

Praxisversuch Calmmoon-Rail

UNTERSUCHUNGSBERICHT



Manfred T. Kalivoda
Paul Rosenkranz

Wien, im September 2009
DN 2008-309-005 - Seite 1 von 30

INHALT

1	AUFGABENSTELLUNG	2
2	UNTERSUCHTE SYSTEMZUSTÄNDE	3
2.1	Ausgangszustand	3
2.2	Calmmoon-Rail Elemente	3
3	MESSKONZEPT	4
3.1	Luftschallpegel und Schienenschwingungen	4
3.2	Gleisschwingungsabklingrate (Decay Rate).....	7
4	MESSERGEBNISSE	7
4.1	Schwingungsabklingrate (Decay Rate)	7
4.2	A-bewerteter Vorbeifahrtspegel $L_{p,A,pb}(V)$	8
4.2.1	A-bewerteter Vorbeifahrtspegel Güterzüge	8
4.2.2	A-bewerteter Vorbeifahrtspegel BR 4020.....	9
4.2.3	A-bewerteter Vorbeifahrtspegel BR 80-33	9
4.2.4	A-bewerteter Vorbeifahrtspegel BR 4024.....	9
4.2.5	A-bewerteter Vorbeifahrtspegel BR CD680	10
4.3	Mittlere unbew. Vorbeifahrtpegelspektren $L_{pb}(f,V)$	10
4.3.1	Mittleres unbew. Vorbeifahrtpegelspektrum - Güterzüge	10
4.3.2	Mittleres unbew. Vorbeifahrtpegelspektrum - Baureihe 4020	11
4.3.3	Mittleres unbew. Vorbeifahrtpegelspektrum – Baureihe 80-33	12
4.3.4	Mittleres unbew. Vorbeifahrtpegelspektrum Baureihe 4024 "Talent"	13
4.4	A-bew. Schallereignispegel $L_{p,AE}$	14
5	BEURTEILUNG	17
	LITERATUR & UNTERLAGEN.....	21
	ANHANG	22

1 AUFGABENSTELLUNG

Die Firma Sekisui erzeugt und vertreibt unter dem Markennamen Calmmoon-Rail schwingungsabsorbierende Sandwich-Platten, welche u.a. zur Bedämpfung von Eisenbahnschienen verwendet werden können. In einem Praxisversuch werden die Calmmoon-Elemente an der ÖBB Infrastruktur Messstelle Deutsch Wagram auf eine Länge von ca. 30 m in Streckengleis 1 eingebaut. Basierend auf den Festlegungen der ÖNORM EN ISO 3095 wird die Reduktion des Vorbeifahrtpegels untersucht und quantifiziert.

2 UNTERSUCHTE SYSTEMZUSTÄNDE

2.1 Ausgangszustand

Die Messstelle für den Versuchseinbau von Calmmoon-Elementen befindet sich auf der Nordbahn vor Deutsch Wagram auf Gleis 1 bei Streckenkilometer 14,6. Bei Oberbau handelt es sich um ein im Schotterbett verlegtes Betonschwellengleis mit 60 cm Schwellenabstand und S 49-Schienen

2.2 Calmmoon-Rail Elemente

Das Produkt Calmmoon-Rail der Firma SEKESUI dient dazu, die Schwingungen in der Schiene, welche bei der Überfahrt eines Eisenbahnrades entstehen, zu dämpfen, ohne die eisenbahntechnische Funktionalität der Schiene, wie Zuverlässigkeit und Wartung, zu beeinträchtigen. Der Calmmoon-Rail ist in Sandwich-Bauform konzipiert. Eine dünne Metallplatte bildet die Grundlage. Auf dieser Grundlage ist ein absorbierendes Material aufgebracht, das durch Oszillation Vibrationen in Wärmeenergie umwandelt. Durch diese Umwandlung wirkt der Calmmoon-Rail schallmindernd. Das absorbierende Material ist nicht brennbar, umweltverträglich und leicht zu installieren. In Abbildung 1 ist ein Calmmoon-Rail (dunkelgrau) auf einer Schiene angebracht dargestellt.



Abbildung 1: Calmmoon-Rail Anwendungsbeispiel (linke Grafik Quelle: Sekisui Produktblatt)

3 MESSKONZEPT

3.1 Luftschallpegel und Schienenschwingungen

Mess-Setup

Abbildung 2 zeigt schematisch den Messaufbau. Die Mikrofone sind in 1,2 Metern Höhe über Schienenoberkante (SOK) befestigt und jeweils 7,5 Meter von der nächstgelegenen Gleisachse entfernt. Insgesamt befinden sich 3 Mikrofone im Messaufbau, wobei M1 und M2 grundsätzlich Gleis 2 zugeordnet sind und durch die Redundanz der Messungen gegenseitige Kontroll- bzw. Plausibilitätsprüfungsfunktion besitzen. Die Messergebnisse der Mikrofone M1 und M2 werden gemittelt und der Mittelwert als Input für weitere Berechnungen verwendet.

Für die Aufgabenstellung dieser Untersuchung liegt der Fokus auf Gleis 1 und dem Mikrofon B1, da die Calmmoon-Elemente in Gleis 1 eingebaut werden. Für die Beurteilung der Wirkung der Calmmoon-Elemente werden sowohl die Mikrofone M1/M2 als auch B1 herangezogen, wobei der Messabstand nur für Mikrofon B1 7,5 m beträgt. Da der Gleisabstand hier 4,0 m beträgt, sind die Mikrofone M1 und M2 von Gleis 1 11,5 m entfernt. Abbildung 3 zeigt den Messquerschnitt.

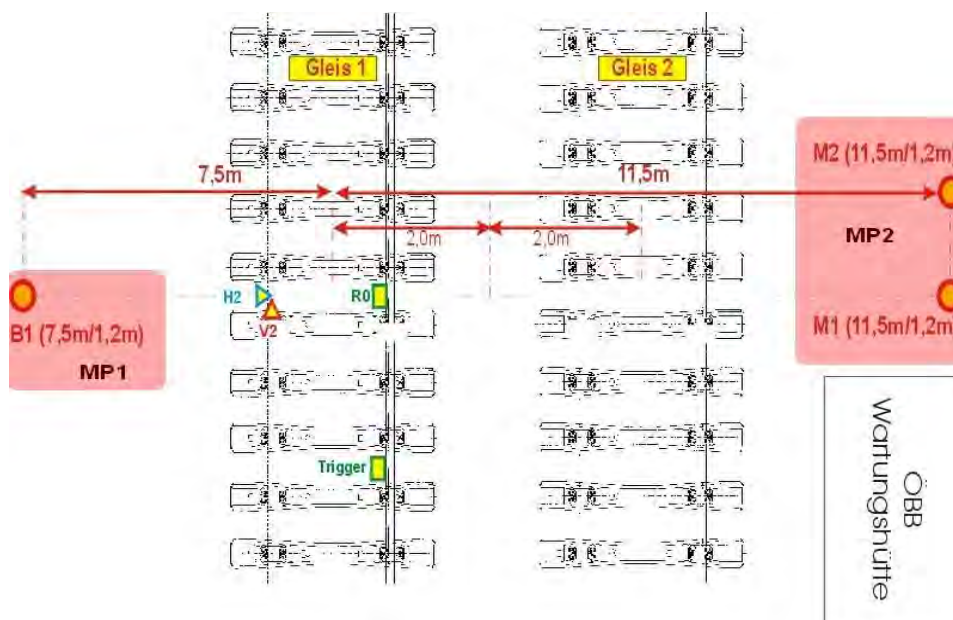


Abbildung 2: schematische Darstellung des Messquerschnittes

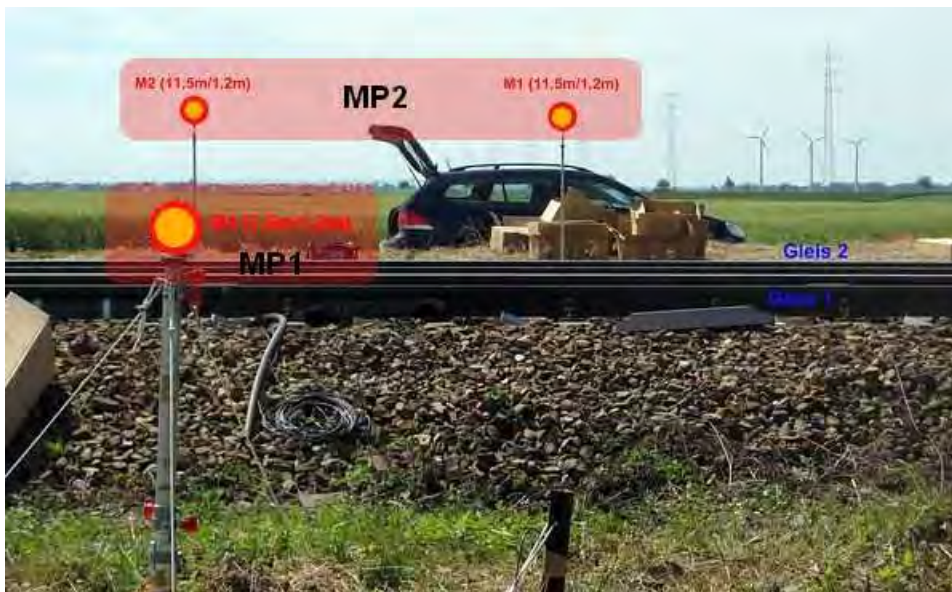


Abbildung 3: Permanenz-Messstelle Deutsch Wagram Mikrofonansicht

Für die Vergleichsmessung wurden die Einrichtungen der auf Gleis 2 eingerichteten Infrastruktur-Dauermessstelle der ÖBB Infrastruktur BauAG verwendet. Diese Messstelle wurde 2006 eingerichtet und erfasst seit damals u.a. die Geräusch- und Erschütterungsemissionen aller auf Gleis 2 verkehrenden Züge. Für diese Untersuchung musste die Messeinrichtung erweitert und Gleis 1 in das Monitoring-System eingebunden werden.

Neben den wetterfesten Mikrofonen sind je Gleis 2 Radsensoren, welche ein Achssignal liefern, sowie Beschleunigungsaufnehmer für die vertikalen und horizontalen Schienenbeschleunigungen angebracht. Gemeinsam mit den akustischen Parametern wird auch die Meteorologie aufgezeichnet. Die Registrierung des Zuges erfolgt durch das Erfassen der Durchfahrtszeit der einzelnen Fahrzeugachsen im Messquerschnitt. In Tabelle 1 sind die verwendeten Sensoren angeführt

Während einer Zugvorbeifahrt werden für jeden Messquerschnitt die Schallpegel in der 7,5 m Mikrofonposition, Schienen- und Schwellenbeschleunigungen und die Achssignale des induktiven Radsensors parallel aufgezeichnet. Mit Hilfe des Achssignals (=Achspannung) erfolgt eine Zuordnung der gemessenen Emissionen (Schall und Beschleunigungen) zu den jeweiligen Positionen des einzelnen Rades bzw. in Folge des Drehgestells. Das gemessene Achsmuster wird mit einer internen Zugdatenbank verglichen und daraus die Zugkategorie (z.B. Güterzug, Personenzug, Lokzug, etc.) bestimmt werden.

Tabelle 1: Mess-Setup Praxisversuch Calmmoon-Rail

Ch	Type	Name	Position
1	Mikrofon	M1	Q1 7,5/1,2m von Gleis 2
2	Beschleunigung	V1	Q1 vert. Schienenkopf
3	Beschleunigung	H1	Q1 hor. Schienenkopf
4	Beschleunigung	V0	Q1 vert. Schienenkopf
5	Mikrofon	M2	Q2 7,5/1,2m von Gleis 2
6	Beschleunigung	V2	Q2 railhead, vert
7	Beschleunigung	H2	Q2 railhead, lat
8	Beschleunigung	H0	Q1 hor. Schienenkopf
9	Geophon x-Achse	X0	Erschütterungen
10	Geophon x-Achse	Y0	Erschütterungen
11	Geophon x-Achse	Z0	Erschütterungen
12	Mikrofon	B1	Q1 7,5/1,2m von Gleis 1
13	Rad-Sensor	R0	Q2, Gleis 1
14	Rad-Sensor	R2	Q2 wheel detection
15	Rad-Sensor	R1	Q1 wheel detection
16	Rad-Sensor	R0	Q1, Gleis 1

Die folgenden Messgrößen und Parameter wurden erfasst und analysiert:

A-bew. Vorbeifahrtpegel (geschwindigkeitsabhängig) je Zugkategorie

Aus den Einzelmesswerten je Zugvorbeifahrt werden mittlere geschwindigkeitsabhängige A-bew. Vorbeifahrtpegel $L_{A,pb}(V)$ ermittelt.

A-bew. Vorbeifahrtpegelspektrum je Zugkategorie

Aus den Vorbeifahrtpegelspektrum $L_{A,pb}(f,V)$ je Zugkategorie kann die spektrale Veränderung des Vorbeifahrtgeräusches durch die Maßnahme (Einbau der Calmmoon-Elemente) dargestellt werden.

Veränderung des A-bew. Vorbeifahrtpegel je Zugkategorie

Aus den $L_{A,pb}(V)$ je Zugkategorie der Messungen vor und nach dem Einbau der Calmmoon-Elemente wird die Veränderung der Geräuschemission dargestellt. Mit diesen Daten wird die Veränderung der Geräuschemission für das konkrete Verkehrsprogramm (realer Mix aus lauten und leisen Zügen) sowie die daraus folgende Veränderung der Geräuschmission angegeben.

3.2 Gleisschwingungsabklingrate (Decay Rate)

Die Decay Rate gibt Aufschluss über die akustische Beschaffenheit und das Abstrahlverhalten eines Gleises und wird in der TSI-CR-NOISE [1] zur Überprüfung von Testgleisen verwendet. Mit Hilfe des von der holländischen Firma TNO entwickelten Softwarepaketes PBA (pass-by-analysis) ist es möglich, aus den Schienenschwingungen während einer Zugvorbeifahrt sowohl die vertikale als auch die horizontale Decay Rate zu bestimmen.

Die Decay Rate beschreibt die Abnahme der Schienenschwingungen pro Laufmeter Schiene [dB/m] bezogen auf die einzelnen Terzbänder. Eine hohe Decay Rate bedeutet eine „gute“ Schiene mit geringer Schallabstrahlung durch die Schiene, eine niedrige Decay Rate ein sehr stark und lang schwingende Scheine, welche sehr viel Schall abstrahlt.

