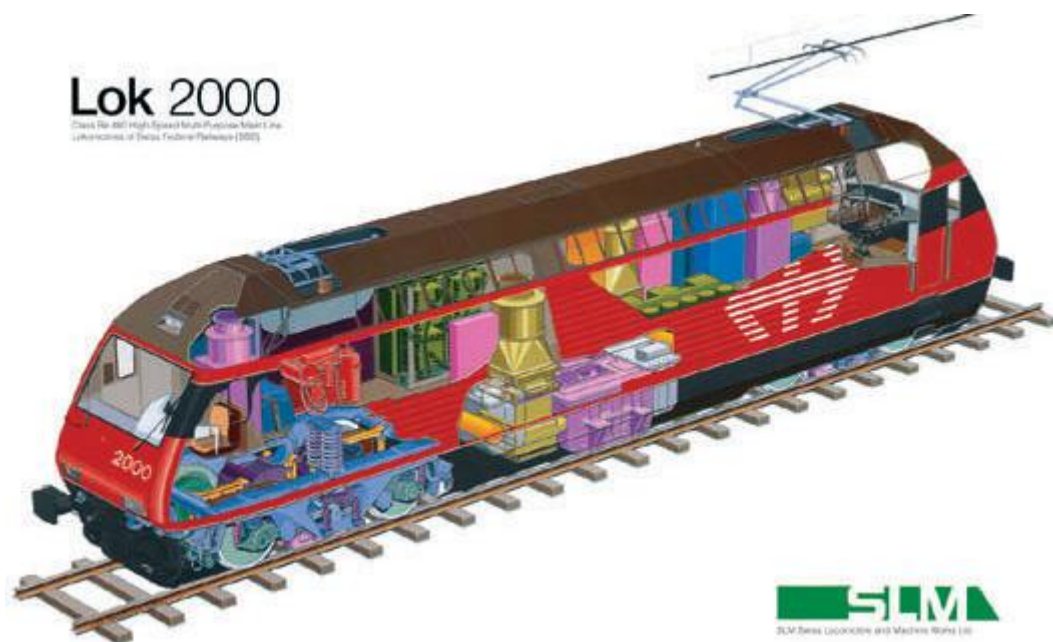


Abbildung 42. Skizze Lok 2000 [40].

Die wichtigsten technischen Daten der Lok 2000 sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 58. Technische Daten der Lok 2000 (Re 460) für die SBB.

Nummerierung:	Re 460
Hersteller:	SLM, ABB
Baujahr:	1991 – 1996
Achsformel	Bo'Bo'
Spurweite	1'435 mm
Länge über Puffer	18'500 mm
Höhe	4'300 mm
Breite	3'000 mm
Dienstmasse	84,0 t
Betriebliche Höchstgeschwindigkeit SBB	200 km/h
Raddurchmesser (neu)	1100 bis 1125 mm
Max. Leistung am Rad	5.88 – 7 MW
Dauerleistung	6'100 kW
Anfahrzugkraft	300 kN
Dauerzugkraft	100 kN
Radsätze	Radial einstellend
Bremsen	Rekuperation, Klotzbremse (Sintermetall)
Absorber	Radschallabsorber, optional Reibringabsorber

Begleitend zur Auslegung wurde ein Akustikmanagement durchgeführt. Akustische Schwachstellen der Lok wurden mittels Intensitäts-Array- und Telemetriemesstechnik untersucht.

Am Getriebe wurde eine akustische Optimierung des Gehäuses durchgeführt. Dabei wurde eine Körperschallentkopplung durchgeführt.

In der Ventilationsanlage wurde ein Absorptionsschalldämpfer mit einer Wirkung von ca. 10 dB eingebaut. Infolgedessen reduzierte sich der Vorbeifahrtpegel um ca. 4 dB.

Die Radgeometrie ist schalloptimiert. Das Rad besitzt einen ebenen geraden Steg.

Im Führerraum erfolgten zweischalige Aufbauten im Fußboden und teilweise an der Rückwand, Hohlräume wurden absorbierend ausgekleidet.

Die Schallemissionswerte der Lok 2000 sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 59. Gemessene Lärmkennwerte der Lok 2000-Familie [77], Vorbeifahrtmessung auf Schottergleis, UIC 60 Schiene, Betonschwellen, glattes Gleis.

Betriebszustand	Messgröße	Messwert
Vorbeifahrt, $v = 80 \text{ km/h}$	L_{pAmax} (7,5 m, 1,2 m über SOK) [dB]	79 dB ¹⁸
Anfahrt	L_{pAmax} (7,5 m, 1,2 m über SOK) [dB]	75 bis 78 dB(A) ¹⁹
Stillstand	L_{pA} [dB]	maximale Ventilation 85/74 ²⁰ minimale Ventilation 58/56 minimale Ventilation und Kompressor 62

10.2 ETZ Elektrischer Niederflurtriebzug FLIRT Algier [90]

Die Algerische Staatsbahn (SNTF) beschaffte 64 elektrische S-Bahnzüge für Algier. Der FLIRT für die SNTF ist ein elektrischer (25 kV/50 Hz) 4-teiliger Triebzug mit 786 Stehplätzen und 144 Sitzplätzen für den S-Bahn-Einsatz. Bis zu 4 FLIRT können aneinander gekuppelt werden.

Die folgende Abbildung zeigt den Flirt Algier.



Abbildung 43. Flirt Algier.

¹⁸ Entspricht einem $L_{pAeq, Tp}$ von ca. 78 dB.

¹⁹ Anfahren mit 600 t Anhängelast (nasser Schiene) 75 – 76 dB.

²⁰ Ohne/mit Ventilationsschalldämpfer.

Der Flirt Algier besitzt mit $L_{pAeq,T} = 50$ dB eine geringe Schallemission im Stillstand, der Betriebszustand der Klimaanlage ist jedoch unbekannt. Beim Anfahren ist die Schallemission mit $L_{pAFmax} = 72$ dB ebenfalls gering. Bei der Vorbeifahrt besitzt der Flirt Algier mit $L_{pAeq,T} = 74$ dB die geringste Schallemission der bekannten Fahrzeuge.

Die bekannten technischen Details des Flirt Algier sind in der folgenden Tabelle angegeben:

Tabelle 60. Technische Daten des Flirt Algier.

Bezeichnung	RBe 91 92 9 541 101 - 164
Spurweite	1'435 mm
Speisespannung	25 kVAC, 50 Hz
Achsanordnung	Bo' 2'2'2' Bo'
Sitzplätze	144
Stehplätze	786
Länge über Kupplung	74,08 m
Fahrzeugbreite	2'880 mm
Fahrzeughöhe	4'280 mm
Drehgestellachsstand	2,7 m
Triebraddurchmesser, neu	870 mm
Lauftraddurchmesser, neu	760 mm
Dienstmasse, tara	120 t
Dauerleistung am Rad	2'000 kW
Max Leistung am Rad	2'300 kW
Anfahrzugskraft (bis 47 km/h)	200 kN
Anfahrbeschleunigung	1.2 m/s ²
Höchstgeschwindigkeit	120 km/h
Sonstiges	Klimatisierung für Fahrgasträume und Führerstand, Wagenkasten aus Aluminium-Strangpressprofilen, Luftgefederte Trieb- und Laufdrehgestelle, Redundante Antriebsausrüstung bestehend aus 4 Antriebssträngen mit wassergekühlten IGBT-Stromrichtern

10.3 Reisezugwagen Niederflur-Doppelstockwagen (NDW) ([154]-[156])

Im Juni 2008 vergab die SBB, in Zusammenarbeit mit der Sihltal-Zürich-Uetliberg Bahn (SZU), den Auftrag für die Lieferung von 121 Niederflur-Doppelstock-Zwischenwagen (Tiefeinstieg) an das Konsortium Siemens/Bombardier. Acht Wagen erhält die SZU, 113 wurden für die SBB gefertigt.

Der NDW wurde aufgrund seiner sehr geringen Schallemission im Stand (Normalbetrieb ohne Betrieb des Klimakompressors und Verflüssigerlüfters: $L_{pAeq,T} = 50$ dB, Vollastbetrieb mit Betrieb des Klimakompressors und Verflüssigerlüfters:

$L_{pAeq,T} = 57$ dB) als Best-Practice-Fahrzeug ausgewählt. Beim Vorbeifahrtgeräusch liegt der NDW 1 dB über den leisesten Fahrzeugen.

Im Schlumberbetrieb (Klimakompressor und Verflüssigerlüfter ausgeschaltet, Lüftung an) betrug die Schallemission $L_{pAeq,T} < 42$ dB.

Die wichtigsten technischen Daten der Fahrzeuge sind Tabelle 61 zu entnehmen.

Tabelle 61. Technische Daten des NDW.

Kenngröße	Wert
Geschwindigkeit v_{max}	140 (160) km/h
Maximale Höhe	4618 mm
Maximale Breite	2780 mm
Länge über Puffer	26.8 m
Einstiegshöhe Trittleiste	600 mm
Leermasse (Tara)	52.12 t (SZU: 51.57 t)
Achslast	< 19.0 t
Sitzplätze	98
Maximale Stehplätze gemäss AB-EBV	216 (SZU: 222)
Raddurchmesser	920 mm

Darüber hinaus verfügen die Wagen über UIC-Schnittstellen an den Wagenenden, einem Behindertenbereich und Rollstuhl-WC, Klimaanlage für Fahrgastraum und Fahrerstand. Der Zwischenboden im Fahrgastraum ist als Sandwichkonstruktion ausgeführt.

Teilleistungen der beteiligten Firmen sind:

- Siemens (Konsortialführer) [Technische Verantwortung + Engineering komplett (außer FIS/APFZ), Beschaffung aller Komponenten/Materialien für Vormontage, Fertigung, Wagenkasten-Rohbau, Lackierung und Spritzisolierung, Vormontage (Fenster, Türen, Isolierung, Unterflurkabel), Drehgestelle]
- Bombardier [Engineering FIS/APFZ, Beschaffung aller Komponenten für Endmontage, Fertigung, Endmontage, Inbetriebsetzung]

Es wurde eine akustische Auslegung des Fahrzeuges durchgeführt. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

- Abstimmung des Konzeptes mit dem Kunden
- Einbeziehung von Messdaten aus Messungen, die speziell für die Erstellung des Berechnungsmodells am Vorprojekt durchgeführt wurden.
- Vorausberechnung mittels Berechnungsmodell mit allen Schallquellen und Schalldämmungen
- Anfertigen von Einzelspezifikationen für die Lieferanten
- Fertigen von Aufbauständen und Mock-Up
- Falls notwendig Unterstützung der Lieferanten
- Rückläufe der Lieferanten durch Akustik-Typtest
- Update des Berechnungsmodells durch Werte aus den Rückläufen der Lieferanten
- Typtest Akustik Gesamtfahrzeug

Bei der Konstruktion wurde der Akustik an zahlreichen Stellen Rechnung getragen. Für den Innenraum sind dies:

- Wahl eines akustisch guten Wand-, Boden- und Dachaufbaus.
- Enge Zusammenarbeit mit der Konstruktion. Dadurch waren Akustikmaßnahmen wirkungsvoll einsetzbar und in weiterer Folge die anspruchsvollen Akustik-Grenzwerte trotz offener Raumgestaltung im Inneren des Fahrzeugs einhaltbar bzw. sogar besser.

Für das Rollgeräusch:

- Es wurde ein Monitoring bzw. eine Qualitätskontrolle bis zur Abnahme bei den Rädern (Radlaufflächen) durchgeführt.
- Die Radgeometrie ist akustisch optimiert²¹ ausgeführt (mit Erfahrungswerten generiert und durch TWINS-Berechnungen untermauert).
- Als Rückfallebene sind umlaufende Nuten an den Rädern zur Nachrüstung von Radschall-Absorbern ausgeführt.

Für die Aggregatgeräusche:

- In der Klima- und Lüftungsanlage wurden regelbare Lüfter eingesetzt.
- Die Klimakompressoren sind schwingungsgedämpft im Klimagerät eingesetzt.
- Kanäle und Ausblasungen nach außen: Umsetzung von Schalleistungsreduktion in den Kanälen zu sämtlichen Ausblasungen (mit Ausnahme des Kondensatorlüfters) und Anbringung von akustisch wirksamen Wetterschutzgittern.

²¹ Geometrische Optimierung aufgrund von Erfahrung bei BG, zu optimierende Größen aus Vorprojekten, Bewertung und Entscheidung mit Hilfe von Berechnungen (TWINS).

- Akustische Vermessung des Klimaaggregats mit den angeschlossenen Klimakanälen an einem Aufbaustand zur Bestimmung der Schalldämmungen und um evtl. notwendige Optimierungen oder Maßnahmen einzuleiten.
- Im EVB (Energieversorgungsblock) ist ein regelbarer Lüfter eingesetzt.

Begleitend wurde ein Akustikmanagement mit folgenden Schritten durchgeführt.

- Abstimmung des Konzeptes mit dem Kunden.
- Einbeziehung von Messdaten aus Messungen, die speziell für die Erstellung des Berechnungsmodells am Vorprojekt durchgeführt wurden.
- Vorausberechnung mittels Berechnungsmodell mit allen Schallquellen und Schalldämmungen.
- Anfertigen von Einzelspezifikationen für die Lieferanten.
- Fertigen von Aufbauständen und Mock-Up.
- Falls notwendig, Unterstützung der Lieferanten.
- Rückläufe der Lieferanten durch Akustik-Typtest.
- Update des Berechnungsmodells durch Werte aus den Rückläufen der Lieferanten.
- Typtest Akustik Gesamtfahrzeug.

Im Rahmen einer Qualitätssicherung wird sichergestellt, dass die Qualität der Fahrzeuge in der Fertigung bis zum letzten Fahrzeug auf dem Level bleibt, welches bei der Abnahme erreicht wurde. Dazu gibt es speziell zum Thema Akustik bei den meisten Projekten alle zwei Jahre ein Audit im Werk und beim Betreiber der Fahrzeuge. Bei diesem Audit durch den Notified Body wird kontrolliert, was sich seit Abnahme der Fahrzeuge an diesen verändert hat und ob diese Änderungen Auswirkungen auf die Akustik haben.

Der NDW ist im Innenraum als sehr leise einzuschätzen. Die bei der Messung ermittelten Werte sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 62. Innengeräusche $L_{pAeq,T}$ des NDW in dB.

	Oberstock	Unterstock	Zwischen-deck	Einstieg	Treppe
Stand	53	47	55	52	57
Fahrt $v = 160$ km/h Freifeld	60	58	62	64	64
Fahrt $v = 160$ km/h Tunnel	67	68	69	73	71

10.4 Güterwagen Low Noise Train LNT ([91] - [100])

Der LNT wurde als Best Practice Fahrzeug ausgewählt, da er eine sehr geringe Schallemission verfügt und die akustischen Maßnahmen nachvollziehbar dokumentiert und veröffentlicht wurden.

Ziel des Low Noise Trains war es, mit realistischen wirtschaftlichen Mitteln einen Güterwagen leiser zu machen.

Die ARGE LNT wurde im Jahr 2000 durch eine Initiative von ÖBB und SBB gegründet. Zeitweise waren die DB und die Italienische Bahn FS ebenfalls Mitglieder. Ziel war die Initiierung der Entwicklung von Komponenten, Baugruppen und Gesamtkonzepten zur lärmmäßigen Ertüchtigung von Güterfahrzeugen bis zur Zulassung. Die akustischen Verbesserungen sollten nicht mit erhöhten Anschaffungskosten einhergehen.

Die folgende Abbildung zeigt die drei Wagen des Low Noise Trains.



Abbildung 44. Low Noise Train [100].

Konstruktionsskizzen sind in der folgenden Abbildung wiedergegeben.

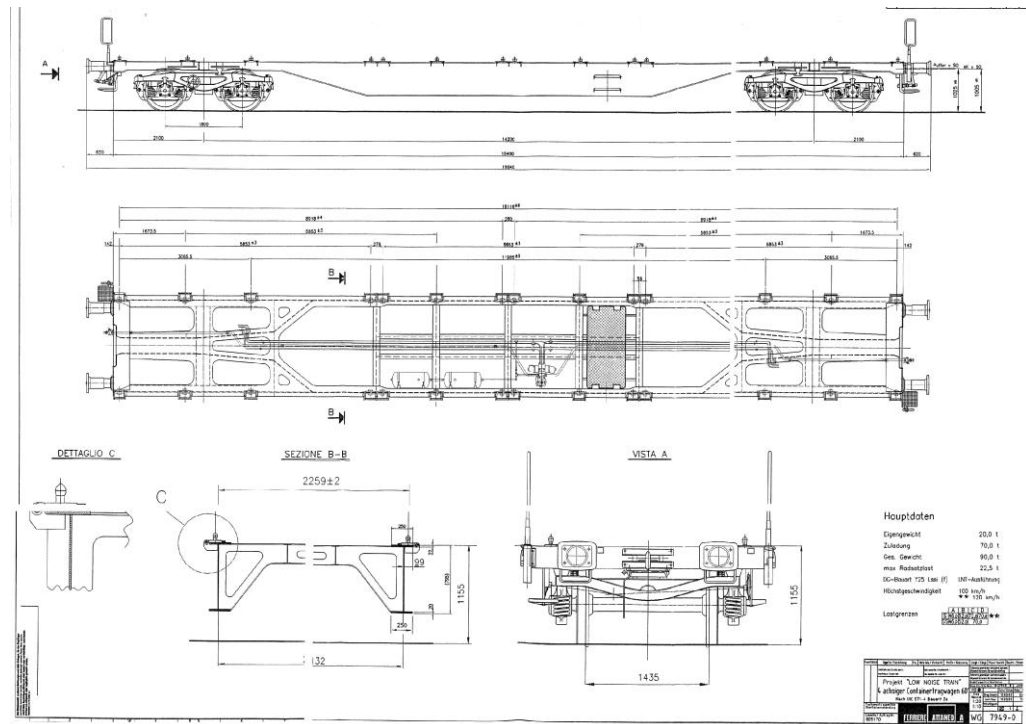


Abbildung 45. Konstruktionsskizze Low Noise Train [97].

Im Rahmen einer Ausschreibung wurden 3 Prototypen eines Containertragwagens bei Ferriere Cattaneo bestellt, an dem verschiedene akustische Maßnahmen realisiert waren. Die Technischen Daten der LNT-Wagen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 63. Technische Daten des Low Noise train.

Kenngröße	Wert
Bezeichnung	4-achsiger Tragwagen Sgns(s) 60'
Drehgestell	Y25 Lssi (f) (ELH, Halle) modifiziert für LNT, mit eigenspannungsarmen Rädern
Bremse	Druckluftbremse Knorr KE-GP-A 2 x 10" mit Bg Bremssohlen (Verbundstoffsohlen)
Bremsanlage	Im Drehgestell, Achsbremsgestänge, integrierte BG Bremszylinder und Gestängesteller mit Kunststoffbuchsen ausgerüstet
Bremssohle	Cosid 810 im Neuzustand (später auch Jurid)
Geschwindigkeit v max	120 km/h (100 km/h)

Kenngröße	Wert
Federung	Drehgestellfederung, zunächst TKS Schraubenfeder (diese wurde später durch eine einstufige Feder ersetzt), Auflage und Federführung in verschleissfestem Kunststoff geführt (Reduktion der der Körperschallübertragung)
Beschichtung von Radsatz, Radsatzlager, Radsatzgehäuse	Zweikomponenten Kunstsstoff SC Wear Elast VS 90 (Beschichtung wird bei Überhitzung zerstört, so dass die Kontrolle der Räder gewährleistet ist) und Mäder Afra plast A94
Sonstige Besonderheiten	Lärmmindernde Konstruktionselemente
Länge über Puffer	19,64 m
Drehgestellabstand	14,2 m
Untergestelllänge	18,4 m
Nutzbare Ladelänge	18,4 m
Radsatzabstand im Drehgestell	1,8 m
Raddurchmesser	920 mm
Anzahl der Achsen	4
Min Kurvernradius	75 m
Eigengewicht	20,0 t
Gewichtszuladung	Streckenklasse D $\geq$ 70 t
Gesamtgewicht	90 t
Achslast max	22,5 t
Spurweite	1435 mm

In Oktober 2002 wurde die Betriebsbewilligung erteilt. Auflagen dabei waren:

- Laufstabilität nach UIC-Merkblatt 518 nachzuweisen
- Konzept für die Kontrolle und Instandhaltung der durch die Lärmmindernde Maßnahmen veränderten Maßnahmen vorzulegen
- Erfahrungsbericht – Bewährung der Schürzen im Winterbetrieb einzureichen

Die Auflagen wurden nach der Betriebserprobung erfüllt. Es konnte eine unbefristete Betriebsbewilligung in der Schweiz [2] und eine allgemeine Zulassung erreicht werden.

Mit Entfernung der einstufigen Feder aus den LNT-Prototypen, die als einzelne Komponente die endgültige Zulassung nicht erreichen konnte, wurde der kommerzielle Einsatz der LNT-Wagen ermöglicht²².

Schallschürzen waren temporär angebaut, zeigten aber keine signifikante akustische Wirksamkeit.

Mit dem Zug wurden akustische Messungen auf einem Gleis mit Schotteroberbau, Betonschwellen, steifen Zwischenlagen und dem schalloptimierten Schienenprofil VA 71b durchgeführt. Die Messungen erfolgten nach prEN ISO 3095:2001 [13]. Die Schienenrauheit hält die Grenzkurven nach prEN ISO 3095:2001 und TSI-Lärm ein. Die Messstelle wird von der ÖBB generell für Schallemissionsmessungen verwendet.

Die Räder waren zum Zeitpunkt der Messung 1000 km eingefahren. Ebenfalls wurde die Radrauheit erfasst. Die Radrauheiten lagen in etwa im Bereich der Grenzkurve für die Schienenrauheiten prEN ISO 3095:2001 [13], einzelne Räder wiesen allerdings eine deutlich höhere Rauheit auf. Aus den Messungen ergab sich ein Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq,TP}$ von 75 dB²³ (vgl. 6.2.14).

Bei Nachmessungen nach einem Jahr wurde in etwa der gleiche Pegel ermittelt. Nach dreijähriger Betriebserprobung ergaben sich Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq,TP}$ von ca. 80 dB. Weitere zwei Jahr später ergab sich ein Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq,TP}$ von ca. 82 dB.

Vergleichende Untersuchungen von Fahrzeugen mit und ohne Antidröhnbelag sowie schwingungsdämpfenden Platten auf den Seitenwänden von Habbiins 2740 Wagen ergaben praktisch keine schallmindernde Wirkung.

Die geringe Schallemission der Sgnss Wagen im Vergleich zu konventionellen Sgns Wagen wird auf die durchgeführten Entkopplungsmaßnahmen, der Lage des Bremsgestänges zurückgeführt. Ebenfalls werden Unterschiede in den Ausführungen der K-Bremssysteme als Ursachen für Streuungen in der Schallemission aufgeführt.

Die konstruktiven Maßnahmen am LNT zur Entkopplung des Drehgestells und des Wagenkastens sowie zur Entdröhnung der Räder und des Drehgestells sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

²² Im Messprogramm der ARGE LNT im Jahr 2005 konnten keine signifikanten Auswirkungen der TKS-Feder auf die Schallemission im Vergleich zu einer zweistufigen Feder festgestellt werden.

²³ Da einseitig Schürzen verbaut waren, wurde der $L_{pAeq,TP}$ von 75 dB nur für eine Fahrzeugseite ermittelt. Mit Schürzen ergab sich ein im Rahmen der Messgenauigkeit vergleichbarer $L_{pAeq,TP}$ von 76 dB nach prEN ISO 3095:2001 [13].

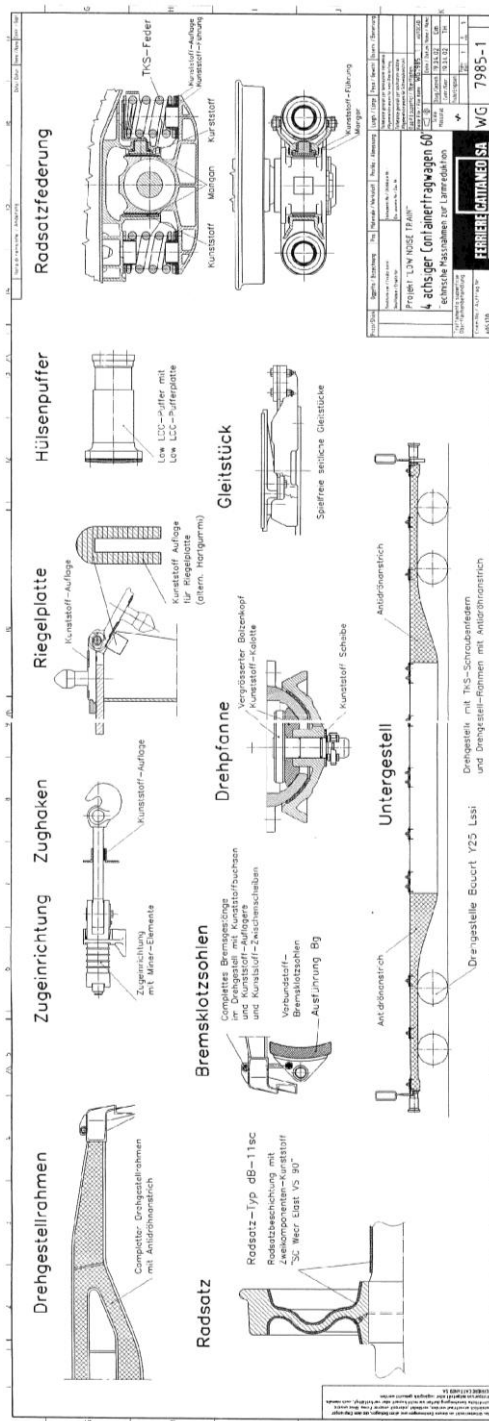


Abbildung 46. Konstruktive, schallmindernde Maßnahmen am Low Noise Train [98].

Alle Komponenten des LNT-Wagens sind am Markt erhältlich. Die Mehrkosten waren im Jahr 2004 mit ca. 6.500,00 € abgeschätzt worden, wobei diese vorwiegend durch den Einsatz der K-Sohle entstanden. Die Kosten des Antidröhnanstriches wurden im Rahmen von Reparaturmaßnahmen in der Größenordnungen von ca. 2.000,00 € pro Wagen abgeschätzt.

Alle anderen kleineren Maßnahmen können nur bei Neu-Wagen Berücksichtigung finden, da diese zum Teil gewissen Konstruktionskriterien genügen müssen.

11 Akustische Gesichtspunkte für die Neufassung der TSI-Lärm

11.1 Parkstellung

Wir schlagen vor, als zusätzliche Betriebsbedingung, die Parkstellung der Fahrzeuge mit in die TSI aufzunehmen.

Die Parkstellung ist, insbesondere bei ETZ, von hoher Relevanz für die Bevölkerung, da die Abstellgleise der S-Bahn häufig in bewohnten Gebieten liegen. Relevante Schallemissionen der Fahrzeuge sind das Kühlen der Fahrzeuge vor dem Einsatz, das Kühlen der Rechneranlage im Führerstand der Betrieb des Druckluftkompressors sowie das Abblasen der Druckluft²⁴. Auch wenn beide letztere nur selten auftreten, spielen sie bei einer Vielzahl an abgestellten Fahrzeugen in der Nähe von Wohngebieten dennoch eine Rolle. Bei Undichtigkeiten in der Druckluftanlage, wie sie typischerweise während der Lebensdauer von Schienenfahrzeugen auftreten kommt es zu vermehrtem Kompressorbetrieb.

Die Prüfung der Schallemission der Klimaanlage kann über die Prüfung der Schallemission im Stand mit abgedeckt werden. In diesem Fall müssen die Grenzwerte der Schallemission im Stand, insbesondere für ETZ deutlich gesenkt werden. Technologisch ist dies möglich.

Der Schallemission bei Kompressorbetrieb ist über eine bestimmte Zeit stationär, das Abblasen der Druckluft erbringt kurzzeitige Schalldruckspitzen. Daher sind zwei getrennte Prüfungen erforderlich.

Wir schlagen folgende Prüfung für die Parkstellung von Fahrzeugen vor:

Messung bei Betrieb der Klimaanlage (mit eingeschaltetem Kompressor) auf höchster, betriebsüblicher Stufe im Parkbetrieb

Messung gemäß prEN ISO 3095:2010 mit

Messgröße $L_{pAeq,T}$

Messpositionen beidseitig des Fahrzeugs in 7,5 m Entfernung von der Gleisachse in 1,2 m Höhe über SOK (bei hochliegenden Schallquellen 3,5 m Höhe) auf Höhe eines Fahrgastraumklimaaggregates.

Bewertung der lautesten Mikrofonposition unter Berücksichtigung der Tonalität.

Grenzwert: $L_{pAeq,T} < 50$ dB

Messung bei Betrieb des Bremsluftkompressors

Messung gemäß prEN ISO 3095:2010 mit

Messgröße $L_{pAeq,T}$

Messpositionen beidseitig des Fahrzeugs in 7,5 m Entfernung von der Gleisachse in 1,2 m Höhe über SOK (bei hochliegenden Schallquellen 3,5 m Höhe) auf Höhe des Druckluftkompressors

Bewertung der lautesten Mikrofonposition unter Berücksichtigung der Tonalität.

Grenzwert: $L_{pAeq,T} < 55$ dB

²⁴ Bei modernen ETZ bleibt häufig auch im abgestellten Zustand die Druckluftanlage in Betrieb.

Messung bei Abblasen der Druckluft (i. d. R. infolge der Konditionierung der Druckluft Ausblasen von Kondensat über Luftausblasventile)

Messgröße $L_{pAF,max}$ oder $L_{pAl,max}$

Messpositionen beidseitig des Fahrzeugs in 7,5 m Entfernung von der Gleisachse in 1,2 m Höhe über SOK (bei hochliegenden Schallquellen 3,5 m Höhe)

Bewertung der lautesten Mikrofonposition unter Berücksichtigung der Tonalität.

Der Grenzwert für das Abblasen der Druckluft sollte so gewählt werden, dass das Abblasen nur mittels Schalldämpfer möglich ist.

Das Abblasen der Druckluft ist ebenfalls bei Stillstand am Bahnsteig von Relevanz.

Diese Messungen können einfach zusammen mit dem Standgeräusch durchgeführt werden.

11.2 Referenzgleis

Die akustischen Eigenschaften des Referenzgleises sind als einseitige Grenzwerte in dem Sinne, dass

- Eine Mindestanforderung an die Schienenrauheit und eine
- eine Mindestanforderung an die Abklingrate

gefordert werden. Akustisch besonders gute Gleise bewirken, in Vergleich zu einem Gleis, das gerade eben die Referenzgleiseigenschaften erfüllt, einen geringeren Schalldruckpegel bei der Vorbeifahrt. Die Einflüsse wurden in Abschnitt 8.3.2 abgeschätzt. Bei einer guten Radqualität ergeben sich Standardabweichungen des Vorbeifahrtpegels auf verschiedenen möglichen Abnahmestrecken von 1,0 dB. Die Spannbreite des Vorbeifahrtpegels auf verschiedenen TSI-konformen Referenzgleisen beträgt vom leisesten zu lautesten bekannten TSI-Gleis ca. 3 dB. Hinsichtlich des Einflusses der Abklingraten beträgt der Unterschied zwischen dem leisesten und dem lautesten Gleis ca. 1,4 dB. Diese schränkt die Vergleichbarkeit der Vorbeifahrtmessungen ein. Allein aufgrund der Einflussgrößen Schienenrauheit und Abklingrate sind damit Abweichungen der Vorbeifahrtpegel auf zwei Referenzgleichen von 4,4 dB möglich. Die weiteren Einflussfaktoren auf die Messgenauigkeit tragen jedoch noch weiter zur Erhöhung der Streuungen bei.

Verschärfend kommt hinzu, dass nach der TSI-Lärm:2011 [10] an Referenzgleisen Schienendämpfer explizit zulässig sind. Ein Gleis mit einer sehr guten Abklingrate kann durch Schienendämpfer akustisch noch verbessert werden.

Der Ursprungsgedanke der Vergleichbarkeit von Messergebnissen wird dadurch sehr eingeschränkt.

Die Festlegung einer Maximalanforderung an die Schienenrauheit und die Abklingrate würde die Verfügbarkeit der Referenzgleise einschränken und stellt keine zielführende Lösung dar.

Wir schlagen vor, die gemessenen Vorbeifahrtpegel nach dem in Abschnitt 8.3.2 beschriebenen Verfahren auf einen Referenzschalldruckpegel umzurechnen, der sich bei Vorbeifahrt auf einem Gleis mit einer definierten Schienenrauheitsvergleichskurve ergibt. Messwerte sollen nur dann als vergleichbar gekennzeichnet werden, wenn der Referenzschalldruckpegel benannt wird.

In diesem Fall verringern sich die Streuungen der Messergebnisse des Vorbeifahrtpegels deutlich.

Hinsichtlich der Abklingraten soll eine Empfehlung ausgesprochen werden, ob Referenzgleise mit Schienenstegdämpfern ausgestattet sein sollen, um an allen Referenzgleisen vergleichbare Verhältnisse zu haben.

11.3 Schallemissionen von in Betrieb stehenden Fahrzeugen

Die Schallemissionen von in Betrieb stehenden Fahrzeugen nehmen mit der Zeit zu. Hierfür sollte eine Obergrenze nach einer Betriebsdauer von drei Jahren von 3 dB eingeführt werden. Eine Nachmessung sollte bei Hinweisen auf eine deutlich erhöhte Schallemission erfolgen.