4 MESSERGEBNISSE

4.1 Schwingungsabklingrate (Decay Rate)

Die horizontale und vertikale Decay Rate wurde nur für das Gleis mit ungedämpfter Schiene ermittelt, um generell den Oberbauzustand und die akustischen Eigenschaften des Gleises zu beschreiben. Für den Zustand mit eingebauten Calmmoon-Elementen wurde keine Decay Rate ermittelt, weil aus einer ähnlich gelagerten Untersuchung [3] bekannt ist, dass sich durch den Einbau der Calmmoon-Elemente die Decay Rate nicht verändert. Diese Tatsache ist auf die Wirkungsweise der Calmmoon-Elemente zurückzuführen. Der Calmmoon-Rail-Dämpfer wandelt die von den Schienen abgestrahlte Schallenergie in Wärme um und schirmt so die Schienenschwingungen ab, ohne jedoch das Schwingungsverhalten der Schiene zu verändern.

In Abbildung 14 und Abbildung 15 ist die Decay Rate für Gleis 1 abgebildet. Die schwarze Linie in beiden Diagrammen stellt die Grenzlinie gem. TSI-CR-Noise 0 dar. Während bezüglich horizontalem Schwing- und Abstrahlverhalten das untersuchte Gleis die Anforderungen der TSI-CR-Noise als Testgleis durchaus erfüllen würde, liegt die vertikale Decay Rate im Frequenzbereich zwischen 200 und 800 Hz unter der Grenzkurve. Das bedeutet, dass das Testgleis hinsichtlich vertikaler Schienenschwingungen in diesem Frequenzbereich gut schwingungsfähig ist und Schall grundsätzlich gut abstrahlt.

4.2 A-bewerteter Vorbeifahrtspegel $L_{p,A,pb}(V)$

In Tabelle 2 sind die Anzahl der in dieser Untersuchung erfassten und verwerteten Züge nach Zugkategorien und Radrauhigkeit zusammengestellt. Der verwertbare Geschwindigkeitsbereich im Messquerschnitt reichte von etwa 60 km/h bis 100 km/h.

Tabelle 2: gemessene Baureihen und Radtypen

Kategorie	Radtyp	ohne Calmmoon	mit Calmmoon
CD Pendolino (CD680)	sehr glatt	25	48
ÖBB S-Bahn (BR 4024 "Talent")	sehr glatt	30	59
ÖBB Regional-Doppelstockzug (BR 80-33)	glatt	188	358
ÖBB S-Bahn (BR 4020)	rau	498	934
Güterverkehr	sehr rau	157	318
Summe		898	1717

Aufgrund eines schweren Unwetters Ende Mai und einer dadurch ausgelösten starken Beschädigung der Signal- und Sicherungsanlage im betrachteten Abschnitt, kam es während der gesamten Untersuchungszeit immer wieder zu Betriebsbehinderungen im Zugverkehr mit Geschwindigkeitsbeschränkungen, Ausfällen von Zügen etc. Um für den Referenzfall ohne Calmmoon-Elemente eine ausreichende Anzahl von validen Messwerten zu besitzen, wurde nach dem Ausbau der Calmmoon-Elemente weiter Referenzdaten erhoben. Das bedeutet, dass sie in Tabelle 2 unter „ohne Calmmoon“ angegebenen Zugzahlen vor und nach dem Versuchseinbau der Calmmoon-Elemente erhoben worden sind.

Im Anhang, Abbildung 16 bis Abbildung 20, sind die geschwindigkeitsabhängigen A-bewerteten Vorbeifahrtspegel der einzelnen Zugvorbeifahrten je Zugkategorien dargestellt. In allen Abbildungen sind die Messwerte für die beiden Messpositionen MP1 in 7,5 m (Sensor B1) und MP2 in 11,5 m (Mittelwert aus Sensoren M1 und M2) jeweils ohne und mit Calmmoon-Elementen eingetragen. Die Geschwindigkeit ist in den Diagrammen auf der x-Achse logarithmisch dargestellt und auf 80 km/h bezogen, d.h. ein Achsenwert von -0,3 entspricht 40 km/h, der Wert 0 den 80 km/h und 0,2 einer Vorbeifahrtsgeschwindigkeit von 125 km/h.

4.2.1 A-bewerteter Vorbeifahrtspegel Güterzüge

Abbildung 16 zeigt die Gesamtansicht aller A-bewerteten Vorbeifahrtspegel sowohl für Fahrten auf mit Calmmoon-Elementen bedämpften Schienen, als auch für Fahrten auf unbedämpften Schienen für die Zugsgattung Güterzüge. Güterzüge repräsentieren Fahrzeuge mit sehr rauen Rädern und somit hoher Geräuschemission. Im Diagramm sind sämtliche erhobene Güterzüge aufgetragen, die mit konstanter Geschwindigkeit ($V_{\text{mittel}} \pm 2,5$ km/h) am Messquerschnitt auf Gleis 1 vorbeigefahren sind. Auffallend ist, dass die gemessenen

Vorbeifahrtspegel mit und ohne Calmmoon-Elementen sehr stark unterschiedlich sind. Eine weitere Auffälligkeit ist der Pegelanstieg bei zunehmender Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Vorbeifahrtspegel auf dem unbedämpften Gleis ist weniger steil, als der Anstieg beim Gleis mit Calmmoon-Elementen. Das Gros an Güterzügen war in einem Geschwindigkeitsbereich von 45 km/h bis 90 km/h unterwegs.

4.2.2 A-bewerteter Vorbeifahrtspegel BR 4020

Abbildung 17 zeigt den A-bewerteten Vorbeifahrtspegel für die Vorbeifahrten der S-Bahngarnituren der Baureihe 4020. Bei diesen Fahrzeugen handelt es sich um dreiteilige Triebwagengarnituren mit kombiniertem Bremssystem mit Scheiben- und Grauguß-Klotzbremse und somit rauen Rädern und mittlerer Geräuschemission. Der Pegelanstieg mit zunehmender Geschwindigkeit ist bei dieser Zugkategorie ohne und mit Calmmoon-Elementen etwa gleich groß.

4.2.3 A-bewerteter Vorbeifahrtspegel BR 80-33

Abbildung 18 zeigt die Gesamtansicht aller A-bewerteten Vorbeifahrtspegel der Regionalzüge (BR 8033) wieder sowohl auf unbedämpfter Schiene, als auch auf mit Calmmoon-Elementen verkleideten Schienen. Bei der Baureihe 80-33 handelt es sich um moderne Doppelstock-Garnituren für den Regionalverkehr mit scheibenbremsen Wagen und glatten Rädern. Im Diagramm sind sämtliche erhobene 80-33-Garnituren aufgetragen, die mit konstanter Geschwindigkeit ($V_{\text{mittel}} \pm 2,5 \text{ km/h}$) am Messquerschnitt auf Gleis 1 vorbeigefahren sind. Die erste Auffälligkeit in diesem Diagramm betrifft den größeren Geschwindigkeitsbereich von etwa 40 bis 120 km/h in dieser Zugkategorie. Demgegenüber streuen die Einzelmesswerte deutlich weniger als bei den Güterzügen oder S-Bahngarnituren BR 4020. Der Pegelanstieg zufolge höherer Geschwindigkeit ist in dieser Zugkategorie ohne und mit Calmmoon-Elementen annähernd gleich.

4.2.4 A-bewerteter Vorbeifahrtspegel BR 4024

Abbildung 19 zeigt die A-bewerteten Vorbeifahrtspegel für die S-Bahngarnituren Baureihe 4024/Talent. Diese neue Baureihe besticht durch generell niedrigere Vorbeifahrtspegel bedingt durch sehr glatte und kleine, gedrungene Räder. Aufgrund der Betriebsstörung wurden vornehmlich die alten S-Bahngarnituren BR 4020 auf dieser Strecke eingesetzt. Aus diesem Grund konnten nur eine vergleichsweise geringe Zahl von Zügen BR 4024 erhoben werden. Im Diagramm ist zu erkennen, dass die Vorbeifahrtspegelwerte für 7,5 Meter Entfernung zur Achse von Gleis 1 mit Calmmoon-Elementen deutlich unter denen ohne Calmmoon-Elementen liegen. Dieser Umstand ändert sich auch mit zunehmender Geschwindigkeit nicht.

In 11,5 m Entfernung von der Gleisachse sind die Unterschiede im A-bew. Vorbeifahrtspegel ohne und mit Calmmoon-Elementen deutlich geringer.

4.2.5 A-bewerteter Vorbeifahrtspegel BR CD680

Abbildung 20 zeigt die A-bewerteten Vorbeifahrtspegel der Zuggarnituren BR CD680. Bei dieser Zugkategorie handelt es sich um die tschechischen Pendolino-Triebwagengarnituren mit scheibengebremsten, glatten Rädern mit Radabsorbern. Auch bei dieser Zugkategorie kam es durch die Betriebsbehinderungen zu Zugausfällen. Aus diesem Grund konnten auch von dieser Kategorie nur eine vergleichsweise geringe Zahl von Zügen erfasst werden. Weiters sind die Züge der BR CD680 deutlich geringere Geschwindigkeiten mit konstanter Geschwindigkeit gefahrenen als die übrigen Kategorien. Auffällig am Diagramm sind die deutlichen Unterschiede zwischen den Vorbeifahrtspegeln ohne und mit Calmmoon-Elementen.

4.3 Mittlere unbew. Vorbeifahrtspegelspektren $L_{pb}(f, V)$

In Abbildung 21 bis Abbildung 28 sind die unbewerteten Vorbeifahrtspegelspektren dargestellt. In diesen nach Zugskategorien und Systemzustand unterteilten Diagrammen werden die Pegelspektren der Vorbeifahrten von jeweils vier, für die jeweilige Zugskategorie charakteristische Züge mit 80 km/h Vorbeifahrtgeschwindigkeit dargestellt. Diese Diagramme bilden die Grundlage für die folgenden gemittelten unbewerteten Vorbeifahrtspegelspektren.

Die Diagramme der gemittelten unbewerteten Vorbeifahrtspegelspektren vereinigen sowohl den Ausgangszustand, also das ungedämpfte Gleis ohne Calmmoon-Elemente, als auch das Gleis, dessen Schienen mit Calmmoon-Elementen versehen sind.

4.3.1 Mittleres unbew. Vorbeifahrtspegelspektrum - Güterzüge

Abbildung 4 zeigt die linearen Terzspektren der gemittelten Zugsvorbeifahrten von Güterzügen auf Gleis 1 bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h. Güterzüge repräsentieren Schienenfahrzeuge mit sehr rauen Rädern. Im Diagramm sind sowohl die ungedämpfte Schiene, als auch das Gleis mit auf den Schienen eingebauten Calmmoon-Elementen aufgetragen. Auffällig ist, dass die Werte der Calmmoon-Elemente deutlich unterhalb der ungedämpften Schiene liegen. Liegen die Werte im Frequenzbereich von 25 Hz bis 400 Hz nahe beisammen, so unterscheiden sie sich im höherfrequenten Bereich zusehends, im Bereich von 800 Hz bis 1000 Hz um bis zu 11 dB.

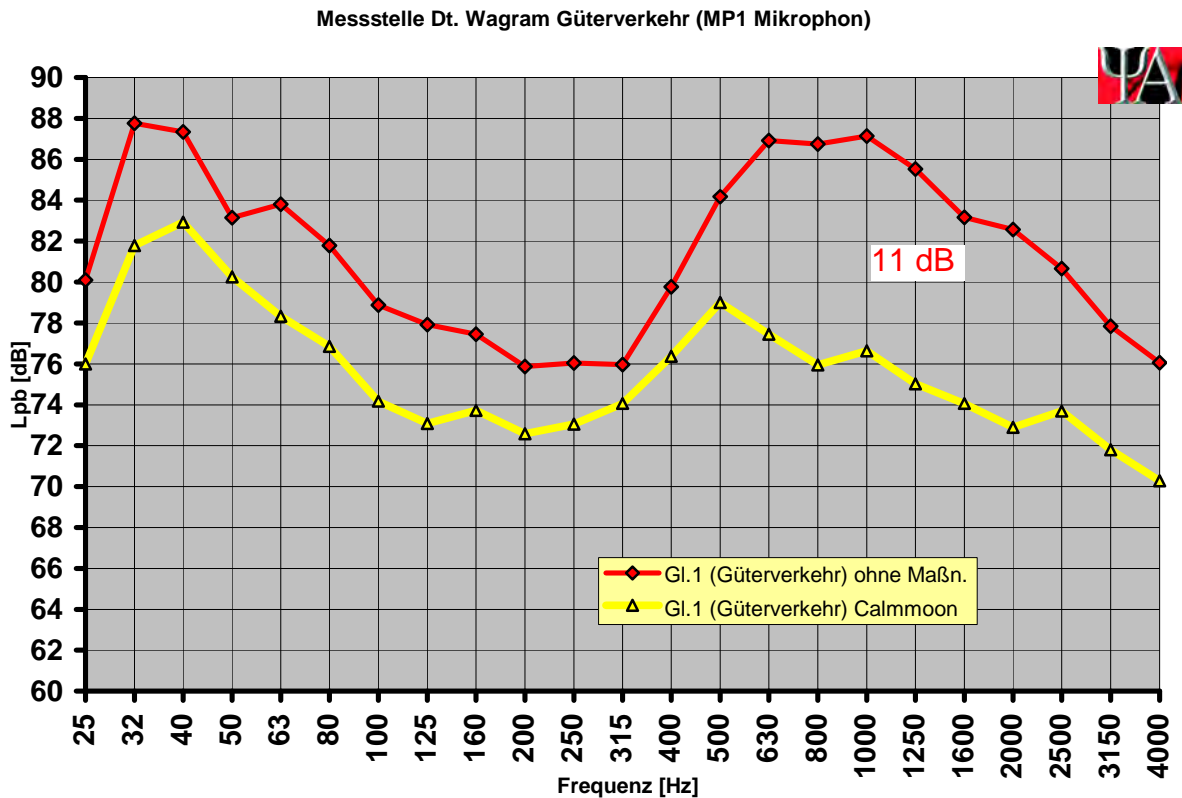


Abbildung 4: mittleres unbew. Vorbeifahrtsspektrum, Güterverkehr bei 80 km/h

4.3.2 Mittleres unbew. Vorbeifahrtsspektrum - Baureihe 4020

Abbildung 5 zeigt die linearen Terzspektren gemittelter Zugvorbeifahrten der ÖBB-Baureihe 4020 auf Gleis 1 bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h. Bei der Baureihe 4020 handelt es sich um alte, dreiteilige S-Bahngarnituren mit rauen Rädern. Auffällig ist, dass das Spektrum des Gleises mit den Calmmoon-Elementen im mittelfrequenten Bereich nahezu deckungsgleich ist mit dem Spektrum des unbedämpften Gleises. Im tieffrequenten Bereich sind die Vorbeifahrtpegel des bedämpften Gleises bei Frequenzen von 25 Hz bis 80 Hz um bis zu 2 dB geringer. Im hochfrequenten Bereich ist dieser Unterschied größer. Ab einer Frequenz von 315 Hz liegt das Spektrum des bedämpften Gleises um bis zu 5 dB unter dem des unbedämpften Gleises..

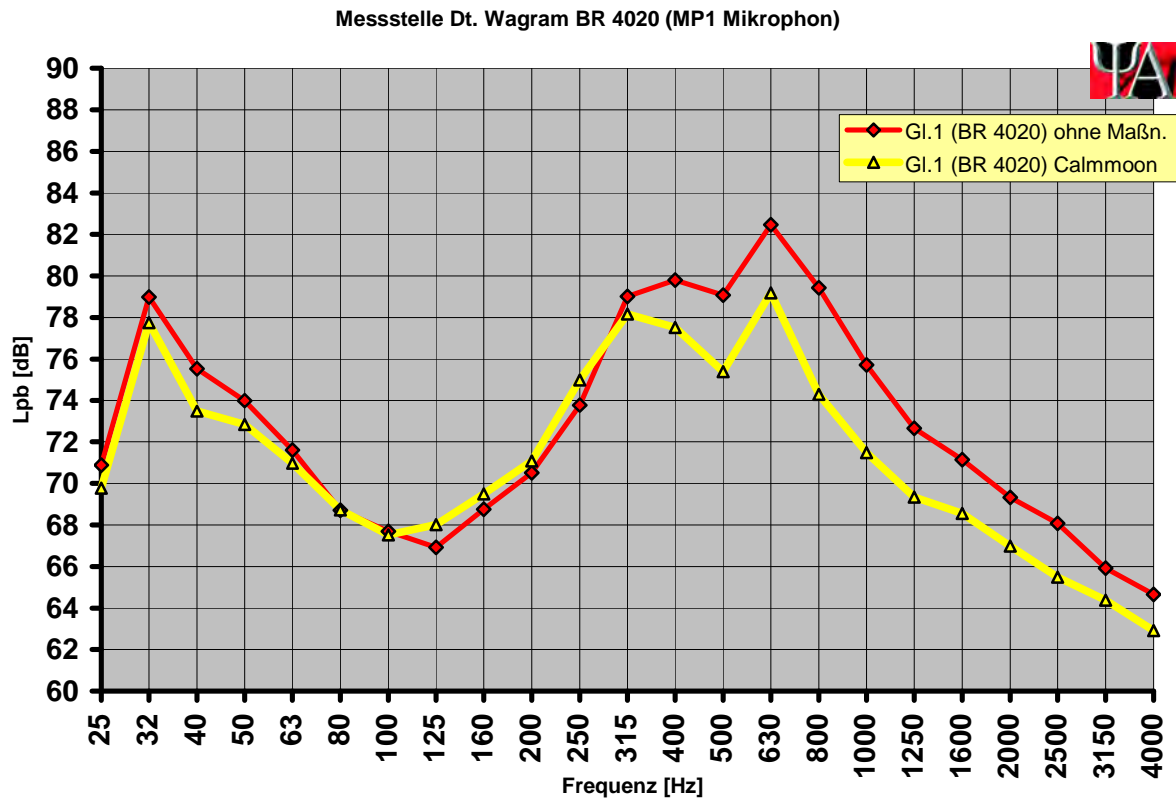


Abbildung 5: mittleres unbew. Vorbeifahrtspegelspektrum, BR 4020 bei 80 km/h

4.3.3 Mittleres unbew. Vorbeifahrtspegelspektrum - Baureihe 80-33

Abbildung 6 zeigt die linearen Terzspektren der gemittelten Zugvorbeifahrten der ÖBB-Baureihe 80-33 auf Gleis 1 bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h. Bei der Baureihe 80-33 handelt es sich um moderne Doppelstock-Garnituren für den Regionalverkehr mit scheibenbremsen Wagen und glatten Rädern. Dieses Diagramm bietet ein ähnliches Bild wie das Diagramm der Baureihe 4020, jedoch mit etwas niedrigeren Pegelunterschieden im hochfrequenten Bereich. Im tieffrequenten Bereich von 25 Hz bis 50 Hz beträgt die Pegelreduktion durch die Calmmoon-Elemente bis zu 4 dB. Im mittelfrequenten Bereich sind die beiden Kurven praktisch deckungsgleich, erst ab einer Frequenz von 315 Hz liegt das Pegelspektrum des Gleises mit Calmmoon-Elementen wieder deutlich unter dem der ungedämpften Schiene. Hierbei wird ein Pegelunterschied von bis zu 5 dB erzielt. Ab einer Frequenz von 3,15 kHz sind die Kurven wieder deckungsgleich.

Messstelle Dt. Wagram BR 80-33 (MP1 Mikrophon)

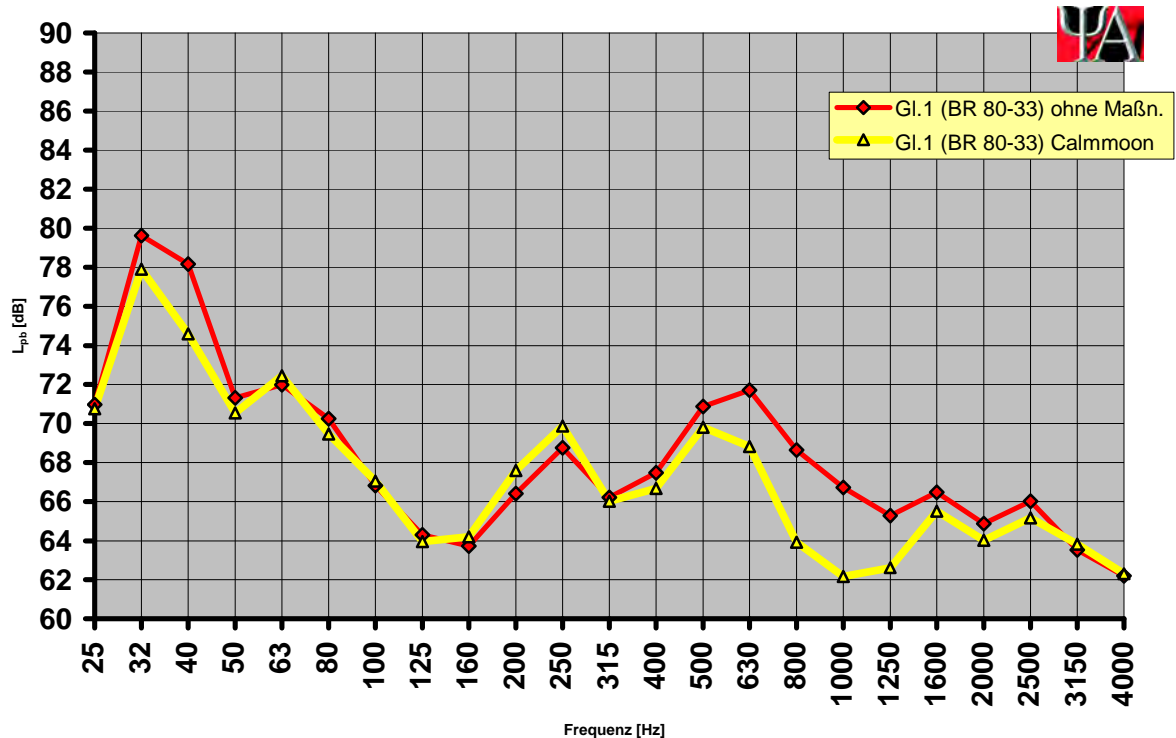


Abbildung 6: mittleres Vorbeifahrtspegelspektrum, BR 80-33 bei 80 km/h

4.3.4 Mittleres unbew. Vorbeifahrtspegelspektrum Baureihe 4024 "Talent"

Abbildung 7 zeigt die linearen Terzspektren der gemittelten Zugvorbeifahrten der ÖBB-Baureihe 4024 "Talent" auf Gleis 1 bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h. Bei der Baureihe 4024 "Talent" handelt es sich um sehr moderne S-Bahn-Garnituren mit sehr glatten und kleinen, gedrunenen Rädern. Im tieffrequenten Bereich von 25 Hz bis 32 Hz erzielen die Calmmoon-Elemente eine Pegelreduktion von bis zu 7 dB. Bei 40 und 50 Hz erhöht sich nach Einbau der Calmmoon-Elemente der Pegel um bis zu 4 dB, zwischen einer Frequenz von 50 und 125 Hz sind die Spektren de facto deckungsgleich. Ab einer Frequenz von 160 Hz liegen die Werte für die mit Calmmoon-Elementen bedämpfte Schiene bis in den hochfrequenten Bereich unter denen der unbedämpften Schiene. Hierbei wird ein Pegelunterschied von bis zu 7 dB erzielt.

Messstelle Dt. Wagram BR 4024 (MP1 Mikrophon)

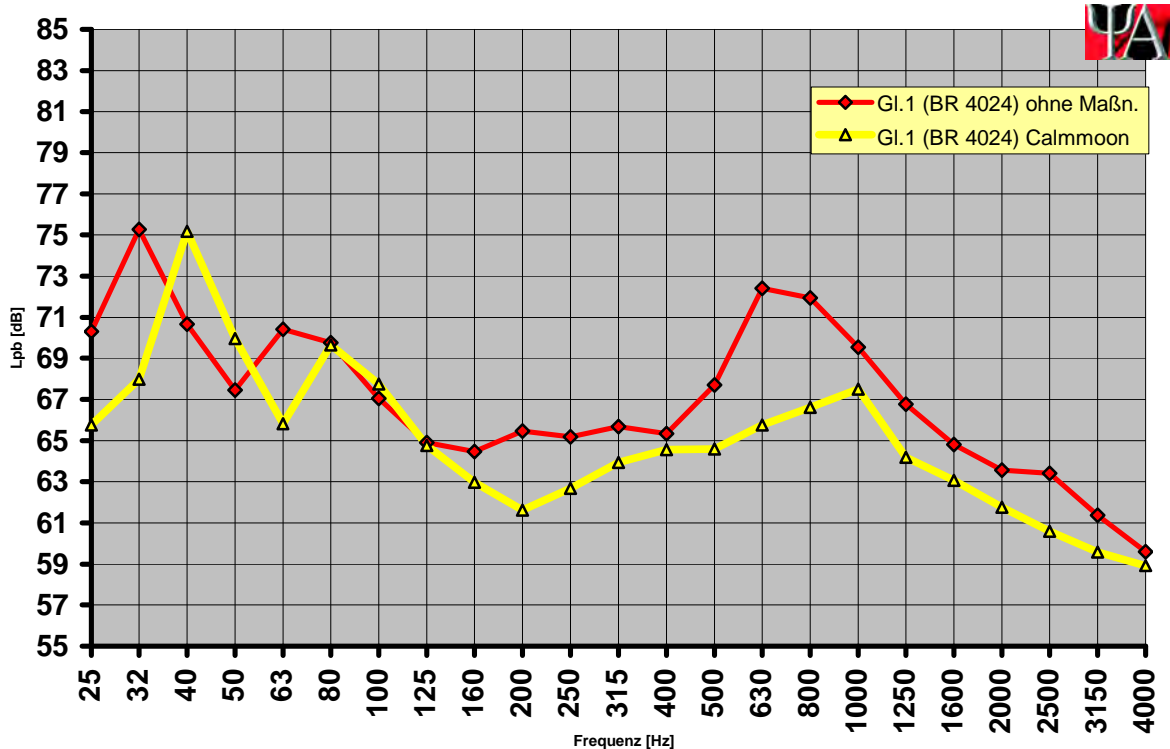


Abbildung 7: mittleres Vorbeifahrtspegelspektrum, BR 4024 "Talent" bei 80 km/h

4.4 A-bew. Schallereignispegel $L_{p,AE}$

Der A-bewertete Schallereignispegel $L_{p,AE}$ dient zur Beschreibung einzelner Geräuscheignisses und gibt die Schall(energie)dosis dieses untersuchten Geräuscheignisses, z.B. eine Zugvorbeifahrt, an. Da der $L_{p,AE}$ bei $T_0 = 1$ Sekunde Dauer den gleichen Energieinhalt besitzt wie das über einen Zeitverlauf von Zeitpunkt t_1 bis t_2 schwankende Geräusch einer Zugvorbeifahrt charakterisiert der $L_{p,AE}$ einerseits die Schalldosis der Zugvorbeifahrt und kann somit auch zur Ermittlung des A-bewerteten Dauerschallpegels dieser Zugvorbeifahrt verwendet werden, denn es gilt:

$$L_{Aeq,i,X} = L_{AE,i} - 10 \lg(T_X)$$

mit $L_{Aeq,i,X}$ A-bewerteter Dauerschallpegel der betrachteten Zugvorbeifahrt i für den Beurteilungszeitraum X

$L_{AE,i}$ A-bewerteter Schallereignispegel der betrachteten Zugvorbeifahrt i

T_X Dauer Beurteilungszeitraums X in Sekunden: $T_X = 46800$ s für den Tag, $T_X = 10800$ s für den Abend und $T_X = 28800$ s für die Nacht.