Für den Inhalt des vorliegenden Berichtes zeichnen verantwortlich

PD Dr.-Ing. Stefan Lutzenberger

Dipl.-Ing. (FH) Christian Gutmann

12 Literaturverzeichnis

- [1] Richtlinie 96/48/EG des Rates vom 23. Juli 1996 über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems, 1996
- [2] Richtlinie 2001/16/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. März 2001 über die Interoperabilität des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems, 2001
- [3] Richtlinie 2008/57/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2002 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Gemeinschaft (Neufassung), 2008
- [4] Richtlinie 2004/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 zur Änderung der Richtlinie 96/48/EG des Rates über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems und der Richtlinie 2001/16/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Interoperabilität des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems, 2004, Berichtigung 21.06.2004
- [5] Commission decision of 29.04.2010 concerning a mandate to the European Railway Agency to develop and review Technical Specifications for Interoperability with a view to extending their scope to the whole rail system in the European Union, 2010
- [6] TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr, Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge“ des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems (2002/735/EG), 30.05.2002
- [7] Entscheidung der Kommission vom 23.12.2005 über die Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem „Fahrzeuge - Lärm“ des konventionellen transeuropäischen Bahnsystems (2006/66/EG), 08.02.2006
- [8] TSI-Hochgeschwindigkeitsverkehr, Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystems „Fahrzeuge“ des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems (2008/232/EG), 21.02.2008
- [9] Report accompanying the limited revision of the TSI „Rolling Stock – Noise, IUNOI-21012010-TSI draft, 21/01/2010
- [10] TSI-Lärm, Beschluss der Kommission vom 4. April 2011 über die Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem „Fahrzeuge – Lärm“ des konventionellen transeuropäischen Bahnsystems, 13.04.2011 (2011/229/EU)
- [11] Meunier, N.; Gerbig, Ch.: Die Überarbeitung der TSI-Lärm und der DIN EN ISO 3095, DAGA 2011, Düsseldorf
- [12] Létourneaux, F.; Meunier, N.; Fodiman, P.: Small deviation procedure: a new way to introduce flexibility in the conformity assessment of reference tracks for pass-by acoustic tests, proceedings of the International Workshop on railway noise, 2010

- [13] prEN ISO 3095, Bahnanwendungen - Akustik - Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen; Deutsche Fassung, April 2001
- [14] EN ISO 3095, Bahnanwendungen - Akustik - Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen; Deutsche Fassung , November 2005
- [15] pr EN ISO 3095, Railway applications – Acoustics – Measurement of noise emitted by railbound vehicles, draft 2010
- [16] DIN EN ISO 3381, Bahnanwendungen – Akustik – Geräuschemessungen in spurgebundenen Fahrzeugen, November 2005
- [17] DIN EN 15892, Bahnanwendungen - Geräuschemission - Geräuschemessung im Führerraum zur Untersuchung der Übereinstimmung mit Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität, Januar 2009
- [18] prEN 15153-2, Bahnanwendungen - Optische und akustische Warneinrichtungen für Schienenfahrzeuge - Teil 2: Signalhörner; Deutsche Fassung prEN 15153-2:2010, April 2010
- [19] DIN EN 15461, Bahnanwendungen - Schallemission - Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften von Gleisabschnitten für Vorbeifahrt- geräuschemessungen; Deutsche Fassung EN 15461:2008, Oktober 2008
- [20] DIN EN 15610, August 2009, Bahnanwendungen – Geräuschemission – Messung der Schienenrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräusch; Deutsche Fassung EN 15610:2009
- [21] DIN EN ISO 12100 Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsgrundsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung (ISO 12100:2010)
- [22] EN ISO 11689 Vorgehensweise für den Vergleich von Geräuschemissionswerten für Maschinen und Geräte, 1997
- [23] DIN EN ISO 12001, Akustik – Geräuschabstrahlung von Maschinen und Geräten – Regeln für die Erstellung und Gestaltung einer Geräuschemessnorm, (ISO 12001:1996); Deutsche Fassung EN ISO 12001:2009
- [24] ISO 7574-1, Acoustics – Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment – Part 1: General considerations and definitions, 1985
- [25] ISO 7574-2, Acoustics – Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment – Part 2: Methods for stated values for individual machines, 1985
- [26] ISO 7574-4, Acoustics – Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment – Part 4: Methods for stated values for batches of machines, 1985
- [27] DIN EN 27 574 Statistische Verfahren zur Festlegung und Nachprüfung angegebener (oder vorgegebener) Geräuschemissionswerte von Maschinen und Geräten Teil 4: Verfahren für Angaben (oder Vorgaben) für Maschinenlose (Identisch mit ISO 7574/4), 1985

- [28] "Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S.3830), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 27. Juni 2012 (BGBl. I S. 1421) geändert worden ist" Stand: Neugefasst durch Bek. v. 26.9.2002 I 3830; Zuletzt geändert durch Art. 2 G v. 27.6.2012 I 1421
- [29] RICHTLINIE 2006/42/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES; vom 17. Mai 2006, über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)
- [30] Wettschureck, R.; Hauck, G.; Diehl, J.; Willenbrink, L.: Geräusche und Erschütterungen aus dem Schienenverkehr; in Müller, Möser, Taschenbuch der technischen Akustik, 3. Auflage, Springer Verlag, 2004
- [31] Lutzenberger, S.; Gutmann, C.: Geräuschemission europäischer Schienenfahrzeuge, Datenerhebung und Bewertung, DAGA 2012
- [32] Müller-BBM Bericht Nr. 32 212 / 78, Geräuschemissionen von Schienenfahrzeugen, Schlussbericht für das UBA-Vorhaben Nr. 105 05 806/7 „Ermittlung und Fortentwicklung des Lärminderungspotentials beim Schienenverkehr und seine Umsetzung in Geräuschvorschriften und Minderung der Lärmemission von Güterwagen durch Optimierung lärmrelevanter Komponenten (insbesondere des Bremssystems); 1999
- [33] Kurze, U.; Diehl, R.; Weißenberger, W.: Sound emission limits for rail vehicles; Journal of Sound and Vibration 231(3) (497-504), 2000
- [34] Müller-BBM Bericht Nr. 54 058/3; F+E Vorhaben 203 54 115 im Rahmen des Umweltforschungsplans 2003 (Ufoplan 2003), Entwicklung einer Prüfstrecke für die Geräuschtypprüfung von Schienenfahrzeugen, Vorbeifahrtpegel, HGV und konventionelle Eisenbahnen
- [35] Müller-BBM Notiz 54 464/3; Proposal for TSI+ roughness limit, 2004
- [36] The NOEMIE project (Noise Emission Measurement campaign concerning noise from existing high-speed Interoperability in Europe), Project n°2002/EU/1663, Final report, 2005
- [37] Fodiman, P.; Staiger, M.: Improvement of the Noise Technical Specifications for Interoperability: The input of the NOEMIE project, 8th International Workshop on Railway Noise, Buxton, 2004
- [38] Fodiman, P.; Jones, J.: Noise Emission Measurement campaign for high speed interoperability in Europe: the NOEMIE Project – first results towards an improved definition of reference tracks, CFA/DAGA 2004 Straßbourg
- [39] Fodiman, P.: Noise Emission Measurement campaign for high speed interoperability in Europe: the NOEMIE Project, Euronoise 2003, Neapel
- [40] Odegaard & Dankneskiold-Samsøe A/S: A study of European Priorities and Strategies for Railway Noise Abatement, Final Report, EU Commission, Directorate-General for Energy and Transport, February 2002
- [41] Prose AG: Geräuschmessung von in Betrieb stehenden Eisenbahngüterwagen – Abschlussbericht, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 2003

- [42] Bühler, S.: Methods and Results of Field Testing of a Retrofitted Freight Train with Composite Brake Blocks, 8th International Workshop on Railway Noise, Buxton, 2004
- [43] Alstom LHB GmbH: Schlussbericht Forschungsprojekt Low Emission Bogie LEMBO, Salzgitter, März 2004
- [44] Hemsworth, B.; Bird, W.: Railway Noise Research, summary of Activities since 1990, ERRI Noise and Vibration unit, Second Edition, 1998
- [45] Thompson, D. J.; Gautier, P-E: Review of research into wheel/rail rolling noise reduction, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 220, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2006
- [46] Hemsworth, B.; Gautier, P.-E.; Jones, R.: Silent freight and silent track projects, Proceedings Internoise 2000
- [47] Jones, C., Thompson, D. J.: Rolling noise generated by railway wheels with visco-elastic layers, Journal of sound and vibration, 231 779-790, 2000
- [48] R. Jones et al: Vehicle-mounted shields and low trackside barriers for railway noise control in a European context; Proceedings Internoise, 2000
- [49] Jones, C.; Thompson, D.; Frid, A.; Wallentin, M.: Design of a railway wheel with acoustically improved cross-section and constrained layer damping, Proceedings Internoise, 2000
- [50] Bouvet, P.; Vincent, N.; Coblenz, A.; Demilly, F.: Rolling noise from freight railway traffic: reduction of wheel radiation by means of tuned absorbers; Proceedings Internoise, 2000
- [51] Lopez, I.; Vinolas, J.; Busturia, J.; Castanares, A.: Railway wheel ring dampers; Proceedings Internoise, 2000
- [52] Lub, J.: The Quiet Rail Traffic (STV) Project, Part 2 – Demonstrating Practical Low Noise Solutions
- [53] Jones, C.; Edwards, J.: Development and testing of wheels and track components for reduced rolling noise from freight trains, Proceedings Internoise, 1996
- [54] Vos, P.; van Lier, S.: Noise-related roughness on railway wheels generated by thread breaking; Quelle unbekannt
- [55] Hiperwheel – und das Rad rollt und rollt; Fraunhofer Magazin; 2005; http://www.archiv.fraunhofer.de/archiv/magazin04-08/fhg/Images/mag4-2005-56_tcm5-51735.pdf;
- [56] Knani K.; Bruni S.; Cervello S.; Ferrarotti G.: Development of an integrated design methodology for a new generation of high performance rail wheelset, <http://www.railway-research.org/IMG/pdf/008.pdf>
- [57] Thompson, D. J.: Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modeling and Means of Control, Elsevier, 2009
- [58] Jones, C.: A review of the modeling of wheel/rail noise generation, Journal of sound and vibration 231 519-536, 2000

- [59] Thompson, D. J.: Wheel-rail noise generation, part I: Introduction and interaction model, Journal of sound and vibration 161(3) 387-400, 1993
- [60] Thompson, D. J.: Wheel-rail noise generation, part II: Wheel vibration, Journal of sound and vibration 161(3) 401-419, 1993
- [61] Thompson, D. J.: Wheel-rail noise generation, part III: Rail vibration, Journal of sound and vibration 161(3) 421-446, 1993
- [62] Thompson, D. J.: Wheel-rail noise generation, part IV: Contact zone and results, Journal of sound and vibration 161(3) 447-466, 1993
- [63] Thompson, D. J.: Wheel-rail noise generation, part V: Inclusion of the wheel rotation, Journal of sound and vibration 161(3) 467-482, 1993
- [64] Thompson, D. J., Hemsworth, B., Vincent, N.: Experimental validation of the TWINS prediction program for rolling noise part 1: description of the model and method, Journal of sound and vibration 193 123-135, 1996
- [65] Thompson, D. J., Fodiman, P., Mahé, H.: Experimental validation of the TWINS prediction program for rolling noise part 2: results, Journal of sound and vibration 193 137-147, 1996
- [66] Daiminger, W. et al: Verifizierung des Rad-Schiene – Impedanzmodells RIM, Luft- und Körperschallmessung an zwei Abschnitten der Strecke Donauwörth – Augsburg bei Asbach – Bäumenheim, Müller-BBM Bericht
- [67] Diehl, R.; Waubke, H.: Benutzerhandbuch RIM B Version 2, Müller-BBM Bericht Nr. 37332/7
- [68] Kurze, U.; Horn, H.: Schwingungen von Eisenbahnradern, Acustica, Vol 70, 1990
- [69] Reichart, U., Weinandy, R.: TSI Noise – Große Revision, Fachtagung Bahnakustik, Infrastruktur, Fahrzeuge, Betrieb, 2011
- [70] Reichart, U., Weinandy, R.: TSI Noise – große Revision, Trends und aktuelle Entwicklungen. DAGA 2012
- [71] Jäcker-Cüppers, M.: Die Position der Verkehrs- und Lärmschutzverbände zur Bekämpfung des Schienenverkehrslärms, DAGA 2012
- [72] Jäcker-Cüppers, M.: Große Revision der TSI Noise, Position der Umwelt- und Verkehrsverbände (NRO), Sitzung der nationalen Spiegelgruppe zur ERA-WP NOI TSI, Berlin, 30.8.2011, Vortragsfolien
- [73] Müller-BBM Bericht Nr. M78 871/4: Akustik-Management zum NDW, S-Bahn Zürich; Dokumentation der Akustikprognose
- [74] Johannsen, K.: Der Einfluss der Oberflächenimpedanz auf das Abstrahlverhalten eines Schürze-Niedrigschallschirm-Systems; Dissertation, TU Berlin, 2005
- [75] Kurze, U.; Riedel, E.: Schalldämpfer, in Müller, Möser, Taschenbuch der technischen Akustik, 3. Auflage, Springer Verlag, 2004
- [76] Reiss, G.: Methoden zur akustischen Optimierung von Schienenfahrzeugen, ZEVrail Glasers Annalen 11/2002, S. 476-484

- [77] Hecht, M., Zogg, H.: Lärmdesign moderner Triebfahrzeuge am Beispiel der Lok 2000-Familie, Anwendung von Telemetrie, Intensitäts- und Arraymeßtechnik; ZEV + DET Glasers Analen 119 (1995) 9/10 September/Okttober
- [78] LEIcHTes und LärmArmes Güterwagen-Dreh-Gestell, Gemeinsamer Abschlußbericht für das Verbundprojekt LEILA-DG, Bundesministerium für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen: 19 U 0007 A-F
- [79] Hecht, M.; Keudel, J.: In Messfahrten nachgewiesene Vorteile des LEILA-Güterwagendrehgestells, ZEVrail Glasers Analen 131, Tagungsband SFT Graz 2007
- [80] Liengme: Mit dem Drehgestell LEILA kommt der Lärmschutz zum Zug, Umwelt 1/08 Dossier Umwelttechnologieförderung
- [81] Güterwagen-Drehgestelle: LEILA, <http://www.drehgestelle.de/6/leila.html>
- [82] <http://www.fv-leiserverkehr.de/index.html>
- [83] Forschungsverbund Leiser Verkehr, Verbundprojekt 4000 Leise Züge und Trassen; Teilprojekt 4200 Antriebsgeräusche; AP 4220: Minderung der Lüftungsgeräusche angetriebener Schienenfahrzeuge; Schlussbericht gemäß NKBF 98
- [84] Abschlussbericht zum Verbundprojekt L Zar G – Leiser Zug auf realem Gleis, 8.3.2012
- [85] Thoß, E.; Pankau J.: LZarG – Leiser Zug auf realem Gleis Angebote der Bahnindustrie für leisere U-Bahnen, S-Bahnen und Straßenbahnen Leise Bahnen in Stadt und Region – wie Innovationen den Schienenverkehr beruhigen, Symposium von VDB und VDV zur Geräuschentwicklung im Schienenverkehr, Berlin, 28. Januar 2009, http://www.bahnindustrie.info/uploads/media/7_Vortrag_Thoss.pdf
- [86] Informationen zu dem Projekt LzarG auf <http://www.lzarg.de/>
- [87] Starnberg, M.: STARDAMP – Ein deutsch-französisches Kooperationsprojekt zur Minderung des Schienenlärms, DAGA 2012
- [88] Betgen, Bouver, Thompson, Demilly, Gerlach: Assessment of the efficiency of railway dampers using laboratory methods within the STARDAMP project, DAGA 2012
- [89] Venghaus, Thompson, Toward, Bumke, Kiston, Asmussen, Starnberg: Assessment of the efficiency of rail dampers using laboratory methods within the STARDAMP project, DAGA 2012
- [90] Fa. Stadler: Elektrischer Niederflurtriebzug FLIRT für die SNTF, S-Bahn Algier, http://www.stadlerail.com/media/uploads/factsheets/FLIRT_Algier_d.pdf
- [91] Presle, G.; N. Guiccicone; E. Mingozi; Rutz, S.: Das Projekt Low Noise Train, ZEVrail Glasers Analen 126, Tagungsband SFT Graz 2002
- [92] Minigozzi, Presle, G.; Rutz, S.: Das LNT-Projekt- Lärmreduktion bei Güterfahrzeugen, Eisenbahntechnische Rundschau, ETR, Januar + Februar 2004
- [93] Minigozzi, Presle, G.; Rutz, S.: Das LNT-Projekt- Lärmarme Flachgüterwagen, Eisenbahntechnische Rundschau, ETR, Januar + Februar 2007

- [94] Barth, M.; Presle, G.: "Projekt Low Noise Train – Ergebnisse und Ausblick", ETR, November 2009
- [95] Presle, G.; Holzfeind, J.: Die partizipative Forschung nationaler Bahnen – am Beispiel der ÖBB und der SBB, Eisenbahntechnische Rundschau, ETR, Januar + Februar 2012
- [96] Messbericht; Messung und Analyse des Vorbeifahrtgeräusches der Low-Noise-Train-Wagen Type SGNSS von Oktober 2002
- [97] Ferriere Cattaneo: Projekt Low Noise Train, 4 achsiger Containertragwagen 60' Nach UIC; Zeichnungs-Nr. 7949-0
- [98] Ferriere Cattaneo: Projekt Low Noise Train, 4 achsiger Containertragwagen 60' Nach UIC, Technische Maßnahmen zur Lärmreduktion, Zeichnungs-Nr. 7985-1
- [99] ARGE LNT: LNT-Prototypen als Best Practice Beispiel, Oktober 2012
- [100] Foto des LNT; ARGE LNT
- [101] Van Roij, W.; Peen, J.: Whispering train projects; Noise reduction of Freight Wagons wheel absorbers, K- and LL-blocks, Internoise, 2007, Istanbul
- [102] Pos, P.; Penn, J.: Der leise Dolomit-Shuttle, Ei – Eisenbahningenieur (58), 2/2007
- [103] Pos, P.; Peen, J.: Noise pilots in the Netherlands; The Practical Application of recently Developed Techniques for Noise Reduction in Freight Traffic, <http://www.uic.org/cdrom/2006/wcrr2006/pdf/323.pdf>
- [104] Peen, Jasper: Developments in the Netherlands, the Dutch Whispering Train programme, workshop on noise differentiated track access charges and other rail noise developments at the EU level, Brussels 2010
- [105] Prose AG: Studie zu „Besonders Lärmarmen Güterwagen“, Bericht 8-017 Rev. A, , 2010
- [106] Thron, T.: Besonders Lärmarme Güterwagen, DAGA 2011
- [107] Gerlach, T.; Brinkmann, A.; Kemp-Lettkamp, C.: Die Entwicklung und Stand der Technik von Systemen zu Reduzierung der Schallemission aus dem Rollgeräusch und dem Kurvenquietschen, 9. Internationale Schienenfahrzeugtagung Dresden, 2008
http://www.lzarg.de/docs/Vortrag_Rad%202008_ThGerlach_Endfassung.pdf
- [108] Raison, J.: Thermomechanisches und akustisches Verhalten der Räder von Eisenbahn-Fahrzeugen, ZEV + DET Glas. Ann. 122 9/10, 1998
- [109] Crevello, S.; Donzella, A.; Pola, A.; Scepi, M.: Analysis and design of a low-noise railway wheel; ; Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 215 Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2001
- [110] Bracciali, A.: damped wheels as an efficient measure to reduce railway noise, Euronoise 2003
- [111] M. Petersson: Noise-related roughness of railway wheel treads-full-scale testing of brake blocks; Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 214 Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2000