Addiert man nun die Schallenergien aller im jeweiligen Beurteilungszeitraum X gemessenen Züge, erhält man eine direkte Maßzahl für die Geräuschimmission, denn es gilt:

$$L_{A,eq,X} = L_{A,E} - 10 \lg(T_X) - L_{trans} = L_{A,E} - const.$$

mit $L_{Aeq,X}$A-bewerteter Dauerschallpegel aller betrachteten Zugvorbeifahrt im Beurteilungszeitraum X

L_{AE}A-bewerteter Schallereignispegel aller betrachteten Zugvorbeifahrten

$10 \lg(T_X)$= konst. für jeweils Tag, Abend oder Nacht

L_{trans}Ausbreitungsbedingungen; sind unabhängig von einzelner Zugvorbeifahrt und somit konst. für jeden Immissionspunkt

Da nicht jeden Tag gleich viele Züge mit gleich vielen (unterschiedlich) lauten Achsen im entsprechend Zeitabschnitt (z.B. Tag) fahren, unterscheiden sich die L_{AE} -Werte der einzelnen Kalendertage, über eine mehrere Tage dauernde Messperiode kann aber eine mittlere Geräuschbelastung ermittelt werden. In Abbildung 8 ist der A-bewertete Schallereignispegel $L_{p,AE}$ je Kalendertag für die Zugvorbeifahrten auf Gleis1 abgebildet, die farbliche Unterscheidung zeigt an, ob die Calmmoon-Elemente eingebaut waren oder nicht.

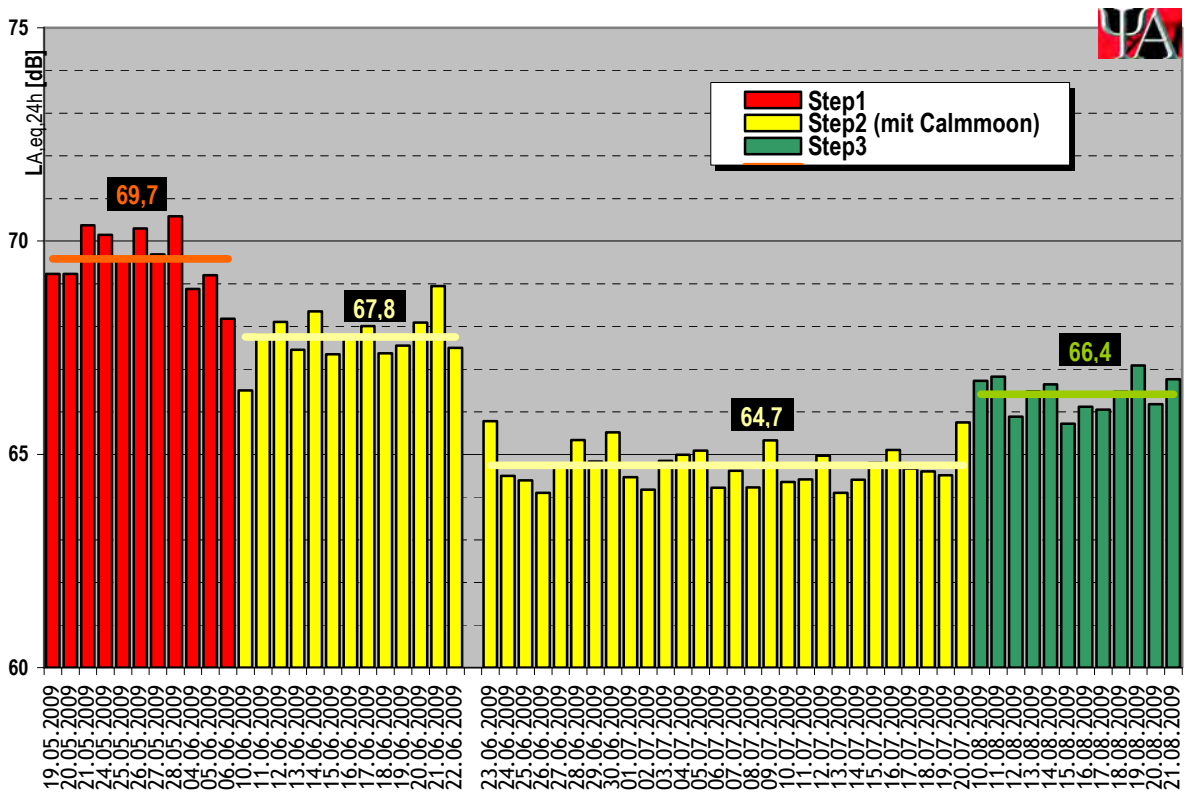


Abbildung 8: A-bewertete Schallereignispegel $L_{p,AE}$

Im Zeitraum vom 19. 5. bis 6. 6. 2009, im Diagramm als Step1 bezeichnet, fand die Referenzmessung mit unbedämpftem Gleis statt. Der mittlere A-bewertete Emissionspegel des realen Zugverkehrs hat in diesem Abschnitt 69,7 dB(A) betragen. Am 7. 6. 2009 erfolgte der Einbau der Calmmoon-Elemente, der Zeitabschnitt 6. 6. bis 22. 6. 2009 repräsentiert die erste Messphase mit eingebauten Calmmoon-Elementen. Der mittlere A-bewertete Emissionspegel des realen Zugverkehrs hat in dieser Zeit 67,8 dB(A) betragen.

Durch die eingangs beschriebenen Betriebsbehinderungen hat sich die Charakteristik des realen Zugverkehrs (Anzahl der Züge, Geschwindigkeit) ab dem geändert 23. 6. 2009. Der A-bewertete Emissionspegel des realen Zugverkehrs hat in der Folge im Zeitraum 23. 6. bis 20. 7. 2009 im Mittel 64,7 dB(A) betragen. Anfang August erfolgte dann der Ausbau der Calmmoon-Elemente und es folgte eine weitere Referenzmessung mit unbedämpftem Gleis, im Diagramm als Step1 bezeichnet, in der Zeit zwischen 10. 8. und 21. 8. 2009. Der mittlere A-bewertete Emissionspegel des realen Zugverkehrs ist nach Ausbau der Calmmoon-Elemente auf 66,4 dB(A) gestiegen.

Diese Auswertung zeigt, dass durch den Einbau der Calmmoon-Elemente der mittlere A-bewertete Emissionspegel des realen Zugverkehrs, bestehend aus verschiedenen Zugkategorien mit unterschiedlicher Radrauhigkeit, um knapp 2 dB gesenkt werden konnte.

5 BEURTEILUNG

In Abbildung 9 und Abbildung 10 sind die von der Geschwindigkeit abhängigen Abnahmen des A-bewerteten Vorbeifahrtpegels zusammengefasst, die sich durch den Einbau der Calmmoon-Elemente für die verschiedenen Zugkategorien mit unterschiedlicher Radrauhigkeit ergeben haben.

Abbildung 9 zeigt die Pegelreduktion in 7,5 m Entfernung vom Gleis in 1,2 m Höhe über SOK. Man erkennt, dass die Pegelreduktion in diesem Messpunkt in einer Größenordnung von 2 bis 3 dB(A) liegt, wobei tendenziell die größte Wirkung der Calmmoon-Elemente bei ist bei Wagen mit rauen Rädern und geringen Geschwindigkeiten auftreten. Weiters ist auffällig, dass die Wirkung bei den scheibengebremsten Regionalzugwagen (glatte Räder) etwas geringer war als bei den Fahrzeugen mit sehr glatten Rädern, also der ÖBB-Baureihe 4024 und der CD-Baureihe 680). Auf die Gründe für diesen Effekt wird weiter unten noch näher eingegangen.

Abbildung 10 zeigt die Pegelreduktion in 11,5 m Entfernung vom Gleis in 1,2 m Höhe über SOK. Die Schallausbreitung erfolgt in diesem Fall über (den gut absorbierenden) Schotter des zweiten Gleises. Man erkennt, dass die Pegelreduktion in diesem Messpunkt in einer Größenordnung von 1 bis 2 dB(A) liegt, wobei tendenziell wieder die Wirkung der Calmmoon-Elemente bei Wagen mit rauen Rädern größer ist als bei glatten Rädern.

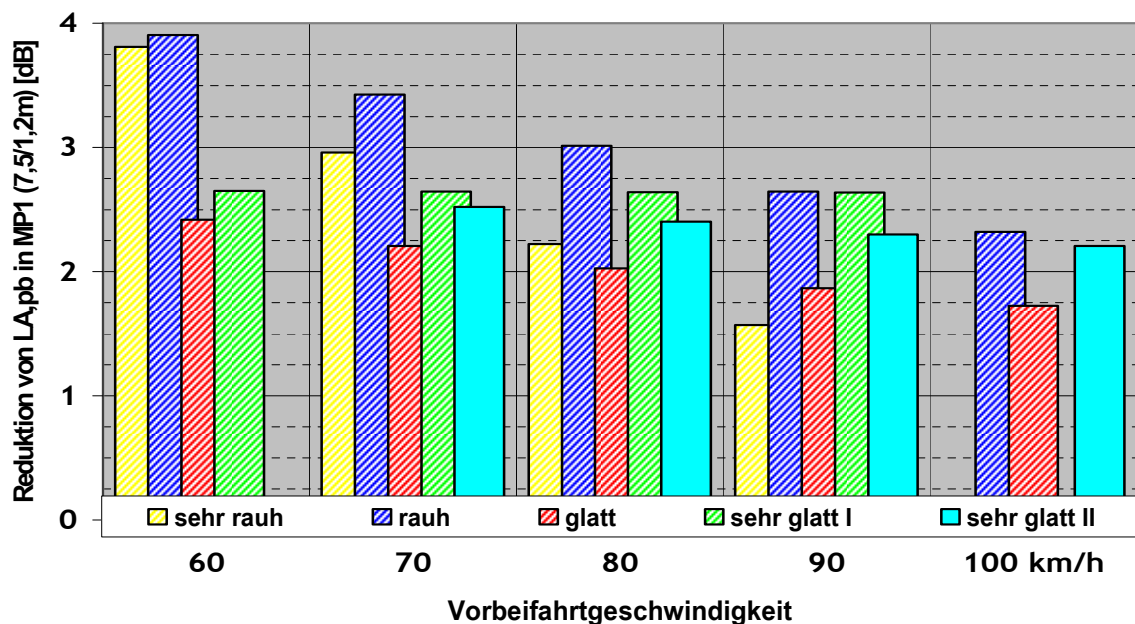


Abbildung 9: Reduktion des A-bew. Vorbeifahrtpegels durch in 7,5 m Entfernung vom Gleis für Züge mit unterschiedlichen Radrauhigkeiten

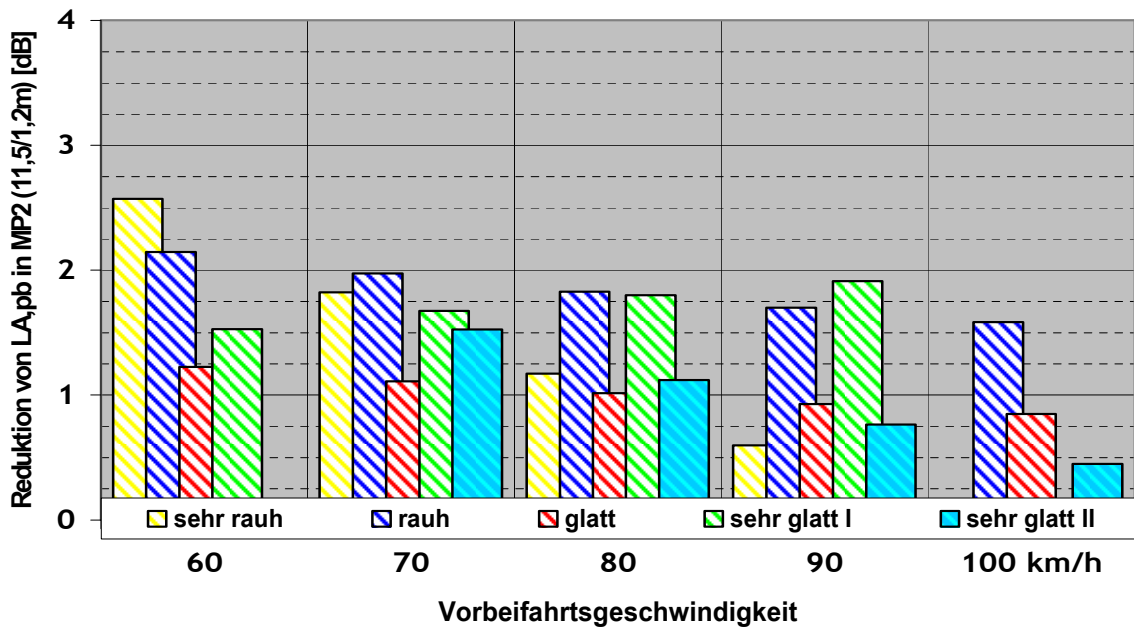


Abbildung 10: Reduktion des A-bew. Vorbeifahrtpegels durch in 11,5 m Entfernung vom Gleis für Züge mit unterschiedlichen Radrauhigkeiten

Für die Interpretation der Wirkung von Schallschutzmaßnahmen am Oberbau im Allgemeinen und des Versuchsergebnisses im generellen ist die Kenntnis des Rollgeräuschentstehungsmechanismus'. Man darf nämlich nicht vergessen, dass sowohl das Fahrzeug als auch das Gleis ein Geräusch bei der Vorbeifahrt abstrahlen und dass der Schallpegel, den wie neben einem Gleis messen, immer die Summe aus beiden Anteilen ist. Abbildung 11 zeigt diese Zusammenhänge. Die (akustische) Rauigkeit von Rad und Schiene regen Schiene/Gleis und Rad/Fahrzeug zum Schwingen an. Diese Schwingungen werden von Fahrzeug und Gleis als Luftschall abgestrahlt und mit dem Mikrophon als Gesamtgeräusch erfasst.