- [112] D Hölzl, Georg: Das leise Rad, Die Deutsche Bahn, Jg.: 69, Nr.3, 229-232, 1993
- [113] Nielsen, J.; Fredö, C.: Multi-disciplinary optimization of railway wheels, 8th International Workshop on Railway Noise, Buxton, 2004
- [114] Akama, M., Sasakura, M., Furuno, K.: Design and analysis of low-stress and low-noise lightweight railway wheel; Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 223 Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2009
- [115] Suarez, B., Chover, J., Rodriguez, P; Gonzales, J.: Effectiveness of resilient wheels in reducing noise and vibrations; Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit
- [116] Behr, W.: Wirkung der Kombination von Rad- und Schienendämpfern; Fachtagung Bahnakustik, Infrastruktur, Fahrzeuge, Betrieb; 2011
- [117] Weißenberger et al: Untersuchungen an Schallminderungsmaßnahmen im Rahmen des Konjunkturpaktes II Schiene und Bewertung der Maßnahmen; Fachtagung Bahnakustik, Infrastruktur, Fahrzeuge, Betrieb; 2011
- [118] Breuer, W.: Schwierigkeiten mit der bisherigen TSI Noise (2006/66/EC) im Hinblick auf die Vereinfachungen durch die revidierte TSI Noise (2011/229/EU), Fachtagung Bahnakustik, Infrastruktur, Fahrzeuge, Betrieb; 2011
- [119] Czolbe, C.; Hecht, M.: Noise Reduction Measures at Freight Train locomotives „Blue Tiger“, in Noise and Vibration Mitigation, NNFM 99, 412-418, Springer Verlag
- [120] Thoß; Stegemann; Treichler; Schätzer: Optimierung der Schallemission von Schienenfahrzeugen mit „nicht“ akustischen Maßnahmen, DAGA 2007
- [121] Fried, A.; Orrenius, U.; Kohrs, T.: BRAINS for improved rail vehicle acoustics; DAGA, München, 2005
- [122] Diehl, R., Müller, G.: An engineering model for the prediction of interior and exterior noise of railway vehicles, Euronoise, 1998
- [123] Sievi, S.; Schorer, E.: Akustikmanagement; Fachtagung Bahnakustik, Infrastruktur, Fahrzeuge, Betrieb, 2011
- [124] Hopt, A.; Salm, J.; Brandes, M.: Akustikoptimierung an Hochleistungs Bahnantrieben durch Sekundärmaßnahmen, DAGA 2003
- [125] Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and management Of Environmental Noise, Definition of track influence: Roughness in rolling noise, Deliverable 12 part 1 of the HARMONOISE project, 2003
- [126] Jäcker-Cüppers, M.; Weinandy, R.: Lärmabhängige Trassenpreise – ein Instrument zur Minderung des Schienenverkehrslärms, DAGA, 2011
- [127] Paul de Vos: Lärminderungsprojekte im Ausland, Workshop leiser Schienenverkehr, Berlin, 2001

- [128] European commission, Dg research, sixth framework programme, priority 6, sustainable development, global change & ecosystems, integrated project – contract N. 516288, proceedings of forth SILENCE seminar, Paris, 17 January 2008
- [129] Silence, Practitioner Handbook for Local Noise Action Plans, Recommendations from the SILENCE project, www.silence-ip.org
- [130] http://www.uic.org/com/IMG/pdf/europetrain__de.pdf
- [131] Oertli, J.: The STAIRRS PROJECT, work package 1: A cost-effectiveness analysis of railway noise reduction on a European scale; Euronoise, 2003
- [132] UIC: Bahnlärm in Europa, Sachstandsbericht, 2010
- [133] Akustik Report 030: Maßnahmen zur Reduzierung des Rollgeräusches Teil 1 – Messdurchführung und Ergebnisse für Räder Ba 14 ohne Absorber, Dezernat 103a, Bundesbahn-Zentralamt München, 1993
- [134] Akustik Report 030: Maßnahmen zur Reduzierung des Rollgeräusches Teil 2 – Serienabsorber vom Typ VSG, Zentralbereich Querschnittsfragen Bahntechnik, ZTQ15, 1993
- [135] Akustik Report 030: Maßnahmen zur Reduzierung des Rollgeräusches Teil 3 – Serienabsorber vom Typ MAN/GHH, Zentralbereich Querschnittsfragen Bahntechnik, ZTQ15, 1993
- [136] Akustik Report 030: Maßnahmen zur Reduzierung des Rollgeräusches Teil 4 – Gummigefederte Einringräder Bo 84, Zentralbereich Querschnittsfragen Bahntechnik, ZTQ15, 1993
- [137] Akustik Report 030: Maßnahmen zur Reduzierung des Rollgeräusches Teil 5 – Schalloptimierte Räder, Dezernat 103a, Bundesbahn-Zentralamt München, 1993
- [138] Akustik Report 030: Maßnahmen zur Reduzierung des Rollgeräusches Teil 6 – Modifizierte Serienabsorber, Dezernat 103a, Bundesbahn-Zentralamt München, 1993
- [139] Akustik Report 45: Schallemission von glockenrädern der Fa. Ilseburg mit VSG bzw. DASA Absorbern, Zentralbereich Querschnittsfragen Bahntechnik, ZTQ15, 1995
- [140] Onnich, J.; Koch, B.: The special Monitored Track procedure (SMT), CFA/DAGA, Straßbourg, 2004
- [141] Hölzl, Georg: Das leise Rad, Die Deutsche Bahn, Jg.: 69, Nr.3, 229-232, 1993
- [142] DB Netze: Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg, Schlussbericht, 15.06.2012
- [143] DB Systemtechnik: Mindestanforderungen an Nachweismessungen zur quantitativen Bewertung von infrastrukturbasierten Innovationen zur Minderung des Schienenlärms, Dokument Nr. 08-P-6835-TTZ11222.7.2010

- [144] Lutzenberger, S.; Gralla, G.: Ermittlung der Unsicherheiten bei bahnakustischen Messungen – Erläuterungen zum Anhang E der prEN ISO 3095, Fachtagung Bahnakustik, 2011
- [145] Meunier, N.; Fodiman, P.: Revision of TSI Noi, Proposal for the new requirements to freight wagons, Version 2 – On-going discussion, 04.10.2011
- [146] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung DGVZ: Leise Maschinen, Auswahl und Beschaffung, Fachausschuss-Informationsblatt, August 2010
- [147] http://de.wikipedia.org/wiki/Stand_der_Technik
- [148] Fritz, K.; Gilbert, N.; Haering, H.; Knochenhauer, K.; Kurtz, P.; Lazarus, H.; Neugebauer, G.; Probst, W: Geräuschdatenblatt für die Beschaffung von Maschinen, ARBEITSWISSENSCHAFTLICHE ERKENNTNISSE Forschungsergebnisse für die Praxis, Lärminderung – Geräuschdatenblatt, Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 85 (2. überarbeitete Auflage), Lärminderung – Geräuschdatenblatt, Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 1998, ISSN 0720-1699
- [149] Warm, H.-J.; Köppke, K.-E.; Krätzig, W.; Beem, H.: Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen ; Forschungsbericht 203 48 362, UBA-FB 001047, UMWELTBUNDESAMT; ISSN 1862-4804
- [150] E-Mail von Dietrich Zwicker, Vossloh zu den Unterschieden dieselektrischer und dieselhydraulischer Lokomotiven beim Anfahren
- [151] Hölzl, G.: Low Noise Good Wagons; Journal of sound and Vibration; 193(1), 359-366, 1996
- [152] http://de.wikipedia.org/wiki/SBB_Re_460
- [153] Bildnachweis: <http://www.bahnbilder.de/1024/re-460-064-vierachsige-vielzweck-lokomotive-503051.jpg>
- [154] Angaben der Fa. Siemens zur akustischen Auslegung des NDW im Fragebogen zu Best-Practice-Fahrzeugen
- [155] Die NDW machen sich bereit für die Schweiz Die Geschichte der neuen SBB- und SZU-Niederflur-Doppelstock-Zwischenwagen – von der Verzollung bis zur Inbetriebnahme; www.siemens.ch/mobility
- [156] Neue Doppelstockzüge für die Züricher S-Bahn; Pressekonferenz der SBB vom 30. Juni 2008
- [157] TÜV Süd: Lärmschutzgutachten zur Fahrzeugabstellung von Stadtbahnfahrzeugen, Ermitteln und Initiieren von lärmschutzrelevanten Maßnahmen und Assessments der Umsetzung, Dokument-Nr. ID 82781 G (Revision 6.0), 2010

**Forschungs- und
Entwicklungsvorhaben
FKZ: 3709 54 145**

**Ermittlung des Standes der Technik der
Geräuschemissionen europäischer
Schienenfahrzeuge und deren
Lärminderungspotentiale mit
Darstellung von
Best-Practice-Beispielen**

**Dieses Vorhaben wurde im Auftrag des
Umweltbundesamtes im Rahmen des
Umweltforschungsplanes –
Förderkennzeichen 3709 54 145 erstellt
und mit Bundesmitteln finanziert**

Abschlussbericht, November 2012

Bericht Nr. M81916/12

Auftraggeber:	Umweltbundesamt Fachgeb. I 3.3 Lärminderung im Verkehr Postfach 14 06 06813 Dessau
Bearbeitet von:	PD Dr.-Ing.-habil. Stefan Lutzenberger Dipl.-Ing. (FH) Christian Gutmann

Müller-BBM GmbH
Robert-Koch-Str. 11
82152 Planegg bei München

Anhang A

Übersicht der TSI-Anforderungen

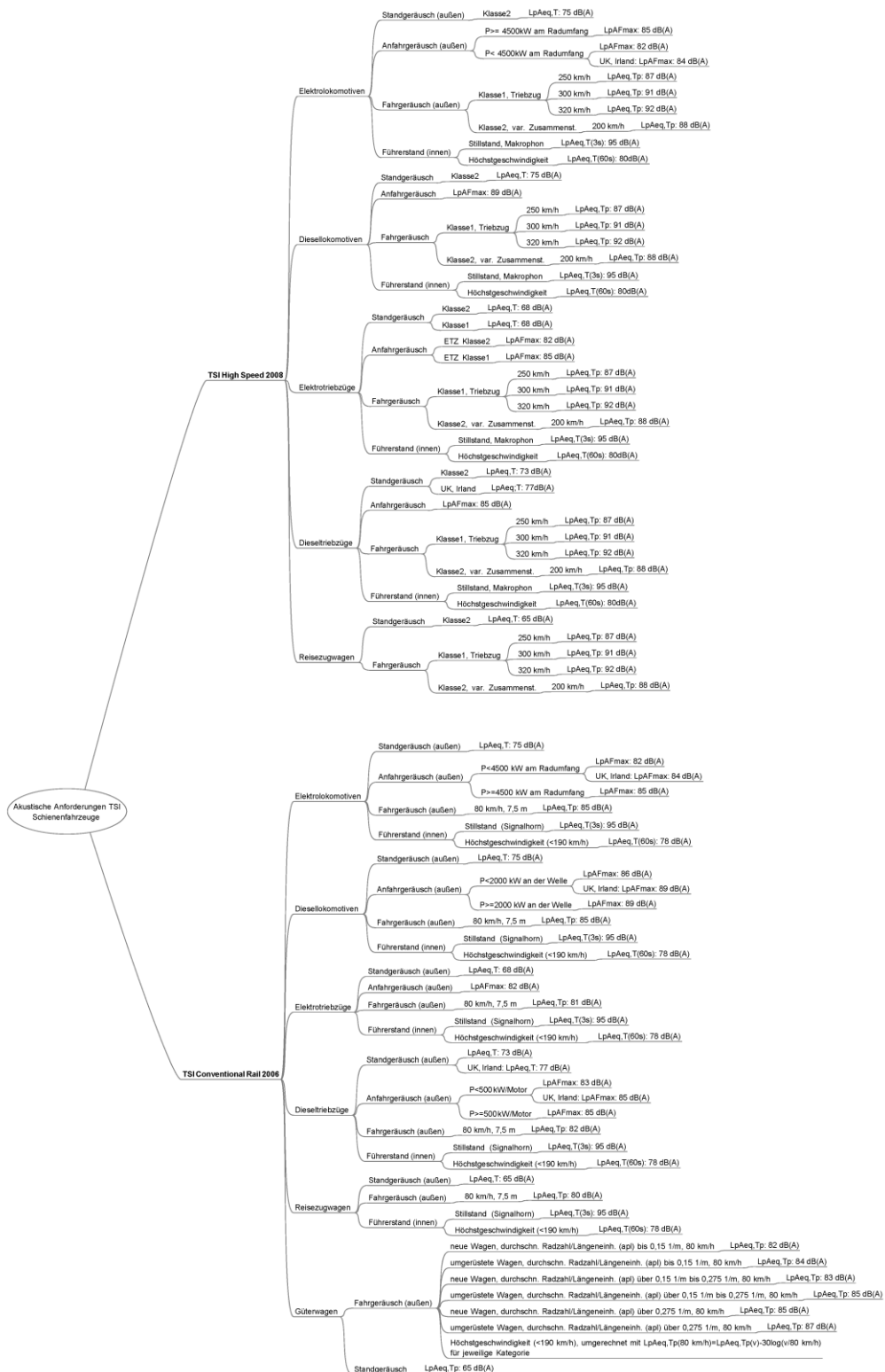


Abbildung A 1. Übersicht über sämtliche akustischen Anforderungen der TSI. Die Innengeräusche im Führerstand werden im Rahmen dieser Untersuchung nicht verfolgt.

Anhang B

Fragebögen zur Datenerhebung (deutsche Fassung)

Fragebögen zu den Abnahmemessungen für Betreiber

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von Diesellokomotiven

1. Angaben zum Fahrzeug

Hinweis: Die Fragebögen können auch anonymisiert ausgefüllt werden. In diesem Fall sind unter 1a) keine Angaben erforderlich.

a)	Hersteller	
	Typ/Bezeichnung	
	Anzahl der Fahrzeuge	
b)	Jahr der Auftragsvergabe	
	Baujahr	
	Land/Länder indem/denen das Fahrzeug betrieben wird	
	Spurweite	mm
	Maximalgeschwindigkeit	km/h
	Leistung an der Welle	kW
	Neufahrzeuge	☐ Ja ☐ Nein

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach der folgenden TSI durchgeführt:

High speed		Conventional Rail		Sonstige
☐ 2002	☐ 2008	☐ 2006	☐ P $\geq$ 2000 kW an der Welle ☐ P<2000 kW an der Welle	
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:		
Messstrecke:		km:

Gleisparameter:

	Anforderungen erfüllt	Unbekannt
Schienenrauheit:	☐	☐
Abklingrate:	☐	☐

Bitte legen Sie diesem Fragebogen die Terzspektren der Gleisparameter bei. Bei Nichtvorliegen der Gleisparameter werden die akustischen Daten in ein geringeres Vertrauensintervall eingestuft.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche				
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	-	km/h	* km/h	* km/h
Gemessene Größe:	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:				*	*
Davon abweichende Anforderung ¹ :				*	*
Messwert:				*	*

Für Mehrsystemfahrzeuge bitte Messwerte mit Benennung der Energieversorgung während der Messung angeben

* nur auszufüllen, falls vorhanden

¹ falls von der TSI abweichende Grenzwerte vereinbart sind.

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002 und andere:

Prüfung: (Standgeräusch / Anfahrgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: L_{pAeq,T}, L_{pAeq,TP}, L_{pAFmax}, TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von Dieseltriebzügen

1. Angaben zum Fahrzeug

Hinweis: Die Fragebögen können auch anonymisiert ausgefüllt werden. In diesem Fall sind unter 1a) keine Angaben erforderlich.

a)	Hersteller	
	Typ/Bezeichnung	
	Anzahl der Fahrzeuge	
b)	Jahr der Auftragsvergabe	
	Baujahr	
	Land/Länder indem/denen das Fahrzeug betrieben wird	
	Spurweite	mm
	Maximalgeschwindigkeit	km/h
	Leistung pro Motor	kW
	Neufahrzeuge	☐ Ja ☐ Nein
	Radscheibenbremsen	☐ Ja ☐ Nein
	Radschallabsorber	☐ Ja ☐ Nein

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach der folgenden TSI durchgeführt:

High speed		Conventional Rail		Sonstige
☐ 2002	☐ 2008	☐ 2006		
		☐ P>=500 kW pro Motor	☐ P<500 kW pro Motor	
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A		Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:	
Messstrecke:	km:

Gleisparameter:

	Anforderungen erfüllt	Unbekannt
Schienenrauheit:	☐	☐
Abklingrate:	☐	☐

Bitte legen Sie diesem Fragebogen die Terzspektren der Gleisparameter bei. Bei Nichtvorliegen der Gleisparameter werden die akustischen Daten in ein geringeres Vertrauensintervall eingestuft.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche				
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	-	km/h	* km/h	* km/h
Gemessene Größe:	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:				*	*
Davon abweichende Anforderung ¹ :				*	*
Messwert:				*	*
Klimaanlage in Betrieb (Kühlen)	☐ Ja ☐ Nein	-	-	-	-

* nur auszufüllen, falls vorhanden

¹ falls von der TSI abweichende Grenzwerte vereinbart sind.