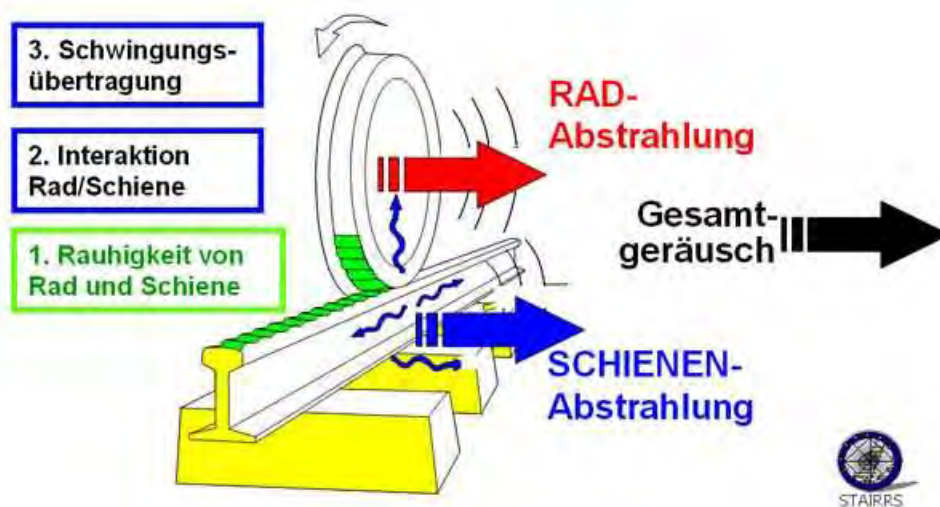


Abbildung 11: Mechanismus der Entstehung des Rollgeräusches

Die Geräuschabstrahlung von Fahrzeug und Gleis hängt von der Ausführung und Beschaffenheit der Konstruktionselemente ab. Beim Gleis beeinflussen Schwellenform, Zwischenlagensteife, Schienenform und letztendlich eine Schienenbedämpfung durch Absorber die Höhe des von der Schiene abgestrahlten Schalls. Beim Fahrzeug sind es Radform und -größe sowie gegebenenfalls vorhandene Radschwingungsdämpfer, welche die Schallabstrahlung wesentlich prägen.

Für die Addition der Teilpegel von Fahrzeug und Gleis gelten dieselben logarithmischen Gesetze wie auch sonst bei der Pegeladdition. Das bedeutet, dass bei gleich großem Fahrzeug- und Gleisanteil selbst eine deutliche Reduktion des Gleisanteils das Gesamtgeräusch um maximal 3 dB senkt (Abbildung 12, linke Grafik). Nur wenn der Fahrzeuganteil bereits wesentlich geringer ist als der Gleisanteil, wird sich die Reduktion beim Gleisanteil in vergleichbarer Größe bei der Senkung des Gesamtpegels niederschlagen (Abbildung 12, rechte Grafik).

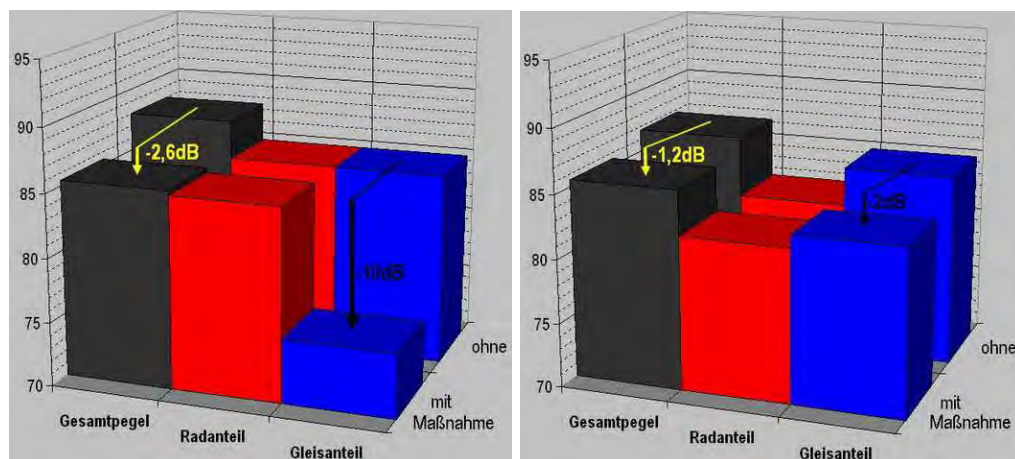


Abbildung 12: Bildung des Gesamtpegels aus unterschiedlichen Fahrzeug- und Gleispegeln

In Abbildung 13 ist das Ergebnis einer Vergleichsrechnung mit dem von der Firma TNO entwickelten Softwarepaketes PBA (pass-by-analysis) dargestellt. Dabei werden die Beiträge der einzelnen Komponenten Rad, Schiene, Schwelle und Fahrzeugaufbau zum A-bewerteten analytisch ermittelt. Weiters kann man in das Rechen-Tool unterschiedliche Radrauhigkeiten eingeben und die Auswirkungen auf die Geräuschabstrahlung simulieren.

Für raue Räder liefert das Rechen-Tool das linke Diagramm von Abbildung 13. Man erkennt, dass in diesem Fall der von der Schiene abgestrahlte Geräuschanteil größer ist als der vom Rad abgestrahlte. Reduziert man nun beispielsweise das Schienengeräusch (durch Abschirmung) um 7 dB(A), dann senkt man es etwas unter den Radanteil und das Gesamtgeräusch nimmt um etwa mehr als 2 dB(A) ab.

Ist die Radrauhigkeit dagegen gering, dann strahlen Rad und Schiene etwa gleich viel Geräusch ab (Abbildung 13, rechtes Diagramm). Reduzieren wir durch eine Abschirmmaßnahme das Schienengeräusch wieder um die 7 dB(A), dann dominiert das Radgeräusch und die Pegelreduktion beim Gesamtgeräusch beträgt nur etwa 1 dB.

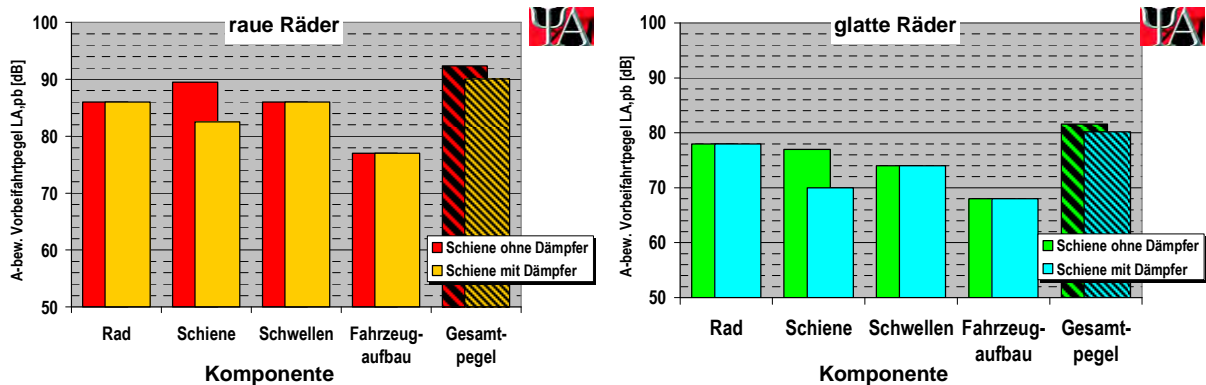


Abbildung 13: Veränderung des A-bew. Vorbeifahrtpegels für Züge mit rauhen (z.B. Güterzüge) und glatten Rädern (z.B. BR 4024) bei Reduktion des Geräuschanteils der Schiene um 7 dB

Diese Rechenergebnisse decken sich mit den Messwerten für Züge mit sehr rauhen (Güterzüge), rauhen (BR 4020) und glatten (BR 80-33) Rädern. Nicht erklärbar ist mit den Diagrammen von Abbildung 13, dass die gemessene Pegelminderung bei den beiden Fahrzeugkategorien mit sehr glatten Rädern. Für diese Fahrzeuge ist zu beachten, dass nicht nur die Radrauhigkeit das Verhältnis von Rad- und Schienenabstrahlung determiniert, sondern auch die Radform. Beide Fahrzeugkategorien mit sehr glatten Rädern besitzen Räder, welche Schall grundsätzlich schlechter abstrahlen als jene der scheibengebremsten Regionalzug-Wagen (BR 80-33). Die ÖBB-Baureihe 4024 besitzt sehr kleine, gedrungene Räder, die Pendolino-Triebwagengarnituren der CD-Baureihe 680 besitzen Räder mit Radschallabsorbern. Das bedeutet, dass bei diesen beiden Fahrzeugkategorien der vom Rad abgestrahlte Geräuschanteil, anders als im rechten Diagramm von Abbildung 13 für „konventionelle“ Räder dargestellt, trotz geringer Radrauhigkeit geringer ist als der Schienenanteil. Damit kann eine Maßnahme, welche die Geräuschabstrahlung von der Schiene verringert, den Gesamtpegel stärker reduzieren als bei Wagen mit „konventionellen“ Rädern.

LITERATUR & UNTERLAGEN

- [1] TSI-CR-NOISE: Entscheidung der Kommission vom 23. 12. 2005 über die Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem „Fahrzeuge – Lärm“ des konventionellen transeuropäischen Bahnsystems. (Com 2006/66/EG)
- [2] EN ISO 3095:2005 "Railway Applications - Acoustics - Measurement of noise emitted by railbound vehicles", edited 2005-11-01
- [3] Kalivoda M.T. et. al.: Lärmsanierung Hainburgbrücken – Maßnahmenvergleich. Untersuchung i.A.d. ÖBB Infrastruktur BauAG, Bericht Nr. 2005-211-015, Wien, August 2009

ANHANG

Decay Rate

Abbildung 14: horizontale gemittelte Decay Rate für Gleis 1

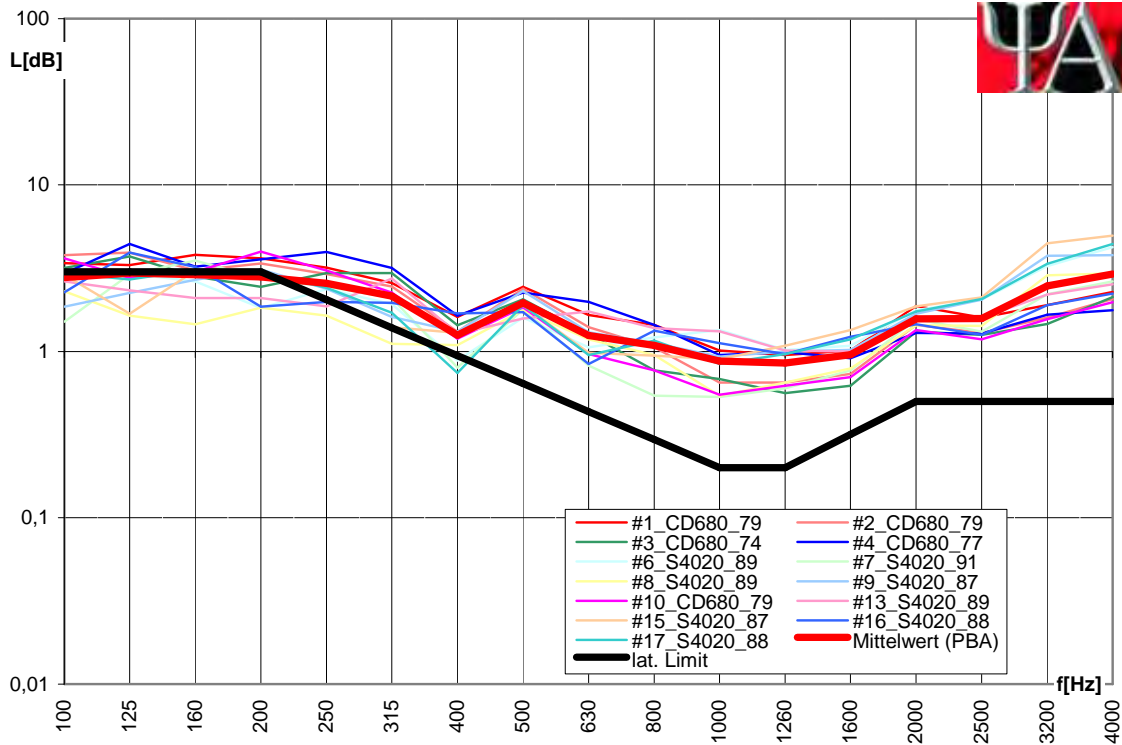
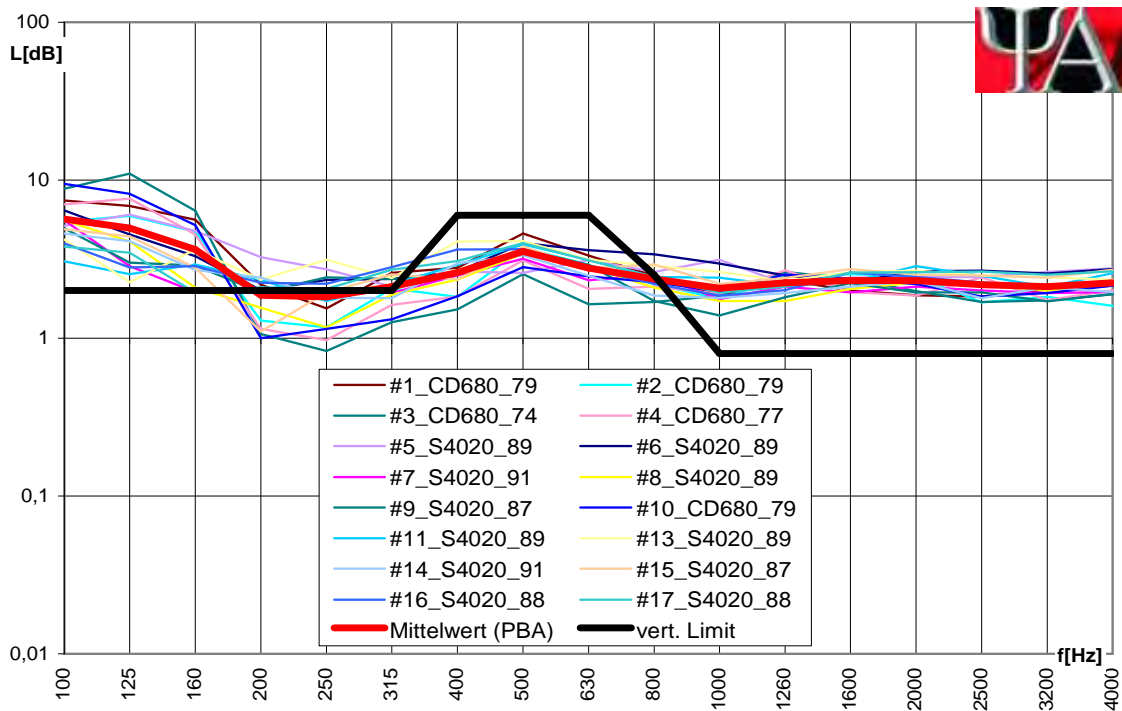


Abbildung 15: vertikale gemittelte Decay Rate für Gleis 1



A-bewertete Vorbeifahrtspegel

Abbildung 16: A-bewertete Vorbeifahrtspegel - Güterzüge

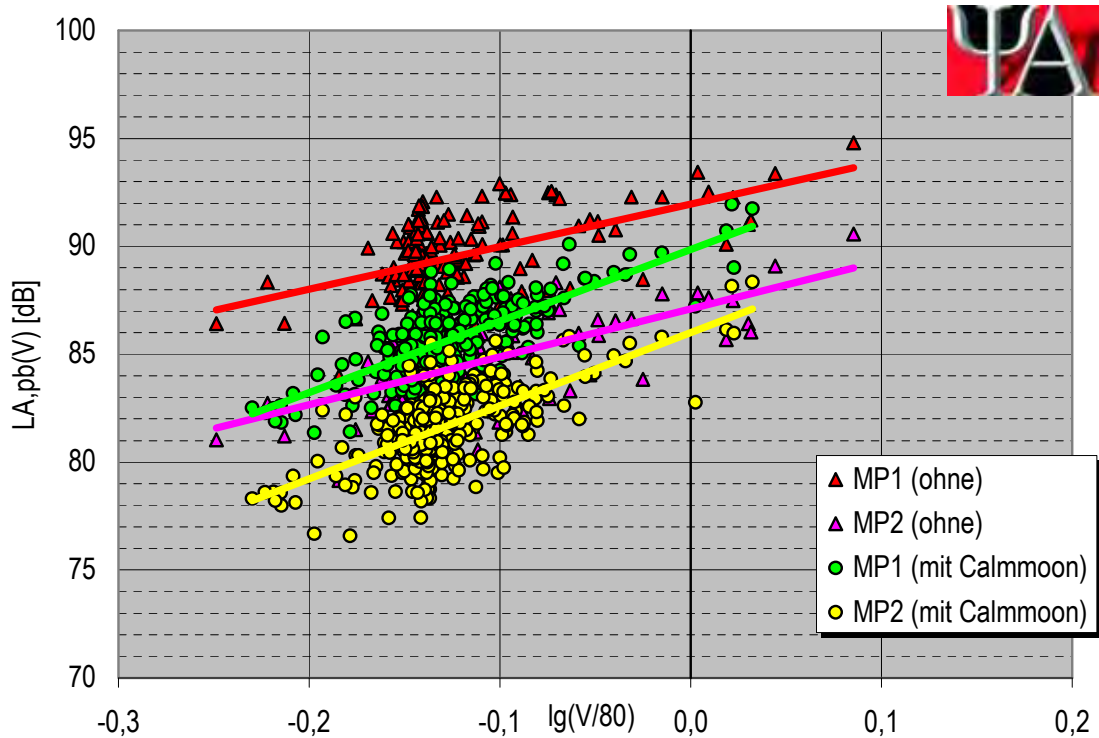


Abbildung 17: A-bewertete Vorbeifahrtspegel - S-Bahngarnituren (BR 4020)

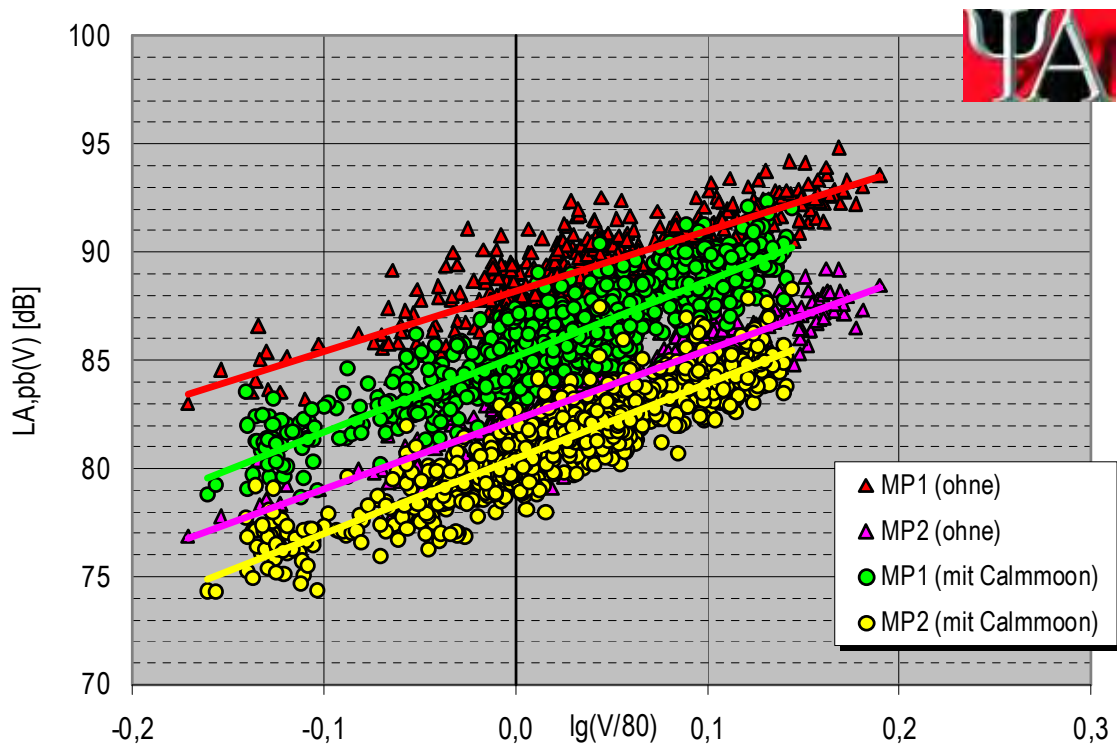


Abbildung 18: A-bewertete Vorbeifahrtspegel - Regionalzüge BR 80-33

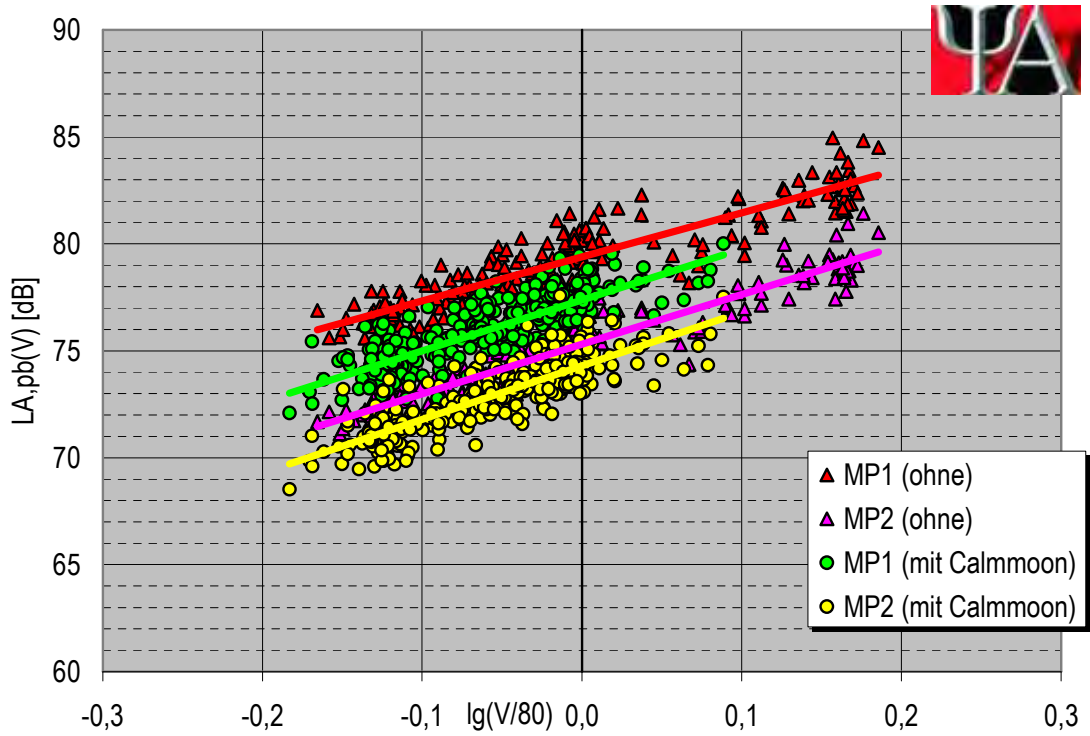


Abbildung 19: A-bewertete Vorbeifahrtspegel - S-Bahngarnituren (BR 4024)

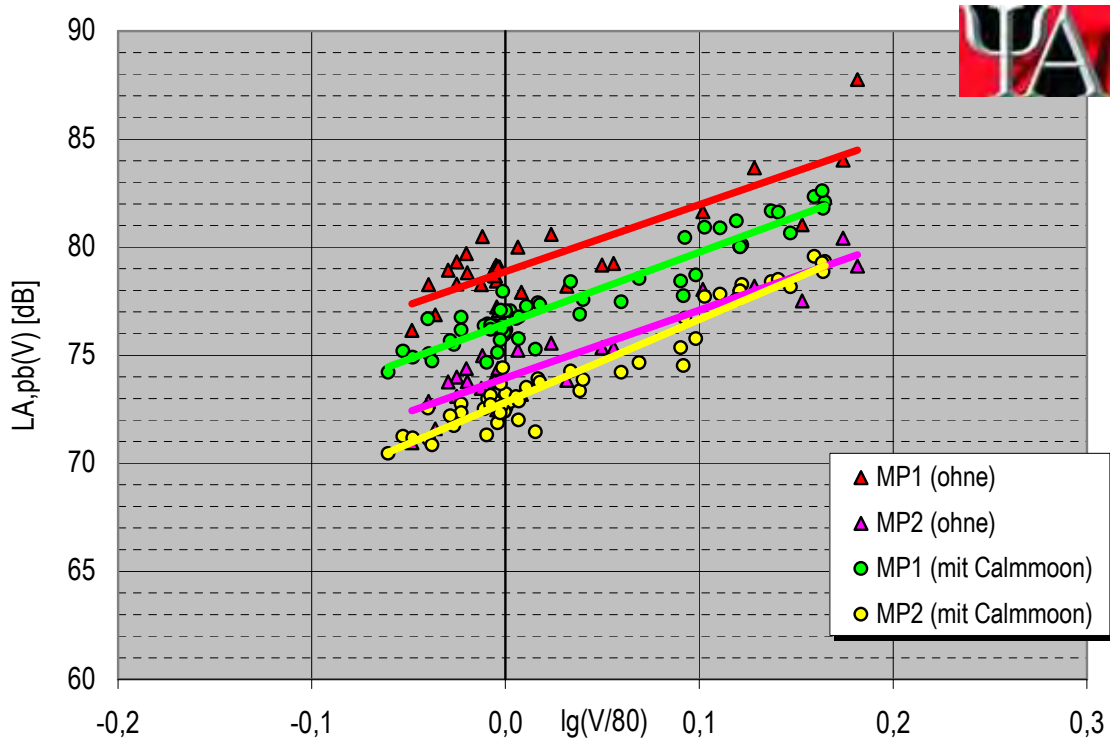
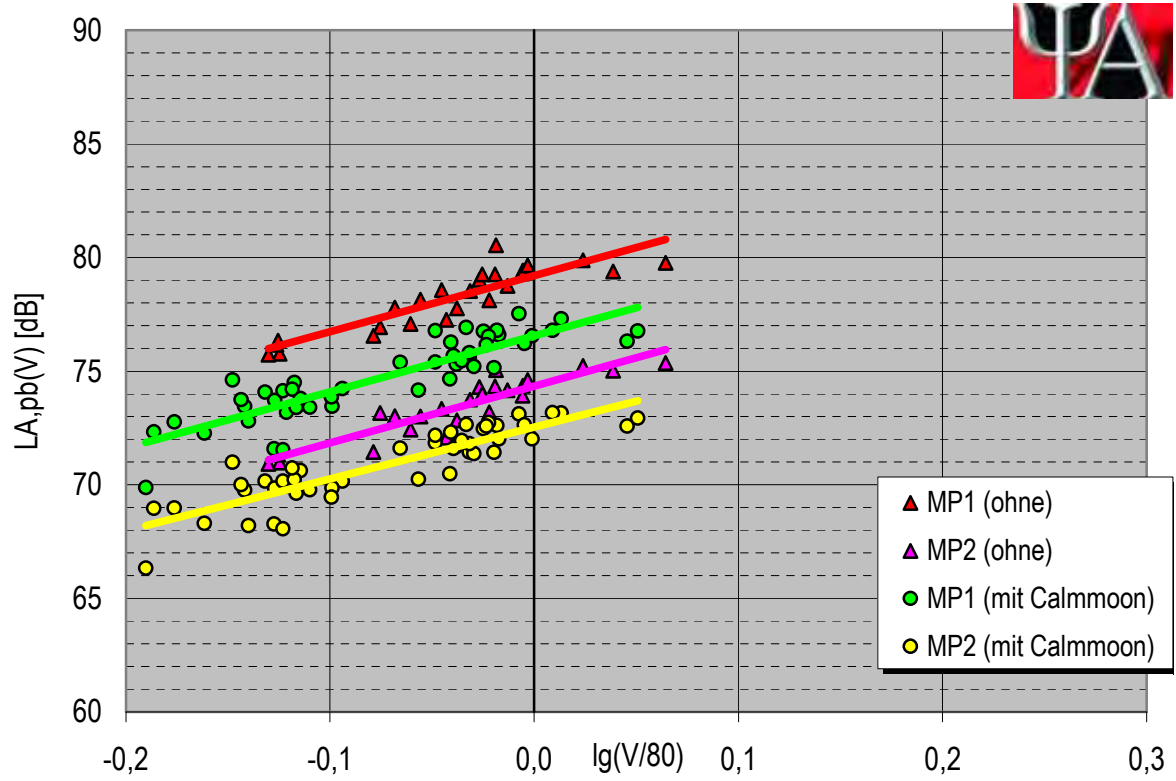


Abbildung 20: A-bewerteter Vorbeifahrtspegel - CD-Pendolino (BR CD 680)