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002 und andere:

Prüfung: (Standgeräusch / Anfahrgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: $L_{pAeq,T}$, $L_{pAeq,TP}$, L_{pAFmax} , TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von **Elektrolokomotiven****1. Angaben zum Fahrzeug**

Hinweis: Die Fragebögen können auch anonymisiert ausgefüllt werden. In diesem Fall sind unter 1a) keine Angaben erforderlich.

a)	Hersteller	
	Typ/Bezeichnung	
	Anzahl der Fahrzeuge	
b)	Jahr der Auftragsvergabe	
	Baujahr	
	Land/Länder indem/denen das Fahrzeug betrieben wird	
	Spurweite	mm
	Maximalgeschwindigkeit	km/h
	Leistung am Radumfang	kW
	Neufahrzeuge	☐ Ja ☐ Nein
	Radscheibenbremsen	☐ Ja ☐ Nein
	Radschallabsorber	☐ Ja ☐ Nein

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach der folgenden TSI durchgeführt:

High speed		Conventional Rail		Sonstige
☐ 2002	☐ 2008	☐ 2006		
	☐ Klasse 1 ☐ P $\geq$ 4500 kW am Radumfang	☐ Klasse 2 ☐ P<4500 kW am Radumfang	☐ P $\geq$ 4500 kW am Radumfang ☐ P<4500 kW am Radumfang	
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:	
Messstrecke:	km:

Gleisparameter:

	Anforderungen erfüllt	Unbekannt
Schienenrauheit:	☐	☐
Abklingrate:	☐	☐

Bitte legen Sie diesem Fragebogen die Terzspektren der Gleisparameter bei. Bei Nichtvorliegen der Gleisparameter werden die akustischen Daten in ein geringeres Vertrauensintervall eingestuft.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche				
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	-	km/h	* km/h	* km/h
Gemessene Größe:	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:				*	*
Davon abweichende Anforderung ¹ :				*	*
Messwert:				*	*

Für Mehrsystemfahrzeuge bitte Messwerte mit Benennung der Energieversorgung während der Messung angeben.

* nur auszufüllen, falls vorhanden

¹ falls von der TSI abweichende Grenzwerte vereinbart sind.

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002 und andere:

Prüfung: (Standgeräusch / Anfahrgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: $L_{pAeq,T}$, $L_{pAeq,TP}$, L_{pAFmax} , TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von **Elektrotriebzügen****1. Angaben zum Fahrzeug**

Hinweis: Die Fragebögen können auch anonymisiert ausgefüllt werden. In diesem Fall sind unter 1a) keine Angaben erforderlich.

a)	Hersteller	
	Typ/Bezeichnung	
	Anzahl der Fahrzeuge	
b)	Jahr der Auftragsvergabe	
	Baujahr	
	Land/Länder indem/denen das Fahrzeug betrieben wird	
	Spurweite	mm
	Maximalgeschwindigkeit	km/h
	Neufahrzeuge	☐ Ja ☐ Nein
	Radscheibenbremsen	☐ Ja ☐ Nein
	Radschallabsorber	☐ Ja ☐ Nein

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach der folgenden TSI durchgeführt:

High speed	Conventional Rail	Sonstige
☐ 2002	☐ 2006	
☐ 2008		
☐ Klasse 1 ☐ Klasse 2		
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle
3. B	3. A	3. B

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:	
Messstrecke:	km:

Gleisparameter:

	Anforderungen erfüllt	Unbekannt
Schienenrauheit:	☐	☐
Abklingrate:	☐	☐

Bitte legen Sie diesem Fragebogen die Terzspektren der Gleisparameter bei. Bei Nichtvorliegen der Gleisparameter werden die akustischen Daten in ein geringeres Vertrauensintervall eingestuft.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche				
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	-	km/h	* km/h	* km/h
Gemessene Größe:	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:				*	*
Davon abweichende Anforderung ¹ :				*	*
Messwert:				*	*
Klimaanlage in Betrieb (Kühlen)	☐ Ja ☐ Nein	-	-	-	-

Für Mehrsystemfahrzeuge bitte Messwerte mit Benennung der Energieversorgung während der Messung angeben

* nur auszufüllen, falls vorhanden

¹ falls von der TSI abweichende Grenzwerte vereinbart sind.

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002 und andere:

Prüfung: (Standgeräusch / Anfahrgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: $L_{pAeq,T}$, $L_{pAeq,TP}$, L_{pAFmax} , TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von Güterwagen nach TSI Conventional Rail

1. Angaben zum Wagen

Hinweis: Die Fragebögen können auch anonymisiert ausgefüllt werden. In diesem Fall sind unter 1a) keine Angaben erforderlich.

a)	Hersteller	
	Typ/Bezeichnung	
	Anzahl der Wagen	
b)	Jahr der Auftragsvergabe	
	Baujahr	
	Land/Länder indem/denen der Wagen betrieben wird	
	Spurweite	mm
	Maximalgeschwindigkeit	km/h
	Länge	m
	Anzahl der Achsen	
	Neufahrzeuge	☐ Ja ☐ Nein
	Bremssystem	☐ K-/LL-Sohlen ☐ GG -Sohlen ☐
	Radschallabsorber	☐ Ja ☐ Nein

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach der folgenden TSI durchgeführt:

☐ Conventional Rail (Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A)
☐ Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) bis 0,15 1/m
☐ Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) bis 0,15 1/m
☐ Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) über 0,15 1/m bis 0,275 1/m
☐ Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) über 0,15 1/m bis 0,275 1/m
☐ Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) über 0,275 1/m
☐ Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) über 0,275 1/m
☐ Sonstige (Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B)

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:		
Messstrecke:		km:

Gleisparameter:

	Anforderungen erfüllt	Unbekannt
Schienenrauheit:	☐	☐
Abklingrate:	☐	☐

Bitte legen Sie diesem Fragebogen die Terzspektren der Gleisparameter bei. Bei Nichtvorliegen der Gleisparameter werden die akustischen Daten in ein geringeres Vertrauensintervall eingestuft.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI Conventional Rail:

Abnahmemessung nach TSI Noise	Außengeräusche		
	Standgeräusch	Fahrgeräusch	
Geschwindigkeit:	-	80 km/h	Höchstgeschwindigkeit (<190 km/h), umgerechnet auf 80 km/h
Gemessene Größe:	$L_{pAeq,T}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:			
Davon abweichende Anforderung ¹ :			
Messwert:			

¹ falls von der TSI abweichende Grenzwerte vereinbart sind

B: Abnahmemessung nach sonstigen Vorschriften:

Prüfung: (Standgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: $L_{pAeq,T}$, $L_{pAeq,TP}$, L_{pAFmax} , TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von Reisezugwägen

1. Angaben zum Wagen

Hinweis: Für eine anonyme Angabe füllen Sie nur die unter b) aufgelisteten Punkte aus.

a)	Hersteller	
	Typ/Bezeichnung	
	Anzahl der Wagen	
b)	Jahr der Auftragsvergabe	
	Baujahr	
	Land/Länder indem/denen der Wagen betrieben wird	
	Spurweite	mm
	Maximalgeschwindigkeit	km/h
	Neufahrzeuge	☐ Ja ☐ Nein
	Radscheibenbremsen	☐ Ja ☐ Nein
	Radschallabsorber	☐ Ja ☐ Nein

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden durchgeführt nach:

TSI High speed		TSI Conventional Rail	Sonstige
☐ 2002	☐ 2008	☐ 2006	
	Reisezugwagen		
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:	
Messstrecke:	km:

Gleisparameter:

	Anforderungen erfüllt	Unbekannt
Schienenrauheit:	☐	☐
Abklingrate:	☐	☐

Bitte legen Sie diesem Fragebogen die Terzspektren der Gleisparameter bei. Bei Nichtvorliegen der Gleisparameter werden die akustischen Daten in ein geringeres Vertrauensintervall eingestuft.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche			
	Standgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	km/h	* km/h	* km/h
Messgröße:	$L_{pAeq,T}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:			*	*
Davon abweichende Anforderung ¹ :			*	*
Messwert:			*	*
Klimaanlage in Betrieb (Kühlen)	☐ Ja ☐ Nein	-	-	-

* nur auszufüllen, falls vorhanden

¹ falls von der TSI abweichende Grenzwerte vereinbart sind

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002 und andere:

Prüfung: (Standgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: $L_{pAeq,T}$, $L_{pAeq,TP}$, L_{pAFmax} , TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der
TSI Noise (Conventional Rail) für Diesellokomotiven

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise 2006		Außengeräusche			
		Standgeräusch	Anfahrgeräusch		Fahrgeräusch
Messbedingungen:		7,5 m Abstand	P ≥ 2000 kW an der Welle 7,5 m Abstand	P < 2000 kW an der Welle 7,5 m Abstand	80 km/h, 7,5 m Abstand
Gemessene Größe :		L _{pAeq,T}	L _{pAFmax}	L _{pAFmax}	L _{pAeq,TP}
Angabe in:		dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:		75	89	86	85
1.	Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll? Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
2.	Fragen zu Ihrem Fahrzeugbestand:				
Fahrzeugbestand:		Fahrzeuge im Alter bis 10 Jahre:			Stück
		Fahrzeuge im Alter von 10 – 20 Jahren:			Stück
		Fahrzeuge im Alter von mehr als 20 Jahren:			Stück
Wie viele Fahrzeuge sollen in den kommenden 5 Jahren durch Neufahrzeuge ersetzt werden?		Stück			
Welcher finanzielle Aufwand entsteht beim Ersetzen eines Altfahrzeuges?		EUR			
Wie hoch ist die Reduktion der Lärmemission, wenn ein Fahrzeug durch ein Neufahrzeug ersetzt wird?		dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

**Bewertung der Grenzwerte der
TSI Noise (Conventional Rail) für Dieseltriebzüge**

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise 2006		Außengeräusche			
		Standgeräusch	Anfahrgeräusch		Fahrgeräusch
Messbedingungen:		7,5 m Abstand	P>=500 kW pro Motor 7,5 m Abstand	P<500 kW pro Motor 7,5 m Abstand	80 km/h, 7,5 m Abstand
Gemessene Größe :		$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:		dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:		73	85	83	82
1.	Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
	Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...				
2. Fragen zu Ihrem Fahrzeugbestand:					
Fahrzeugbestand:		Fahrzeuge im Alter bis 10 Jahre: Fahrzeuge im Alter von 10 – 20 Jahren: Fahrzeuge im Alter von mehr als 20 Jahren:		Stück Stück Stück	
Wie viele Fahrzeuge sollen in den kommenden 5 Jahren durch Neufahrzeuge ersetzt werden?		Stück			
Welcher finanzielle Aufwand entsteht beim Ersetzen eines Altfahrzeuges?		EUR			
Wie hoch ist die Reduktion der Lärmemission, wenn ein Fahrzeug durch ein Neufahrzeug ersetzt wird?		dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der
TSI Noise (Conventional Rail) für Elektrolokomotiven

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise 2006		Außengeräusche		
		Standgeräusch	Anfahrgeräusch	
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	P $\geq$ 4500 kW am Radumfang 7,5 m Abstand	P<4500 kW am Radumfang 7,5 m Abstand	80 km/h, 7,5 m Abstand
Gemessene Größe :	L _{pAeq,T}	L _{pAFmax}	L _{pAFmax}	L _{pAeq,TP}
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	75	85	82	85
1. Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...				
2. Fragen zu Ihrem Fahrzeugbestand:				
Fahrzeugbestand:	Fahrzeuge im Alter bis 10 Jahre:			Stück
	Fahrzeuge im Alter von 10 – 20 Jahren:			Stück
	Fahrzeuge im Alter von mehr als 20 Jahren:			Stück
Wie viele Fahrzeuge sollen in den kommenden 5 Jahren durch Neufahrzeuge ersetzt werden?	Stück			
Welcher finanzielle Aufwand entsteht beim Ersetzen eines Altfahrzeuges?	EUR			
Wie hoch ist die Reduktion der Lärmemission, wenn ein Fahrzeug durch ein Neufahrzeug ersetzt wird?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der
TSI Noise (Conventional Rail) für Elektrotriebzüge

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise 2006		Außengeräusche		
		Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand	80 km/h, 7,5 m Abstand	
Gemessene Größe :	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,Tp}$	
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	
Grenzwert nach TSI:	68	82	81	
1. Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...				
4. Fragen zu Ihrem Fahrzeugbestand:				
Fahrzeugbestand:	Fahrzeuge im Alter bis 10 Jahre:			Stück
	Fahrzeuge im Alter von 10 – 20 Jahren:			Stück
	Fahrzeuge im Alter von mehr als 20 Jahren:			Stück
Wie viele Fahrzeuge sollen in den kommenden 5 Jahren durch Neufahrzeuge ersetzt werden?	Stück			
Welcher finanzielle Aufwand entsteht beim Ersetzen eines Altfahrzeuges?	EUR			
Wie hoch ist die Reduktion der Lärmemission, wenn ein Fahrzeug durch ein Neufahrzeug ersetzt wird?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der
TSI Noise (Conventional Rail) für Reisezugwägen

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise 2006		Außengeräusche	
		Standgeräusch	Fahrgeräusch
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	80 km/h, 7,5 m Abstand	
Gemessene Größe :	$L_{pAeq,T}$	$L_{pAeq,TP}$	
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	
Grenzwert nach TSI:	65	80	
1. Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...			
2. Fragen zu Ihrem Fahrzeugbestand:			
Fahrzeugbestand:	Fahrzeuge im Alter bis 10 Jahre:		Stück
	Fahrzeuge im Alter von 10 – 20 Jahren:		Stück
	Fahrzeuge im Alter von mehr als 20 Jahren:		Stück
Wie viele Fahrzeuge sollen in den kommenden 5 Jahren durch Neufahrzeuge ersetzt werden?	Stück		
Welcher finanzielle Aufwand entsteht beim Ersetzen eines Altfahrzeuges?	EUR		
Wie hoch ist die Reduktion der Lärmemission, wenn ein Fahrzeug durch ein Neufahrzeug ersetzt wird?	dB(A)	dB(A)	

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise (Conventional Rail) für Güterwägen

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise 2006	Standgeräusch	Fahrgeräusch						
		Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apf) bis 0,15 1/m	Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apf) bis 0,15 1/m	Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apf) über 0,15 1/m bis 0,275 1/m	Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apf) über 0,15 1/m bis 0,275 1/m	Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apf) über 0,275 1/m	Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apf) über 0,275 1/m	Höchstgeschwindigkeit (<190 km/h), umgerechnet auf 80 km/h für jeweilige Kategorie
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand 80 km/h	7,5 m Abstand 80 km/h	7,5 m Abstand 80 km/h	7,5 m Abstand 80 km/h	7,5 m Abstand 80 km/h	7,5 m Abstand 80 km/h	7,5 m Abstand
Gemessene Größe :								$L_{pAeq,Tp}(80km/h)^{1/3}$ $L_{pAeq,Tp}/30(\log(v/80km/h))$
Angabe in:	$L_{pAeq,Tp}$ dB(A)	$L_{pAeq,Tp}$ dB(A)	$L_{pAeq,Tp}$ dB(A)	$L_{pAeq,Tp}$ dB(A)	$L_{pAeq,Tp}$ dB(A)	$L_{pAeq,Tp}$ dB(A)	$L_{pAeq,Tp}$ dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	65	82	84	83	85	85	87	
Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll/nicht sinnvoll, weil ...								
Fragen zu Ihrem Fahrzeugbestand:								
Fahrzeugbestand:	Fahrzeuge im Alter bis 10 Jahre: Fahrzeuge im Alter von 10 – 20 Jahren: Fahrzeuge im Alter von mehr als 20 Jahren:			Stück Stück Stück				
Wie viele Fahrzeuge sollen in den kommenden 5 Jahren durch Neufahrzeuge ersetzt werden?	Stück							
Welcher finanzielle Aufwand entsteht beim Ersetzen eines Altfahrzeuges?	EUR							
Wie hoch ist die Reduktion der Lärmemission, wenn ein Fahrzeug durch ein Neufahrzeug ersetzt wird?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

merkungen:

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed für Diesellokomotiven

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed 2008	Außengeräusche					
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch			
			Klasse 1			Klasse 2
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand	250 km/h	300 km/h	320 km/h	200 km/h
Gemessene Größe :	$L_{pAeq,T}$	$L_{pAeq,Tmax}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	75	89	87	91	92	88
1. Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...						
2. Fragen zu Ihrem Fahrzeugbestand:						
Fahrzeugbestand:	Fahrzeuge im Alter bis 10 Jahre: Fahrzeuge im Alter von 10 – 20 Jahren: Fahrzeuge im Alter von mehr als 20 Jahren:		Stück Stück Stück			
Wie viele Fahrzeuge sollen in den kommenden 5 Jahren durch Neufahrzeuge ersetzt werden?	Stück					
Welcher finanzielle Aufwand entsteht beim Ersetzen eines Altfahrzeuges?	EUR					
Wie hoch ist die Reduktion der Lärmemission, wenn ein Fahrzeug durch ein Neufahrzeug ersetzt wird?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed für Dieseltriebzug

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed 2008	Außengeräusche					
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch			
			Klasse 1			Klasse 2
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand	250 km/h	300 km/h	320 km/h	200 km/h
Gemessene Größe :	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	73	85	87	91	92	88
1. Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll? Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
2. Fragen zu Ihrem Fahrzeugbestand:						
Fahrzeugbestand:	Fahrzeuge im Alter bis 10 Jahre: Fahrzeuge im Alter von 10 – 20 Jahren: Fahrzeuge im Alter von mehr als 20 Jahren:			Stück Stück Stück		
Wie viele Fahrzeuge sollen in den kommenden 5 Jahren durch Neufahrzeuge ersetzt werden?	Stück					
Welcher finanzielle Aufwand entsteht beim Ersetzen eines Altfahrzeuges?	EUR					
Wie hoch ist die Reduktion der Lärmemission, wenn ein Fahrzeug durch ein Neufahrzeug ersetzt wird?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed für Elektrolokomotiven

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed 2008	Außengeräusche						
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch		Fahrgeräusch			
		P>=4500 kW am Radumfang	P<4500 kW am Radumfang	Klasse 1			Klasse 2
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand	250 km/h	300 km/h	320 km/h	200 km/h
Gemessene Größe :	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	75	85	82	87	91	92	88
1. Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll? Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
2. Fragen zu Ihrem Fahrzeugbestand:							
Fahrzeugbestand:	Fahrzeuge im Alter bis 10 Jahre: Fahrzeuge im Alter von 10 – 20 Jahren: Fahrzeuge im Alter von mehr als 20 Jahren:			Stück Stück Stück			
Wie viele Fahrzeuge sollen in den kommenden 5 Jahren durch Neufahrzeuge ersetzt werden?	Stück						
Welcher finanzielle Aufwand entsteht beim Ersetzen eines Altfahrzeuges?	EUR						
Wie hoch ist die Reduktion der Lärmemission, wenn ein Fahrzeug durch ein Neufahrzeug ersetzt wird?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed für Elektrotriebzüge

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed 2008	Außengeräusche						
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch		Fahrgeräusch			
		Klasse 1	Klasse 2	Klasse 1		Klasse 2	
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand	250 km/h	300 km/h	320 km/h	200 km/h
Gemessene Größe :	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	68	85	82	87	91	92	88
1. Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...							
2. Fragen zu Ihrem Fahrzeugbestand:							
Fahrzeugbestand:	Fahrzeuge im Alter bis 10 Jahre: Fahrzeuge im Alter von 10 – 20 Jahren: Fahrzeuge im Alter von mehr als 20 Jahren:			Stück Stück Stück			
Wie viele Fahrzeuge sollen in den kommenden 5 Jahren durch Neufahrzeuge ersetzt werden?	Stück						
Welcher finanzielle Aufwand entsteht beim Ersetzen eines Altfahrzeuges?	EUR						
Wie hoch ist die Reduktion der Lärmemission, wenn ein Fahrzeug durch ein Neufahrzeug ersetzt wird?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed für Reisezugwagen

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed 2008	Außengeräusche				
	Standgeräusch	Fahrgeräusch			
		Klasse 1			Klasse 2
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	250 km/h	300 km/h	320 km/h	200 km/h
Gemessene Größe :	$L_{pAeq,T}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	65	87	91	92	88
1. Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...					
2. Fragen zu Ihrem Fahrzeugbestand:					
Fahrzeugbestand:	Fahrzeuge im Alter bis 10 Jahre: Fahrzeuge im Alter von 10 – 20 Jahren: Fahrzeuge im Alter von mehr als 20 Jahren:		Stück Stück Stück		
Wie viele Fahrzeuge sollen in den kommenden 5 Jahren durch Neufahrzeuge ersetzt werden?	Stück				
Welcher finanzielle Aufwand entsteht beim Ersetzen eines Altfahrzeuges?	EUR				
Wie hoch ist die Reduktion der Lärmemission, wenn ein Fahrzeug durch ein Neufahrzeug ersetzt wird?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise

Mit diesem Fragebogen bitten wir Sie um Ihre Einschätzung zu einer möglichen Neuformulierung der akustischen Grenzwerte der TSI Noise (conventional rail und high speed).
Bitte teilen Sie uns Ihre Einschätzung mit, wie Sie eine Senkung der Grenzwerte aus wirtschaftlicher Sicht und aus Sicht der Lärmemission beurteilen.

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise	Außengeräusche		
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch
1. Wie schätzen Sie das langfristige Kosteneinsparungs-Potential ein in Bezug auf passive Schallschutzmaßnahmen (z.B. Schallschutzwände) bei Senkung der TSI Noise Grenzwerte um ...			
... 1-2 dB? 1: keine Kosteneinsparung 6: hohe Kosteneinsparung	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
... 3-4 dB? 1: keine Kosteneinsparung 6: hohe Kosteneinsparung	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
... 5-6 dB? 1: keine Kosteneinsparung 6: hohe Kosteneinsparung	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
... mehr als 6 dB? 1: keine Kosteneinsparung 6: hohe Kosteneinsparung	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
2. Inwieweit trägt aus Ihrer Sicht eine Reduzierung des Grenzwerts dazu bei die Umwelt hinsichtlich der Lärmbelastung langfristig zu entlasten?			
Reduzierung des Grenzwerts um 1-2 dB 1: kein Einfluss 6: starker Einfluss	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
Reduzierung des Grenzwerts um 3-4 dB 1: kein Einfluss 6: starker Einfluss	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
Reduzierung des Grenzwerts um 5-6 dB 1: kein Einfluss 6: starker Einfluss	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
... mehr als 6 dB? 1: kein Einfluss 6: starker Einfluss	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6

Anmerkungen:

Fragebogen zu Ausschreibungsverfahren – Außengeräusch von Schienenfahrzeugen

Bitte füllen Sie zusätzlich für jedes Projekt den entsprechenden Fragebogen zu den akustischen Grenzwerten aus.

1. Angaben zur Ausschreibung

a)	Jahr der Ausschreibung	
b)	Jahr der Anschaffung	
c)	Land/Länder in dem/denen das Schienenfahrzeug betrieben wird	
d)	Spurweite	mm
e)	Maximalgeschwindigkeit	km/h
f)	Anzahl an Fahrzeugen (Stückzahl Waggon/ Zuggarnituren/Lokomotiven)	
g)	Neufahrzeuge	☐ Ja ☐ Nein

2. Akustische Anforderungen

- a) Fordern Sie die Einhaltung der akustischen Grenzwerte nach TSI Noise? ☐ Ja ☐ Nein
- b) Fordern Sie von der TSI abweichende akustischen Grenzwerte bezüglich des Außengeräusches? ☐ Ja ☐ Nein

Falls Ja, wie legen Sie diese Anforderungen fest (Mehrfachnennung möglich)?

☐	Gesetzliche Regelung:	
☐	Orientierung an den Anforderungen aus früheren Projekten	
☐	Reduktion der TSI Noise Anforderungen um	dB
☐	Sonstiges:	

- c) Beziehen sich Ihre Angaben zu den akustischen Grenzwerten auf Mess- und Betriebsbedingungen der TSI Noise? ☐ Ja ☐ Nein

3. Ausschreibung / Vergabeverfahren

- a)¹ Sind die akustischen Anforderungen verhandelbar? ☐ Ja ☐ Nein
- b) Bonus-System: Wird die Einhaltung der akustischen Anforderungen bei der Vergabe positiv gewertet? ☐ Ja ☐ Nein

Falls 3b) mit Ja beantwortet:

Die Wertung der Angebote erfolgt mit folgender Gewichtung:

Gewichtung Preis (%):

Gewichtung Akustik (%):

Gleicht die Überschreitung der akustischen Anforderungen einen höheren Angebotspreis aus?

Falls ja, ca. € pro dB und pro

☐ Waggon/ Lokomotive

☐ Zuggarnitur

- c)¹ Malus-System: Wird die Nichteinhaltung der akustischen Anforderungen bei der Vergabe negativ bewertet? ☐ Ja ☐ Nein

Falls 3c) mit Ja beantwortet:

Die Überschreitung der akustischen Anforderungen kann durch einen geringeren Angebotspreis ausgeglichen werden?

Falls ja, um ca. € pro dB und pro

☐ Waggon/ Lokomotive

☐ Zuggarnitur

4. Abnahme der Fahrzeuge

Wird die Überschreitung der akustischen Grenzwerte bei der Abnahme beanstandet?

☐ Ja ☐ Nein

Falls mit Ja beantwortet:

Wie wird bei Nichteinhaltung der vertraglich vereinbarten Werte verfahren?

☐	Pönalen, Höhe der Pönale (pro Waggon/Zuggarnitur/Lokomotive/Insgesamt): Je dB Überschreitung
	Standgeräusch:
	Anfahrgeräusch:
	Fahrgeräusch:
☐	Sonstiges:

¹ Nur zu beantworten, falls Sie höhere Anforderungen als die gesetzlichen Mindestanforderungen stellen

Fragebögen zu den Abnahmemessungen für Hersteller

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von Diesellokomotiven

1. Angaben zum Fahrzeug

Hinweis: Die Fragebögen können auch anonymisiert ausgefüllt werden. In diesem Fall sind unter 1a) keine Angaben erforderlich.

a)	Hersteller	
	Typ/Bezeichnung	
	Anzahl der Fahrzeuge	
b)	Jahr der Auftragsvergabe	
	Baujahr	
	Land/Länder indem/denen das Fahrzeug betrieben wird	
	Spurweite	mm
	Maximalgeschwindigkeit	km/h
	Leistung an der Welle	kW
	Neufahrzeuge	☐ Ja ☐ Nein
	Länge	m
	Anzahl der Achsen	
	Radscheibenbremsen	☐ Ja ☐ Nein
	Radschallabsorber	☐ Ja ☐ Nein

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach der folgenden TSI durchgeführt:

High speed		Conventional Rail		Sonstige
☐ 2002	☐ 2008	☐ 2006		
		☐ P>=2000 kW an der Welle	☐ P<2000 kW an der Welle	
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A		Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:	
Messstrecke:	km:

Gleisparameter:

	Anforderungen erfüllt	Unbekannt
Schienenrauheit:	☐	☐
Abklingrate:	☐	☐

Bitte legen Sie diesem Fragebogen die Terzspektren der Gleisparameter bei. Bei Nichtvorliegen der Gleisparameter werden die akustischen Daten in ein geringeres Vertrauensintervall eingestuft.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche				
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	-	km/h	* km/h	* km/h
Gemessene Größe:	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:				*	*
Davon abweichende Anforderung ¹ :				*	*
Messwert:				*	*

Für Mehrsystemfahrzeuge bitte Messwerte mit Benennung der Energieversorgung während der Messung angeben

* nur auszufüllen, falls vorhanden

¹ falls von der TSI abweichende Grenzwerte vereinbart sind.

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002 und andere:

Prüfung: (Standgeräusch / Anfahrgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: L_{pAeq,T}, L_{pAeq,TP}, L_{pAFmax}, TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von **Dieseltriebzügen****1. Angaben zum Fahrzeug**

Hinweis: Die Fragebögen können auch anonymisiert ausgefüllt werden. In diesem Fall sind unter 1a) keine Angaben erforderlich.

a)	Hersteller	
	Typ/Bezeichnung	
	Anzahl der Fahrzeuge	
b)	Jahr der Auftragsvergabe	
	Baujahr	
	Land/Länder indem/denen das Fahrzeug betrieben wird	
	Spurweite	mm
	Maximalgeschwindigkeit	km/h
	Leistung pro Motor	kW
	Neufahrzeuge	☐ Ja ☐ Nein
	Länge	m
	Anzahl der Achsen	
	Radscheibenbremsen	☐ Ja ☐ Nein
	Radschallabsorber	☐ Ja ☐ Nein

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach der folgenden TSI durchgeführt:

High speed		Conventional Rail		Sonstige
☐ 2002	☐ 2008	☐ 2006		
		☐ P>=500 kW pro Motor	☐ P<500 kW pro Motor	
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A		Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:	
Messstrecke:	km:

Gleisparameter:

	Anforderungen erfüllt	Unbekannt
Schienenrauheit:	☐	☐
Abklingrate:	☐	☐

Bitte legen Sie diesem Fragebogen die Terzspektren der Gleisparameter bei. Bei Nichtvorliegen der Gleisparameter werden die akustischen Daten in ein geringeres Vertrauensintervall eingestuft.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche				
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	-	km/h	* km/h	* km/h
Gemessene Größe:	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:				*	*
Davon abweichende Anforderung ¹ :				*	*
Messwert:				*	*
Klimaanlage in Betrieb (Kühlen)	☐ Ja ☐ Nein	-	-	-	-

* nur auszufüllen, falls vorhanden

¹ falls von der TSI abweichende Grenzwerte vereinbart sind.

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002 und andere:

Prüfung: (Standgeräusch / Anfahrgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: $L_{pAeq,T}$, $L_{pAeq,TP}$, L_{pAFmax} , TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von **Elektrolokomotiven****1. Angaben zum Fahrzeug**

Hinweis: Die Fragebögen können auch anonymisiert ausgefüllt werden. In diesem Fall sind unter 1a) keine Angaben erforderlich.

a)	Hersteller	
	Typ/Bezeichnung	
	Anzahl der Fahrzeuge	
b)	Jahr der Auftragsvergabe	
	Baujahr	
	Land/Länder indem/denen das Fahrzeug betrieben wird	
	Spurweite	mm
	Maximalgeschwindigkeit	km/h
	Leistung am Radumfang	kW
	Neufahrzeuge	☐ Ja ☐ Nein
	Länge	m
	Anzahl der Achsen	
	Radscheibenbremsen	☐ Ja ☐ Nein
	Radschallabsorber	☐ Ja ☐ Nein

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach der folgenden TSI durchgeführt:

High speed	Conventional Rail		Sonstige
☐ 2002	☐ 2008	☐ 2006	
	☐ Klasse 1 ☐ P $\geq$ 4500 kW am Radumfang	☐ Klasse 2 ☐ P<4500 kW am Radumfang	
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:	
Messstrecke:	km:

Gleisparameter:

	Anforderungen erfüllt	Unbekannt
Schienenrauheit:	☐	☐
Abklingrate:	☐	☐

Bitte legen Sie diesem Fragebogen die Terzspektren der Gleisparameter bei. Bei Nichtvorliegen der Gleisparameter werden die akustischen Daten in ein geringeres Vertrauensintervall eingestuft.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche				
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	-	km/h	* km/h	* km/h
Gemessene Größe:	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:			*	*	*
Davon abweichende Anforderung ¹ :			*	*	*
Messwert:			*	*	*

Für Mehrsystemfahrzeuge bitte Messwerte mit Benennung der Energieversorgung während der Messung angeben.

* nur auszufüllen, falls vorhanden

¹ falls von der TSI abweichende Grenzwerte vereinbart sind.

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002 und andere:

Prüfung: (Standgeräusch / Anfahrgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: $L_{pAeq,T}$, $L_{pAeq,TP}$, L_{pAFmax} , TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von Elektrotriebzügen

1. Angaben zum Fahrzeug

Hinweis: Die Fragebögen können auch anonymisiert ausgefüllt werden. In diesem Fall sind unter 1a) keine Angaben erforderlich.

a)	Hersteller	
	Typ/Bezeichnung	
	Anzahl der Fahrzeuge	
b)	Jahr der Auftragsvergabe	
	Baujahr	
	Land/Länder in dem/denen das Fahrzeug betrieben wird	
	Spurweite	mm
	Maximalgeschwindigkeit	km/h
	Neufahrzeuge	☐ Ja ☐ Nein
	Länge	m
	Anzahl der Achsen	
	Radscheibenbremsen	☐ Ja ☐ Nein
	Radschallabsorber	☐ Ja ☐ Nein

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach der folgenden TSI durchgeführt:

High speed	Conventional Rail	Sonstige
☐ 2002	☐ 2006	
☐ 2008	☐ Klasse 1 ☐ Klasse 2	
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:	
Messstrecke:	km:

Gleisparameter:

	Anforderungen erfüllt	Unbekannt
Schienenrauheit:	☐	☐
Abklingrate:	☐	☐

Bitte legen Sie diesem Fragebogen die Terzspektren der Gleisparameter bei. Bei Nichtvorliegen der Gleisparameter werden die akustischen Daten in ein geringeres Vertrauensintervall eingestuft.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche				
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	-	km/h	* km/h	* km/h
Gemessene Größe:	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:				*	*
Davon abweichende Anforderung ¹ :				*	*
Messwert:				*	*
Klimaanlage in Betrieb (Kühlen)	☐ Ja ☐ Nein	-	-	-	-

Für Mehrsystemfahrzeuge bitte Messwerte mit Benennung der Energieversorgung während der Messung angeben

* nur auszufüllen, falls vorhanden

¹ falls von der TSI abweichende Grenzwerte vereinbart sind.