A-bewertete Vorbeifahrtspegelspektren

Ausgangszustand

Abbildung 21: Terzspektrum Vorbeifahrtspegel - Güter Ausgangszustand

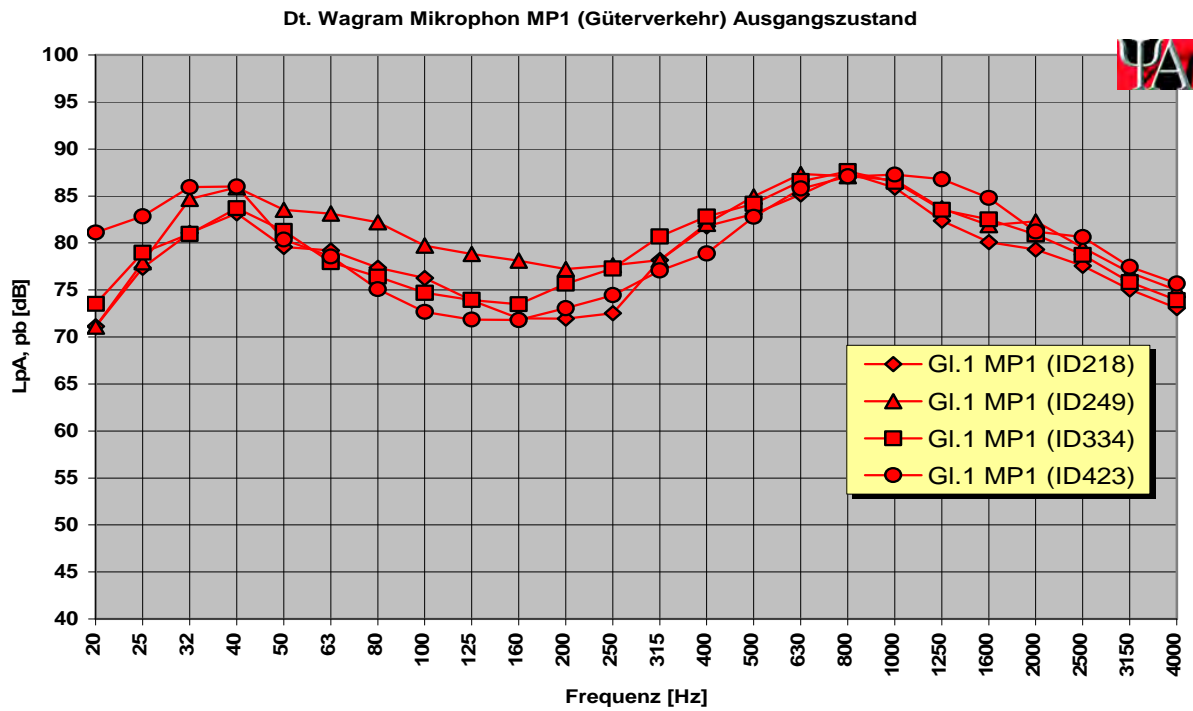


Abbildung 22: Terzspektrum Vorbeifahrtspegel - S-Bahn BR 4020 Ausgangszustand

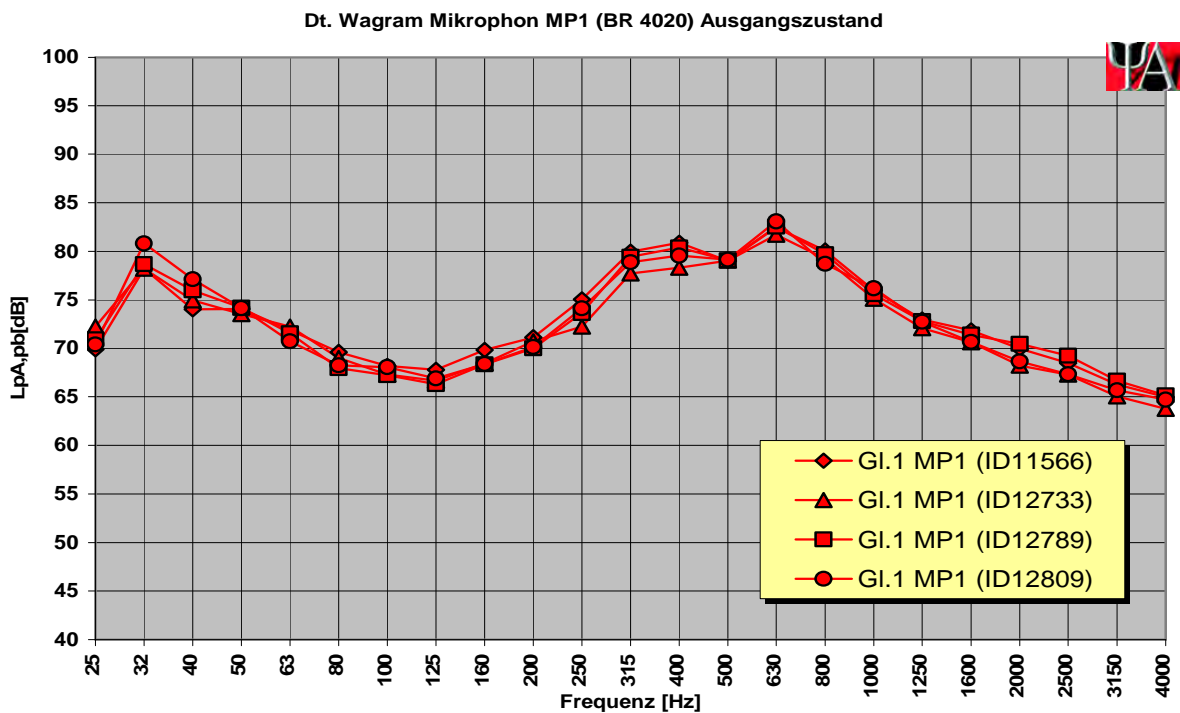


Abbildung 23: Terzspektrum Vorbeifahrtspegel - BR 80-33 Ausgangszustand

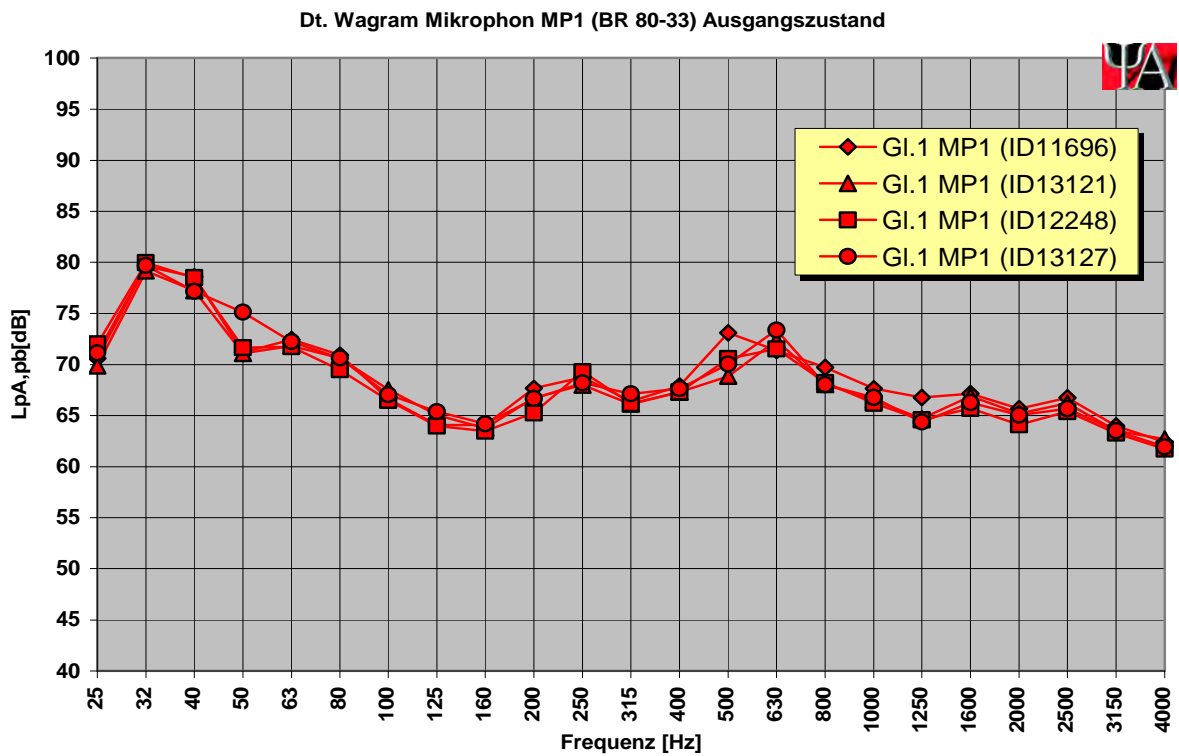
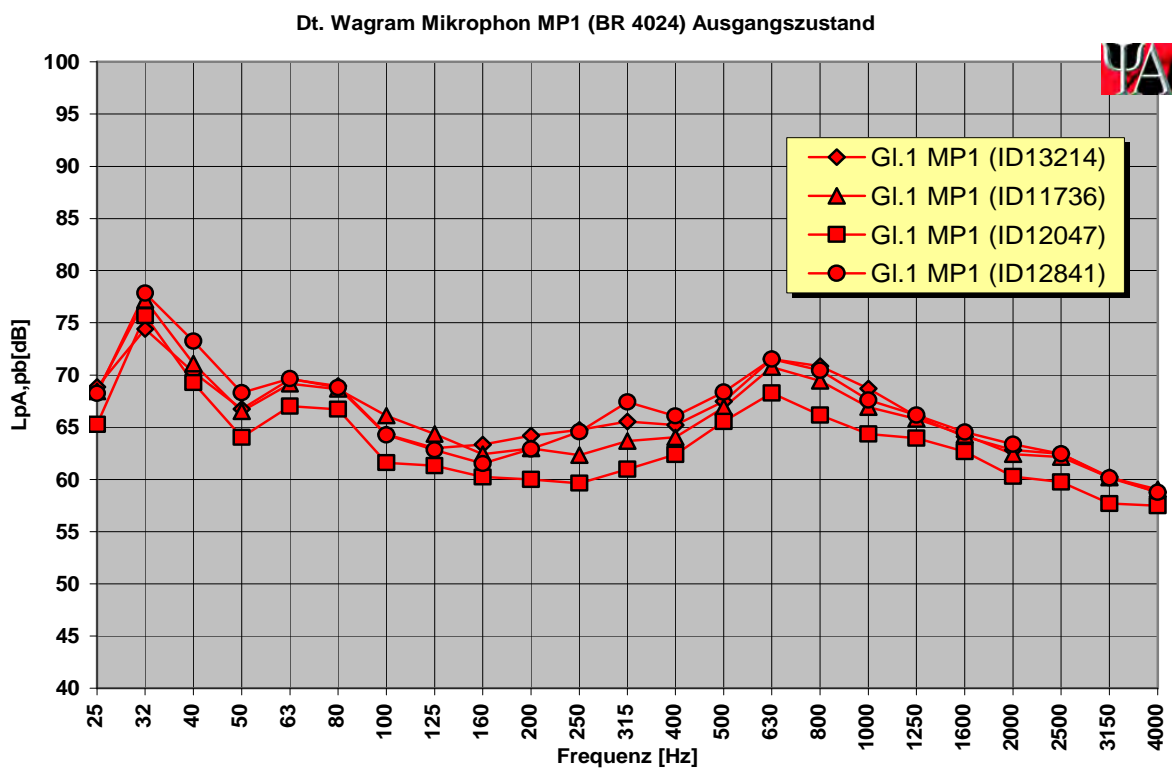