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002 und andere:

Prüfung: (Standgeräusch / Anfahrgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: $L_{pAeq,T}$, $L_{pAeq,TP}$, L_{pAFmax} , TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von Güterwagen nach TSI Conventional Rail

1. Angaben zum Wagen

Hinweis: Die Fragebögen können auch anonymisiert ausgefüllt werden. In diesem Fall sind unter 1a) keine Angaben erforderlich.

a)	Hersteller	
	Typ/Bezeichnung	
	Anzahl der Wagen	
b)	Jahr der Auftragsvergabe	
	Baujahr	
	Land/Länder indem/denen der Wagen betrieben wird	
	Spurweite	mm
	Maximalgeschwindigkeit	km/h
	Länge	m
	Anzahl der Achsen	
	Neufahrzeuge	☐ Ja ☐ Nein
	Bremssystem	☐ K-/LL-Sohlen ☐ GG –Sohlen ☐
	Radschallabsorber	☐ Ja ☐ Nein

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach der folgenden TSI durchgeführt:

☐ Conventional Rail (Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A)
☐ Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) bis 0,15 1/m
☐ Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) bis 0,15 1/m
☐ Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) über 0,15 1/m bis 0,275 1/m
☐ Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) über 0,15 1/m bis 0,275 1/m
☐ Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) über 0,275 1/m
☐ Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) über 0,275 1/m
☐ Sonstige (Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B)

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:		
Messstrecke:		km:

Gleisparameter:

	Anforderungen erfüllt	Unbekannt
Schienenrauheit:	☐	☐
Abklingrate:	☐	☐

Bitte legen Sie diesem Fragebogen die Terzspektren der Gleisparameter bei. Bei Nichtvorliegen der Gleisparameter werden die akustischen Daten in ein geringeres Vertrauensintervall eingestuft.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI Conventional Rail:

Abnahmemessung nach TSI Noise	Außengeräusche		
	Standgeräusch	Fahrgeräusch	
Geschwindigkeit:	-	80 km/h	Höchstgeschwindigkeit (<190 km/h), umgerechnet auf 80 km/h
Gemessene Größe:	$L_{pAeq,T}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:			
Davon abweichende Anforderung ¹ :			
Messwert:			

¹ falls von der TSI abweichende Grenzwerte vereinbart sind

B: Abnahmemessung nach sonstigen Vorschriften:

Prüfung: (Standgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: $L_{pAeq,T}$, $L_{pAeq,TP}$, L_{pAFmax} , TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von Reisezugwägen

1. Angaben zum Wagen

Hinweis: Für eine anonyme Angabe füllen Sie nur die unter b) aufgelisteten Punkte aus.

a)	Hersteller	
	Typ/Bezeichnung	
	Anzahl der Wagen	
b)	Jahr der Auftragsvergabe	
	Baujahr	
	Land/Länder indem/denen der Wagen betrieben wird	
	Spurweite	mm
	Maximalgeschwindigkeit	km/h
	Neufahrzeuge	☐ Ja ☐ Nein
	Länge	m
	Anzahl der Achsen	
	Radscheibenbremsen	☐ Ja ☐ Nein
	Radschallabsorber	☐ Ja ☐ Nein

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden durchgeführt nach:

TSI High speed		TSI Conventional Rail	Sonstige
☐ 2002	☐ 2008	☐ 2006	
	Reisezugwagen		
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:	
Messstrecke:	km:

Gleisparameter:

	Anforderungen erfüllt	Unbekannt
Schienenrauheit:	☐	☐
Abklingrate:	☐	☐

Bitte legen Sie diesem Fragebogen die
Terzspektren der Gleisparameter bei. Bei
Nichtvorliegen der Gleisparameter werden
die akustischen Daten in ein geringeres
Vertrauensintervall eingestuft.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche			
	Standgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	km/h	* km/h	* km/h
Messgröße:	$L_{pAeq,T}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:			*	*
Davon abweichende Anforderung ¹ :			*	*
Messwert:			*	*
Klimaanlage in Betrieb (Kühlen)	☐ Ja ☐ Nein	-	-	-

* nur auszufüllen, falls vorhanden

¹ falls von der TSI abweichende Grenzwerte vereinbart sind

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002 und andere:

Prüfung: (Standgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: $L_{pAeq,T}$, $L_{pAeq,TP}$, L_{pAFmax} , TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Bewertungsfragebögen zu den Abnahmemessungen für Hersteller

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise (Conventional Rail) für Diesellokomotiven

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise 2006	Außengeräusche			
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch		Fahrgeräusch
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	P $\geq$ 2000 kW an der Welle 7,5 m Abstand	P<2000 kW an der Welle 7,5 m Abstand	80 km/h, 7,5 m Abstand
Gemessene Größe :	L _{pAeq,T}	L _{pAFmax}	L _{pAFmax}	L _{pAeq,TP}
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	75	89	86	85
Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...				

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der
TSI Noise (Conventional Rail) für Dieseltriebzüge

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise 2006	Außengeräusche			
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch		Fahrgeräusch
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	P>=500 kW pro Motor 7,5 m Abstand	P<500 kW pro Motor 7,5 m Abstand	80 km/h, 7,5 m Abstand
Gemessene Größe :	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	73	85	83	82
Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...				

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der
TSI Noise (Conventional Rail) für Elektrolokomotiven

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise 2006	Außengeräusche			
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch		Fahrgeräusch
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	P>=4500 kW am Radumfang 7,5 m Abstand	P<4500 kW am Radumfang 7,5 m Abstand	80 km/h, 7,5 m Abstand
Gemessene Größe :	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	75	85	82	85
Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...				

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der
TSI Noise (Conventional Rail) für Elektrotriebzüge

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise 2006	Außengeräusche		
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand	80 km/h, 7,5 m Abstand
Gemessene Größe :	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,Tp}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	68	82	81
Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...			

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise (Conventional Rail) für Güterwägen

Bewertung der Grenzwerte der Noise 2006	Standgeräusch	Fahrgeräusch						Höchstgeschwindigkeit (≤190 km/h), umgerechnet auf 80 km/h für jeweilige Kategorie
		Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apf) bis 0,15 1/m	Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apf) bis 0,15 1/m	Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apf) über 0,15 1/m bis 0,275 1/m	Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apf) über 0,15 1/m bis 0,275 1/m	Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apf) über 0,275 1/m	Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apf) über 0,275 1/m	
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand 80 km/h	7,5 m Abstand 80 km/h	7,5 m Abstand 80 km/h	7,5 m Abstand 80 km/h	7,5 m Abstand 80 km/h	7,5 m Abstand 80 km/h	7,5 m Abstand
Messgröße:								
Angabe in:	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}(80km/h)^{**}$ $L_{pAeq,Tp} / 30 \log(v/80km/h)$
Grenzwert nach TSI:	65	82	84	83	85	85	87	
Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...								

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed für Diesellokomotiven

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed 2008	Außen- und Fahrgeräusche					
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch			
			Klasse 1			Klasse 2
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand	250 km/h	300 km/h	320 km/h	200 km/h
Messgröße:	$L_{pAeq,T}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	75	89	87	91	92	88
Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...						

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed für Dieseltriebzug

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed 2008	Außengeräusche					
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch			
			Klasse 1			Klasse 2
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand	250 km/h	300 km/h	320 km/h	200 km/h
Gemessene Größe :	$L_{Aeq,T}$	$L_{A,Fmax}$	$L_{Aeq,Tp}$	$L_{Aeq,Tp}$	$L_{Aeq,Tp}$	$L_{Aeq,Tp}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	73	85	87	91	92	88
Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll? Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed für Elektrolokomotiven

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed 2008	Außengeräusche						
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch		Fahrgeräusch			
		P>=4500 kW am Radumfang	P<4500 kW am Radumfang	Klasse 1			Klasse 2
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand	250 km/h	300 km/h	320 km/h	200 km/h
Gemessene Größe :	L _{pAeq,T}	L _{pAFmax}	L _{pAFmax}	L _{pAeq,Tp}	L _{pAeq,Tp}	L _{pAeq,Tp}	L _{pAeq,Tp}
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	75	85	82	87	91	92	88
Welcher Grenzwert wäre aus Ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...							

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed für Elektrotriebzüge

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed 2008	Außengeräusche						
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch		Fahrgeräusch			
		Klasse 1	Klasse 2	Klasse 1			Klasse 2
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand	7,5 m Abstand	250 km/h	300 km/h	320 km/h	200 km/h
Gemessene Größe :	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	68	85	82	87	91	92	88
Welcher Grenzwert wäre aus ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...							

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed für Reisezugwägen

Bewertung der Grenzwerte der TSI High Speed 2008	Außengeräusche				
	Standgeräusch	Fahrgeräusch			
		Klasse 1			Klasse 2
Messbedingungen:	7,5 m Abstand	250 km/h	300 km/h	320 km/h	200 km/h
Gemessene Größe :	$L_{pAeq,T}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:	65	87	91	92	88
Welcher Grenzwert wäre aus ihrer Sicht für neue Fahrzeuge sinnvoll?	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Eine Reduzierung des Grenzwerts ist sinnvoll / nicht sinnvoll, weil ...					

Anmerkungen:

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise

Mit diesem Fragebogen bitten wir Sie um Ihre Einschätzung zu einer möglichen Neuformulierung der akustischen Grenzwerte der TSI Noise (conventional rail und high speed).

Bitte teilen Sie uns Ihre Einschätzung mit, wie Sie eine Senkung der Grenzwerte aus wirtschaftlicher Sicht und aus Sicht der Lärmemission beurteilen.

Bewertung der Grenzwerte der TSI Noise	Außengeräusche		
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch
1. Wie bewerten Sie eine Reduzierung des Grenzwerts hinsichtlich der Entwicklungskosten?			
Reduzierung des Grenzwerts um 1-2 dB 1: leicht umsetzbar 6: nicht umsetzbar	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
Reduzierung des Grenzwerts um 3-4 dB 1: leicht umsetzbar 6: nicht umsetzbar	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
Reduzierung des Grenzwerts um 5-6 dB 1: leicht umsetzbar 6: nicht umsetzbar	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
Reduzierung des Grenzwerts um mehr als 6 dB 1: leicht umsetzbar 6: nicht umsetzbar	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
2. Wie bewerten Sie eine Reduzierung des Grenzwerts hinsichtlich der Herstellungskosten?			
Reduzierung des Grenzwerts um 1-2 dB 1: leicht umsetzbar 6: nicht umsetzbar	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
Reduzierung des Grenzwerts um 3-4 dB 1: leicht umsetzbar 6: nicht umsetzbar	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
Reduzierung des Grenzwerts um 5-6 dB 1: leicht umsetzbar 6: nicht umsetzbar	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
Reduzierung des Grenzwerts um mehr als 6 dB 1: leicht umsetzbar 6: nicht umsetzbar	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
3. Inwieweit trägt aus Ihrer Sicht eine Reduzierung des Grenzwerts dazu bei die Umwelt hinsichtlich der Lärmbelastung langfristig zu entlasten?			
Reduzierung des Grenzwerts um 1-2 dB 1: kein Einfluss 6: starker Einfluss	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
Reduzierung des Grenzwerts um 3-4 dB 1: kein Einfluss 6: starker Einfluss	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
Reduzierung des Grenzwerts um 5-6 dB 1: kein Einfluss 6: starker Einfluss	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6
... mehr als 6 dB? 1: kein Einfluss 6: starker Einfluss	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 2 3 4 5 6

Anmerkungen:

Fragebogen zu Best Practice Fahrzeugen für Hersteller

Fragebogen Best-Practice-Fahrzeug

Europaweit existiert eine Vielzahl an Fahrzeugen mit sehr geringen akustischen Emissionen. Ziel der Nennung von Best-Practice Fahrzeugen ist es, ein gelungenes akustisches Design herauszustellen. Sie haben hier die Möglichkeit, ein Best-Practice-Fahrzeug aus der Kategorie Lokomotiven, Reisezugwagen, Triebzüge zu benennen. Best-Practice-Fahrzeuge sind nicht zwangsläufig die Fahrzeuge mit den geringsten akustischen Emissionen, sondern sie stehen für akustisch vorbildliche Fahrzeuge, bei denen die akustischen Maßnahmen kosteneffizient realisiert wurden. Die Best-Practice-Fahrzeuge sollen damit das derzeit technisch und wirtschaftlich Machbare zeigen.

Ziel der Benennung von Best-Practice-Fahrzeugen ist es, daneben die Fahrzeugakustik stärker in den Focus der Öffentlichkeit zu rücken und so die Bedeutung der Fahrzeugakustik zu stärken.

Wir bitten Sie daher, die untenstehenden Fragen so detailliert wie es Ihnen möglich ist zu beantworten.

Alle Best-Practice-Fahrzeuge werden im Forschungsbericht und in dazugehörigen Veröffentlichungen genannt und beschrieben. Bitte stellen Sie uns dazu, falls möglich, weitere Informationen und Dokumente (wie. z. B. eine Produktbeschreibung) über das Fahrzeug zur Verfügung. Zur Darstellung im Forschungsbericht ist eine Skizze des Fahrzeugs wünschenswert.

1. Angaben zum Best-Practice-Fahrzeug

Hersteller			
Typ/Bezeichnung			
Baujahr			
Leistung	kW	☐ pro Motor /	☐ an der Welle / ☐ am Radumfang

Beschreibung des Fahrzeugs:

2. Was zeichnet das Fahrzeug als Best-Practice-Fahrzeug aus?

3. Wurde eine akustische Auslegung des Fahrzeugs durchgeführt (Akustikmanagement)?
Falls ja, welche Schritte umfasste das Akustikmanagement in den einzelnen Konstruktionsphasen?

4. Falls 3. mit Ja beantwortet wurde.
Welche Bedeutung hat die Qualitätssicherung im Rahmen des Akustikmanagements?

5. Welche akustischen Anforderungen lagen dem Lastenheft zugrunde?

Akustische Anforderungen aus dem Lastenheft	Außengeräusche		
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch
Messbedingungen: Messposition:			
Sonstiges:			km/h,
Einzuhaltender Wert:			

Weitere akustische Anforderungen aus dem Lastenheft

6. Angaben zu den akustischen Kenngrößen

Datum der Abnahmemessung	
Strecke	
Sonstiges	

Zeilen mit * sind nur auszufüllen, falls von der Norm abweichend.

Abnahmemessung nach TSI Noise	Außengeräusche		
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch
Messbedingungen: Messposition:			
Sonstiges:			km/h,
Gemessene Größe :	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,TP}$
*abweichend von der TSI:			
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert bei Abnahme:			

Sonstige Messungen bei der akustischen Abnahme (nur auszufüllen, falls weitere Betriebszustände gemessen wurden):

Messung von :				
Messbedingungen:				
Gemessene Größe:				
Z.B. $L_{pAeq,T}$, L_{pAFmax} , $L_{pAeq,TP}$				
Angabe in:				
Z.B. dB(A)				
Messwert bei Abnahme:				

7. Besondere Maßnahmen an der Quelle und ggf. im Übertragungsweg, die getroffen wurden, um die Emissionswerte für das Außengeräusch gering zu halten:

Schallquelle	Schallminderungsmaßnahme an der Quelle	Schallminderungsmaßnahme am Übertragungsweg	Gesamtkosten für die Schallminderungsmaßnahmen
			EUR
			EUR
			EUR
			EUR

			EUR
			EUR
			EUR
			EUR

8. Anmerkungen:

Fragebögen zu den Abnahmemessungen für Notified Bodies

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von Diesellokomotiven

1. Angaben zum Fahrzeug

Neufahrzeug	☐ Ja ☐ Nein
-------------	---

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach der folgenden TSI durchgeführt:

High speed		Conventional Rail
☐ 2002	☐ 2008	☐ 2006
		☐ P>=2000 kW an der Welle ☐ P<2000 kW an der Welle
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:		
Messstrecke:		km:

Wenn möglich, legen Sie bitte diesem Fragebogen die Terzspektren der Schienenrauheitsmessung sowie der Abklingratenmessung bei.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche				
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	-	km/h	* km/h	* km/h
Gemessene Größe:	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:				*	*
Messwert:				*	*

* nur auszufüllen, falls vorhanden

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002:

Prüfung: (Standgeräusch / Anfahrgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: L_{pAeq,T}, L_{pAeq,TP}, L_{pAFmax}, TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von Dieseltriebzügen

1. Angaben zum Fahrzeug

Neufahrzeug	☐ Ja ☐ Nein
-------------	---

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach der folgenden TSI durchgeführt:

High speed		Conventional Rail	
☐ 2002	☐ 2008	☐ 2006	
		☐ P>=500 kW pro Motor	☐ P<500 kW pro Motor
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle	
3. B	3. A	3. A	

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:		
Messstrecke:		km:

Wenn möglich, legen Sie bitte diesem Fragebogen die Terzspektren der Schienenrauheitsmessung sowie der Abklingratenmessung bei.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche				
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	-	km/h	* km/h	* km/h
Gemessene Größe:	L _{pAeq,T}	L _{pAFmax}	L _{pAeq,TP}	L _{pAeq,TP}	L _{pAeq,TP}
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:				*	*
Messwert:				*	*

* nur auszufüllen, falls vorhanden

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002:

Prüfung: (Standgeräusch / Anfahrgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: $L_{pAeq,T}$, $L_{pAeq,TP}$, L_{pAFmax} , TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von **Elektrolokomotiven**

1. Angaben zum Fahrzeug

Neufahrzeug	☐ Ja ☐ Nein
-------------	---

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach der folgenden TSI durchgeführt:

High speed			Conventional Rail	
☐ 2002	☐ 2008		☐ 2006	
	☐ Klasse 1	☐ Klasse 2	☐ P $\geq$ 4500 kW am Radumfang	☐ P<4500 kW am Radumfang
	☐ P $\geq$ 4500 kW am Radumfang	☐ P<4500 kW am Radumfang		
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A		Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:		
Messstrecke:		km:

Wenn möglich, legen Sie bitte diesem Fragebogen die Terzspektren der Schienenrauheitsmessung sowie der Abklingratenmessung bei.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche				
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	-	km/h	* km/h	* km/h
Gemessene Größe:	L _{pAeq,T}	L _{pAFmax}	L _{pAeq,TP}	L _{pAeq,TP}	L _{pAeq,TP}
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:				*	*
Messwert:				*	*

* nur auszufüllen, falls vorhanden

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002:

Prüfung: (Standgeräusch / Anfahrgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: $L_{pAeq,T}$, $L_{pAeq,TP}$, L_{pAFmax} , TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von **Elektrotriebzügen**

1. Angaben zum Fahrzeug

Neufahrzeug	☐ Ja ☐ Nein
-------------	---

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach der folgenden TSI durchgeführt:

High speed		Conventional Rail
☐ 2002	☐ 2008	☐ 2006
	☐ Klasse 1 ☐ Klasse 2	
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:		
Messstrecke:		km:

Wenn möglich, legen Sie bitte diesem Fragebogen die Terzspektren der Schienenrauheitsmessung sowie der Abklingratenmessung bei.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche				
	Standgeräusch	Anfahrgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	-	km/h	* km/h	* km/h
Gemessene Größe:	$L_{pAeq,T}$	L_{pAFmax}	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:				*	*
Messwert:				*	*

* nur auszufüllen, falls vorhanden

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002:

Prüfung: (Standgeräusch / Anfahrgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: $L_{pAeq,T}$, $L_{pAeq,TP}$, L_{pAFmax} , TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von Güterzügen nach TSI Conventional Rail

1. Angaben zum Fahrzeug

Neufahrzeug	☐ Ja ☐ Nein
Länge	m
Anzahl der Achsen	

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden nach TSI Conventional Rail durchgeführt:

☐ Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) bis 0,15 1/m
☐ Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) bis 0,15 1/m
☐ Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) über 0,15 1/m bis 0,275 1/m
☐ Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) über 0,15 1/m bis 0,275 1/m
☐ Neue Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) über 0,275 1/m
☐ Erneuerte oder umgerüstete Wagen, durchschnittl. Radsatzzahl pro Längeneinheit (apl) über 0,275 1/m

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:		
Messstrecke:		km:

Wenn möglich, legen Sie bitte diesem Fragebogen die Terzspektren der Schienenrauheitsmessung sowie der Abklingratenmessung bei.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

Abnahmemessung nach TSI Conventional Rail:

Abnahmemessung nach TSI Noise	Außengeräusche		
	Standgeräusch	Fahrgeräusch	
Geschwindigkeit:	-	80 km/h	Höchstgeschwindigkeit (<190 km/h), umgerechnet auf 80 km/h
Gemessene Größe:	$L_{pAeq,T}$	$L_{pAeq,Tp}$	$L_{pAeq,Tp}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:			
Messwert:			

Anmerkungen:

Akustische Abnahmemessungen (Außengeräusch) von Reisezugwägen

1. Angaben zum Fahrzeug

Neufahrzeug	☐ Ja ☐ Nein
-------------	---

2. Angaben zu den Abnahmemessungen

Die Abnahmemessungen wurden durchgeführt nach:

TSI High speed		TSI Conventional Rail
☐ 2002	☐ 2008	☐ 2006
	Reisezugwagen	
Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. B	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A	Messwerte der Prüfung bitte eintragen in Tabelle 3. A

Jahr der Abnahmemessung und Messstrecke:

Jahr:		
Messstrecke:		km:

Wenn möglich, legen Sie bitte diesem Fragebogen die Terzspektren der Schienenrauheitsmessung sowie der Abklingratenmessung bei.

3. Ergebnisse der Außengeräuschmessungen

A: Abnahmemessung nach TSI High speed 2008 und TSI Conventional Rail 2006:

Prüfung:	Außengeräusche			
	Standgeräusch	Fahrgeräusch		
Geschwindigkeit:	-	km/h	* km/h	* km/h
Messgröße:	$L_{pAeq,T}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$	$L_{pAeq,TP}$
Angabe in:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Grenzwert nach TSI:			*	*
Messwert:			*	*

* nur auszufüllen, falls vorhanden

B: Abnahmemessung nach TSI High speed 2002:

Prüfung: (Standgeräusch / Fahrgeräusch)					
Messbedingungen:					
Betriebszustände:					
Messgröße: L_{pAeq,T}, L_{pAeq,TP}, L_{pAFmax}, TEL, SEL					
Grenzwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Messwert:	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)

Anmerkungen:

Anhang C

**Zeitliche Entwicklung der gemessenen Schalldruckpegel für alle erfassten Schienen-
fahrzeugkategorien**

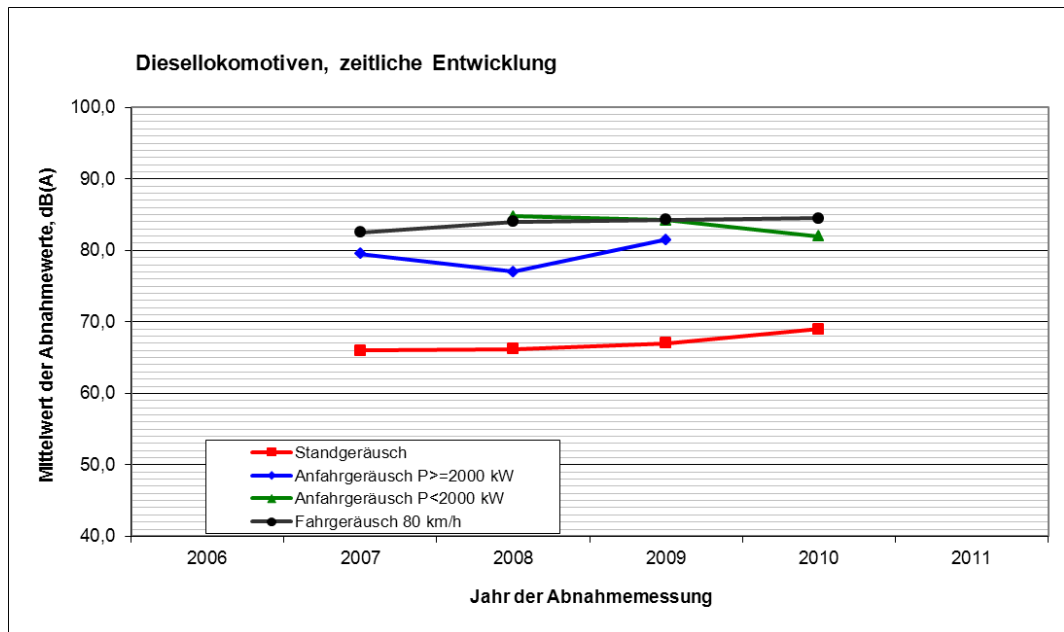


Abbildung 47. Zeitliche Entwicklung der gemessenen Schalldruckpegel für alle erfassten Diesellokomotiven, gemittelt pro Jahr der akustischen Abnahmemessung.

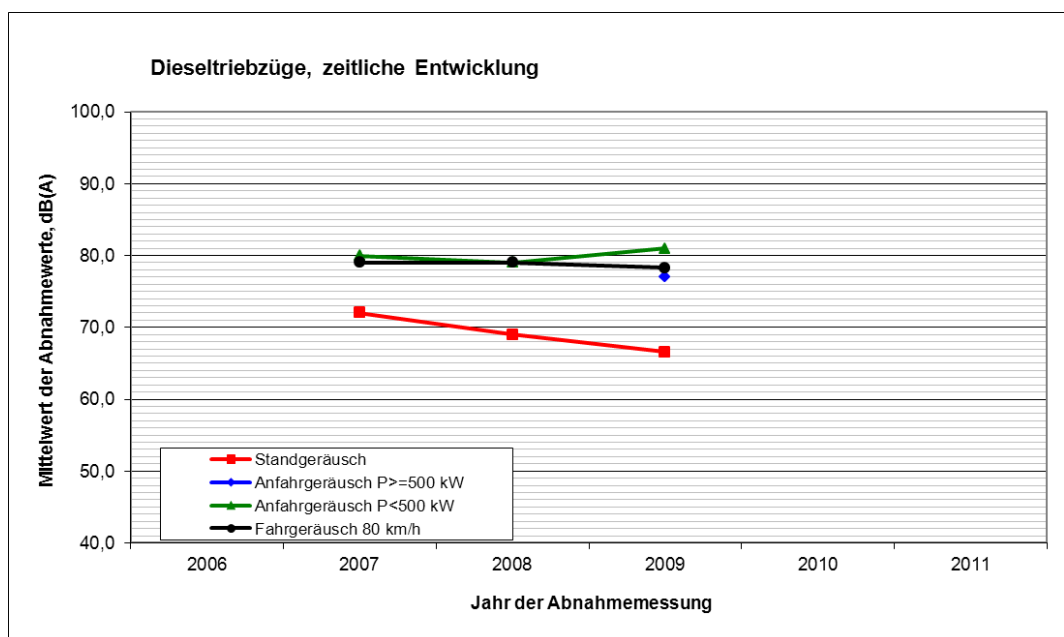


Abbildung 48. Zeitliche Entwicklung der gemessenen Schalldruckpegel für alle erfassten Dieseldieseltriebzüge, gemittelt pro Jahr der akustischen Abnahmemessung.

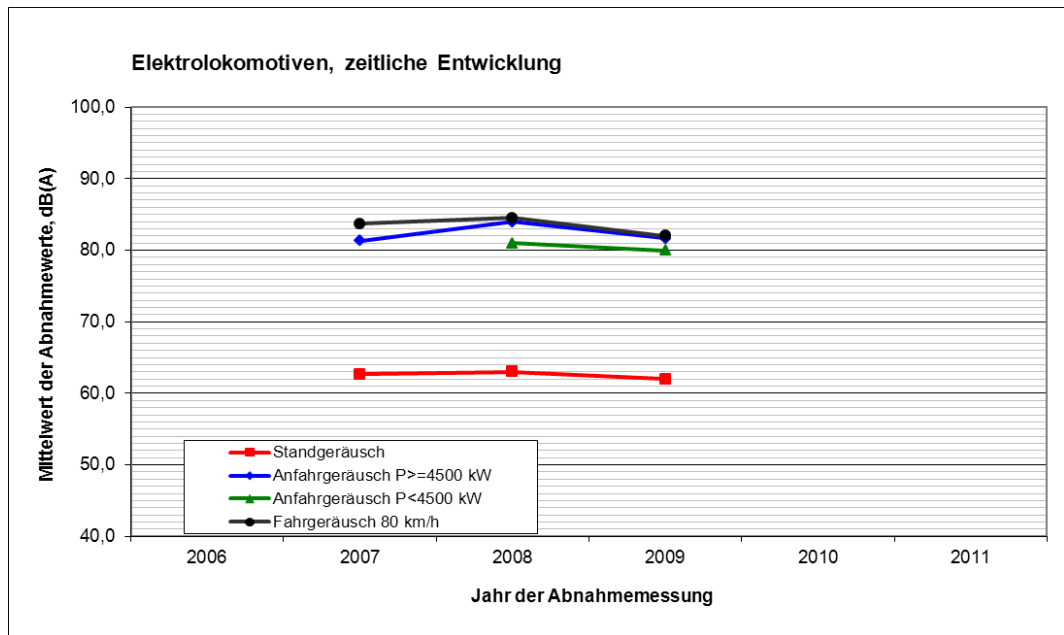


Abbildung 49. Zeitliche Entwicklung der gemessenen Schalldruckpegel für alle erfassten Elektrolokomotiven, gemittelt pro Jahr der akustischen Abnahmemessung.

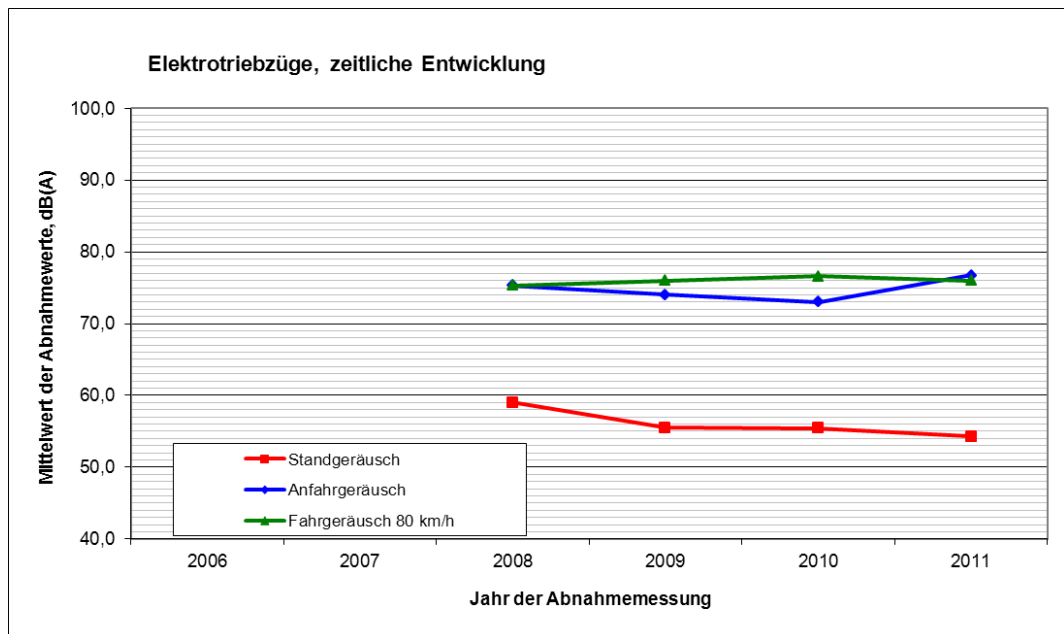


Abbildung 50. Zeitliche Entwicklung der gemessenen Schalldruckpegel für alle erfassten Elektrotriebzüge, gemittelt pro Jahr der akustischen Abnahmemessung.

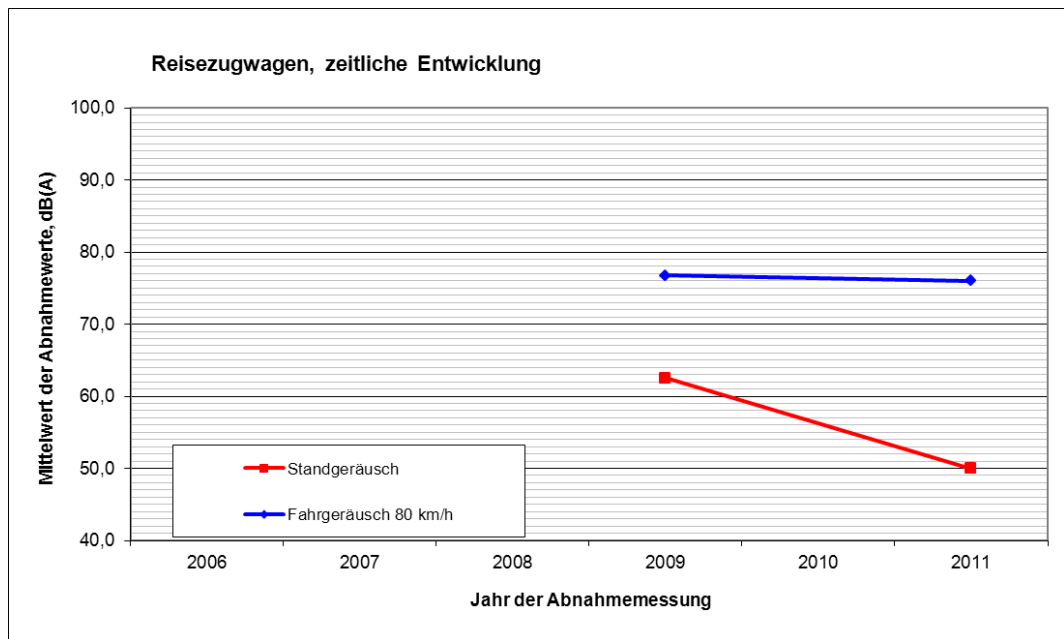


Abbildung 51. Zeitliche Entwicklung der gemessenen Schalldruckpegel für alle erfassten Reisezugwagen, gemittelt pro Jahr der akustischen Abnahmemessung.

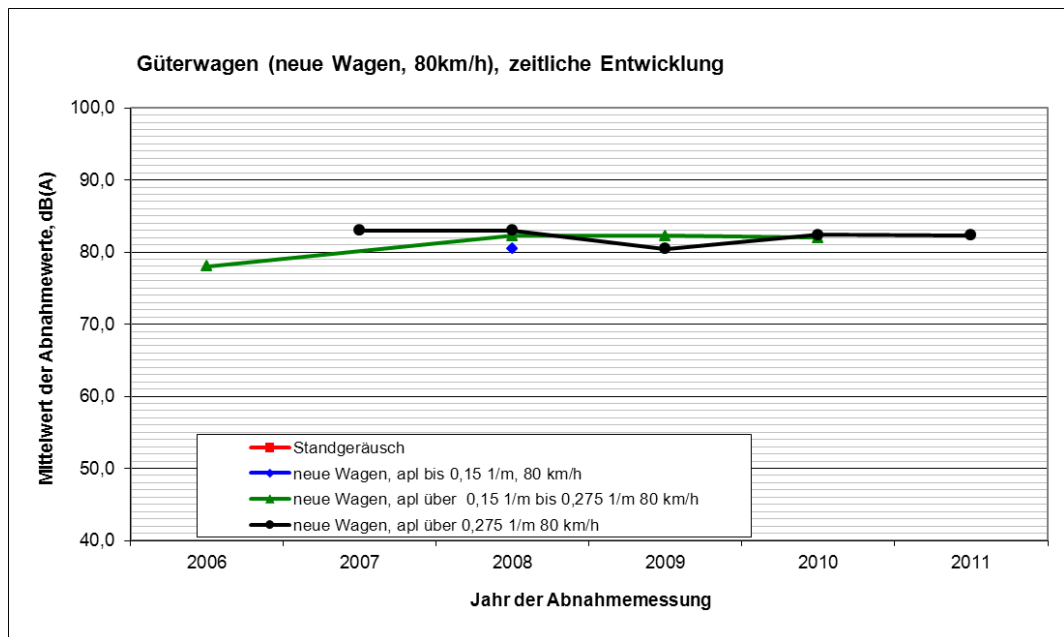


Abbildung 52. Zeitliche Entwicklung der gemessenen Schalldruckpegel für alle erfassten Güterwagen, gemittelt pro Jahr der akustischen Abnahmemessung.