Abbildung 24: Terzspektrum Vorbeifahrtspegel - BR 4024 (Talent) Ausgangszustand



Calmmoon – Rail Elemente

Abbildung 25: Terzspektrum Vorbeifahrtspegel - Güterzüge Calmmoon Rail Absorber

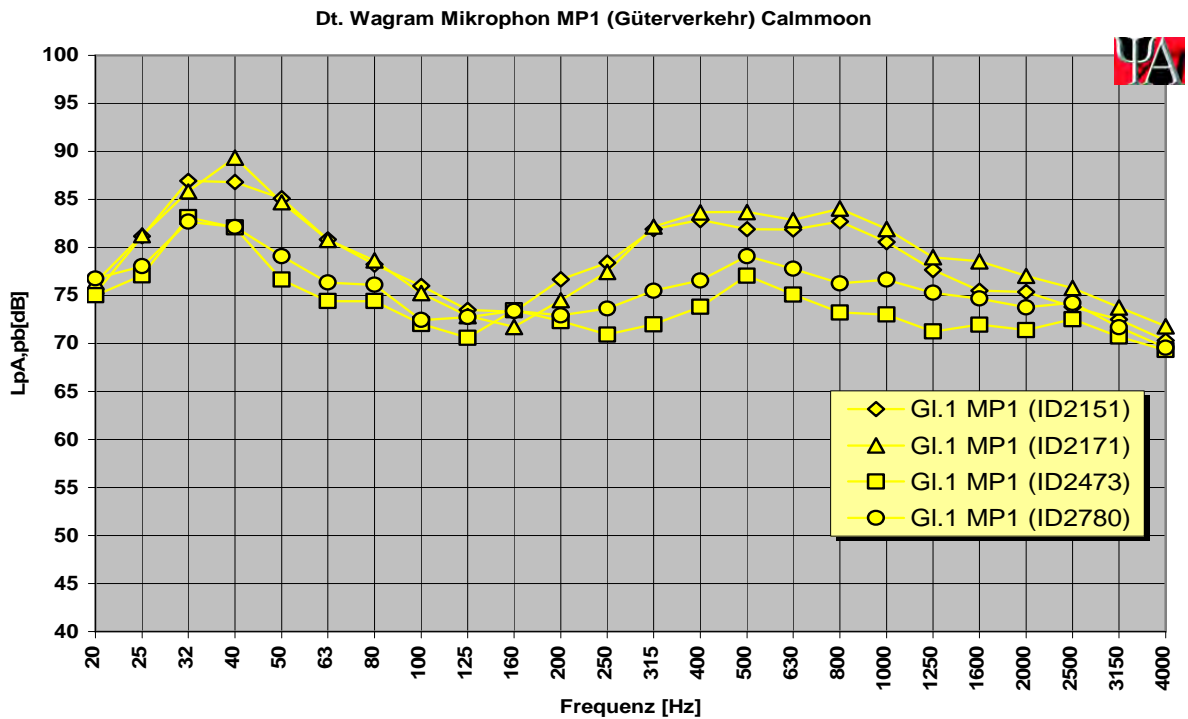


Abbildung 26: Terzspektrum Vorbeifahrtspegel - S-Bahn BR 4020 Calmmoon Elemente

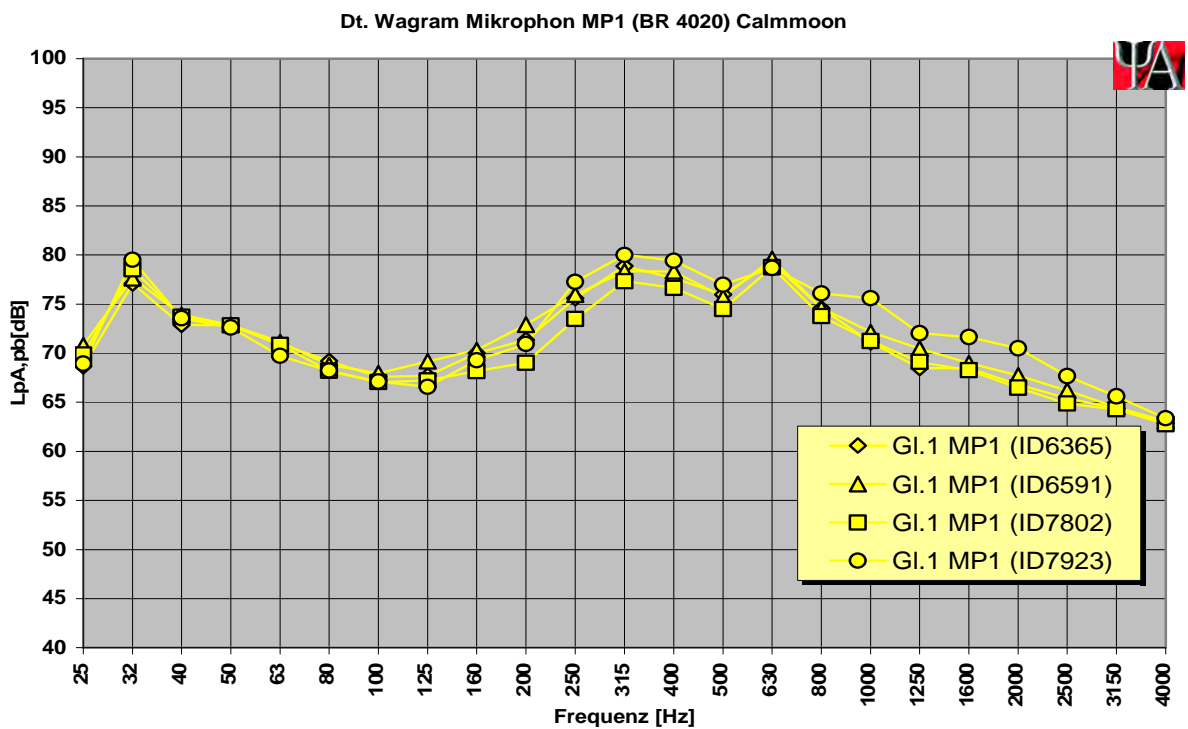


Abbildung 27: Terzspektrum Vorbeifahrtspegel - Regionalzüge BR 8033 Calmmoon Elemente

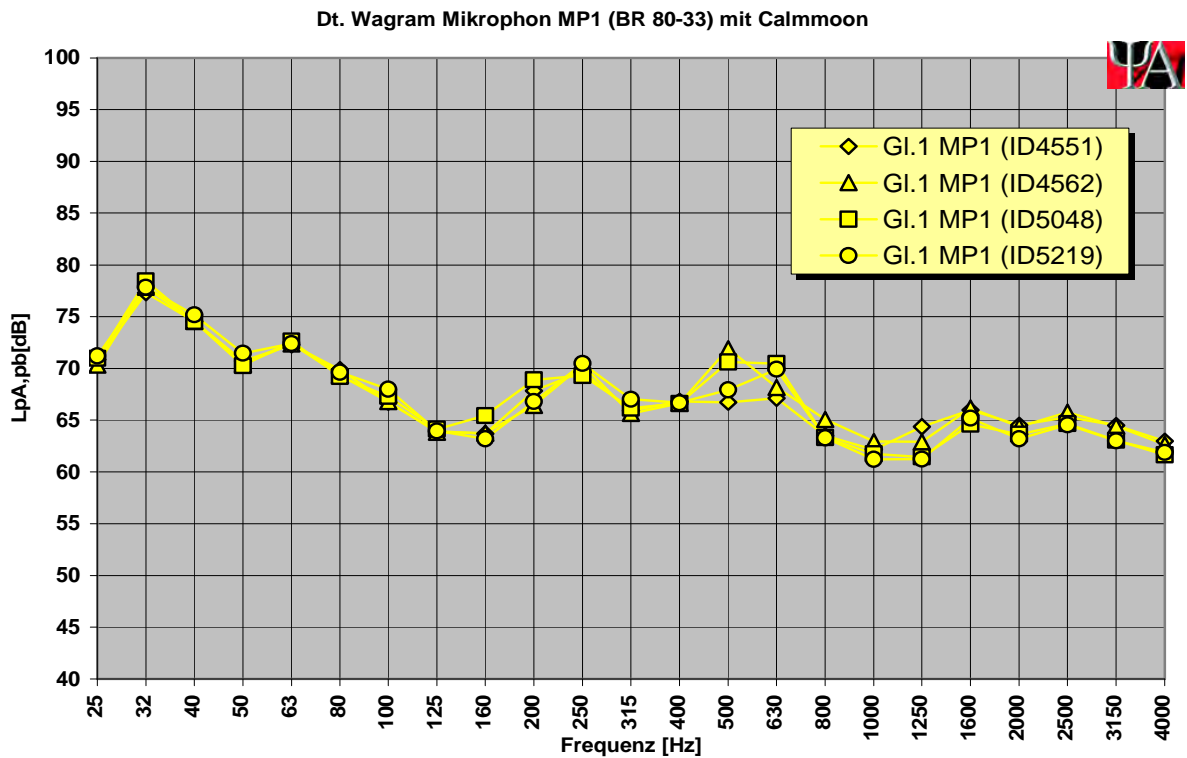
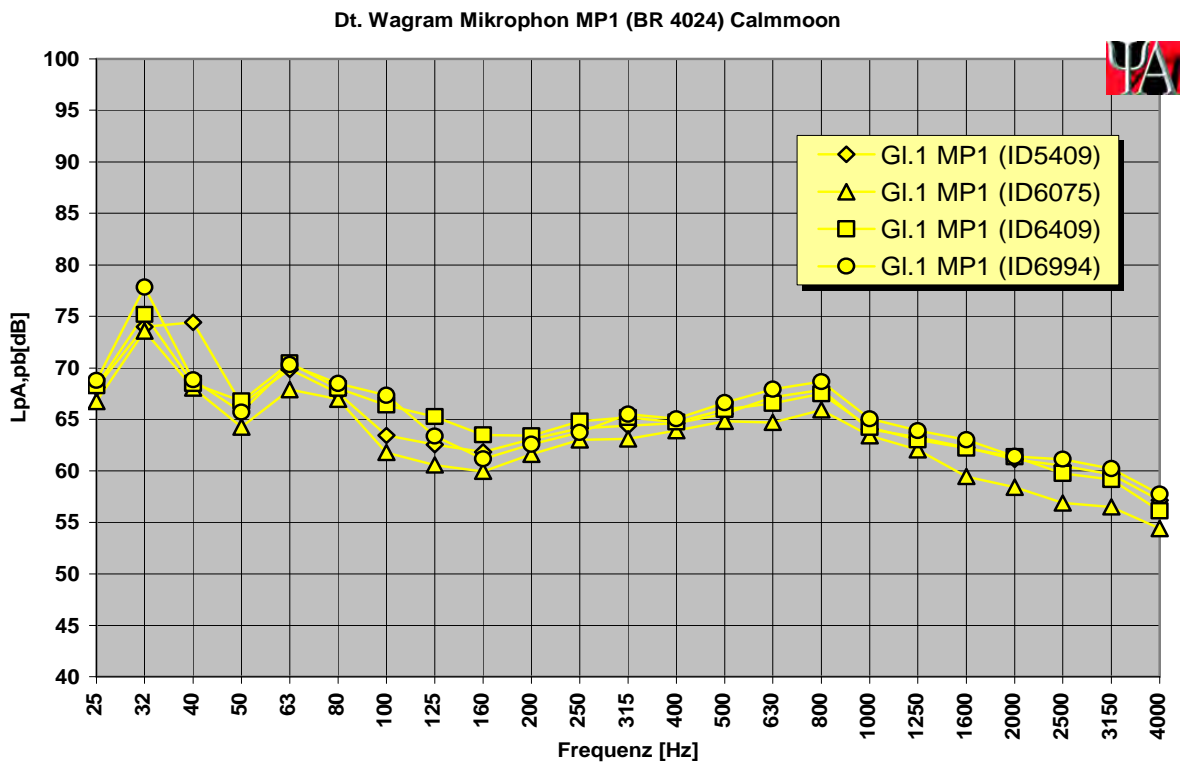


Abbildung 28: Terzspektrum Vorbeifahrtspegel - S-Bahn BR 4024 Calmmoon Elemente



ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1: CALM MOON-RAIL ANWENDUNGSBEISPIEL (LINKE GRAFIK QUELLE: SEKISUI PRODUKTBLATT).....	3
ABBILDUNG 2: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES MESSQUERSCHNITTES.....	4
ABBILDUNG 3: PERMANENZ-MESSSTELLE DEUTSCH WAGRAM MIKROFONANSICHT.....	5
ABBILDUNG 4: MITTLERES UNBEW. VORBEIFAHRTSPEGELSPKTRUM, GÜTERVERKEHR BEI 80 KM/H.....	11
ABBILDUNG 5: MITTLERES UNBEW. VORBEIFAHRTSPEGELSPKTRUM, BR 4020 BEI 80 KM/H.....	12
ABBILDUNG 6: MITTLERES VORBEIFAHRTSPEGELSPKTRUM, BR 80-33 BEI 80 KM/H.....	13
ABBILDUNG 7: MITTLERES VORBEIFAHRTSPEGELSPKTRUM, BR 4024 "TALENT" BEI 80 KM/H	14
ABBILDUNG 8: A-BEWERTETE SCHALLEREIGNISPEGEL LP,AE.....	15
ABBILDUNG 9: REDUKTION DES A-BEW. VORBEIFAHRTSPEGELS DURCH IN 7,5 M ENTFERNUNG VOM GLEIS FÜR ZÜGE MIT UNTERSCHIEDLICHEN RADRAUHIGKEITEN	17
ABBILDUNG 10: REDUKTION DES A-BEW. VORBEIFAHRTSPEGELS DURCH IN 11,5 M ENTFERNUNG VOM GLEIS FÜR ZÜGE MIT UNTERSCHIEDLICHEN RADRAUHIGKEITEN	18
ABBILDUNG 11: MECHANISMUS DER ENTSTEHUNG DES ROLLGERÄUSCHES	18
ABBILDUNG 12: BILDUNG DES GESAMTPEGELS AUS UNTERSCHIEDLICHEN FAHRZEUG- UND GLEISPEGELN	19
ABBILDUNG 13: VERÄNDERUNG DES A-BEW. VORBEIFAHRTSPEGELS FÜR ZÜGE MIT RAUEN (Z.B. GÜTERZÜGE) UND GLATTEN RÄDERN (Z.B. BR 4024) BEI REDUKTION DES GERÄUSCHANTEILS DER SCHIENE UM 7 DB	20
ABBILDUNG 14: HORIZONTALE GEMITTELTE DECAY RATE FÜR GLEIS 1	22
ABBILDUNG 15: VERTIKALE GEMITTELTE DECAY RATE FÜR GLEIS 1.....	22
ABBILDUNG 16: A-BEWERTETE VORBEIFAHRTSPEGEL - GÜTERZÜGE.....	23
ABBILDUNG 17: A-BEWERTETE VORBEIFAHRTSPEGEL – S-BAHNGARNITUREN (BR 4020).....	23
ABBILDUNG 18: A-BEWERTETE VORBEIFAHRTSPEGEL – REGIONALZÜGE BR 80-33.....	24
ABBILDUNG 19: A-BEWERTETE VORBEIFAHRTSPEGEL – S-BAHNGARNITUREN (BR 4024).....	24
ABBILDUNG 20: A-BEWERTETER VORBEIFAHRTSPEGEL – CD-PENDOLINO (BR CD 680).....	25
ABBILDUNG 21: TERZSPEKTRUM VORBEIFAHRTSPEGEL – GÜTER AUSGANGSZUSTAND	26
ABBILDUNG 22: TERZSPEKTRUM VORBEIFAHRTSPEGEL – S-BAHN BR 4020 AUSGANGSZUSTAND	26
ABBILDUNG 23: TERZSPEKTRUM VORBEIFAHRTSPEGEL – BR 80-33 AUSGANGSZUSTAND.....	27
ABBILDUNG 24: TERZSPEKTRUM VORBEIFAHRTSPEGEL – BR 4024 (TALENT) AUSGANGSZUSTAND	27
ABBILDUNG 25: TERZSPEKTRUM VORBEIFAHRTSPEGEL – GÜTERZÜGE CALM MOON RAIL ABSORBER	28
ABBILDUNG 26: TERZSPEKTRUM VORBEIFAHRTSPEGEL – S-BAHN BR 4020 CALM MOON ELEMENTE	28
ABBILDUNG 27: TERZSPEKTRUM VORBEIFAHRTSPEGEL – REGIONALZÜGE BR 8033 CALM MOON ELEMENTE.....	29
ABBILDUNG 28: TERZSPEKTRUM VORBEIFAHRTSPEGEL – S-BAHN BR 4024 CALM MOON ELEMENTE	29

TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1: MESS-SETUP PRAXISVERSUCH CALM MOON-RAIL.....	6
TABELLE 2: GEMESSENE BAUREIHEN UND RADTYPEN.....	8

SEKISUI

SEKISUI CHEMICAL GmbH
Königsallee 106
D-40215 Düsseldorf
Tel.: +49-(0)211-36977-0
Fax: +49-(0)211-36977-31
www.sekisui-rail.com

